

การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ

A STUDY ON LONG-TERM DEFLECTION PREDICTING MODEL OF REINFORCED
CONCRETE SLAB BY REDUCING ELASTIC MODULUS OF CONCRETE DUE TO CREEP



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-093-118

การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ

A STUDY ON LONG-TERM DEFLECTION PREDICTING MODEL OF REINFORCED
CONCRETE SLAB BY REDUCING ELASTIC MODULUS OF CONCRETE DUE TO CREEP



ชนรุจ โภภาสพร้อม
KHANARUJ OPASPROM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-093-118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON LONG-TERM DEFLECTION PREDICTING MODEL OF REINFORCED
CONCRETE SLAB BY REDUCING ELASTIC MODULUS OF CONCRETE DUE TO CREEP

KHANARUJ OPASPROM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018
KMITL-2018-EN-M-093-118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ

Thesis Title A Study on Long-term Deflection Predicting Model of Reinforced Concrete Slab by Reducing Elastic Modulus of Concrete Due to Creep

นักศึกษา นายชนรุต โอภาสพร้อม

รหัสประจำตัว 59601196

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-093-118

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.เอนก ศิริพานิชกร	
ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	
รศ.ดร.คมสัน มาลีสี	
ผศ.ดร.อำพน จรัสจรวงเกียรติ	
รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ
นักศึกษา	นายชนรุต โอภาสพร้อม
รหัสประจำตัว	59601196
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. สุวัฒน์ ธิเรศรชรั

บทคัดย่อ

โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยส่วนมากเป็นโครงสร้างที่ทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งโครงสร้างอาคารบางแห่งมีการใช้งานมาเป็นเวลานาน ส่งผลให้กระทบต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง เนื่องมาจากการคืบของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างกระทำกับโครงสร้างเป็นเวลานานๆ และยังส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ลดลงไปตามกาลเวลา ดังนั้นการที่จะทราบถึงพฤติกรรมการลดลงของโมดูลัสยืดหยุ่นต้องอาศัยระยะเวลาค่อนข้างนาน งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการลดระยะเวลาการทดสอบ โดยการคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะเวลา 1 ปีจาก ACI 209R-92 เพื่อเป็นแนวทางในการทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเทียบเท่าโดยใช้วัสดุทดแทน ในที่นี้คือ คอนกรีตโพลีซีเมนต์ (คอนกรีตมวลเบา) เนื่องจากคอนกรีตโพลีซีเมนต์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่น้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา โดยเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของพื้นคอนกรีตที่มีน้ำหนักบรรทุกคงค้างกระทำเป็นเวลานาน เมื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีการคืบประกอบกับวิธีการคำนวณการแอ่นตัวของพื้นคอนกรีต ที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงจะสามารถทำนายกำลังรับน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้

Thesis	A Study on Long-term Deflection Predicting Model of Reinforced Concrete Slab by Reducing Elastic Modulus of Concrete Slab due to Creep
Student	Mr.Khanaruj Opasprom
Student ID.	59601196
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof.Suwat Dhirasedh

ABSTRACT

Building structure in Thailand mostly are reinforced concrete. When some buildings have been used for a long time, carrying load capacity of the buildings will be affected caused by creep of the concrete which are significantly increased if load are sustained load over a long period of time. results in the decreasing of the elastic modulus. It takes time to obtain the behavior of the elastic modulus reduction. This research was aimed to investigate, to find an alternative approved in reducing the time of determination using ACI209R-92 Code equivalent elastic modulus by the often replacing material i.e. foam concrete (CLC-Concrete). The lightweight concrete (CLC Foaming Agent) exhibits lower elastic modulus than normal weight concrete and can be use as the material in structure that has been sustained load for period of time. With the analyzing by the creep theory as well as the deflection calculation of R.C. slab. The change in modulus elastic should predict, the load capacity and deflection of reinforced concrete slab.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ และ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ นายอมสิน ดำริห์ นายสมชาย ศักดิ์สิทธิ์พร นายธิตี ขัตติวงศ์ นายหฤทัศน์ พ้อบาล ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบและทำการทดลอง

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) ที่ให้การสนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการทำการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคน

สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณฉนิตตรา สีพรมมา ที่เป็นเสมือนคู่คิดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ฉนวนรุจ โสภาสพร้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง แก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.6 ข้อจำกัดของการศึกษาวิจัย.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การเสียรูปตามกาลเวลาของคอนกรีต.....	6
2.2 การคืบของคอนกรีต.....	6
2.2.1 การคืนกลับของการคืบในคอนกรีต.....	7
2.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต.....	9
2.3.1 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต.....	9
2.3.2 การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการคืบของคอนกรีต.....	10
2.4 ความเค้นและความเครียดของคอนกรีต.....	12
2.5 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	15
2.5.1 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	15
2.5.2 พฤติกรรมการรับโมเมนต์ของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	15
2.5.3 พฤติกรรมการรับโมเมนต์ของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	16
2.5.3.1 พฤติกรรมในสภาวะก่อนการร้าว.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3.2 พฤติกรรมในสภาวะหลังการร้าวแต่ก่อนประลัย.....	17
2.5.3.3 พฤติกรรมในสภาวะเข้าสู่การประลัย.....	17
2.6 การแอ่นตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	18
2.6.1 หลักการคำนวณหาการโก่งตัว.....	18
2.6.1.1 การโก่งตัวทันที.....	18
2.6.1.2 การโก่งตัวตามกาลเวลา.....	18
2.6.2 การคำนวณหาการโก่งตัวตามมาตรฐานกำหนด.....	19
2.6.2.1 ระยะเวลาโก่งทันที (Immediate หรือ Short-term deflection).....	19
2.6.2.2 ระยะเวลาโก่งที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา (Additional deflection : Δ_a).....	20
2.7 คอนกรีตมวลเบา.....	21
2.7.1 โฟมคอนกรีต (Aerated of Foam Concrete).....	21
2.7.2 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fineness Concrete).....	21
2.7.3 คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา.....	21
2.8 การควบคุมคุณภาพคอนกรีต.....	22
2.8.1 การทำคอนกรีต.....	22
2.8.2 การบ่มคอนกรีต.....	22
2.9 การวิเคราะห์ทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite Element Analysis (FEA).....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	24
3.2 การออกแบบส่วนผสม.....	24
3.2.1 คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา.....	24
3.2.2 คอนกรีตโฟมซีเมนต์.....	24
3.3 วิธีการทดสอบคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์.....	25
3.4 วิธีการทำนายเพื่อหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต.....	28
3.5 วิธีการหล่อพื้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ.....	33
3.6 วิธีการทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล	42
4.1 ข้อมูลผลทดสอบของพื้นที่ตัวอย่างทดสอบ S1 และการวิเคราะห์ผล Error! Bookmark not defined.	
4.1.1. ผลการทดสอบของพื้นที่ S1	43
4.1.2. การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ของพื้นที่ S1	53
4.1.3. เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S1	63
4.1.4. วิเคราะห์ผลทดสอบการแอนต้วระหว่างผลการทดสอบจริง การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทางทฤษฎี ในพื้นที่ S1	67
4.2 ข้อมูลผลทดสอบของพื้นที่ตัวอย่างทดสอบ S2 และการวิเคราะห์ผล	69
4.2.1. ผลการทดสอบของพื้นที่ S2	70
4.2.2. การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2	80
4.2.3. เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2	90
4.2.4. วิเคราะห์ผลทดสอบการแอนต้วระหว่างผลการทดสอบจริง การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทางทฤษฎี ในพื้นที่ S1	94
4.3 ข้อมูลผลทดสอบของพื้นที่ตัวอย่างทดสอบ S3 และการวิเคราะห์ผล	96
4.3.1. ผลการทดสอบของพื้นที่ S3	97
4.3.2. การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	107
4.3.3. เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	107
4.3.4. วิเคราะห์ผลทดสอบการแอนต้วระหว่างผลการทดสอบจริง การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทางทฤษฎี ในพื้นที่ S3	121
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	123
5.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	123
5.2 สรุปผลการทดสอบ	127
5.2 ข้อเสนอแนะ	127
บรรณานุกรม	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	129
ภาคผนวก ก.	129
ก-1 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา.....	130
ก-2 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโพลีเมอร์.....	133
ก-3 วิธีการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	134
ก-4 การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	136
ก-5 การคำนวณหาค่าน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจาย.....	137
ก-6 การคำนวณหาระยะการแอ่นตัวของพื้น.....	138
ภาคผนวก ข.	141
ข-1 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน	142
ข-2 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน.....	165
ข-3 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐานของแผ่นพื้น.....	285
ข-4 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน.....	293
ภาคผนวก ค.	310
ประวัติผู้เขียน.....	311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อมูลผลการทดสอบระยะเวลาการแอนตัวโดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทางทฤษฎี.....	14
3.1(ก.) แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีลาสติกของคอนกรีตที่อายุต่างๆ.....	25
3.1(ข.) แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีลาสติกของคอนกรีตที่อายุต่างๆ (ต่อ).....	26
3.2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีลาสติกของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก และกำลังอัดประลัย.....	27
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอนตัวของพื้น S1.....	43
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาการแอนตัวกับระยะในแกน X-Y ของพื้น S1.....	44
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1.....	44
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1.....	45
4.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1.....	46
4.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1.....	46
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S1.....	51
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1.....	51
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงรั้ว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผลและสติเฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1.....	52
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอนตัวของพื้น S1.....	53
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาการแอนตัวกับระยะในแกน X-Y ของพื้น S1.....	54
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1.....	54
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1.....	55
4.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1.....	56
4.15 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1.....	56
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S1.....	61
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S1.....	61
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงรั้ว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผลและสติเฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการแอ่นตัว เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1.....	63
4.20 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความเครียด-ความเค้นของเหล็ก เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1	63
4.21 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความเครียด-ความเค้นของคอนกรีต และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1	64
4.22 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายใน โมเมนต์บนหน้าตัด เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1	65
4.23 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพล สติฟเนสการตัด เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปด้าน Finite Element ในพื้น S1.....	66
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของพื้น S1 จากผลทดสอบการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทฤษฎี	67
4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S2.....	70
4.26 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้น S2	71
4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2.....	71
4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2.....	72
4.29 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2.....	73
4.30 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2.....	73
4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2.....	78
4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ตัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2.....	78
4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพลและสติฟเนสการตัด ในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2.....	79
4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S2.....	80
4.35 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้น S2	81
4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2.....	81
4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2.....	82
4.38 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.39 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2.....	83
4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้นที่ S2.....	88
4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ S2	88
4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2.....	89
4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการแอ่นตัว เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2.....	90
4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียด-ความเค้นของเหล็ก เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2.....	90
4.45 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความเครียด-ความเค้นของคอนกรีต และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2	91
4.46 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายใน โมเมนต์บนหน้าตัด เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2	92
4.47 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ สติฟเนสการดัด เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2.....	93
4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของพื้นที่ S2 จากผลทดสอบการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทฤษฎี	94
4.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S3	97
4.50 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้นที่ S3	98
4.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3.....	98
4.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3	99
4.53 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3	100
4.54 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3.....	100
4.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้นที่ S3	105
4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3.....	105
4.57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3.....	106

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S3.....	107
4.59 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้นที่ S3	108
4.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2.....	108
4.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3.....	109
4.62 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3.....	110
4.63 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3.....	110
4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้นที่ S3.....	115
4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ S3	115
4.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงราว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผลและสติฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ S3.....	116
4.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการแอ่นตัว เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3.....	117
4.68 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียด-ความเค้นของเหล็ก เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3.....	117
4.69 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเครียด-ความเค้นของคอนกรีต และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3.....	118
4.70 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายใน โมเมนต์บนหน้าตัด เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	119
4.71 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผล สติฟเนสการดัด เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3...	120
4.72 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของพื้นที่ S3 จากผลทดสอบการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทฤษฎี	121
5.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และจากทฤษฎี	124
5.2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน จากระยะการแอ่นตัวจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และจากทฤษฎี.....	12
5.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎีของพื้นที่คอนกรีตลูกผสม 2 ชั้น และพื้นที่ลูกผสม 3 ชั้น.....	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.4 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ตัดจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และ ทฤษฎี.....	125
5.5 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ตัดจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และ ทฤษฎี.....	126
5.6 แสดงพฤติกรรมตำแหน่งแกนสะเทินจากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาเหล็กเสริมล่าง.....	126



สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 แสดงถึงสภาวะน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน (Service Load) ที่มีผลต่อการคืบด้วยความสัมพันธ์ของหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ของคอนกรีต	7
2.2 แสดงถึงการเปลี่ยนรูปหรือหดตัวแบบอีลาสติก (Elastic Deformation) และการคืบของคอนกรีต (Creep) ตามกาลเวลา	8
2.3 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและการยืดหดตัวภายใต้แรงอัดเพื่อการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของคอนกรีต (รูปภาพจาก ผศ.ดร. มงคล จีรวชิรเดช)	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) กับ เวลา (Age,day).....	10
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress)และความเครียด (Strain) ซึ่งมีความเครียด ณ จุดวิบัติเริ่มต้นที่ 0.003 (รูปภาพจาก ศ.ดร.อมร พิमानมาศ และ ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกัลดี).....	12
2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด (Stress) และความเครียด (Strain) ของชิ้นทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ 28 วัน (รูปภาพจาก ผศ.ดร. มงคล จีรวชิรเดช).....	13
2.7 Secant Modulus of Cross Sectional ACM Plate.....	13
2.8 Secant Modulus of Cross Sectional Concrete(a.) , Steel(b.) and ACM Plate(c.).....	14
2.9 แสดงรายละเอียดของคานทดสอบ.....	14
2.10 แสดงลักษณะการโก่งตัวของพื้นบนขอบรองรับช่วงเดียว(รูปภาพจาก ผศ.ดร. มงคล จีรวชิรเดช) ..	16
2.11 แสดงผลจากการคืบของคอนกรีตที่มีต่อค่าความโค้ง.....	16
2.12 แสดงลักษณะการกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดในสภาวะหลังการร้าวก่อนจะเข้าสู่สภาวะการประลัย (รูปภาพจาก ศ.ดร. อมร พิमानมาศ).....	17
2.13 แสดงลักษณะการกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดในสภาวะเข้าสู่การประลัย (รูปภาพจาก ศ.ดร. อมร พิमानมาศ).....	17
2.14 แสดงผลจากการคืบของคอนกรีตที่มีต่อค่าความโค้ง.....	19
2.15 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบตามกาลเวลา ϵ	20
2.16 ผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มขึ้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต	22
2.17 การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่างๆ	23
3.1 การวัดหาค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test)	25
3.2 แท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา รูปทรงกระบอกมาตรฐาน	26
3.3 ทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา รูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ทดสอบหาโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังอัดประลัย.....	26
3.4 ทำการเติมน้ำยาโพลีเมอร์ผสมคอนกรีตสำหรับการผลิตคอนกรีตโพลีเมอร์ (CLC)	27
3.5 แท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน.....	27

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.6 ทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ทดสอบหาโมดูลัสยืดหยุ่น และกำลังอัดประลัย	28
3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่น ณ อายุคอนกรีตต่างๆ	29
3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก	30
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดประลัยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก	31
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ณ เวลาต่างๆ (เฉลี่ย เพ็ชรสูงเนิน 2548)	31
3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ณ เวลาต่างๆ (เฉลี่ย เพ็ชรสูงเนิน 2548)	32
3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ณ เวลาต่างๆ (เฉลี่ย เพ็ชรสูงเนิน 2548)	32
3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตกับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย	33
3.13 แสดงเหล็กเสริมและแบบหล่อสำหรับทำพื้นตัวอย่างทดสอบ	33
3.14 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ที่เหล็กเสริมก่อนการการหล่อพื้นคอนกรีต	34
3.15 แสดงหน้าตัดในตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ที่เหล็กเสริม	34
3.16 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการยืดหดตัว (Strain Gauge) บนเหล็กเสริม	35
3.17 การหุ้มวัสดุป้องกันความเสียหาย (Coating Material) ของ Strain Gauge	35
3.18 ภาพสมดุลงของโมเมนต์ในพื้นที่คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา-คอนกรีตโพลีเมอร์ลู่ผสม 2 ชั้น	36
3.19 ภาพสมดุลงของโมเมนต์ในพื้นที่คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา-คอนกรีตโพลีเมอร์ลู่ผสม 3 ชั้น	36
3.20 รูปแบบของตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับการทดสอบ	37
3.21 การวัดหาค่ายุบตัวของคอนกรีตในตัวอย่างพื้นทดสอบ (Slump Test)	37
3.22 ทำการเติมน้ำยาโพลีเมอร์ผสมคอนกรีตสำหรับการผลิตคอนกรีตโพลีเมอร์ (CLC)	37
3.23 แท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐานในตัวอย่างพื้นทดสอบ	38
3.24 แท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานในตัวอย่างพื้นทดสอบ	38
3.25 หล่อพื้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	38
3.26 บ่มคอนกรีตในตัวอย่างพื้นสำหรับการทดสอบโดยใช้น้ำยาบ่ม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.27 แสดงแบบจำลองการติดตั้งตัวอย่างพื้นที่จะทำการทดสอบบนจตุรรองรับ	39
3.28 ตัวอย่างพื้นที่จะทำการทดสอบบนจตุรรองรับ	40
3.29 แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดการแอ่นตัว (Dial Gauge).....	40
3.30 แสดงการติดตั้งตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ACI318-89	41
3.31 แสดงการทดสอบแบบจำลองพื้นด้วยน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่นกระจาย	41
4.1 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างพื้นตัวอย่างทดสอบ S1.....	42
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการแอ่นตัว	43
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S1	44
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1 ...	45
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1	46
4.6 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1	47
4.7 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1	47
4.8 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1	48
4.9 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1	48
4.10 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1	49
4.11 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1	49
4.12 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1	50
4.13 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1	50
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S1	51
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1	52
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้น S1	52
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S1 บนโปรแกรมโปรโตไทป์	53

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S1 53
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S155
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S1 ... 56
4.21	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1 57
4.22	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1 57
4.23	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1 58
4.24	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1 58
4.25	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1 59
4.26	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1 59
4.27	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1 60
4.28	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1 60
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2 61
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้น S1 62
4.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้น S1 62
4.32	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1 63
4.33	กราฟการเปรียบเทียบค่าความเครียดของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1 64
4.34	กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1 64
4.35	กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเครียดของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้าที่

4.36 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเค้นของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1	65
4.37 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) จากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1	66
4.38 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์ดัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1.....	66
4.39 กราฟการเปรียบเทียบค่าสติเฟนสการดัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1.....	67
4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S1	68
4.41 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะการแอ่นตัว การทดสอบ โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎี.....	68
4.42 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างพื้นตัวอย่างทดสอบ S2	69
4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S2.....	70
4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S2.....	71
4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่S2 ..	72
4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่S2	73
4.47 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2.....	74
4.48 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2.....	74
4.49 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2.....	75
4.50 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2.....	75
4.51 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2.....	76
4.52 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2.....	76
4.53 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2.....	77
4.54 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2.....	77

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด ($C=T$) ในพื้น S2.....	78
4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้น S2.....	79
4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้น S2.....	79
4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้น S2.....	80
4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S2.....	81
4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S2.....	82
4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S2.....	83
4.62 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2.....	84
4.63 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2.....	84
4.64 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2.....	85
4.65 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2.....	85
4.66 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2.....	86
4.67 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2.....	86
4.68 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2.....	87
4.69 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2.....	87
4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด ($C=T$) ในพื้น S2.....	88
4.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้น S2.....	89
4.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้น S2.....	89
4.73 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2.....	90
4.74 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเครียดของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.75 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2	91
4.76 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเครียดของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2	92
4.77 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเค้นของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2	92
4.78 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในบนหน้าตัด ($C=T$) จากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2	93
4.79 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์ตัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2.....	93
4.80 กราฟการเปรียบเทียบค่าสติฟเนสการตัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2.....	94
4.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S2	95
4.82 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะการแอ่นตัว การทดสอบ โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎี.....	95
4.83 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างพื้นตัวอย่างทดสอบ S3	96
4.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S3	97
4.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S3.....	98
4.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3 ..	99
4.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3	100
4.88 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3.....	101
4.89 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3.....	101
4.90 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3.....	102
4.91 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3.....	102
4.92 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S3.....	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้าที่

4.93	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S3.....	103
4.94	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3.....	104
4.95	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3.....	104
4.96	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S3.....	105
4.97	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้น S3.....	106
4.98	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้น S3....	106
4.99	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการแอ่นตัวของพื้น S3.....	107
4.100	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S3.....	108
4.101	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S3	109
4.102	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S3.....	110
4.103	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3.....	111
4.104	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3.....	111
4.105	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3.....	112
4.106	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3.....	112
4.107	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S3.....	113
4.108	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S3.....	113
4.109	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3.....	114
4.110	กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3.....	114
4.111	กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S3.....	115

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.112 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3	116
4.113 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3..	116
4.114 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการอ่อนตัวจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	117
4.115 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเครียดของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	118
4.116 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	118
4.117 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะความเครียดของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3.....	119
4.118 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะความเค้นของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	119
4.119 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) จากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3.....	120
4.120 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์ดัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	120
4.121 กราฟการเปรียบเทียบค่าสติเฟนสการดัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3	121
4.122 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะเวลาการอ่อนตัวในพื้นที่ S3.....	122
4.123 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะเวลาการอ่อนตัว การทดสอบ โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎี	122
5.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการอ่อนตัวจากการทดสอบของพื้นที่ทดสอบทั้ง 3 ผืน	123
5.2 แสดงการเปรียบเทียบสติเฟนสการดัดของพื้นที่ทดสอบทั้ง 3 ผืน	123
5.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการอ่อนตัวจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และกับทฤษฎี.....	124
5.4 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน จากระยะการอ่อนตัว.....	125
5.5 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในบนหน้าตัด.....	125
5.6 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ดัด	126
5.7 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งแนวแกนสะเทิน	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้มีการใช้คอนกรีต และเหล็กเสริมที่มีกำลังสูง เช่น การออกแบบคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีหน้าตัดที่ได้รับการออกแบบมีความลึกที่น้อยลง และยังเป็น การลดปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด แต่ในการออกแบบคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กจะยังไม่สมบูรณ์จนกว่าจะผ่านสองหลักเกณฑ์คือการตรวจสอบกำลัง และความสามารถในการใช้งานที่ประกอบด้วย การตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ดัด แรงเฉือนรวมถึงกำลังรับโมเมนต์บิด ส่วนการตรวจสอบความสามารถในการใช้งานคือการแอ่นตัว การแตกร้าว การสั่นสะเทือนและอื่นๆ โดยส่วนมากการตรวจสอบความสามารถในการใช้งานมีความสำคัญที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการแอ่นตัว เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับแรงปกติกระทำเป็นเวลานาน จากนั้นหนักบรรทุกคงที่ เช่น น้ำหนักคาน พื้น เสา และผนัง หรือน้ำหนักบรรทุกจรถาวร คอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือแกนสะเทิน ซึ่งรับหน่วยแรงอัดจะเกิดการคืบ และเกิดการหดตัวของไฟเบอร์ต่างๆซึ่งมีผลทำให้ความโค้งของชิ้นส่วนที่คานหรือพื้นเพิ่มขึ้น และคานหรือพื้นเกิดการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นจากการแอ่นตัวทันที เมื่อคานหรือพื้นมีแรงปกติกระทำการแอ่นตัวทันที รวมกับการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการคืบในคอนกรีต เรียกว่าการแอ่นตัวระยะยาว ผลของการคืบทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง ซึ่งค่าโมดูลัสยืดหยุ่นนี้มีค่าน้อยกว่าที่ใช้ในการออกแบบ ถึงแม้ว่าการคืบที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักใช้งานทั่วไป จะไม่ลดกำลังขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีผลต่อพฤติกรรม เนื่องจากการคืบขึ้นอยู่กับเวลาดังนั้นการแอ่นตัวสุดท้ายของคานหรือพื้น อาจจะมีมากกว่าการแอ่นตัวทันทีสองถึงสามเท่า ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงการแอ่นตัวสุดท้ายนี้ไม่ว่าจะเป็นในคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรง จะต้องตรวจสอบโครงสร้างยังคงใช้งานได้ และการแอ่นตัวสุดท้ายต้องน้อยกว่าค่าที่ยอมให้

จากการวิจัยที่ผ่านมา โดยส่วนใหญ่ได้ทำการทดสอบและทำการวิเคราะห์คานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงที่ในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ และน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด พบว่าระยะแอ่นตัวที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับระยะแอ่นตัว ที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกันดี จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตต้องใช้เวลาลดลองระยะยาว แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ลดระยะเวลาการทดสอบที่น้อยลง เพื่อศึกษาผลการคืบและการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เนื่องจากคอนกรีตโพลีเมอร์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่กำลังอัดเท่ากัน โดยเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่รับน้ำหนักกระทำมาเป็นเวลานาน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ผล โดยใช้ทฤษฎีการคืบและการวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวของคอนกรีต เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงและสามารถทำนายการแอ่นตัวของคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการหาสัดส่วน ส่วนผสมในคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ได้อย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้ถูกจัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการคืบสำหรับใช้ทำนายโมดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลงภายใต้น้ำหนักคงค้างที่กำลังอัด 180 กก./ซม.² โดยใช้น้ำหนักคงค้างที่ระดับแตกต่างกันของน้ำหนักประลัยในคอนกรีต
2. เพื่อศึกษาหาการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นเมื่อพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น เนื่องจากผลการคืบ โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาปกคลุมเหล็กเสริมรับแรงดึงและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ใช้รับแรงอัด
3. เพื่อศึกษาหาวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น เนื่องจากการคืบ โดยใช้คอนกรีตโฟมซีเมนต์ที่กำลังรับแรงอัดเทียบเท่ากันแต่มีหน่วยน้ำหนักที่แตกต่างกัน
4. เพื่อศึกษาหาแนวทางเบื้องต้นในการพัฒนาแบบจำลองทำนายการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดากับคอนกรีตโฟมซีเมนต์ภายในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. เพื่อศึกษาความสอดคล้องของการแอ่นตัว ของพื้นคอนกรีตน้ำหนักปกติเสริมเหล็ก กับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์
6. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมคอนกรีตโฟมซีเมนต์ อันได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และปริมาณโฟมในอัตราส่วนเหมาะสมของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด รวมถึงความสอดคล้องกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาในครั้งนี้ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาผลการคืบ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างที่ 25% และ 50% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยของคอนกรีต
2. ค่าการแอ่นตัวที่ได้จากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดากับคอนกรีตโฟมซีเมนต์ เป็นค่าการแอ่นตัวระยะยาวที่เกิดขึ้น
3. ศึกษาสัดส่วนและส่วนผสมระหว่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดากับคอนกรีตโฟมซีเมนต์ที่หน่วยน้ำหนักแตกต่างกัน แต่มีกำลังอัดเทียบเท่ากัน
4. พิจารณาแต่พื้นคอนกรีตที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและมีจุดรองรับแบบธรรมดา
5. พิจารณาแต่ผลของน้ำหนักกระทำแบบสถิต
6. ใช้เหล็กเสริมตามความยาวมาตรฐาน SR24
7. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในแบบจำลอง $f_c' = 180$ กก./ซม.² และกำลังจุดครากของเหล็กเสริมรับแรงดึง คือ $f_y = 2400$ กก./ซม.²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษานี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แรงภายในหน้าตัดใดๆของพื้นจะต้องสมดุลกับแรงที่มากระทำ
2. หน้าตัดของพื้นทั้งก่อนและในขณะที่รับแรงกระทำบนพื้นยังคงเป็นระนาบ
3. วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎของฮุก นั่นคือหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัว มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรง
4. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
5. คิดกำลังต้านทางแรงดึงของคอนกรีตได้แนวแกนสะเทินที่ 10% ของกำลังรับแรงอัด
6. หน่วยแรงและความเครียดที่อยู่ภายใต้การเปลี่ยนรูปเนื่องจากการคืบยังคงเป็นเชิงเส้น
7. พิจารณาแต่ผลการคืบของคอนกรีต

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาตามขั้นตอนต่างๆที่ได้วางไว้ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาพฤติกรรมและสมมติฐานต่างๆ รวมถึงรายงานการวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นความรู้พื้นฐาน และแนวทางในการทำวิจัย
2. เตรียมการทดสอบโดยมีการควบคุมให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน
3. ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์
4. ทำการผสมและเก็บตัวอย่างของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับหลักทฤษฎีและการคำนวณที่ได้ออกแบบไว้
5. ทำการทดสอบพื้นตัวอย่างพร้อมเก็บข้อมูลการทดสอบ
6. ทำการสร้างแบบจำลองพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เสมือนการทดสอบจริงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ศึกษาพฤติกรรมของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เปรียบเทียบกับผลทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการและกับทางทฤษฎี
7. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์
8. สรุปผลการทดสอบพร้อมอธิบายลักษณะการวิจัยที่เกิดขึ้น
9. จัดทำบทสรุปและรายงานผลการทดสอบพร้อมทั้งข้อเสนอแนะ

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษาวิจัย

1. เนื่องจากทุนการวิจัยและงบประมาณของผู้วิจัยที่มีจำกัด อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่มีราคาแพงและเครื่องมือบางอย่างเป็นเครื่องมือเฉพาะทาง
2. การเคลื่อนย้ายตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากชิ้นงานมีน้ำหนักค่อนข้างมากทำให้ต้องเพิ่มความปลอดภัยในการยกชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อการศึกษาครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์แล้ว ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจะมีดังต่อไปนี้

1. ทำให้สามารถทำนายการแอ่นตัวเนื่องจากการคืบของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีการลดค่าโมดูลัสของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่อยู่ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง 25% และ 50% ของน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคอนกรีต

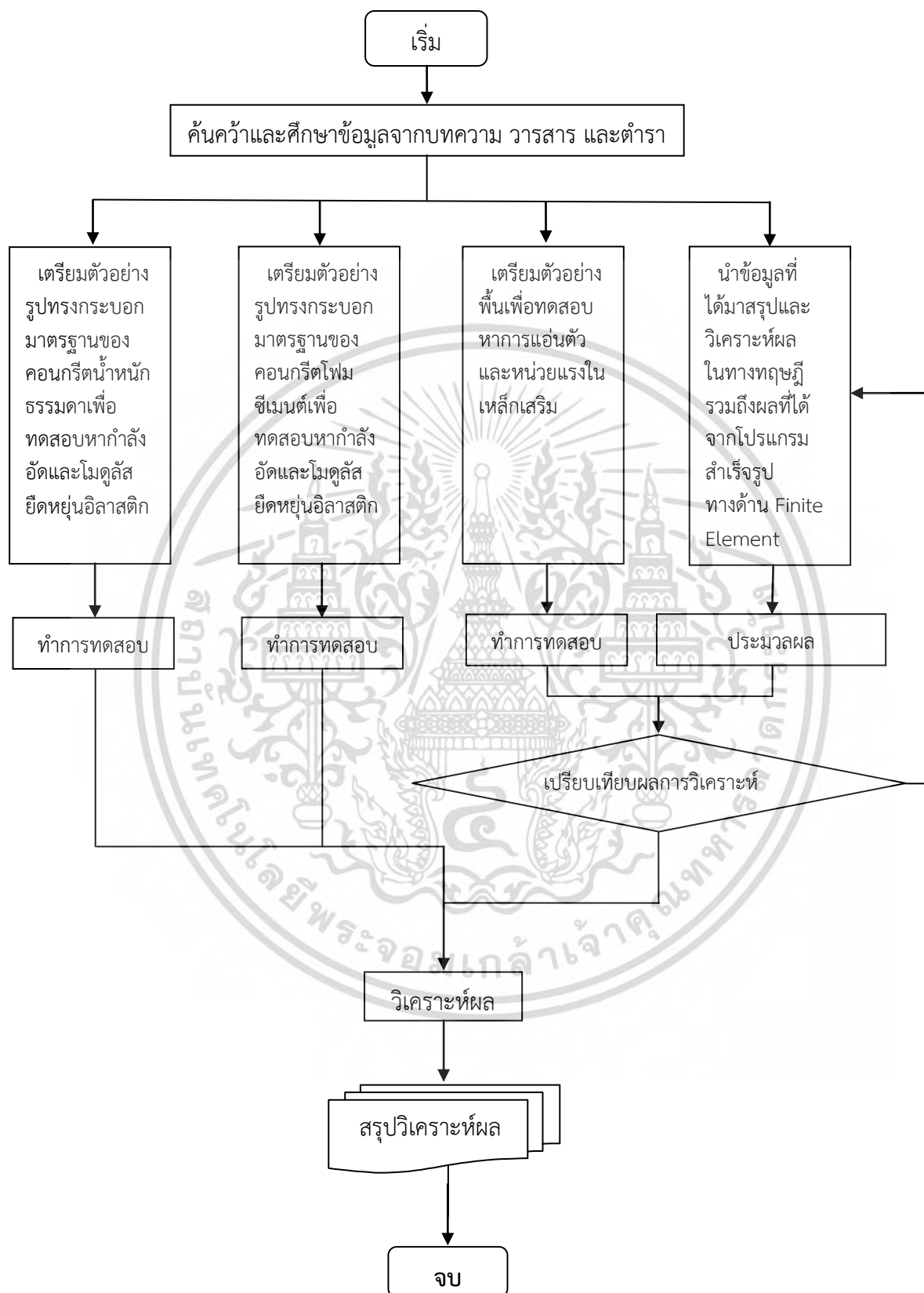
2. ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3. ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นระหว่างแบบจำลอง พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เป็นพื้นลูกผสม 2 ชั้น และพื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เป็นพื้นลูกผสม 3 ชั้น เมื่อทำการทดสอบจะได้การแอ่นตัวถูกต้องตามทฤษฎีหรือผลจากการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์หรือไม่

4. ทำให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อแบบจำลองที่ใช้ใน พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เป็นพื้นลูกผสม 2 ชั้น และพื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เป็นพื้นลูกผสม 3 ชั้น



แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเสีรูปตามกาลเวลาของคอนกรีต

การเสีรูป (Deformation) และการแอ่นตัว (Deflection) ของชิ้นส่วนคอนกรีต สามารถพิจารณาได้จากพฤติกรรมของหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุที่เป็นสัดส่วนโดยตรงที่มีวัสดุต่างๆเป็นส่วนประกอบ การเสีรูปที่เกิดขึ้นประกอบด้วย ความเครียดจากการหดตัว (Shrinkage Strain) จะเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนกับอากาศเป็นผลทำให้ผิวหน้าแห้ง ส่วนความเครียดยืดหยุ่นเริ่มต้น (Initial Elastic Strain) เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำหนักมากระทำเริ่มแรก และความเครียดจากการคืบ (Creep Strain) เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างตลอดเวลา

การคืบ (Creep) เป็นที่ทราบกันดีว่า เมื่อมีความเครียดเพิ่มขึ้นภายในวัสดุภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างตลอดเวลา การเสีรูปจะเริ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเรียกว่าความเครียดยืดหยุ่น (Elastic Strain) ในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้นหรือการเสีรูปที่ขึ้นอยู่กับเวลาเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้างเรียกว่า ความเครียดจากการคืบ (Creep Strain) การคืบไม่สามารถหาได้โดยตรงนอกจากจะใช้วิธีลบค่าความเครียดยืดหยุ่น และความเครียดจากการหดตัว (Shrinkage Strain) ออกจากการเสีรูปทั้งหมด (Total Deformation) ถึงแม้ว่าการหดตัว (Shrinkage) และการคืบ (Creep) จะเป็นพฤติกรรมที่ไม่ขึ้นแก่กันก็ตาม แต่ก็สามารถรวมความเครียดตามกาลเวลาเข้าด้วยกัน (Time-dependent Deformation)

2.2 การคืบของคอนกรีต

โดยส่วนใหญ่แล้วคอนกรีตในสภาพใช้งานอาจมีการเสีรูปตามกาลเวลา โดยมีสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1.) การเสีรูปที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก (Load Dependent Deformation) ซึ่งได้แก่ การคืบ (Creep)

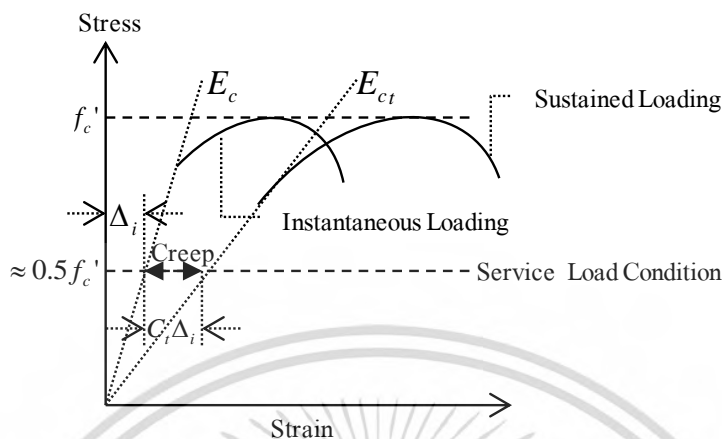
2.) การเสีรูปที่ไม่ขึ้นกับน้ำหนักบรรทุก (Load Independent Deformation) ซึ่งได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการเสีรูปตามกาลเวลาเนื่องจากการคืบเท่านั้น

การคืบของคอนกรีต คือ การเสีรูปของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกดบรรทุกที่คงค้างกระทำไว้เป็นเวลานาน โดยมีข้อสันนิษฐานว่าการคืบของคอนกรีตเกิดจากการหดตัวของช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต การไหลหนืดของซีเมนต์เฟลส การไหลของผลึกในวัสดุผสม และการซึมของน้ำจากซีเมนต์เจล คือเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกหรือแรงภายนอกกระทำต่อคอนกรีต การเสีรูปเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การเสีรูปที่เกิดขึ้นทันที และการเสีรูปที่ขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นทันที และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่ลดลงตลอดเวลาที่คอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงอัดที่กระทำ โดยการเสีรูปทั้งหมดจะมีค่าประมาณ 1.5 ถึง 4 เท่า ของการเสีรูปที่เกิดขึ้นทันที อนึ่ง เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกหรือแรงอัดที่กระทำซึ่งจะทำให้หน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าไม่เกิน $0.5f_c'$ การคืบของคอนกรีตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของน้ำหนักบรรทุกหรือแรงอัดที่กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงความสัมพันธ์เมื่อการคืบของคอนกรีตลดลงกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะสูงขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงถึงสถานะน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน (Service Load) ที่มีผลต่อการคืบด้วยความสัมพันธ์ของหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ของคอนกรีต

กลไกของการคืบแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

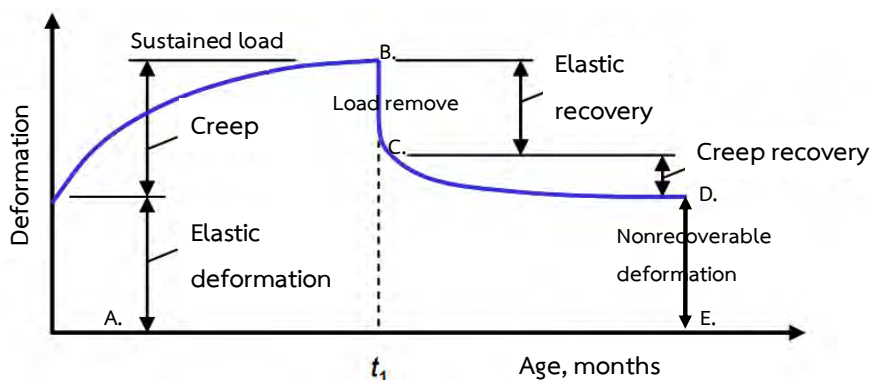
1. การคืบพื้นฐาน (Basic Creep) คือการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นภายใต้กำลังอัดที่คงที่ ซึ่งปราศจากการสูญเสียความชื้น
2. การคืบแห้ง (Drying Creep) ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการสูญเสียความชื้นภายในเนื้อคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและขนาดรูปร่างของชิ้นส่วน

ปัจจัยที่มีผลต่อการคืบของคอนกรีต ขนาดของแรงที่กระทำ อายุและกำลังคอนกรีตเมื่อได้รับแรงกระทำ รวมถึงระยะเวลาที่คอนกรีตรับแรง ซึ่งการคืบยังมีผลมาจากปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของคอนกรีตและสถานะที่ส่งผลกระทบ อย่างเช่น ปริมาณหรือประเภทของขนาดใหญสุดของมวลรวม ชนิดของซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์เพลส รูปร่างและขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีต อัตราส่วนระหว่างปริมาณพื้นผิวของชิ้นส่วนคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม สภาพการบ่ม อุณหภูมิและความชื้น

2.2.1 การคืนกลับของการคืบในคอนกรีต

พฤติกรรมการคืบของคอนกรีต มีความสัมพันธ์ระหว่างการเสีรูปร่างหรือกล่าวถึงระยะการหดตัวของคอนกรีตกับระยะเวลาที่น้ำหนักบรรทุกคงค้างกระทำ ดังรูปที่ 2.2 แสดงผลของการคืบโดยการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของการหดตัวของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานภายใต้แรงอัดที่กระทำ จะเห็นว่าหลังจากการหดตัวเบื้องต้น การคืบจะเริ่มขึ้นทันทีในปริมาณค่อนข้างมากในช่วงแรก จากนั้นจะลดลงมาเรื่อยๆ ประมาณร้อยละ 75 ของการคืบซึ่งจะเกิดขึ้นในปีแรก และจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆจนสิ้นสุดที่ประมาณสิ้นปีที่ 3-4 ถ้าเอาแรงที่กระทำออก (เส้นประBC) จะเกิดการยืดตัวกลับแบบอีลาสติกตามด้วยการยืดตัวกลับจากการคืบ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมี การหดตัวแบบถาวรคงอยู่ สังเกตได้จากระยะระหว่างจุด D กับ จุด E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงถึงการเปลี่ยนรูปหรือหดตัวแบบอีลาสติก (Elastic Deformation) และการคืบของคอนกรีต (Creep) ตามกาลเวลา

เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน (2548) ได้ทำการศึกษาการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีและการแอ่นตัวระยะยาวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เข็มมวลรวมหยาบจากคอนกรีต ที่ถูกทำลายภายใต้น้ำหนักคงค้างมวลรวมหยาบจากคอนกรีต ซึ่งได้จากการที่นำเอาคานคอนกรีตที่มีกำลังอัด $200 \pm 10\%$ กก./ตร.ซม. และ $400 \pm 10\%$ กก./ตร.ซม. มาย่อยให้เล็กลง จากนั้นนำเข้าเครื่องแยกขนาดคละเพื่อเลือกส่วนที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4[#], $\frac{3}{8}$ " และ $\frac{1}{2}$ " คานที่ใช้ในการทดสอบการแอ่นตัวมีขนาด 10x10x150 ซม. โดยคานคอนกรีตเสริมเหล็กนี้เสริมด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 1 เส้น และถูกบ่มด้วยการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน น้ำหนักคงค้างที่ใช้มี 2 ระดับ คือ 40% และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย จากการศึกษาพบว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เข็มมวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลาย มีค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นโดยทันทีและการโก่งตัวในระยะยาวมากกว่าคานคอนกรีตที่เข็มมวลรวมหยาบจากหินธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการโก่งตัวที่เกิดขึ้นโดยทันทีจะมีค่าความแตกต่างอย่างมาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการลดลงของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่เข็มมวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลาย และการเปลี่ยนแปลงค่าของการคืบ

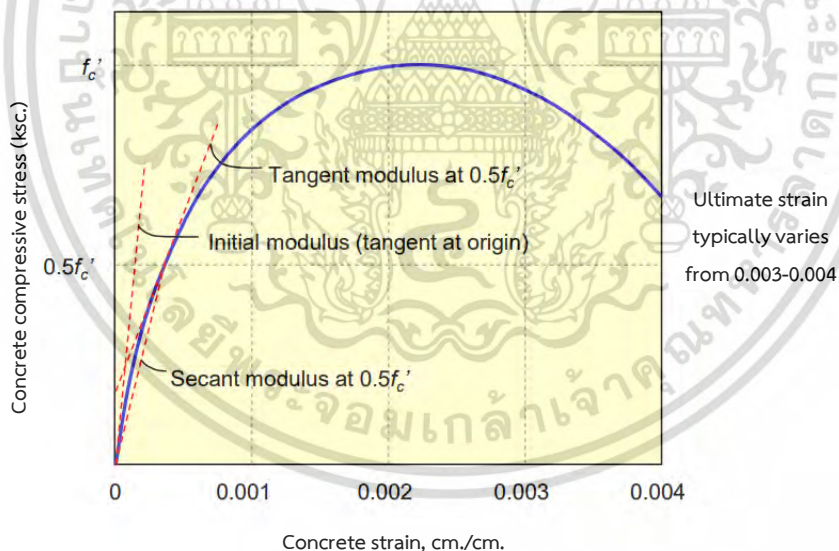
ถึงแม้ว่าการคืบที่เกิดขึ้นภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานทั่วไปจะไม่ลดกำลังขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีผลต่อพฤติกรรม เพราะเนื่องจากการคืบขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้นการแอ่นตัวสุดท้ายของแผ่นพื้นจะมากกว่าการแอ่นตัวเบื้องต้นประมาณ 2-3 เท่า ส่วนในคอนกรีตอัดแรง เมื่อเกิดการคืบขึ้นในองค์อาคาร จะส่งผลให้เกิดการเสื่อมลดของแรงอัดเป็นผลให้องค์อาคารเกิดการแตกร้าวและแอ่นตัวมากขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน และเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงอัดคงที่เมื่อการคืบในคอนกรีตเกิดขึ้น เหล็กเสริมซึ่งยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีตก็จะหดตัวลงตามไปด้วยส่งผลให้การรับแรงดึงที่เหล็กเสริมต้องรับแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับเนื้อคอนกรีตที่น้อยลง เนื่องจากการคืบที่เกิดขึ้น

2.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

2.3.1 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต E_c เป็นตัวบ่งบอกหรือแสดงถึงความต้านทานการเสียรูป (Deformation) ของคอนกรีตมีน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกดอัดที่กระทำ พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าแปรเปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตลอดจนขนาดและระยะเวลาที่รับน้ำหนักบรรทุก เพราะเมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกในสภาวะการใช้งานและกระทำในช่วงระยะเวลาสั้นๆ อาจสมมติว่าคอนกรีตเป็นวัสดุยืดหยุ่น (Elastic Material) โดยมีความเครียดยืดหยุ่น (Elastic Strain) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงอัดที่กระทำ แต่เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกคงค้างเป็นเวลานาน (Long-term Loading) ต้องพิจารณารวมผลของความเครียดเนื่องจากการคืบ (Creep Strain) ด้วยเพราะโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจะลดน้อยลงตามลำดับ ทำให้คอนกรีตเกิดการเสียรูปมากขึ้น ทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรถึงแม้จะปลดหรือปลดแรงที่กระทำแล้ว

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งโดยทั่วไปเส้นสัมพันธ์นี้มีลักษณะเป็นรูปโค้งพาราโบลา ดังรูปที่ 2.4 สามารถหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตได้ 3 วิธีการดังนี้ ซึ่งสำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบซีแคนท์โมดูลัส (Secant Modulus)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและการยืดหดตัวภายใต้แรงอัดเพื่อการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของคอนกรีต (รูปภาพจาก ผศ.ดร. มงคล จิรวัชระเดช)

1. Initial Tangent Modulus คิดคำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัส ซึ่งได้จากการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นให้สัมผัสกับเส้นความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวที่จุดเริ่มต้นนั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าที่สมมติว่าคอนกรีตเป็นเสมือนวัสดุยืดหยุ่น (Elastic) เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเหล็ก โดยคิดว่าไม่มีการเสียรูปอย่างถาวรเมื่อลดน้ำหนักบรรทุกหรือเอาแรงกระทำออก นั่นคือไม่คิดการหดตัวแบบพลาสติกหรือการคืบในคอนกรีต

2. Secant Modulus คิดคำนวณจากความลาดเส้นเอียงของเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้นกับจุดใดๆ ที่ต้องการหา ซึ่งจะพิจารณาจากจุดที่ซึ่งมีหน่วยแรงอัดเท่ากับ 40% ถึง 50% ของหน่วยแรงอัดสูงสุด บนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีต มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. ถือว่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แท้จริงของคอนกรีตในช่วงใช้งาน เพราะเป็นค่าที่ได้อ้อมถึงการหดตัวแบบพลาสติกหรือการคืบของคอนกรีต

3. Tangent Modulus คิดคำนวณจากความลาดเอียงของเส้นที่ลากสัมผัสจุดใดๆ บนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีต ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าที่แท้จริงของคอนกรีตทุกระดับของหน่วยแรงอัด

มาตรฐาน ACI หรือ วสท. กำหนดสูตรสำหรับการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโดยให้ขึ้นกับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตามสมการ (2.2)

$$E_c = w_c^{1.5} 4,270 \sqrt{f_c'} \quad \text{กก./ซม.}^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต กก./ซม.²

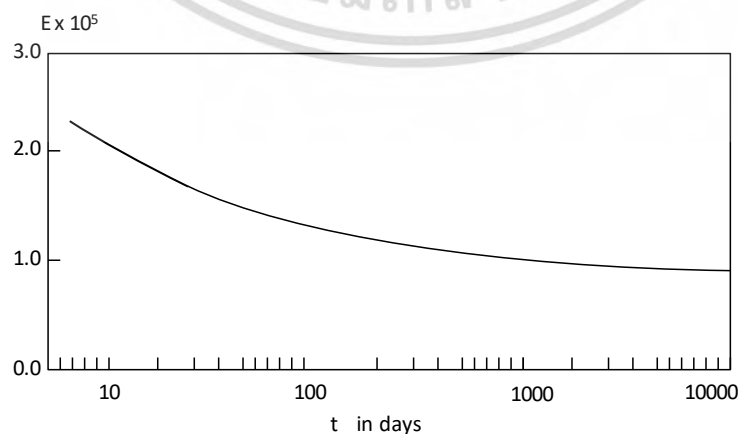
w_c = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตัน/ม.³

f_c' = กำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่อ 28 วัน กก./ซม.²

สำหรับค่าของ w_c ระหว่าง 1.45 และ 2.48 ตัน/ลบ.ม. สำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติหน่วยน้ำหนัก 2.32 ตัน/ม.³ ACI แนะนำให้ใช้ $E_c = 15,100 \sqrt{f_c'} \quad \text{กก./ซม.}^2$

2.3.2 การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการคืบของคอนกรีต

การคาดคะเนการคืบของคอนกรีต ณ ที่เวลาใดๆ อาจพิจารณาได้จากสมการที่ 2.3 ซึ่งเป็นสมการของค่าสัมประสิทธิ์การคืบที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Creep Coefficient) โดย Branson ได้ทำการเสนอไว้สำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวไม่เกิน 10 ซม. ความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยได้รับการบ่มชื้นและรับน้ำหนักบรรทุกหลังจากที่หล่อคอนกรีตเสร็จแล้ว 7 วัน



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) กับ เวลา (Age, day)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตเห็นไปไซ้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เวลาต่างๆจะใช้สมการอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 209R-92

$$E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1 + \phi(t)} \quad \text{กก./ชม.}^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ E_{ce} = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ณ เวลา t

E_{ci} = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำปกติ

ที่ใช้ในการบ่ม 28 วัน

ϕ = สัมประสิทธิ์การคืบ

สมการที่อ้างอิงโดย ACI-209(1992)

$$\phi(t) = \phi_{\infty}(t) \frac{(t-t_0)^{0.6}}{10 + (t-t_0)^{0.6}} \quad (2.3)$$

โดยที่ $\phi(t)$ = สัมประสิทธิ์การคืบ ณ เวลา t

$$\phi_{\infty}(t) = C_u K_a K_h K_{th} K_s K_f K_e$$

C_u = สัมประสิทธิ์การคืบสูงสุด มีค่าระหว่าง 1.30 ถึง 4.15 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.35

K_a = สัมประสิทธิ์ด้านอายุเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ

$K_a = 1.25t_i^{-0.118}$ สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยความชื้น.

$K_a = 1.13t_i^{-0.095}$ สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ

t_i = อายุของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำครั้งแรก (วัน)

เมื่อ $K_a = 1.00, 0.95, 0.83$ และ 0.74 สำหรับการบ่มด้วยความชื้นเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ 7, 10, 30 และ 90 วัน ตามลำดับ

$K_a = 1.00, 0.90, 0.82$ และ 0.74 สำหรับการบ่มด้วยไอน้ำเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ 3, 10, 30 และ 90 วัน ตามลำดับ

K_h = สัมประสิทธิ์ด้านความชื้นสัมพัทธ์

$K_h = 1.27 - 0.0067H$ เมื่อ $H > 40\%$, $H = 1$

เมื่อ H คือความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์

เมื่อ $K_h = 1.00, 0.87, 0.73$ และ 0.60 สำหรับ $\leq 40, 60, 80$ และ 100% ของความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น

K_{th} = สัมประสิทธิ์ของความหนาที่น้อยที่สุดของชั้นส่วน

$K_{th} = 1.00$ สำหรับ 6 นิ้ว หรือน้อยกว่า และ 0.90 สำหรับ 12 นิ้ว

K_s = สัมประสิทธิ์ของการยุบตัว

$K_s = 0.82 + 0.00264S_f$

เมื่อ S_f = ค่าการยุบตัวของคอนกรีตในหน่วย มม.

$K_s = 0.95$ สำหรับ 2 นิ้ว, 1.00 สำหรับ 2.7 นิ้ว, 1.02 สำหรับ 3 นิ้ว, 1.09

สำหรับ 4 นิ้ว และ 1.16 สำหรับ 5 นิ้วของค่าการยุบตัว

K_f = สัมประสิทธิ์ความละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_f = 0.88 + 0.0024\rho_a$$

เมื่อ ρ_a = อัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบ

$K_f = 0.95$ สำหรับ 30% , 1.00 สำหรับ 50% และ 1.05 สำหรับ 70% โดยน้ำหนัก

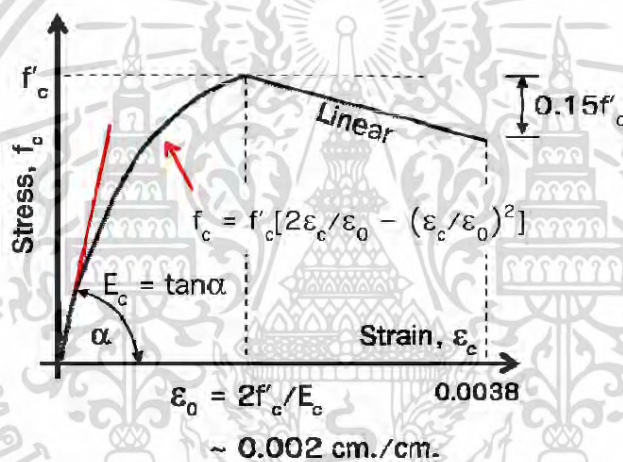
K_e = สัมประสิทธิ์ของปริมาณอากาศ

$K_e = 0.46 + 0.09a$ เมื่อ a = เปอร์เซนต์ปริมาณอากาศ

$K_f = 1.00$ สำหรับ 6% , 1.09 สำหรับ 7% และ 1.17 สำหรับ 8% ปริมาณอากาศ

2.4 ความเค้นและความเครียดของคอนกรีต

สถานะของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบมีความเค้นในทิศทางเดียวเท่านั้น คือ ความเค้นมีแกนเดียว เพราะว่าสถานการณ์เกี่ยวกับโครงสร้างส่วนใหญ่ในคอนกรีตนั้นความเค้นมีทิศทางจำนวนมากมาย แต่อยู่ในสมมติฐานของโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาให้คอนกรีตมีสถานะความเค้นเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.5



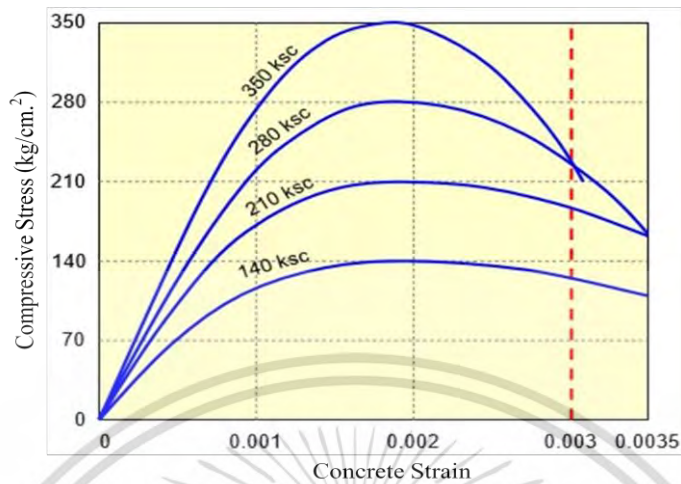
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ซึ่งมีความเครียด ณ จุดวิบัติเริ่มต้นที่ 0.003 (รูปภาพจาก ศ.ดร.อมร พิมาณมาศ และ ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยก๊อต)

รูปที่ 2.6 แสดงเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของคอนกรีตที่ให้แรงกระทำตามแนวแกน โดยทั่วไปจะเป็นผลที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตรูปกระบอกตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงกระทำตามแนวแกนไม่เท่ากัน การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะปฏิบัติอย่างละเอียด เส้นโค้งพาราโบลาตีกรี 2 อย่างกว้างที่ได้เกือบจะเป็นเส้นตรงจนถึงประมาณครึ่งหนึ่งของกำลังรับแรงอัด จากนั้นเส้นโค้งจะค่อยๆ ลดลง โดยที่ยอดของเส้นโค้งของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยที่ค่อนข้างสูงจะมียอดเป็นลักษณะแหลม ในทางกลับกันถ้าคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดประลัยที่ค่อนข้างต่ำเส้นโค้งที่ได้จะมีลักษณะยอดที่ค่อนข้างแบน

ความเครียดที่ค่าความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 0.002 หลังจากค่าความเค้นสูงสุดของคอนกรีตแล้ว คอนกรีตยังสามารถทนทานอยู่ได้แม้ว่าจะเกิดรอยร้าวขนานกับทิศทางที่แรงกระทำกับคอนกรีต และการวิบัติของคอนกรีตจะอยู่ที่ความเครียดประมาณ 0.003-0.004 ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตกับเครื่องทดสอบนี้อาจจะล้มเหลว หากอัตราเพิ่มแรงกระทำเร็วเกินไปจนเกิดการระเบิดขึ้นก่อน เพราะ

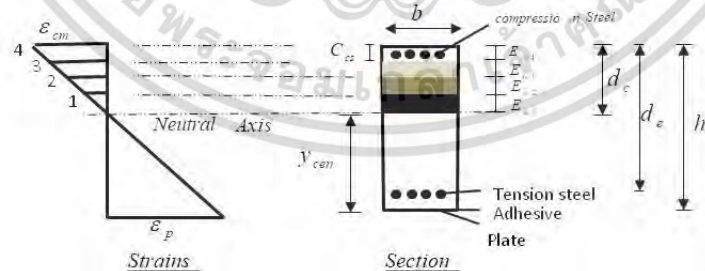
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตไม่สามารถพลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือทดสอบได้ทัน ดังนั้นแล้วการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจำเป็นต้องทำการทดสอบในกฎเกณฑ์ของมาตรฐานการทดสอบ



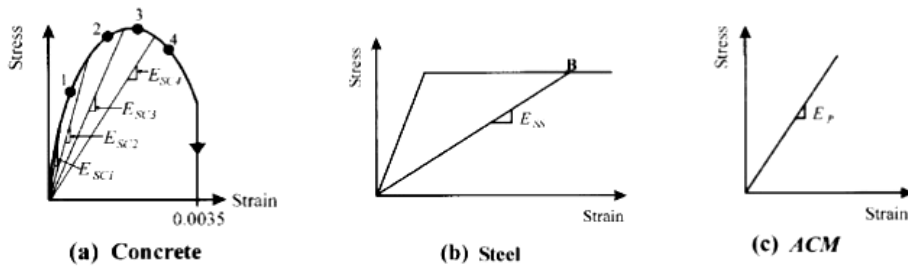
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด (Stress) และความเครียด (Strain) ของชิ้นทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ 28 วัน (รูปภาพจาก ผศ.ดร. มงคล จิรวีจรเดช)

Sebastian W.M. (2003) ทำการศึกษา ACM Plate (Adhesive Bonding of Plates of Advanced Composite Materials) โดยใช้หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างประกอบแบ่งชิ้นส่วนเล็กๆ เนื่องจากแต่ละชั้นของวัสดุนั้นไม่เหมือนกัน และทำการวิเคราะห์ Neutral Axis ของ ACM Plate โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีหลายค่ามาวิเคราะห์ รวมถึงการวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress) และ ค่าความเครียด (Strain) ของโครงสร้างประกอบนี้ จากการวิจัยพบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกันจะทำให้ค่าความเค้น (Stress) และ ค่าความเครียด (Strain) แตกต่างกันด้วย ดังนั้นแล้ววัสดุประกอบที่หลากหลายจึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกันด้วย



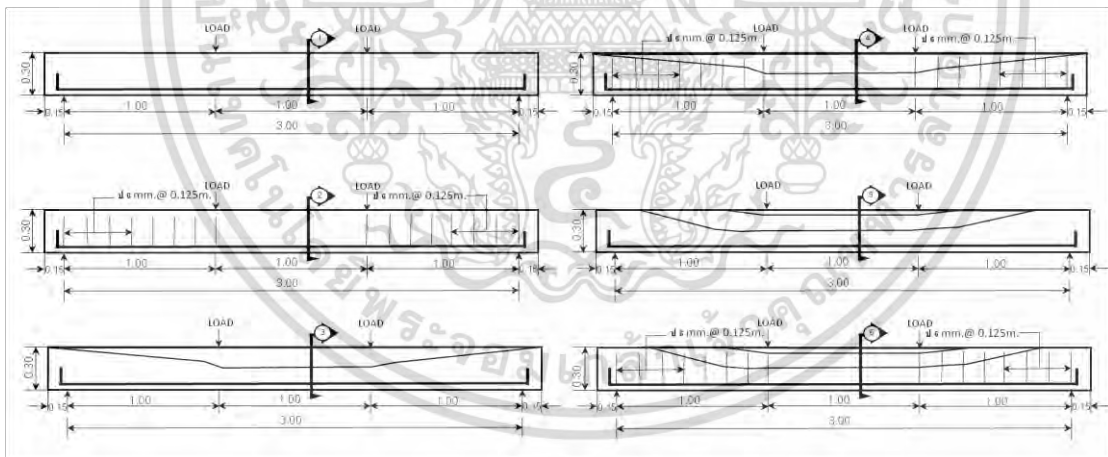
รูปที่ 2.7 Secant Modulus of Cross Sectional ACM Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Secant Modulus of Cross Sectional Concrete(a.) , Steel(b.) and ACM Plate(c.)

อมสิน คำหริห์ (2553) ได้ทำการศึกษาการทำนายการแอนตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตมวลเบา เนื่องจากคอนกรีตมวลเบา มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่า คอนกรีตมวลธรรมดาที่กำลังอัดเท่ากัน โดยเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่รับน้ำหนักบรรทุกกระทำมาเป็นเวลานาน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีการคืบและการวิเคราะห์หาค่าการแอนตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก จากการทดสอบพบว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี ค่าการแอนตัวจากผลการทดสอบมีค่าน้อยกว่าตามทฤษฎี 25% - 76% และคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี ค่าการแอนตัวจากผลการทดสอบมีค่าน้อยกว่าตามทฤษฎี 18% - 42% เพราะว่าคอนกรีตมีค่าความเค้นอัดน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ ดังนั้นคานจึงมีการแอนตัวน้อยกว่าทางทฤษฎี อีกทั้งการเสริมเหล็กถูกตั้งทำให้ค่าการแอนตัวของคาน 2 ชั้น ลดลง 29% และของคาน 3 ชั้น ลดลง 13% - 17%



รูปที่ 2.9 แสดงرابระเอียดของคานทดสอบ

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลผลการทดสอบระยะการแอนตัวโดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทางทฤษฎี

ชื่อคาน	B1	B1S	B1S	B2L	B2L-S	B3L	B3L-S	B3L-S
ค้ำนวน (มม.)	7.39	7.39	7.39	22.16	22.16	15.97	15.97	15.97
ทดสอบ (มม.)	10.75	10.38	12.28	17.70	12.59	13.55	11.85	11.25
%	31.26	28.80	39.83	-25.19	-76.01	-17.85	-34.77	-41.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

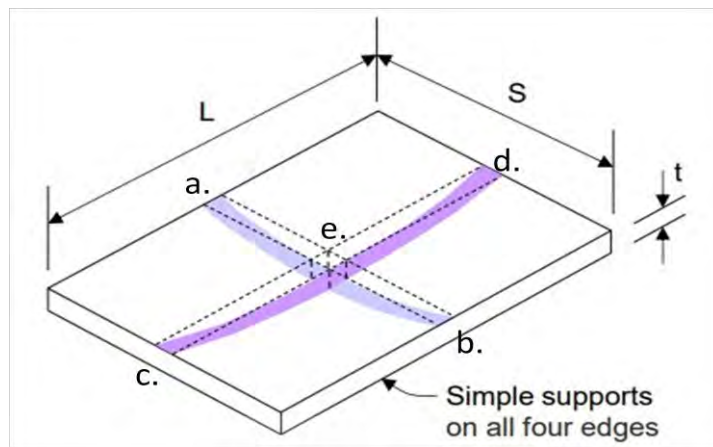
2.5.1 พื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื่นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางแบบนี้ใช้กับพื่นห้องที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวไม่มากเกินกว่าสองเท่าของด้านสั้นเท่านั้น โดยมีเหล็กเสริมเอกในสองทิศทางที่ตั้งฉากกันทั้งในแนวที่ขนานกับด้านสั้นและในแนวที่ขนานกับด้านยาวของแผ่นพื่นเพื่อใช้ต้านทานโมเมนต์ดัดในสองทิศทางที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักนั้น

2.5.2 พฤติกรรมการรับโมเมนต์ของพื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พิจารณารูปพื่นคอนกรีตที่มีขนาดด้านสั้นเท่ากับ S และมีด้านยาวเท่ากับ L โดยให้มีจุดรองรับแผ่นพื่นทั้งสี่ด้านในลักษณะของที่รองรับแบบธรรมดา (Simple Support) ถ้าสมมติว่าพื่นคอนกรีตเป็นวัสดุยืดหยุ่น ดังนั้นเมื่อพื่นรับน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่ w กก./เมตร² พื่นจะโค้งงอโดยมีลักษณะคล้ายจานหรือกระชอนและที่มุมทั้งสี่จะกระดกขึ้นได้ถ้าไม่มีการยึดรั้งกับขอบที่รองรับ จากลักษณะการโค้งตัวของพื่นที่เกิดขึ้น ดังนั้นที่แต่ละจุดบนพื่นจะมีการโค้งงอในสองทิศทางที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน แต่เนื่องจากความโค้งขึ้นกับโมเมนต์ดัดที่กระทำ นั่นคือทุกจุดของแนวที่มีการโค้งงอจะต้องมีโมเมนต์ดัดกระทำเสมอ ซึ่งเป็นเหตุให้ต้องเสริมเหล็กในพื่นทั้งสองทิศทางที่ตั้งฉากกันเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดที่กระทำ

โมเมนต์ดัดที่กระทำในแต่ละทิศทางที่ตั้งฉากกันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในทิศทางนั้นๆ แต่เพื่อให้การพิจารณาถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำหรือโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแต่ละทิศทางของพื่นง่ายขึ้น ดังนั้นจะสมมติให้พื่นประกอบขึ้นจากแถบเล็กๆสองแถบซึ่งอาจสมมติให้แถบนั้นมีความกว้างเท่ากับหนึ่งเมตร คือแถบ ab และแถบ bc ซึ่งเป็นแถบที่ขนานกับด้านสั้นและด้านยาวของแผ่นพื่น ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.10 เมื่อแถบทั้งสองนี้อยู่ที่กึ่งกลางของด้านยาว L และด้านสั้น S ของพื่นตามลำดับ โดยตัดกันที่จุด e จะเห็นว่าค่าของระยะโก่งตัวของแต่ละทิศทางที่จุดตัดนี้ต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ซึ่งหากพิจารณาต่อไปว่าแถบทั้งสองดังกล่าวเปรียบเสมือนเป็นคานช่วงเดียว ดังนั้น ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานจะเท่ากับ $5wL^4/384EI$ ถ้าแถบทั้งสองของพื่นมีความหนาเท่ากัน จะได้ระยะโก่งที่กึ่งกลางของแถบ ab เท่ากับ $kw_{ab}S^4$ และระยะโก่งที่กึ่งกลางของแถบ cd เท่ากับ $kw_{cd}L^4$ ในเมื่อ w_{ab} และ w_{cd} เป็นส่วนของน้ำหนักแผ่ w ที่แบ่งไปให้กับแถบ ab และ cd ตามลำดับ หรือนั่นคือ $w = w_{ab} + w_{cd}$ ฉะนั้นเมื่อระยะโก่งที่จุดตัด e ของแถบทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะหาได้ว่า $w_{ab} = wL^4/(L^4 + S^4)$ และ $w_{cd} = wS^4/(L^4 + S^4)$ นั่นคือ โมเมนต์ดัดสูงสุดที่ขนานกับด้านสั้น $M_S = w_{ab}S^2/8$ กก.-ม./ม. และโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ขนานกับด้านยาว $M_L = w_{cd}L^2/8$ กก.-ม./ม.



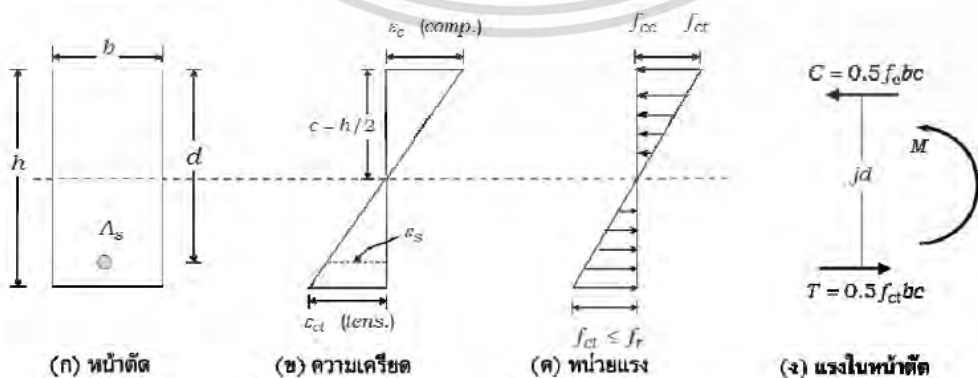
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการโก่งตัวของพื้นบนขอบรองรับช่วงเดียว
(รูปภาพจาก ผศ.ดร. มงคล จีรวรรณเดช)

2.5.3 พฤติกรรมการตัดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ลักษณะการตัดจะคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการตัดในคาน โดยเมื่อส่วนของโครงสร้างเริ่มรับการตัด จะเกิดการแอ่นตัว เนื้อคอนกรีตส่วนที่ยึดออกจะสร้างความเครียดดึง ในขณะที่เนื้อคอนกรีตส่วนที่หัดจะสร้างความเครียดอัด ความเครียดดึงดังกล่าวสามารถแปลงเป็นหน่วยแรงดึงจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และเมื่อใดก็ตามที่หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่ากำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต คอนกรีตจะแตกร้าว จากกระบวนการพัฒนาความเครียดในหน้าตัดเนื่องจากการตัดตั้งแต่เริ่มต้นจนวิบัติ จะสามารถแบ่งเป็นช่วงพฤติกรรมได้ดังนี้

2.5.3.1 พฤติกรรมในสภาวะก่อนการร้าว

ก่อนคอนกรีตที่ผิวรับแรงดึงเริ่มแตกร้าวหน้าตัด คสล. จะมีพฤติกรรมคล้ายคอนกรีตล้วน ดังนั้นจึงสามารถใช้ทฤษฎียืดหยุ่น (Elastic Theory) ในการวิเคราะห์หน้าตัดได้ ทั้งนี้พฤติกรรมของหน้าตัดในช่วงนี้สามารถอธิบายได้ตาม รูปที่ 2.11 เมื่อ A_s คือพื้นที่ของเหล็กเสริมรับแรงดึง, ϵ_c และ ϵ_{ct} คือความเครียดในคอนกรีตในส่วนอัด และความเครียดในคอนกรีตในส่วนดึง, f_{cc} และ f_{ct} คือหน่วยแรงในคอนกรีตในส่วนอัด และความเครียดในคอนกรีตในส่วนดึง ซึ่งในกรณีนี้มีค่าน้อยกว่าโมดูลัสแตกร้าว (f_r)

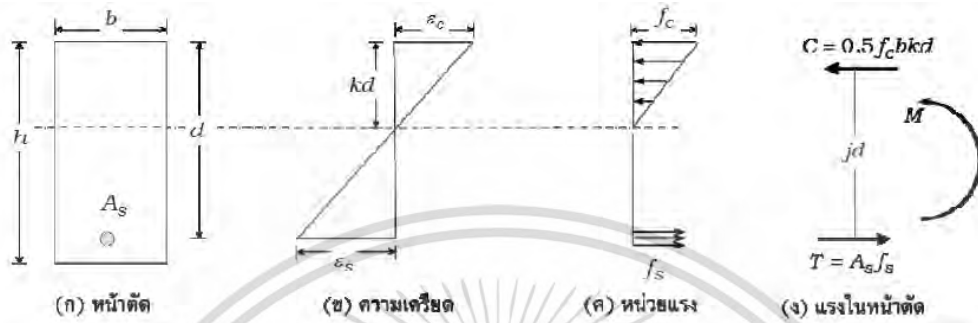


รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดในสภาวะก่อนจะร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (รูปภาพจาก ศ.ดร. อมร พิमानนาค) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 พฤติกรรมในสภาวะหลังการร้าวแต่ก่อนประลัย

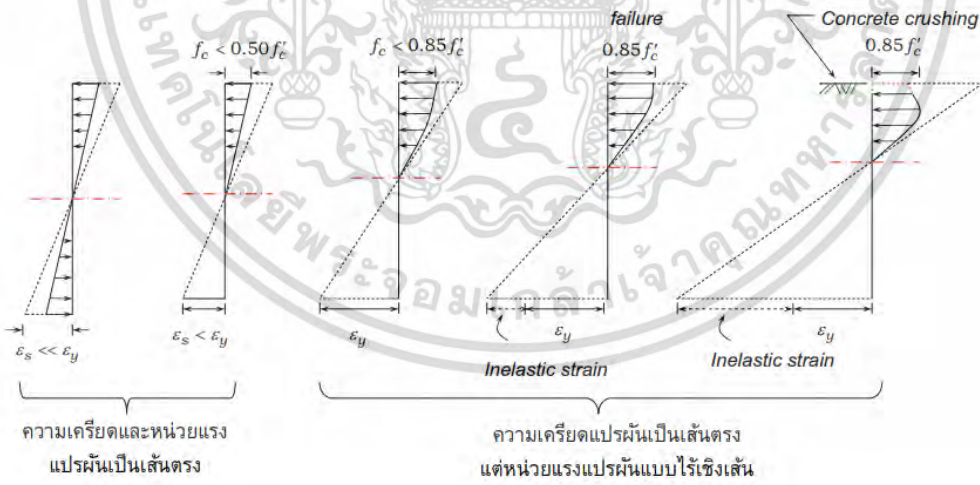
เมื่อคอนกรีตที่ผิวรับแรงดึงเริ่มแตกร้าว และมีแนวโน้มพุ่งเข้าสู่แนวแกนสะเทิน (Neutral-Axis) ใหม่อคอนกรีตใต้แนวแกนดังกล่าวจะถูกสมมุติว่ารับแรงดึงไม่ได้ในสภาวะนี้เหล็กเสริมรับแรงดึงจะเริ่มทำงาน และใช้สมมุติฐานในการคำนวณว่าความเครียดและหน่วยแรงแปรผันเป็นเส้นตรงและเป็นสัดส่วนกัน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดในสภาวะหลังการร้าวก่อนจะเข้าสู่สภาวะการประลัย (รูปภาพจาก ศ.ดร. อมร พิมานมาศ)

2.5.3.3 พฤติกรรมในสภาวะเข้าสู่การประลัย

เมื่อเด็กเสริมครากหรือ ϵ_s มีค่ามากขึ้น (เข้าใกล้ 0.003) การกระจายของความเครียดจะยังสมมุติให้แปรผันเป็นเส้นตรง ในขณะที่หน่วยแรงในคอนกรีตจะสมมุติให้มีพฤติกรรมแบบไร้เชิงเส้นซึ่งทั่วไปจะกำหนดให้เป็นรูปพาราโบลา (รูปที่ 2.13)



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดในสภาวะเข้าสู่การประลัย (รูปภาพจาก ศ.ดร. อมร พิมานมาศ)

2.6 การแอ่นตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.6.1 หลักการคำนวณหาการโก่งตัว

การโก่งตัวของส่วนโครงสร้างมีทั้งการโก่งตัวที่เกิดขึ้นทันที (Instantaneous หรือ Immediate หรือ Short-term Deflection) เมื่อเริ่มรับน้ำหนักบรรทุก และการโก่งตัวตามกาลเวลา (Long-term Deflection) เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกคงค้าง (Sustained Load) กระทำเป็นเวลานาน ซึ่งเกิดจากการล้าและการหดตัวของคอนกรีต

2.6.1.1 การโก่งตัวทันที

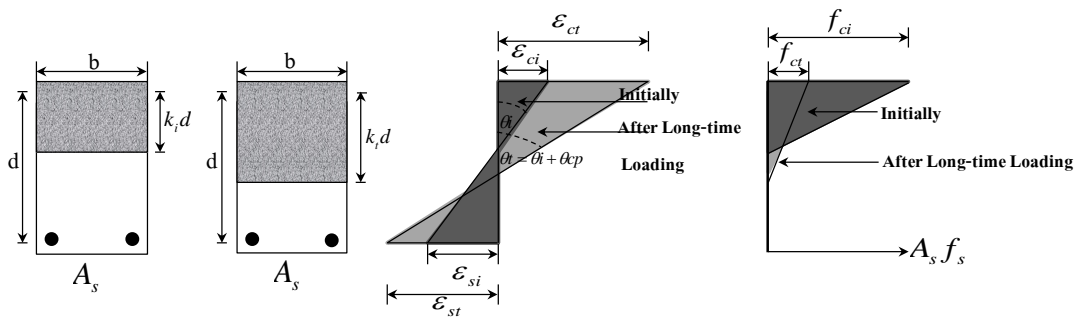
ระยะโก่งตัวทันทีของชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงดัด อาจคำนวณอย่างละเอียดโดยพิจารณาจากพฤติกรรมารรับโมเมนต์ดัดที่สภาวะต่างๆ ซึ่งนอกจากจะได้ค่าโมเมนต์ดัดแล้วยังสามารถหาค่าความโค้ง (Curvature : ϕ) ซึ่งเป็นค่าความชันของเส้นที่แสดงการยึดหดตัวที่สอดคล้องกับโมเมนต์ดัดที่สภาวะนั้นๆ และโดยที่ค่าความโค้ง ϕ มีค่าเท่ากับ M/EI ตามทฤษฎีอิลาสติก ซึ่ง EI เป็นค่าสติเฟนสของส่วนโครงสร้าง ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหาระยะโก่งที่เกิดขึ้นทันทีที่ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนโครงสร้างหรือค่าระยะโก่งที่มากที่สุดได้ เช่น ใช้วิธี Moment-Area หรือ วิธี Conjugate-Beam เป็นต้น เนื่องจากในแต่ละวิธีที่กล่าวค่าโก่งตัวขึ้นกับไดอะแกรมของ M/EI หรือขึ้นกับ รูปแบบของน้ำหนักที่กระทำ ความยาวของช่วงคาน ลักษณะของที่รองรับ และค่าสติเฟนส EI ซึ่งเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\text{ระยะโก่งตัว } \Delta = \frac{F(\text{Weight, Spacing, Support})}{EI} \quad (2.4)$$

อย่างไรก็ดี ค่าสติเฟนส EI ของส่วนโครงสร้าง คสล. จะแปรตามค่าโมเมนต์ดัดที่กระทำ ซึ่งทำให้บางช่วงของชิ้นส่วนโครงสร้างเกิดการร้าวและบางช่วงก็ยังไม่ร้าว ฉะนั้น ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของชิ้นส่วนโครงสร้างตลอดความยาวจึงไม่คงที่ เป็นเหตุให้การวิเคราะห์ดังกล่าวค่อนข้างเสียเวลา และไม่สะดวกในทางปฏิบัติ ดังนั้น ในทางปฏิบัติจะพิจารณาหาระยะโก่งอย่างประมาณโดยพิจารณาใช้ค่าของ EI ที่เหมาะสมตามที่มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท.

2.6.1.2 การโก่งตัวตามกาลเวลา

ระยะโก่งตามกาลเวลาของส่วนโครงสร้าง คสล. จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะของการบรรทุกน้ำหนักคงค้าง ซึ่งเป็นผลมาจากการล้า (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) ของคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, อายุของคอนกรีตเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกคงค้าง และน้ำหนักบรรทุกคงค้างที่กระทำ ทั้งนี้ ระยะโก่งตัวตามกาลเวลาที่เพิ่มขึ้นในระยะแรกจะมีค่าค่อนข้างมาก และมีอัตราการลดลงภายหลัง 5 ปีผ่านไป



รูปที่ 2.14 แสดงผลจากการคืบของคอนกรีตที่มีต่อค่าความโค้ง

2.6.2 การคำนวณหาการโก่งตัวตามมาตรฐานกำหนด

2.6.2.1 ระยะเวลาโก่งทันที (Immediate หรือ Short-term deflection)

มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดให้พิจารณาหาระยะโก่งทันทีสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงดัดและรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน ดังนี้

$$\text{ระยะโก่งทันที } \Delta_i = \frac{F(\text{Weight, Spacing, Support})}{E_c I_e}$$

ในที่นี้ E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต = $15,100\sqrt{f'_c}$ กก./ชม.²

I_e = โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพของหน้าตัด, ชม.⁴

= I_g เมื่อ $\rho f_y \leq 35$ กก./ชม.²

= I_{cr} เมื่อ $\rho f_y > 35$ กก./ชม.²

สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดัดที่ต่อเนื่องกัน ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ :

$$I_e = 0.5I_e \text{ ที่กลางชิ้นส่วนโครงสร้าง} + 0.25(\sum I_e \text{ ที่ฐานรองรับ } 2 \text{ ข้าง})$$

โดยที่ ρ = อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดัดต่อเนื้อที่ประสิทธิภาพ

f_y = กำลังจุดครากของเหล็กเสริม กก./ชม.²

I_g = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด (อาจพิจารณาว่าไม่มีเหล็กเสริม)

I_{cr} = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดแปลงรั่ว (พิจารณาแปลงรูปตัดด้วยอัตราส่วน

โมดูลัส $n = E_s / E_c$ หาตำแหน่งของแนวแกนสะเทินก่อน แล้วจึงหาค่า I_{cr})

สำหรับส่วนโครงสร้าง คสล. รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดัดอย่างเดียว :

$$k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n \text{ และ}$$

$$I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s (d - kd)^2$$

สำหรับส่วนโครงสร้าง คสล. รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดัดและแรงอัด :

$$k = \sqrt{2n(\rho + \frac{2\rho'd'}{d}) + n^2(\rho + 2\rho')^2} - n(\rho + 2\rho') \text{ และ}$$

$$I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s (d - kd)^2 + (n-1)A_s'(kd - d')^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา (Additional deflection : Δ_a)

มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. ให้พิจารณาระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาเนื่องจากการล้าและการหดตัวของคอนกรีต โดยการคูณระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นที่เกิดจากการน้ำหนักบรรทุกคงค้าง ($\Delta_{i\text{ sus}}$) ด้วยตัวคูณประกอบเนื่องจากการล้า (Creep Factor : λ) นั่นคือ

$$\text{ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา } \Delta_a = \lambda \Delta_{i\text{ sus}} \quad (2.5)$$

$$\text{ตัวคูณประกอบเนื่องจากการล้า } \lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (2.6)$$

ในที่นี้ λ = ตัวคูณประกอบเนื่องจากการล้าและการหดตัวของคอนกรีต

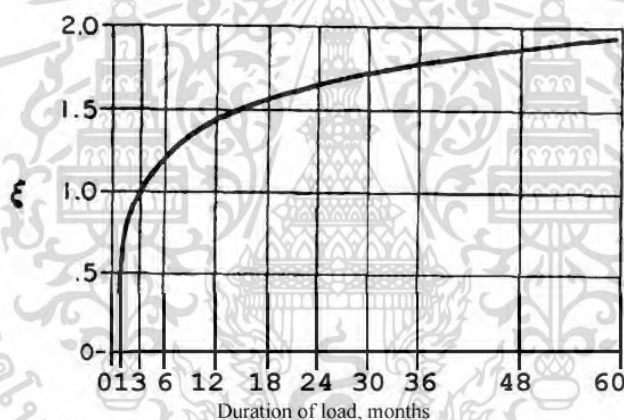
$$= 2.0 \text{ เมื่อ } A_s' = 0$$

$$= 1.2 \text{ เมื่อ } A_s' = 0.5A_s$$

$$= 0.8 \text{ เมื่อ } A_s' = A_s$$

เมื่อ A_s' ไม่ตรงตามที่กำหนด อาจหาค่าของ λ โดยใช้การเทียบแบบเชิงเส้น

ดังนั้น ระยะเวลาทั้งหมด (Total Long-term Deflection) $\Delta_T = \Delta_i + \Delta_a$ (2.7)



รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบตามกาลเวลา ξ

2.7 คอนกรีตมวลเบา

การทดสอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเสริมเหล็กต้องใช้ระยะเวลาหลายปี จึงจะได้ผลทดสอบที่สามารถสรุปถึงการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต จึงมีการคิดค้นให้น้ำคอนกรีตมวลเบามาแทนบริเวณโมดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกค้ำงบนผิวคอนกรีต แต่คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อจำกัดในด้านการผลิตที่จะทำให้น้ำหนักเบาลงกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปหากจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนักสามารถแบ่งดังนี้

2.7.1 โฟมคอนกรีต (Aerated of Foam Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ได้จากการทำให้เกิดฟองอากาศ หรือที่เรียกว่า “โฟม” ขนาด 0.1 ถึง 1.0 มม. ในเนื้อคอนกรีต มีการผลิต 2 ระบบคือ

1. Autoclaved Aerated Concrete (AAC) โดยที่ฟองอากาศเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนผสมทำให้เกิดก๊าซและขยายตัวขึ้น ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะถูกกักอยู่ในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตมวลเบาประเภทนี้ถูกเรียกกันทั่วไปว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้ส่วนใหญ่ต้องนำไปอบไอน้ำก่อน

2. Cellular Lightweight Concrete (CLC) ฟองอากาศที่ได้เกิดจากการใส่ฟองอากาศหรือสารกักฟองอากาศลงไป และทำให้ผสมฟองอากาศร่วมกับสัดส่วนผสมคอนกรีตหรือมอร์ต้าเมื่อผสมผสมคอนกรีตหรือมอร์ต้าแข็งตัว จะเกิดโพรงอากาศกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต

2.7.2 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Finesness Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (ทราย) อยู่ในส่วนผสม ส่วนผสมหลักจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบ การยึดเกาะติดกันระหว่างมวลรวมหยาบจะเกิดจากผิวที่ถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เฟลสหนาประมาณ 1 ถึง 3 มม. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะเกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบนั้น และทำให้น้ำหนักคอนกรีตลดลง หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้ประมาณ 1,600 ถึง 2,000 กก./ม³. ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ได้แก่ กรวดโม้ หินโม้ เป็นต้น ขนาดของมวลรวมควรมีขนาดเท่าๆกัน ขนาดที่ใช้อยู่ในช่วง 9.5 ถึง 20.0 มม. มีกำลังต้านทานแรงอัด 60 ถึง 140 กก./ซม². ทั้งนี้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตประเภทนี้ขึ้นอยู่กับมวลรวมและปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ โดยทั่วไปส่วนผสมที่ใช้จะประมาณ 1 : 8 โดยปริมาตร และอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ประมาณ 0.4

2.7.3 คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา

1. คอนกรีตมวลเบาดูดซึมน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
2. คอนกรีตมวลเบาหดตัวมากกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาประมาณ 5% ถึง 40%
3. คอนกรีตมวลเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา
4. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ $\frac{1}{2}$ ถึง $\frac{3}{4}$ เท่าของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา เมื่อมีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเทียบเท่ากัน
5. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตมวลเบาประมาณ 7×10^{-6} ถึง 14×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

2.8.1 การทำคอนกรีต

1. อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง และยิ่งมีการเติมน้ำที่มากเนื่องจากต้องการให้มีความสามารถในการเทได้ กำลังอัดของคอนกรีตยิ่งลดลง การยึดหดตัวมากและมีรูโพรงมากขึ้น

2. ปริมาณส่วนผสมควรใช้การชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก เพราะจะทำให้ควบคุมปริมาณได้ดีกว่าการตวงส่วนผสมโดยปริมาตร ซึ่งหากอัตราส่วนผสมของคอนกรีตผิดจะมีผลให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไปด้วย

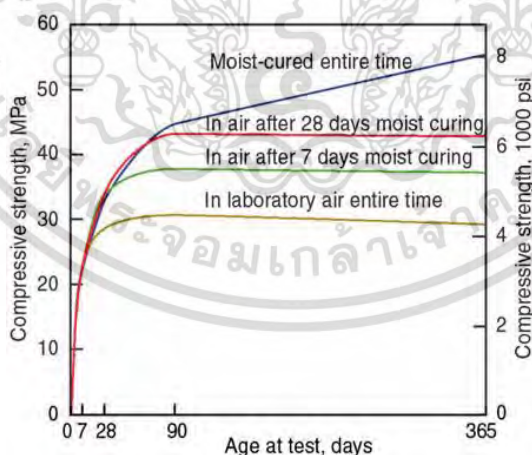
3. การผสมคอนกรีต จะต้องผสมวัสดุให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เนื่องจากอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับซีเมนต์ และการคละของมวลรวมหยาบและละเอียด มีผลต่อกำลังของคอนกรีต

4. การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น หากการเทคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือระหว่างเท จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตและการรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต

5. คอนกรีตมวลเบา ควรระวังในเรื่องของปริมาตรของโฟม อัตราการดูดซึมน้ำ เวลาในการผสม การเทเข้าแบบหล่อและอัดแน่น

2.8.2 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือ การรักษาความชื้นและอุณหภูมิของคอนกรีตในช่วงที่คอนกรีตยังมีอายุในช่วงเริ่มต้น เพื่อให้คอนกรีตพัฒนาคุณสมบัติต่างๆที่ต้องการ เช่น กำลังรับแรงอัด ความทึบน้ำ ความต้านต่อการสึกกร่อน ปริมาตรในเนื้อคอนกรีตไม่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น คอนกรีตควรได้รับการบ่มทันทีหลังจากเทและตกแต่งผิวคอนกรีตเสร็จ



รูปที่ 2.16 ผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มขึ้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

2.9 การวิเคราะห์ทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite Element Analysis (FEA)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือ FEM เป็นวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขชนิดหนึ่งสำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ที่ต้องมีสมการควบคุมระบบและใช้เงื่อนไขขอบเขต เพื่อจะแก้สมการในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีการแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยเรียกว่า เอลิเมนต์ (Element) และเอลิเมนต์จะเชื่อมกันด้วยจุดต่อ (Node) แล้วจึงนำสมการควบคุมระบบมาสร้าง สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์บนโดเมนจากนั้นจึงแก้ระบบสมการดังกล่าวซึ่งจะได้เฉลยโดยประมาณที่จุดต่อบนโดเมน จุดเด่นของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้แก่ ความสามารถในการประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้เป็นอย่างดี อุปสรรคที่เป็นสาเหตุทำให้ผู้คนไม่เข้าใจระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยชัดแจ้งคือ การเปลี่ยนแปลงระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ให้ไปเป็นสมการทางพีชคณิตสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ การ แปลงดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ขั้นสูง รวมทั้งการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบต่างๆ กัน เช่น การประยุกต์ใช้ฟังก์ชันการประมาณภายใน (Interpolation Functions) สำหรับแต่ละเอลิเมนต์ การประยุกต์วิธีหาค่าอนุพันธ์และอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Differentiation and Integration) การประยุกต์ระเบียบวิธีการแก้ระบบสมการทางพีชคณิตขนาดใหญ่ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear) หรือไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ก็ได้ หากระบบสมการนั้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้นก็จำเป็นต้องประยุกต์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขชนิดอื่นเพื่อช่วยแก้สมการเพิ่มเติมเข้าไปอีก เหตุผลต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้เองทำให้การเรียนรู้ในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเป็นสิ่งจำเป็นก่อนการทำความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยการแก้ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังกล่าวมานี้ ชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นย่อยๆ อย่างต่อเนื่องที่มีจำนวนนับได้ ตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหา ดังรูปที่ 2.17 เราเรียกชิ้นส่วนย่อย สมการที่สร้างขึ้นจะต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่ทำอยู่นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ ที่สร้างขึ้นมาประกอบกันเข้าเป็นสมการชุดใหญ่ ซึ่งผลเฉลยที่ได้รับจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้จะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อ (Node) ของแต่ละเอลิเมนต์ซึ่งสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ในปัญหานั้น



รูปที่ 2.17 การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่างๆ

(รูปภาพจาก ศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาและวิจัยนี้ จะกล่าวถึงวิธีการทำนายเพื่อหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 25% และ 50% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย โดยทำการทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทั้งคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ จากนั้นนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้ไปใช้เป็นการสัมพันธ์ในการคำนวณหาการแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการเตรียมหล่อตัวอย่างแผ่นพื้น การหล่อตัวอย่างแผ่นพื้น วิธีการหล่อตัวอย่างทรงทดสอบมาตรฐานรูปทรงกระบอก รวมถึงการบ่ม พร้อมทั้งจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบการทดลอง

ในการทดลองจะใช้วิธีการออกแบบการทดลองการหาระยะการแอ่นตัวระยะยาวเนื่องจากการล่าช้าของคอนกรีตในพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ส่งผลให้พฤติกรรมของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ลดลงตามไปด้วย โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ ซึ่งมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ Neutral Axis โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกันนี้มาวิเคราะห์ รวมถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของโครงสร้างประกอบนี้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีการค้ำประคองกับวิธีการคำนวณระยะการแอ่นตัวของพื้นคอนกรีต ที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงจะสามารถทำนายกำลังรับน้ำหนักและการแอ่นตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้

3.2 การออกแบบส่วนผสม

3.2.1 คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา ทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design) ตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI) ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนผสมจากค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับสัดส่วนที่ใช้คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.60 และขนาดโตนสุดของมวลรวมเท่ากับ 10 มม.

3.2.2 คอนกรีตโพลีเมอร์

ในการศึกษานี้ จะใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งจะกำหนดอัตราส่วนผสมก่อนแล้วจึงไปหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตหลังจากได้อายุตามต้องการ

ตัวอย่าง กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.0 และปริมาณฟองโพลีเมอร์เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์เท่ากับ 3.15 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60

1.) หาปริมาตรของแต่ละส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม.

$$V_s + V_w + V_c + V_f = 1.0 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $V_s =$ ปริมาตรของทราย
 $V_w =$ ปริมาตรของน้ำ
 $V_c =$ ปริมาตรของซีเมนต์
 $V_f =$ ปริมาตรของฟองโฟม

เมื่อ $V_f = 0.30$
 $V_s = 3.15 \times 1.00 V_c / 2.60 = 1.2115 V_c$
 $V_w = 3.15 \times 0.40 V_c / 1.00 = 1.2600 V_c$

แทนค่าต่างๆในสมการข้างต้นจะได้

$$1.21 V_c + 1.26 V_c + V_c + 0.3 = 1.00$$

แก้สมการจะได้ $V_c = 0.2016, V_s = 0.2443, V_w = 0.2541$

สรุปได้ว่า

ปริมาตรของโฟม	=	0.3000	ลบ.ม.
ปริมาตรของซีเมนต์	=	0.2016	ลบ.ม.
ปริมาตรของทราย	=	0.2443	ลบ.ม.
ปริมาตรของน้ำ	=	0.2541	ลบ.ม.

2.) หาน้ำหนักของแต่ละส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม.

น้ำหนักของซีเมนต์	=	$0.2016 \times 3,150 = 635$	กก./ลบ.ม.
น้ำหนักของทราย	=	$0.2443 \times 2,600 = 635$	กก./ลบ.ม.
น้ำหนักของน้ำ	=	$0.2541 \times 1,000 = 254$	กก./ลบ.ม.
และปริมาตรของโฟม	=	$0.3000 \times 1,000 = 300$	กก./ลบ.ม.

เมื่อได้น้ำหนักส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรแล้ว ให้คำนวณหาปริมาตรของแบบหล่อที่ใช้ต่อ 1 ชุดการทดลอง แล้วจึงแปลงอัตราส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม. เป็นปริมาตรตามที่ต้องการ

3.3 วิธีการทดสอบคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์

1. คำนวณปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา โดยการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของวัสดุแต่ละอย่างของคอนกรีตสำหรับงานหนึ่งๆ ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเท่ากับ 180 กก./ซม.^2 แล้วทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน แล้วทำการบ่มที่ 3, 7 และ 28 วัน จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปที่ 3.1 การวัดหาค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน

2. นำเครื่องมือวัดการยืดหดตัว (Extensometer, Dial Gauge) ติดที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน ทำการทดสอบการกดอัดเพื่อหาค่าการหดตัว และนำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) รวมทั้งเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย (f_c') ที่ได้จากการทดสอบ กับที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.3 ทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ทดสอบหาโมดูลัสยืดหยุ่น และกำลังอัดประลัย

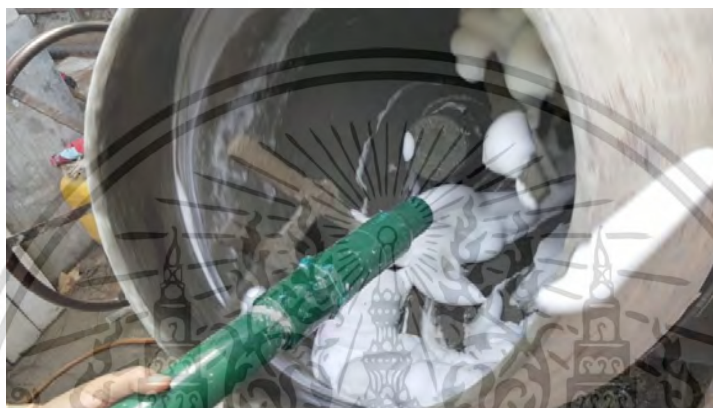
3. ทำการศึกษาและเปรียบเทียบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) กับระยะเวลา ตามการทดสอบกับทางทฤษฎี จากนั้นจึงทำการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) ที่ระยะเวลา 1 ปี โดย

- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตค่าแรก (E_{c_1}) เป็นค่าที่ได้จากการค้ำแรงกระทำไว้ที่ 25% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

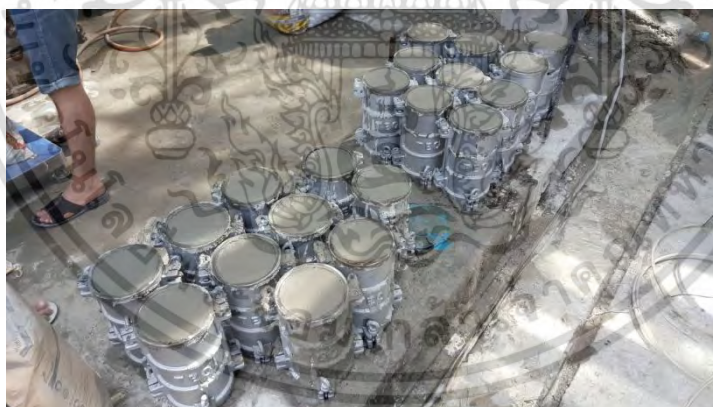
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตค่าแรก (E_{c_2}) เป็นค่าที่ได้จากการค้ำแรงกระทำไว้ที่ 50% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

4. ทำการคำนวณปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (CLC Foaming Agent) โดยการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของวัสดุที่ไม่มีส่วนผสมมวลรวมหยาบ (ปูนซีเมนต์ : ทราย : สารเพิ่มฟองโฟม) และทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน จำนวน 15 ตัวอย่าง ของแต่ละหน่วยน้ำหนัก รวมทั้งหมด 75 ตัวอย่าง โดยมีหน่วยน้ำหนักที่ออกแบบคือ 1,600 , 1,700 , 1,800 , 1,900 และ 2,000 กก./ม.³ จากนั้นจึงทำการบ่มและทดสอบที่ 3 , 7 และ 28 วัน



รูปที่ 3.4 ทำการเติมน้ำยาโฟมผสมคอนกรีตสำหรับการผลิตคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (CLC)



รูปที่ 3.5 แท่งตัวอย่างคอนกรีตโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน

5. นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ได้ทำการบ่มไว้ข้างต้น มาทดสอบการกดอัด เพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ที่ออกแบบไว้ในแต่ละหน่วยน้ำหนัก นำอุปกรณ์วัดการยืดหดตัว (Extensometer, Dial Gauge) ติดที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน ทำการทดสอบการกดแล้วบันทึกค่าการหดตัวเป็นระยะๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานที่ทดสอบหา
โมดูลัสยืดหยุ่น และกำลังอัดประลัย

6. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยพล็อตกราฟระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโพมซีเมนต์ ซึ่งจะนำค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ระยะเวลา 1 ปี (E_1, E_2) มาทำการหาค่าหน่วยน้ำหนักที่เหมาะสม โดยจะต้องควบคุมค่ากำลังรับแรงอัดประลัย (f_c') มีค่าประมาณ 180 กก./ซม.² จะได้สองหน่วยน้ำหนักเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมของพื้นคอนกรีตผสมโพมซีเมนต์ต่อไป

3.4 วิธีการทำนายเพื่อหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

1. ในการทำนายกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเวลาผ่านไปนั้น จะใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนไปจากการทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานหน่วยแรงอัด 180 กก./ซม.² ที่คำนวณได้จากสมการ $E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1 + \phi(t)}$ ดังค่าที่แสดงในตาราง

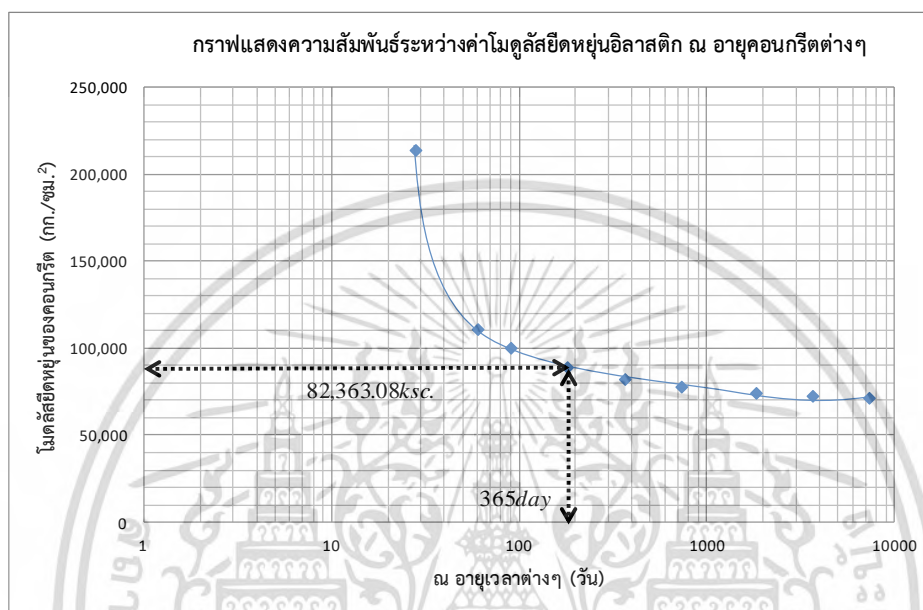
ที่ 3.1 จากนั้นจึงนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่น (E_c) และ อายุของคอนกรีตที่เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.1(ก.) แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตที่อายุต่างๆ

หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)				
	28	60	90	180	365
180	214,066.57	111,087.01	100,348.09	89,227.19	82,363.08

ตารางที่ 3.1(ข.) แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตที่อายุต่างๆ (ต่อ)

หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)				
	730	1825	3650	7300	18250
180	78,012.35	74,417.70	72,725.53	71,596.93	70,662.50



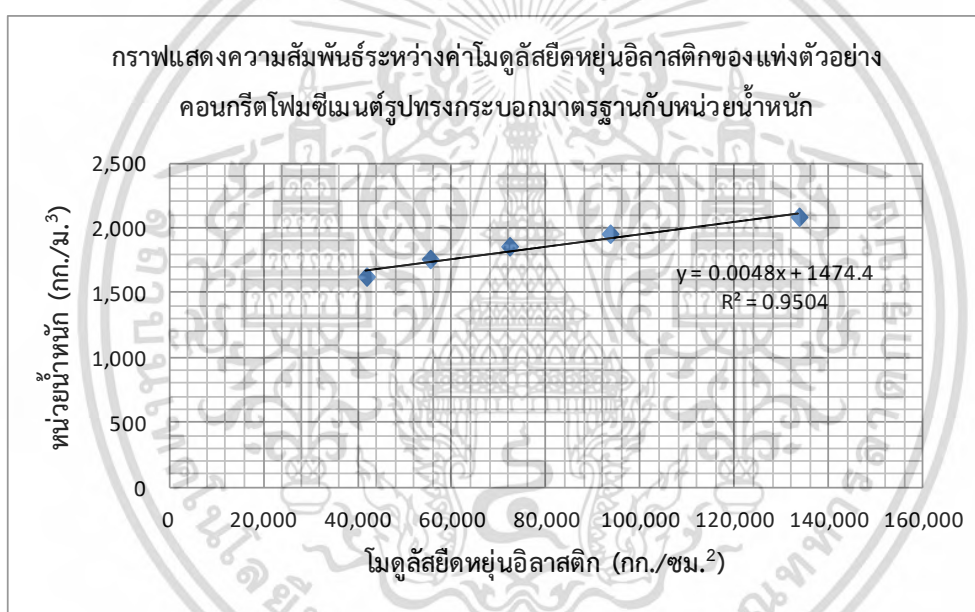
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่น ณ อายุคอนกรีตต่างๆ

2. จากรูปที่ 3.7 เมื่อต้องการทำนายกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ 365 วัน จำเป็นจะต้องทราบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตที่ 365 วัน ที่หน่วยแรงอัด 180 กก./ซม.² คือให้ลากเส้นตรงขึ้นไปจนชนกับเส้นหน่วยแรงอัด 180 กก./ซม.² สามารถอ่านค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกที่รับน้ำหนักบรรทุก 50% (E_{c1}) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 82,363.08 กก./ซม.²

3. จากการทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน จะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของหน่วยน้ำหนัก 1,600 , 1,750 , 1,860 , 1,940 และ 2,080 กก./ม.³ ดังตารางที่ 3.2 แล้วจึงนำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.8 และพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.9

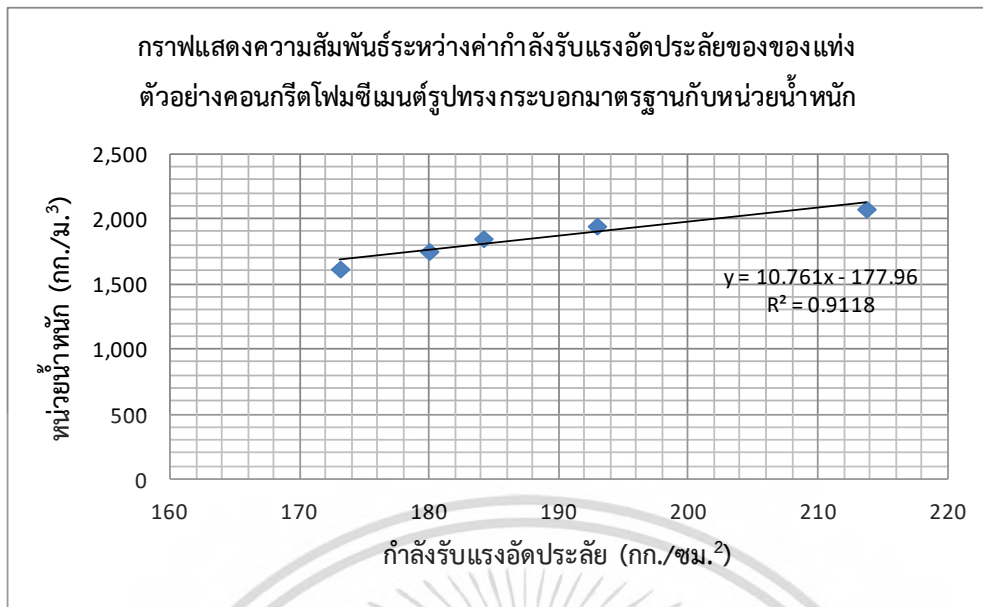
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก และกำลังอัดประลัย

หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตโพลีเมอร์ (กก./ซม. ²)
1,622.07	173.13	41,736.41
1,757.02	180.00	55,243.63
1,855.08	184.19	72,080.15
1,951.89	192.95	93,408.34
2,082.42	213.75	133,495.82



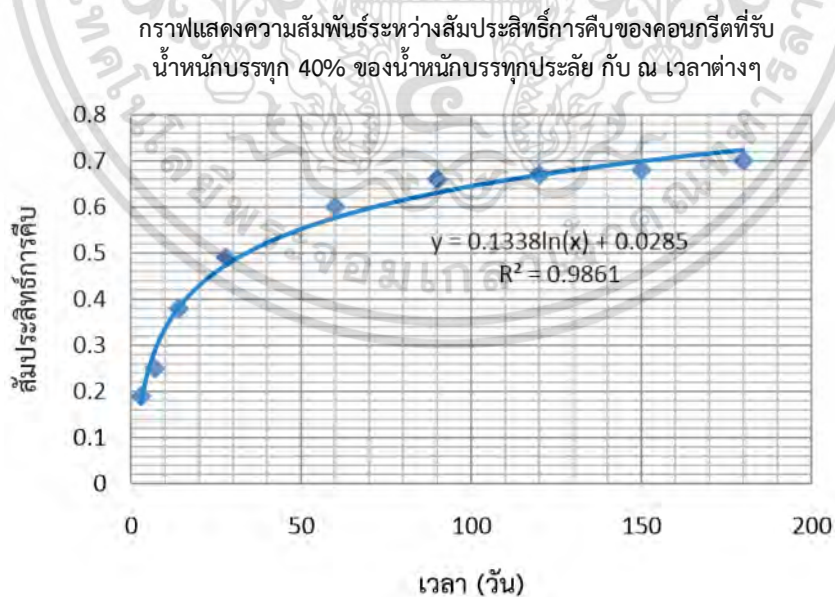
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



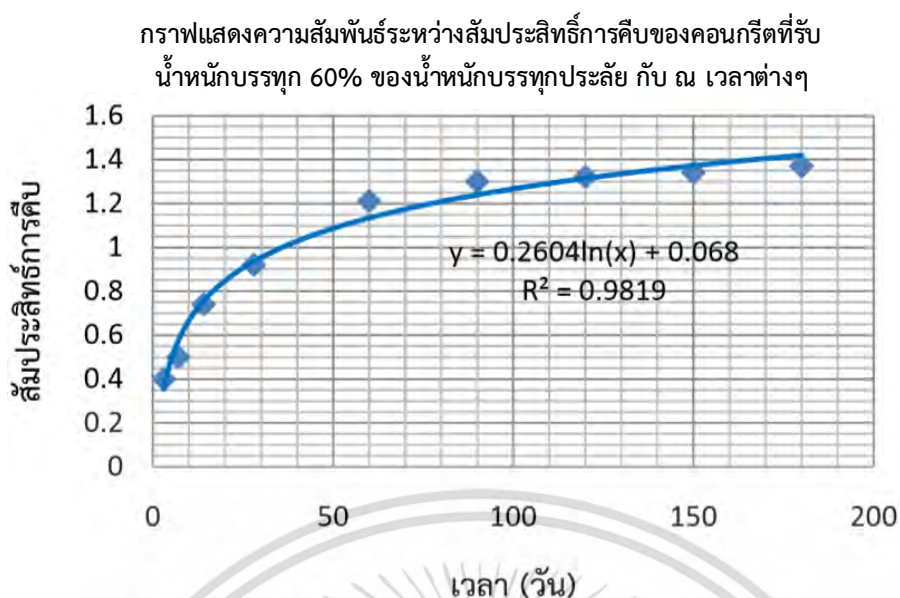
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดประลัยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโพมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก

4. จากข้อมูลของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40% และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยกับเวลา ดังกราฟรูปที่ 3.10 และ กราฟรูปที่ 3.11 จึงสามารถหาสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตกับน้ำหนักบรรทุกที่ 40% และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่เวลา 365 วัน



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ณ เวลาต่างๆ (เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน 2548)

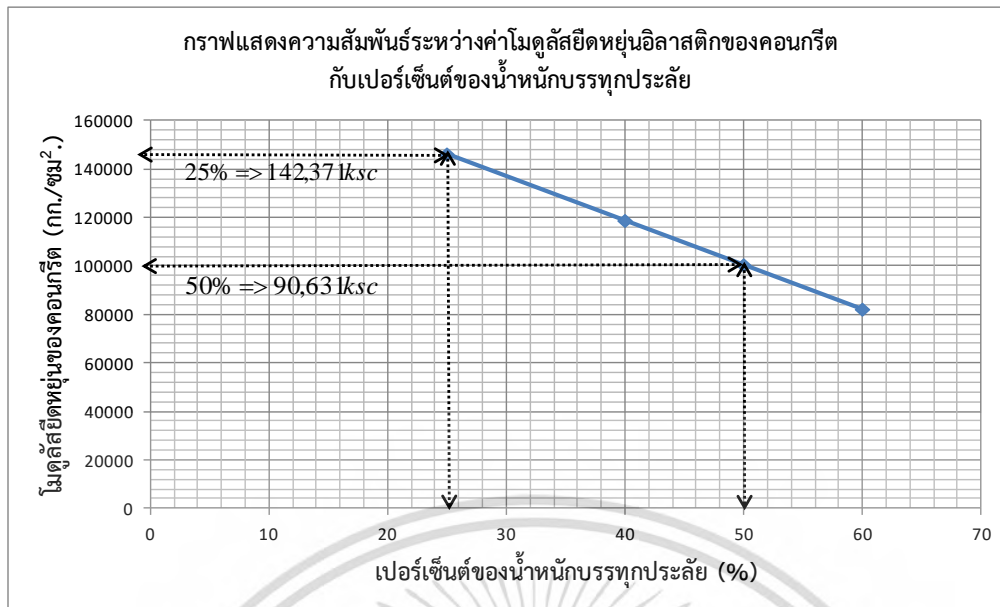
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก
60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ฦ เวลาต่างๆ (เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน 2548)

5. จากกราฟจะได้สัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40% และ 60% ของ
น้ำหนักบรรทุกประลัยที่เวลา 365 วัน เท่ากับ 0.8 และ 1.6 ตามลำดับ จากนั้นจึงหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิ
ลาสติกของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40% และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยจากสมการ
 $E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1 + \phi(t)}$ จะได้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40% และ 60% ของ
น้ำหนักบรรทุกประลัยได้เท่ากับ 118,925.87 กก./ซม.² และ 82,333.30 กก./ซม.² ตามลำดับ จากนั้นจึง
นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตกับเปอร์เซ็นต์ของ
น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังรูปที่ 3.12 จากกราฟความสัมพันธ์จะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่รับ
น้ำหนักบรรทุก 25%(E_{c2}) และ 50%(E_{c1}) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 142,371 กก./ซม.
² และ 90,631 กก./ซม.² ตามลำดับ

6. จากกราฟความสัมพันธ์จะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 25% (E_{c2}) และ 50%(E_{c1}) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 142,371 กก./ซม.² และ 90,631 กก./ซม.²
ตามลำดับ และจากรูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแท่งตัวอย่างคอนกรีต
โพรมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานกับหน่วยน้ำหนัก จึงสามารถหาค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโพ
รมซีเมนต์เท่ากับ 2,080 กก./ม.³ และ 1,925 กก./ม.³ ตามลำดับ



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีต
กับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรบรรทุกทุกประลัย

7. เมื่อได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอิลาสติกของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 25% (E_c) และ 50% (E_{c1}) ของน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 207,997 กก./ซม.², 142,371 กก./ซม.² และ 90,631 กก./ซม.² ตามลำดับ นำค่าทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวระดับของแต่ละชั้น โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม VISUAL C++

3.5 วิธีการหล่อพื้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

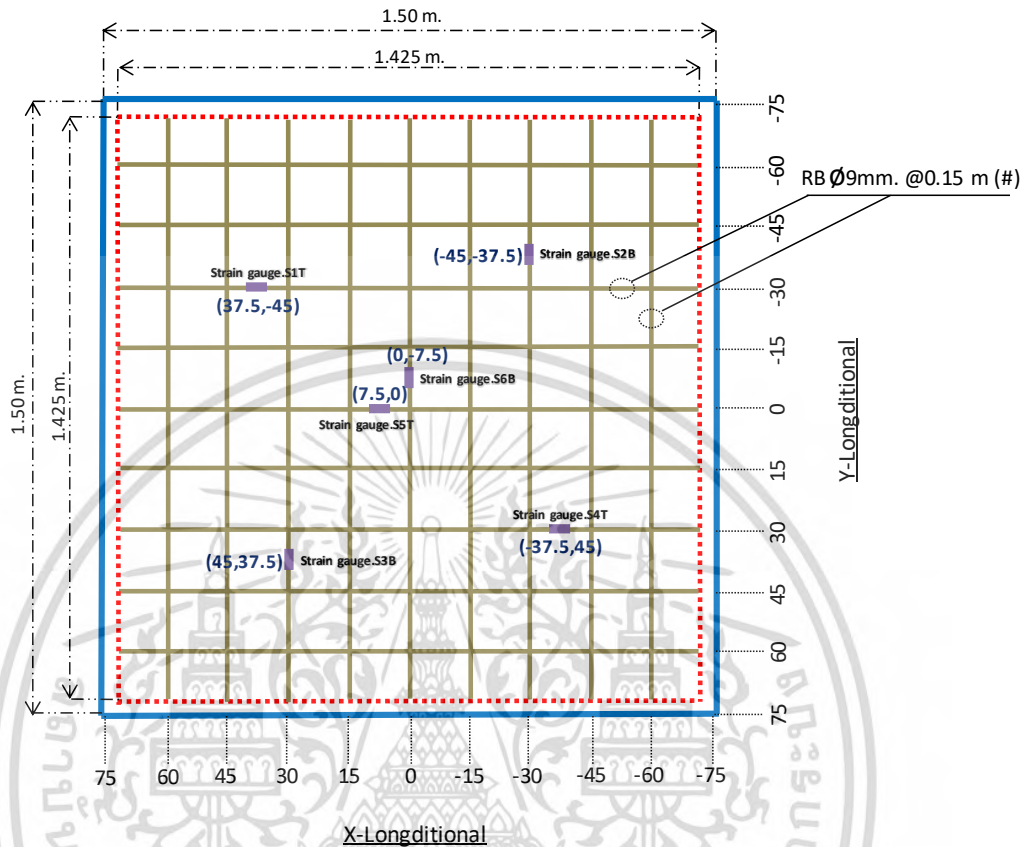
1. ทำการเตรียมไม้แบบไว้สำหรับหล่อพื้นตัวอย่างทดสอบ แบบคอนกรีตธรรมดาชั้นเดียว แบบคอนกรีตธรรมดา-คอนกรีตมวลเบา 2 ชั้นตรง และแบบคอนกรีตธรรมดา-คอนกรีตมวลเบา 3 ชั้นตรง ขนาด 1.50x1.50 เมตรหนา 6.5 เซนติเมตร พร้อมผูกเหล็กเป็นตะแกรงและขัดผิวเหล็กให้เรียบเพื่อเตรียมติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge) ดังรูปที่ 3.13



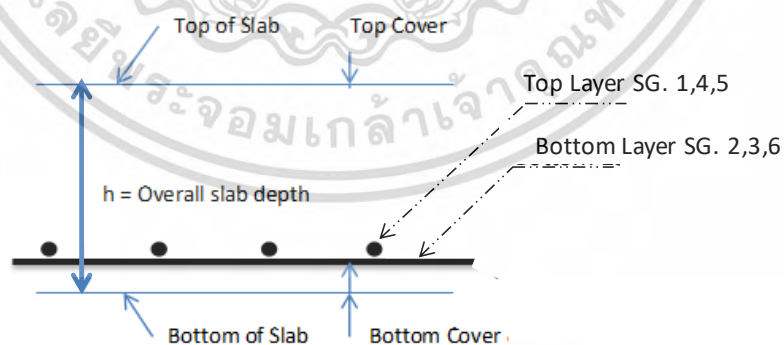
รูปที่ 3.13 แสดงเหล็กเสริมและแบบหล่อสำหรับทำพื้นตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ที่บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge) ที่เหล็กเสริม ตามตำแหน่งจากรูปที่ 3.14 เสร็จแล้วทำการหุ้มด้วยวัสดุป้องกันความเสียหาย (Coating Material)



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ที่เหล็กเสริมก่อนการการหล่อพื้นคอนกรีต



รูปที่ 3.15 แสดงหน้าตัดในตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ที่เหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการยืดหดตัว (Strain Gauge) บนเหล็กเสริม

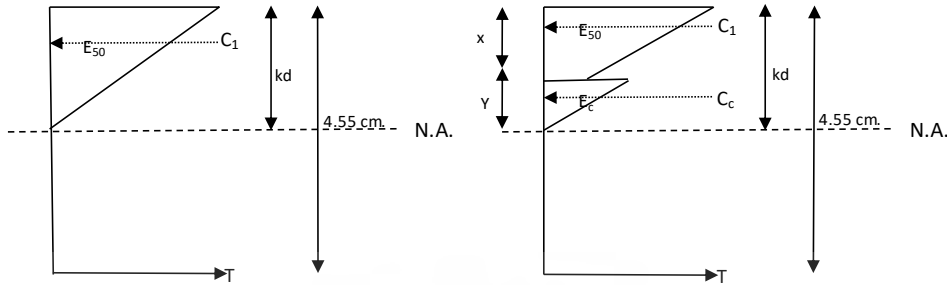


รูปที่ 3.17 การหุ้มวัสดุป้องกันความเสียหาย (Coating Material) ของ Strain Gauge

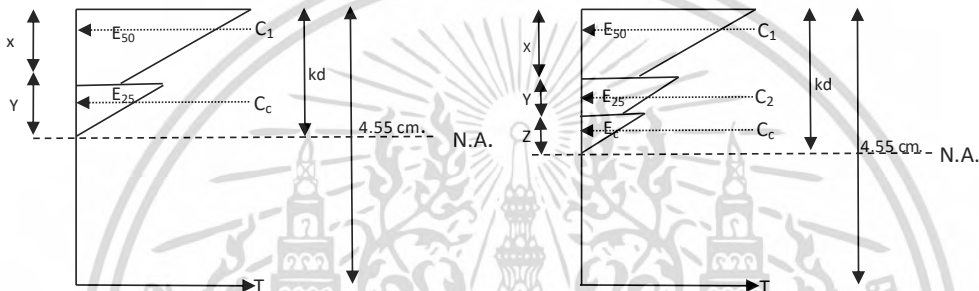
3. ตรวจสอบระยะหุ้ม ระยะเรียงของเหล็กเสริม และตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดการยืดหดตัว (Strain Gauge) ครึ่งสุดท้ายก่อนที่จะทำการเทคอนกรีต
4. ทำการหล่อพื้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 3 ตัวอย่างโดยมีลักษณะดังนี้
 - พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาเสริมเหล็ก $RB\phi 9mm. @ 0.15m$. กำลังรับแรงอัดประลัย 180 กก./ cm^2 . ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 207,997 กก./ cm^2
 - พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เป็นพื้นลูกผสม 2 ชั้น เสริมเหล็ก $RB\phi 9mm. @ 0.15m$. โดยมีชั้นล่างสุดของพื้นเป็นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา กำลังรับแรงอัดประลัย 180 กก./ cm^2 . ชั้นบนเป็นคอนกรีตโพลีเมอร์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ m^3 . ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 50% (E_{c1}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 90,631 กก./ cm^2
 - พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพลีเมอร์ เป็นพื้นลูกผสม 3 ชั้น เสริมเหล็ก $RB\phi 9mm. @ 0.15m$. โดยมีชั้นล่างสุดของพื้นเป็นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา กำลังรับแรงอัดประลัย 180 กก./ cm^2 . ชั้นกลางเป็นคอนกรีตโพลีเมอร์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ m^3 . ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 25% (E_{c2}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 142,371 กก./ cm^2 . ชั้นบนเป็นคอนกรีตโพลีเมอร์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ m^3 . ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 50% (E_{c1}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 90,631 กก./ cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการออกแบบหน้าตัดพื้น จะใช้วิธีคิดสมดุลของแรงภายในที่แรงของ Compression (C)=Tension (T) เพื่อหาตำแหน่งของแนวแกนสะเทินที่ทำให้แรงบนหน้าตัดมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.18 ภาพสมดุลของโมเมนต์ในพื้นที่คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา-คอนกรีตโพลีเมอร์ผสม 2 ชั้น



รูปที่ 3.19 ภาพสมดุลของโมเมนต์ในพื้นที่คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา-คอนกรีตโพลีเมอร์ผสม 3 ชั้น

เมื่อ

$$C = \frac{1}{2} f_c' bkd$$

$$T = A_s f_s$$

$$\frac{\epsilon_s}{d - kd} = \frac{\epsilon_c}{d}$$

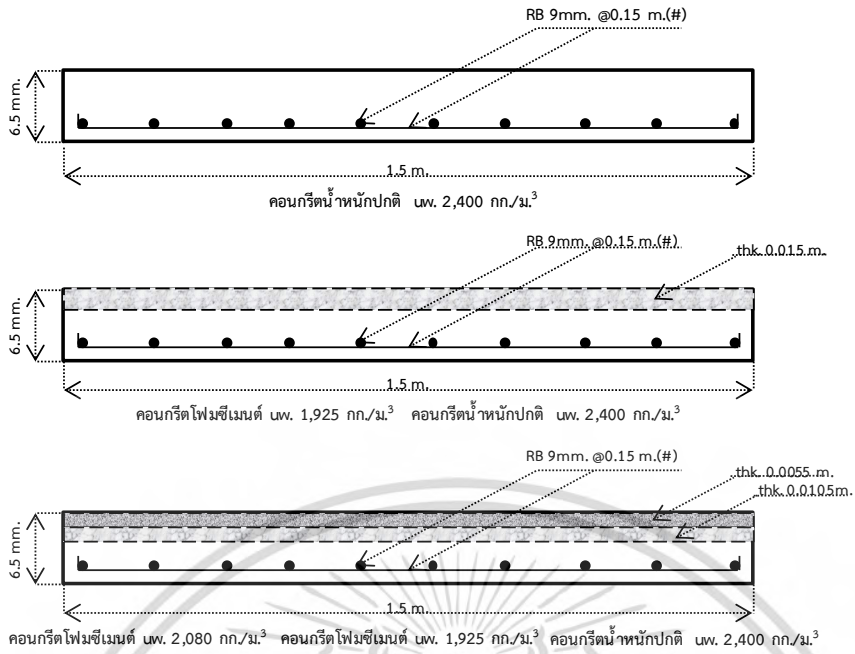
โดยที่

$$C = 0.5 f_c' = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_1 = 0.5 f_c' = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_2 = 0.25 f_c' = 45 \text{ kg/cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 รูปแบบของตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3.21 การวัดค่ายุบตัวของคอนกรีตในตัวอย่างพื้นทดสอบ (Slump Test)



รูปที่ 3.22 ทำการเติมน้ำยาโฟมผสมคอนกรีตสำหรับการผลิตคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (CLC) เอกสารนี้สนับสนุนเอกสารที่ส่งในวันเสาร์ที่ 17 กรกฎาคม 2015 เพื่อการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนี้ โดยผู้เชี่ยวชาญที่เห็นประโยชน์ในระยะยาวด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐานในตัวอย่างพื้นทดสอบ



รูปที่ 3.24 แท่งตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐานในตัวอย่างพื้นทดสอบ



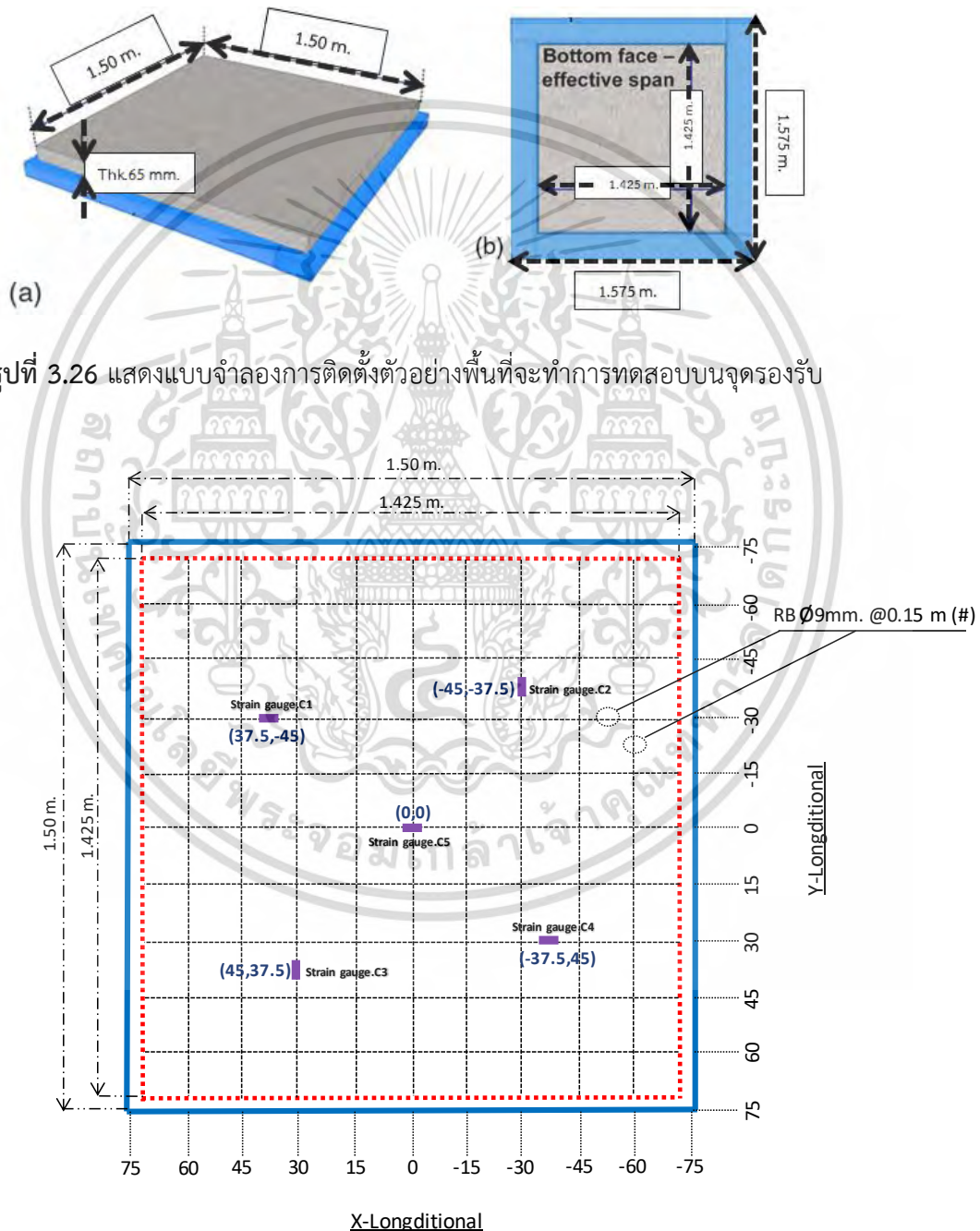
รูปที่ 3.25 ทำการหล่อตัวอย่างพื้นทดสอบทั้ง 3 ผืน พร้อมบ่มคอนกรีตโดยใช้น้ำยาบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีการทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างพื้นมีดังต่อไปนี้

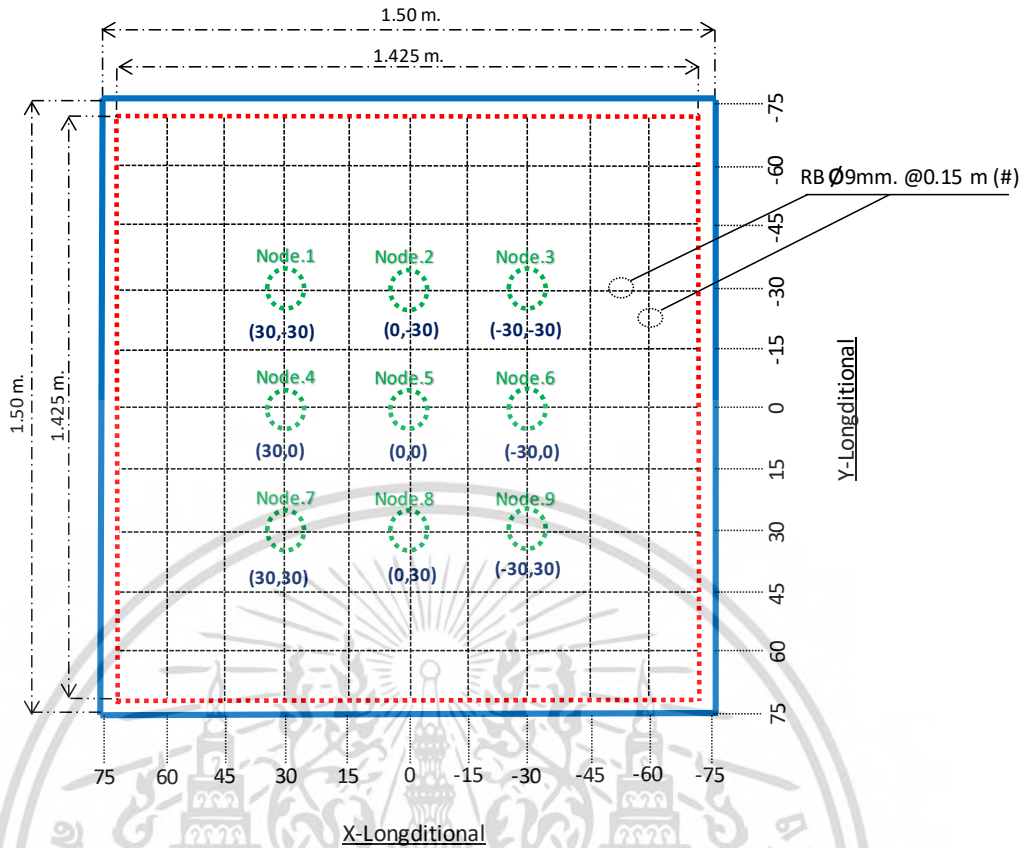
1. ทำการติดตั้งตัวอย่างพื้นที่จะทำการทดสอบบนจตุรรองรับดังรูปที่ 3.26
2. ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดวัดการยืดหดตัว (Strain Gauge) บนผิวคอนกรีต และการอ่านตัว (Dial Gauge) ขนาดก้านยาว 1 ซม. วัดความละเอียดได้ 0.01 มม. โดยทำการติดตั้งตามตำแหน่งดังรูปที่ 3.27 และ 3.28 ตามลำดับ



รูปที่ 3.26 แสดงแบบจำลองการติดตั้งตัวอย่างพื้นที่จะทำการทดสอบบนจตุรรองรับ

รูปที่ 3.27 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauge ที่เหล็กผิวพื้นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดการแอ่นตัว (Dial Gauge)



รูปที่ 3.29 ตัวอย่างพื้นที่ที่จะทำการทดสอบบนจตุรรองรับ

3. ทำการติดตั้ง Magnetic Holder สำหรับยึดจับ Displacement Transducer และ Dial Gauge ตามคู่มือการใช้งาน

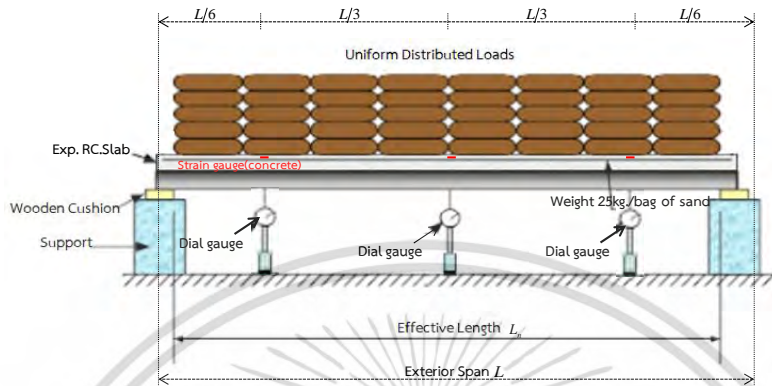
4. บันทึกค่าการแอ่นตัว (Initial Deflection) ก่อนทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุก

5. ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกแบบน้ำหนักแผ่กระจาย (Distributed Load Test) โดยจะคองน้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชั่วโมงในแต่ละชั้น จากนั้นทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ที่น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสูงสุด (Maximum Test Load) จะคองน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection)

7. ค่าการแอ่นตัวที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Test Load) และคองน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นค่าการแอ่นตัวสูงสุด (Maximum Deflection) ตามมาตรฐาน ACI 318-89



รูปที่ 3.30 แสดงการติดตั้งตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ACI318-89



รูปที่ 3.31 แสดงการทดสอบแบบจำลองพื้นด้วยน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจาย

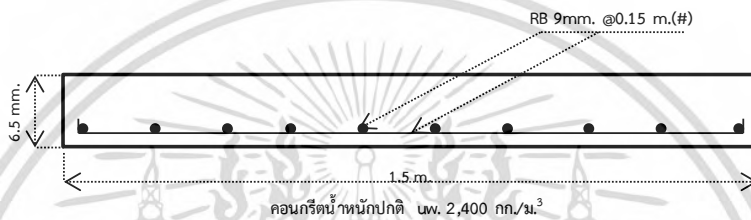
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ข้อมูลผลทดสอบของพื้นตัวอย่างทดสอบ S1 และการวิเคราะห์ผล

แบบจำลองตัวอย่างพื้นทดสอบ S1 เป็นพื้นควบคุม (Controlled Experimental) ที่ใช้เปรียบเทียบผลของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กกลมผสม 2 ชั้น และ 3 ชั้น ที่มีคอนกรีตโพลีเมอร์เพื่อใช้ทดแทนคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่เกิดการคืบขึ้นแล้ว มีลักษณะเป็นพื้นคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก กำลังรับแรงอัดประลัย $f_c' = 180 \text{ ksc}$ เสริมเหล็กกระจายรับแรงดึง โดยจะมีการเสริมเหล็ก ดังรายละเอียดจากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างพื้นตัวอย่างทดสอบ S1

จากการทดสอบพื้นรับน้ำหนักบรรทุกทุก 1,108 กก./ตร.ม. มีค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นเท่ากับ 6.70 มม. ในขณะที่ผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element เท่ากับ 5.74 มม. ค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นตามทฤษฎีเท่ากับ 6.04 มม. ค่าการแอ่นตัวจากการทดสอบมากกว่าทฤษฎี 10.93% และมากกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 16.73%

วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้พื้นทดสอบ S1 มีระยะการแอ่นตัวมากขึ้น โดยใช้ผลที่ได้จากการจากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element มีรายละเอียดการพิจารณา ดังนี้

เปรียบเทียบการแอ่นตัวของพื้น ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่ามากกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) ในทุกตำแหน่งที่มีการติดตั้ง เครื่องมือวัดการแอ่นตัว (Dial Gauge) เฉลี่ยอยู่ที่ 12.73%

เปรียบเทียบความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่ามากกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยหน่วยความเค้นจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ 103.06 กก./ซม.², ความเครียดจากผลทดสอบ 487.20×10^{-6} ในขณะที่ ความเค้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 96.69 กก./ซม.², ความเครียดเท่ากับ 457.09×10^{-6} ค่าหน่วยความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต จากการทดสอบ มากกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 6.07%

เปรียบเทียบความเค้น-ความเครียด ของเหล็ก ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่ามากกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยหน่วยความเค้นจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ 1,718.46 กก./ซม.², ความเครียดจากผลทดสอบ 842.38×10^{-6} ในขณะที่ ความเค้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 1,539.29 กก./ซม.², ความเครียดเท่ากับ 754.56×10^{-6} ค่าหน่วยความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต จากการทดสอบ มากกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 11.07%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

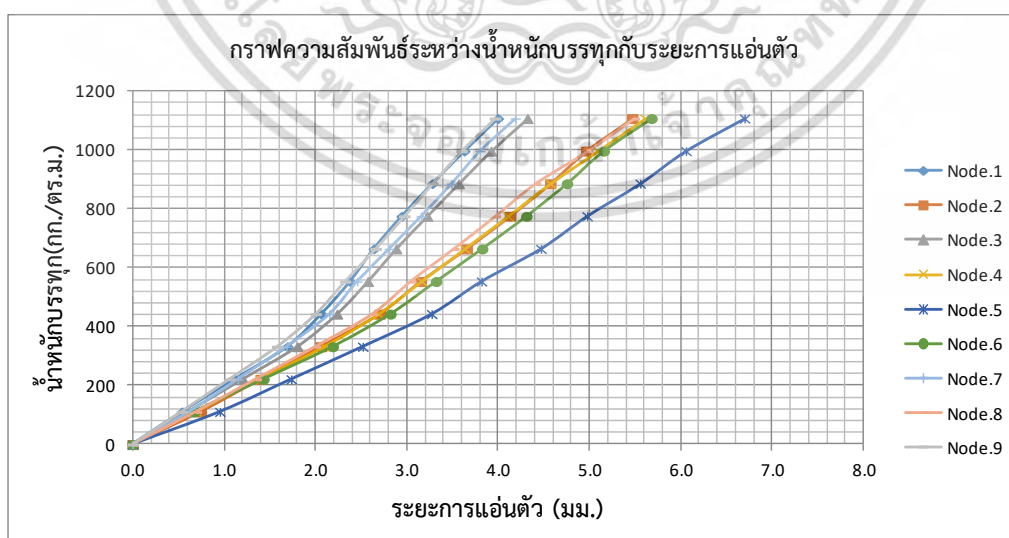
เปรียบเทียบความแรงภายในหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่ามากกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยแรงภายในหน้าตัดจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ 1,092.94 กก. , โมเมนต์ดัด 44.58 กก.-ม. ในขณะที่ แรงภายในหน้าตัดได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 978.99 กก. , โมเมนต์ดัด 40.14 กก.-ม. แรงภายในหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น จากการทดสอบ มากกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 11.64%

เปรียบเทียบสติเฟนสการ ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 8.31% เนื่องจากพื้นที่ได้จากการทดสอบมีค่าการแอ่นตัวที่มากกว่าทำให้สติเฟนสการดัดจึงมีค่าน้อยกว่า

4.1.1. ผลการทดสอบของพื้นที่ S1

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวของพื้นที่ S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.5423	0.7443	0.6099	0.6974	0.9558	0.6740	0.6207	0.6944	0.5372
221.61	1.1181	1.4040	1.2074	1.4001	1.7381	1.4330	1.1532	1.3474	1.0612
332.41	1.6940	2.0636	1.8049	2.1028	2.5204	2.1919	1.6858	2.0004	1.5851
443.21	2.0669	2.7046	2.2391	2.6975	3.2757	2.8240	2.1553	2.6230	2.0074
554.02	2.3811	3.1549	2.5759	3.1678	3.8216	3.3240	2.4602	3.0424	2.3269
664.82	2.6414	3.6587	2.8861	3.6397	4.4723	3.8289	2.8099	3.5134	2.6620
775.62	2.9455	4.1332	3.2264	4.1129	4.9787	4.3127	3.1600	3.9687	2.9771
886.43	3.2818	4.5740	3.5716	4.5763	5.5611	4.7576	3.4918	4.4086	3.2868
997.23	3.6334	4.9693	3.9263	5.0961	6.0609	5.1602	3.8054	4.9811	3.6031
1,108.03	4.0018	5.4731	4.3244	5.6128	6.7028	5.6834	4.1912	5.4862	3.9685

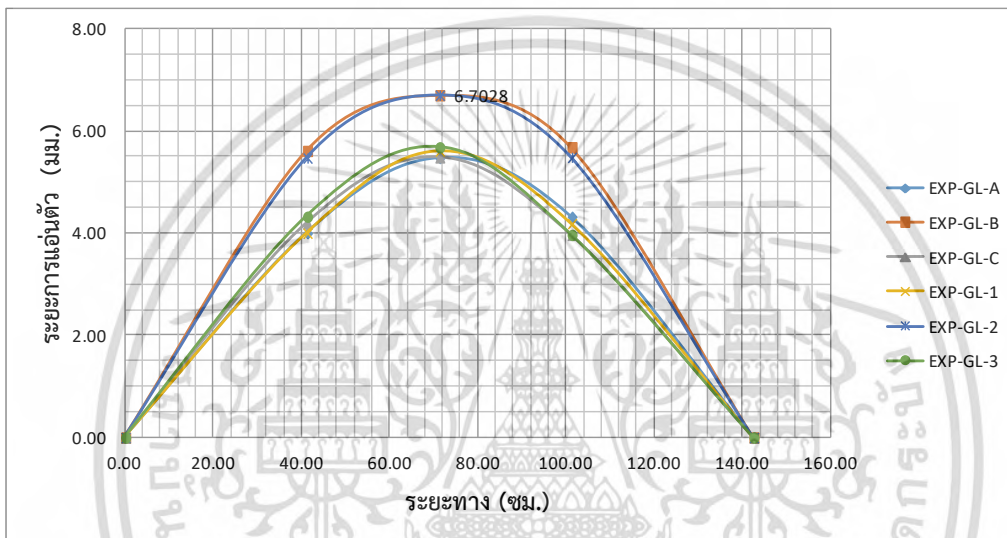


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ของพื้น S1

ระยะทาง At.0----->At.142.5 (ซม.)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)					
	X-Longdional			Y-Longdional		
	EXP-GL-A	EXP-GL-B	EXP-GL-C	EXP-GL-1	EXP-GL-2	EXP-GL-3
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41.25	4.0018	5.6128	4.1912	4.0018	5.4731	4.3244
71.25	5.4731	6.7028	5.4862	5.6128	6.7028	5.6834
101.25	4.3244	5.6834	3.9685	4.1912	5.4862	3.9685
142.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

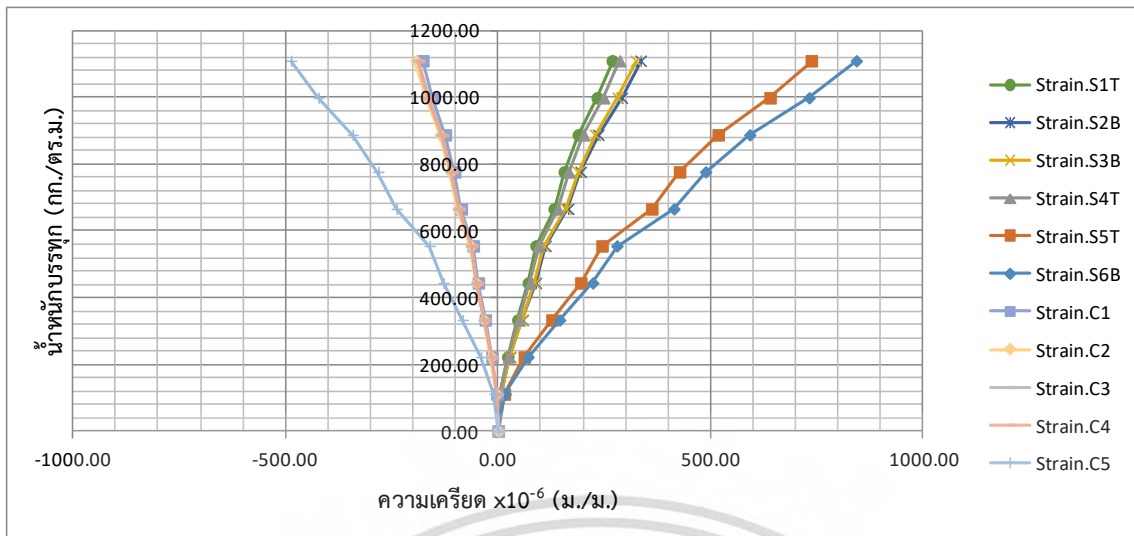


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวนอน X-Y ในพื้น S1

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเครียดของเหล็ก(E_s) $\times 10^{-6}$ (ม./ม.)						ความเครียดของคอนกรีต(E_c) $\times 10^{-6}$ (ม./ม.)				
	Strain.S1T	Strain.S2B	Strain.S3B	Strain.S4T	Strain.S5T	Strain.S6B	Strain.C1	Strain.C2	Strain.C3	Strain.C4	Strain.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	5.2416	6.5499	6.3342	5.5908	14.4013	16.4713	-3.4673	-3.7882	-3.6635	-3.6982	-9.5263
221.61	22.3020	27.8684	26.9509	23.7875	61.2746	70.0819	-14.7525	-16.1179	-15.5873	-15.7352	-40.5324
332.41	45.9528	57.4223	55.5318	49.0137	126.2550	144.4023	-30.3972	-33.2106	-32.1172	-32.4220	-83.5162
443.21	70.7207	88.3722	85.4627	75.4314	194.3049	222.2333	-46.7810	-51.1108	-49.4280	-49.8970	-128.5304
554.02	88.8321	111.0040	107.3494	94.7492	244.0657	279.1466	-58.7614	-64.2001	-62.0864	-62.6755	-161.4467
664.82	131.4715	164.2860	158.8772	140.2289	361.2174	413.1371	-86.9669	-95.0161	-91.8879	-92.7598	-238.9411
775.62	155.2249	193.9681	187.5820	165.5644	426.4796	487.7798	-102.6795	-112.1830	-108.4896	-109.5190	-282.1114
886.43	188.2878	235.2833	227.5370	200.8297	517.3198	591.6769	-124.5502	-136.0780	-131.5978	-132.8465	-342.2011
997.23	232.6940	290.7730	281.1998	248.1937	639.3256	731.2193	-153.9244	-168.1709	-162.6341	-164.1773	-422.9065
1108.03	268.0687	334.9769	323.9484	285.9247	736.5173	842.3808	-177.3243	-193.7366	-187.3582	-189.1359	-487.1977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

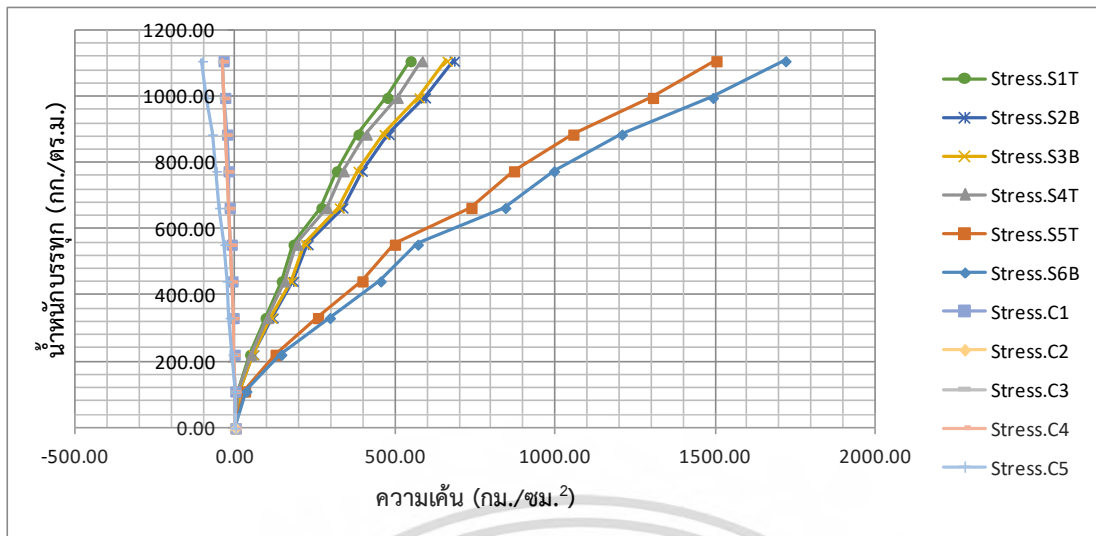


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)						ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)					
	Stress.S1T	Stress.S2B	Stress.S3B	Stress.S4T	Stress.S5T	Stress.S6B	Stress.C1	Stress.C2	Stress.C3	Stress.C4	Stress.C5	
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
110.80	10.6929	13.3618	12.9219	11.4052	29.3787	33.6014	-0.7334	-0.8013	-0.7749	-0.7823	-2.0151	
221.61	45.4960	56.8516	54.9798	48.5265	125.0001	142.9671	-3.1207	-3.4095	-3.2972	-3.3285	-8.5740	
332.41	93.7436	117.1415	113.2848	99.9879	257.5602	294.5807	-6.4300	-7.0252	-6.7939	-6.8583	-17.6665	
443.21	144.2703	180.2793	174.3439	153.8801	396.3819	453.3560	-9.8958	-10.8117	-10.4557	-10.5549	-27.1885	
554.02	181.2175	226.4482	218.9928	193.2884	497.8941	569.4591	-12.4300	-13.5805	-13.1334	-13.2580	-34.1514	
664.82	268.2019	335.1435	324.1094	286.0669	736.8834	842.7996	-18.3964	-20.0991	-19.4374	-19.6218	-50.5441	
775.62	316.6588	395.6948	382.6673	337.7514	870.0184	995.0708	-21.7202	-23.7305	-22.9492	-23.1670	-59.6761	
886.43	384.1071	479.9778	464.1754	409.6925	1055.3324	1207.0209	-26.3466	-28.7851	-27.8374	-28.1015	-72.3871	
997.23	474.6958	593.1768	573.6475	506.3152	1304.2242	1491.6873	-32.5602	-35.5738	-34.4026	-34.7291	-89.4590	
1108.03	546.8601	683.3529	660.8547	583.2864	1502.4952	1718.4569	-37.5101	-40.9818	-39.6326	-40.0086	-103.0588	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1

จากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน จากนั้นทำการหาค่าแรงภายในบนหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น

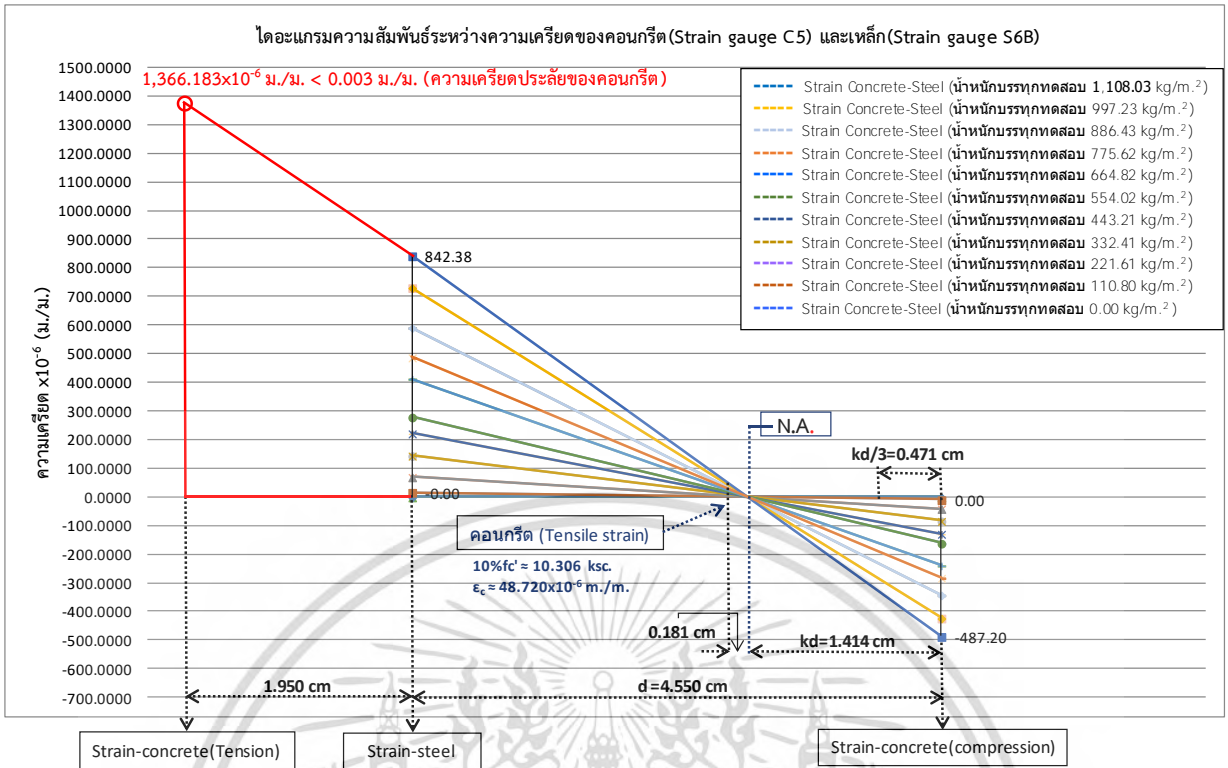
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเครียดคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^6$	ความเครียดเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^6$	ระยะแกนสะเทิน (กม.)	ความเครียดคอนกรีต (10%คอนกรีตช่วยรับแรงดึง) (ม./ม.) $\times 10^6$	ระยะแกนสะเทิน-ตำแหน่ง ความเครียดคอนกรีตช่วยรับแรงดึง (กม.)	ความเครียดคอนกรีต (Tension) (ม./ม.) $\times 10^6$
Strain.C1,4-Strain.S1T,4T	-183.230	276.997	1.236	18.323	0.160	604.063
Strain.C2,3-Strain.S2B,3B	-190.547	329.463	1.414	19.005	0.181	534.326
Strain.C5-Strain.S5T	-487.198	736.517	1.236	48.720	0.160	1,606.176
Strain.C5-Strain.S6B	-487.198	842.381	1.414	48.720	0.181	1,366.183

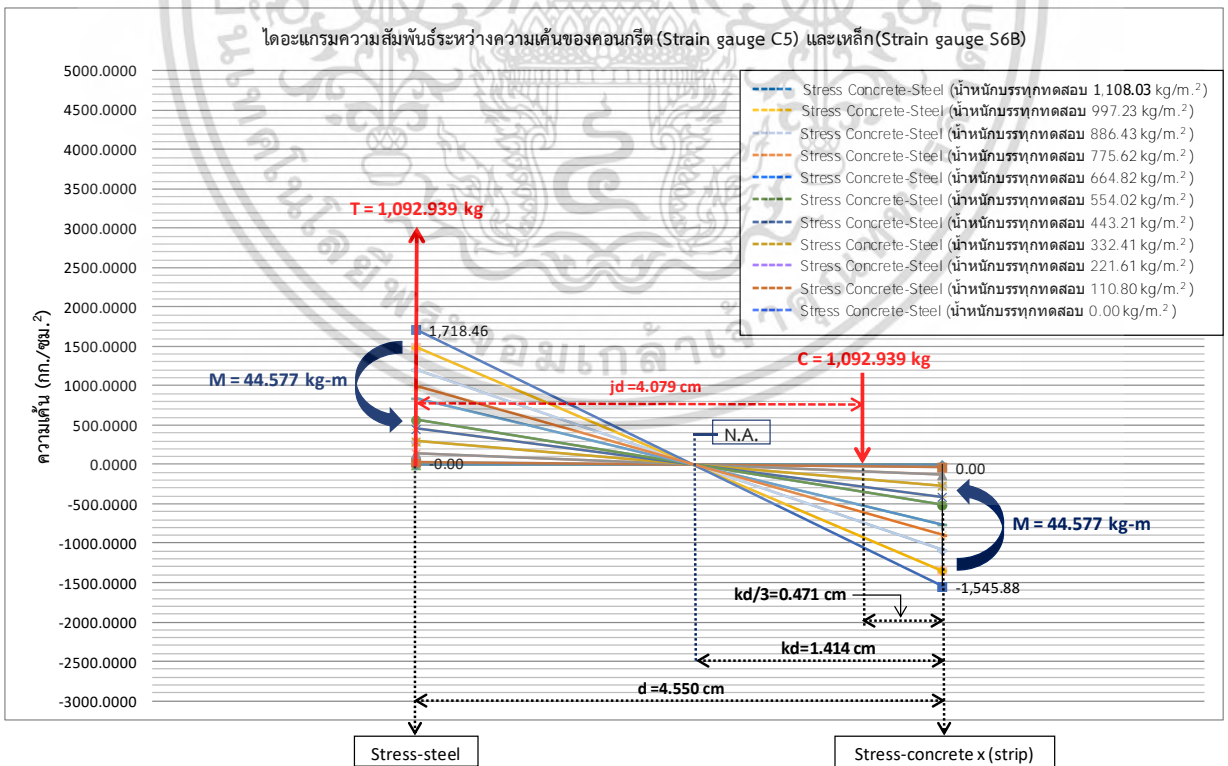
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเค้นคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^6$	ความเค้นเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^6$	ระยะแกนสะเทิน (กม.)	ระยะแขนของโมเมนต์ดัด (กม.)	แรงภายในบนหน้าตัด C=T (กน.)	โมเมนต์ดัดบนหน้าตัด (กน.-ม.)
Stress.C1,4-Stress.S1T,4T	-38.759	565.073	1.236	3.238	359.387	11.637
Stress.C2,3-Stress.S2B,3B	-40.307	672.104	1.414	4.079	427.458	17.435
Stress.C5-Stress.S5T	-103.059	1,502.495	1.236	3.238	955.587	30.942
Stress.C5-Stress.S6B	-103.059	1,718.457	1.414	4.079	1,092.939	44.577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

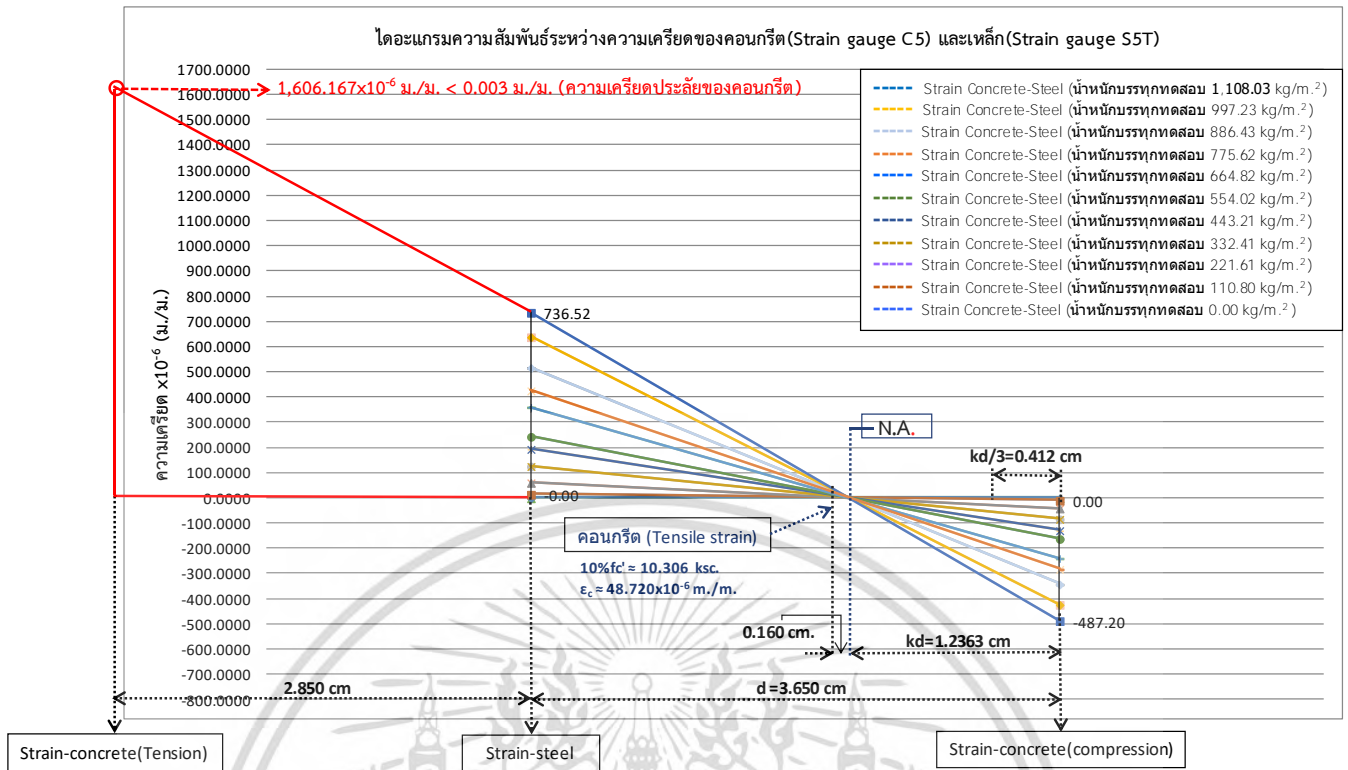


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1

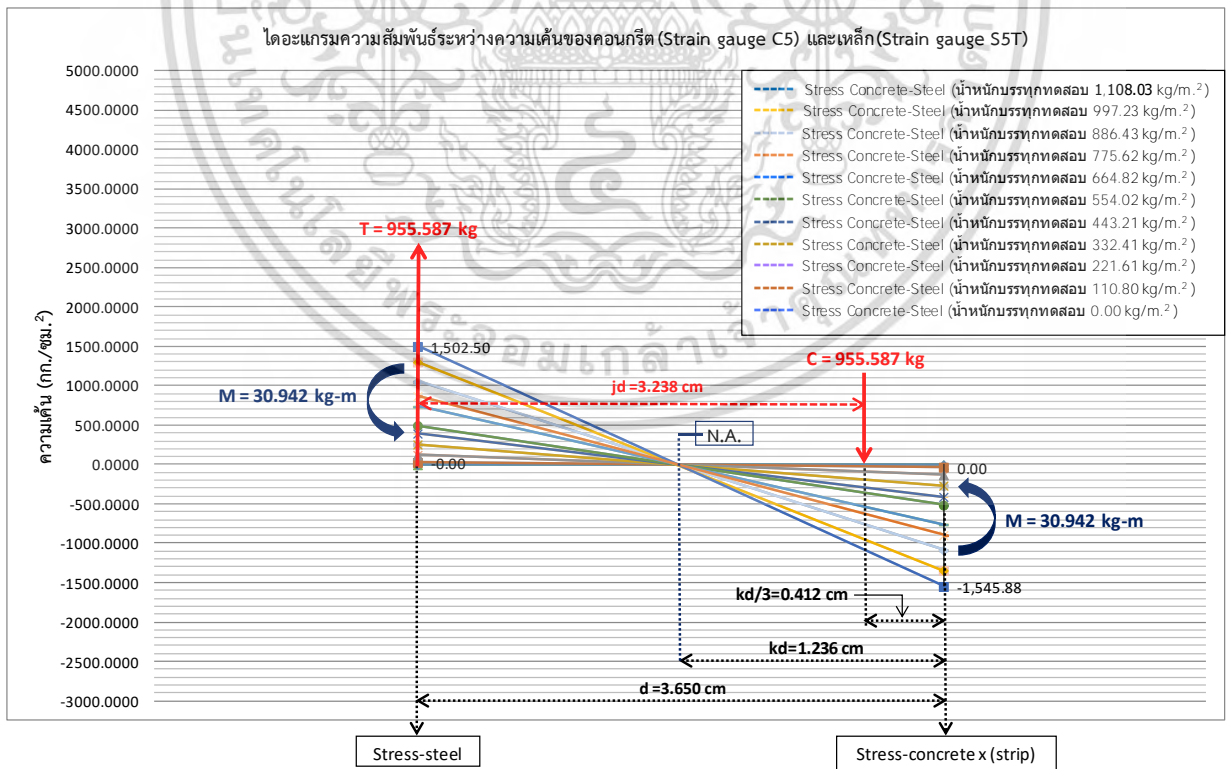


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

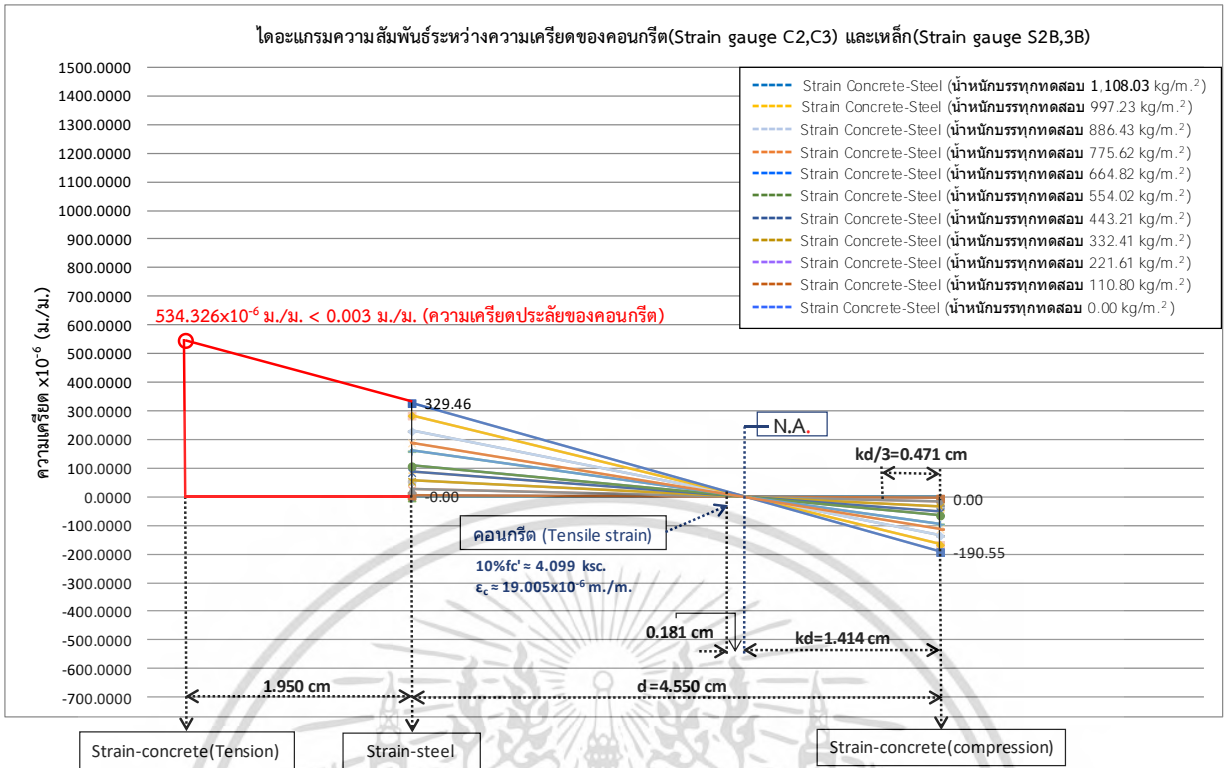


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1

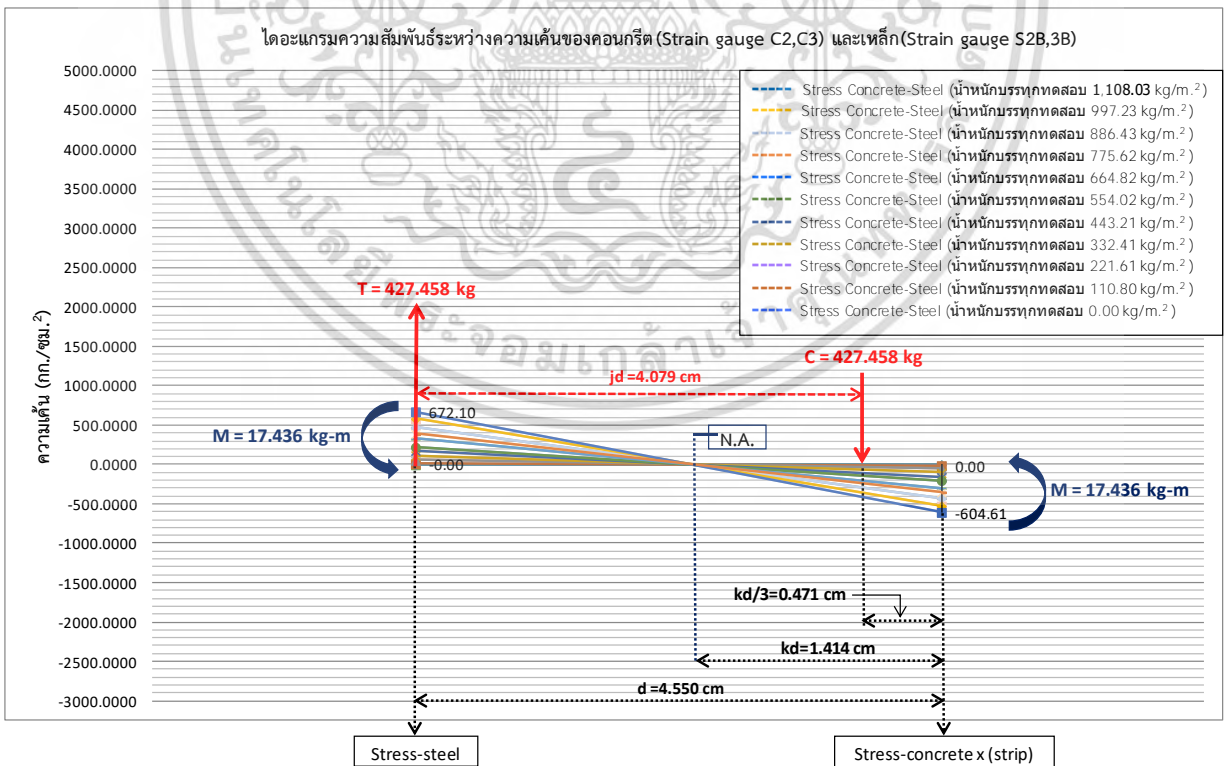


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

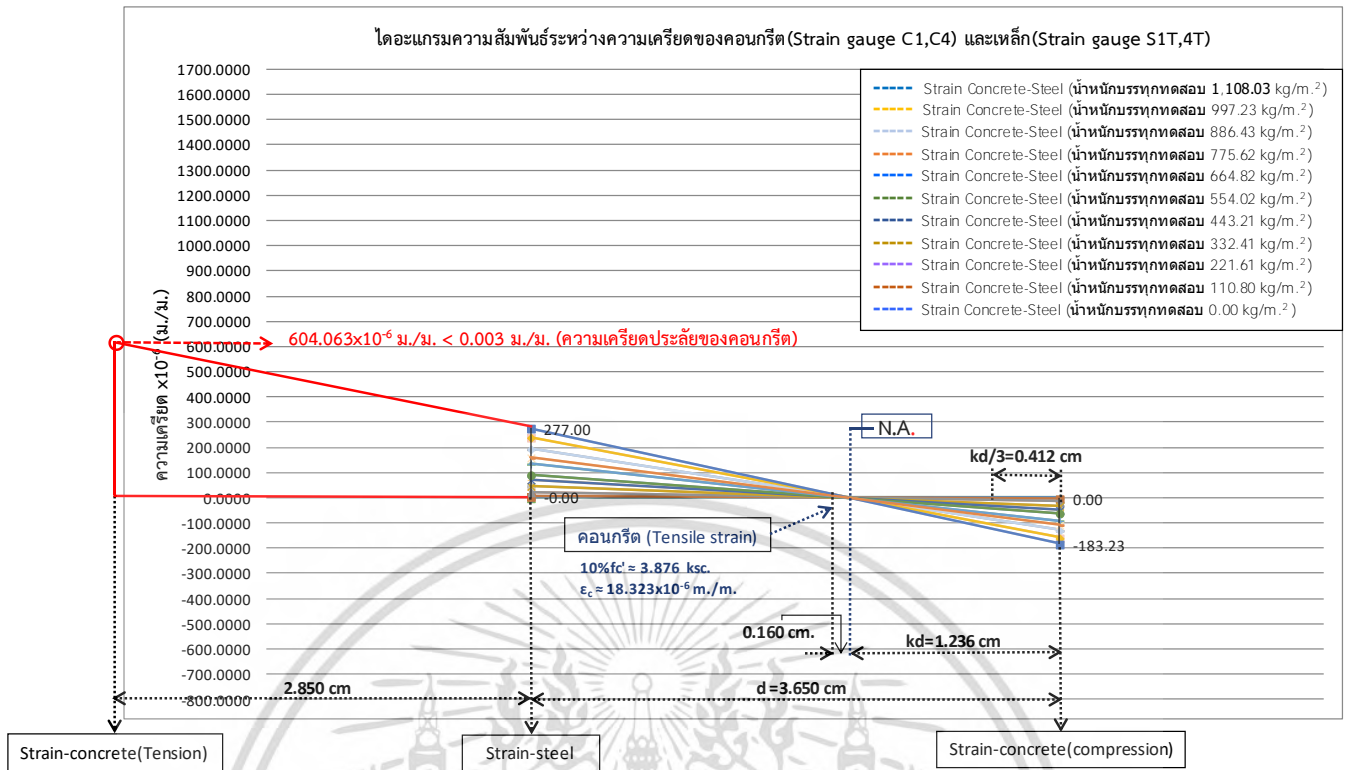


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1

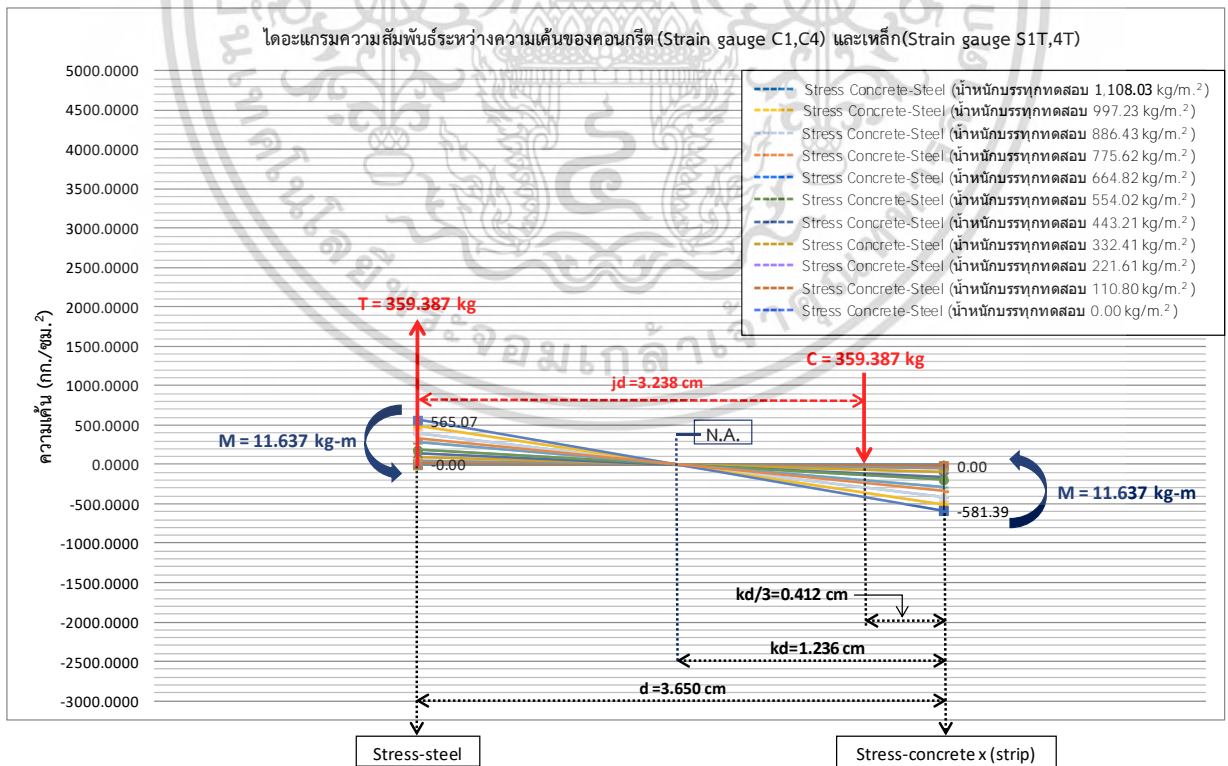


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1

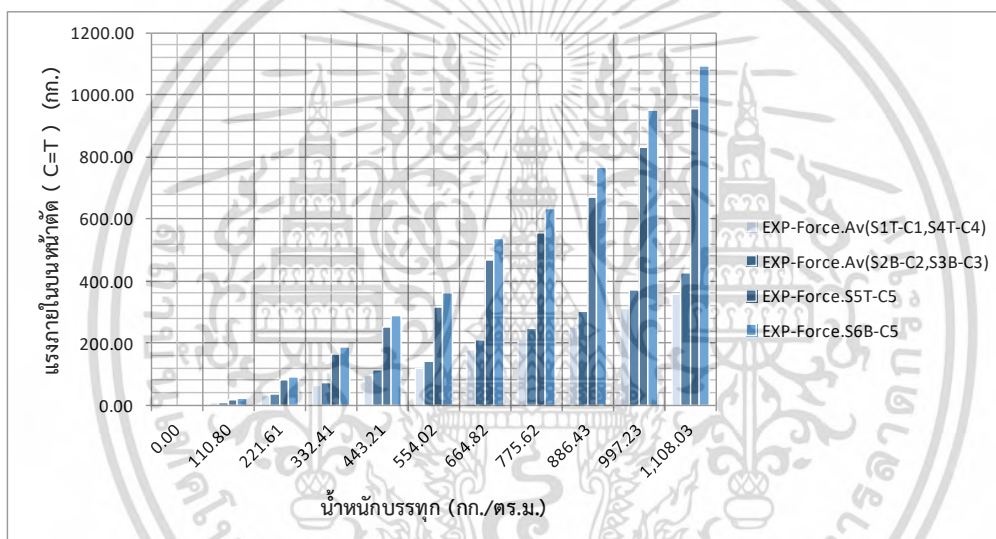


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับกรมโยธาธิการและผังเมือง เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	แรงอัดของคอนกรีต (C) (กก.) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T) (กก.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	6.8007	8.4981	8.2183	7.2537	18.6848	21.3705
221.61	28.9355	36.1576	34.9672	30.8629	79.5001	90.9271
332.41	59.6210	74.5020	72.0491	63.5923	163.8083	187.3533
443.21	91.7559	114.6576	110.8827	97.8678	252.0989	288.3344
554.02	115.2543	144.0211	139.2794	122.9314	316.6606	362.1760
664.82	170.5764	213.1512	206.1336	181.9385	468.6579	536.0206
775.62	201.3950	251.6619	243.3764	214.8099	553.3317	632.8650
886.43	244.2921	305.2659	295.2156	260.5644	671.1914	767.6653
997.23	301.9065	377.2605	364.8398	322.0165	829.4866	948.7131
1,108.03	347.8030	434.6124	420.3036	370.9701	955.5870	1,092.9386



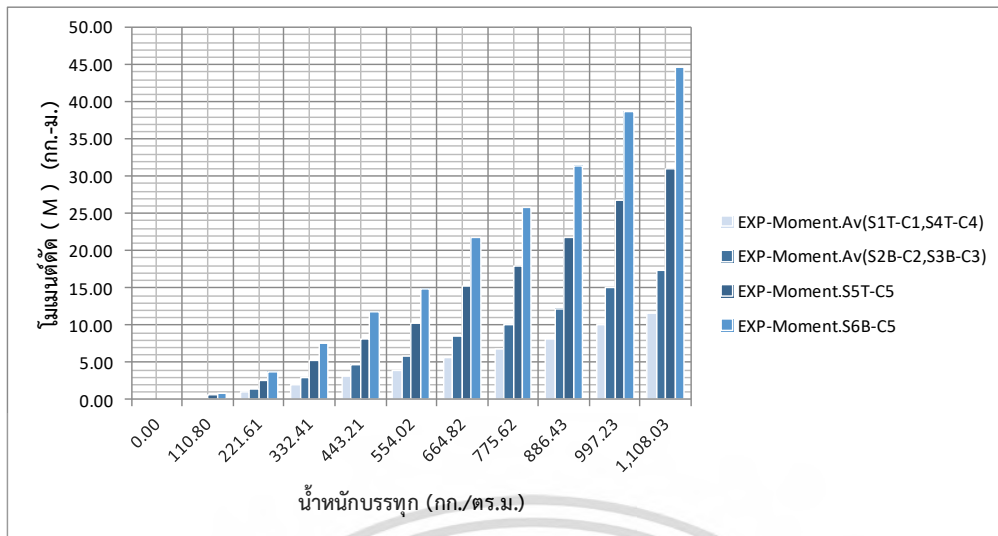
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S1

ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	โมเมนต์ดัด (M) (กก.-ม.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.2202	0.3466	0.3352	0.2349	0.6050	0.8717
221.61	0.9369	1.4749	1.4263	0.9993	2.5742	3.7089
332.41	1.9305	3.0389	2.9389	2.0591	5.3041	7.6421
443.21	2.9711	4.6769	4.5229	3.1690	8.1630	11.7612
554.02	3.7319	5.8746	5.6812	3.9805	10.2535	14.7732
664.82	5.5233	8.6944	8.4082	5.8912	15.1751	21.8643
775.62	6.5212	10.2653	9.9273	6.9555	17.9169	25.8146
886.43	7.9102	12.4518	12.0418	8.4371	21.7332	31.3131
997.23	9.7757	15.3885	14.8818	10.4269	26.8588	38.6980
1,108.03	11.2619	17.7278	17.1442	12.0120	30.9419	44.5810

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เตรียมไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานการค้ำ

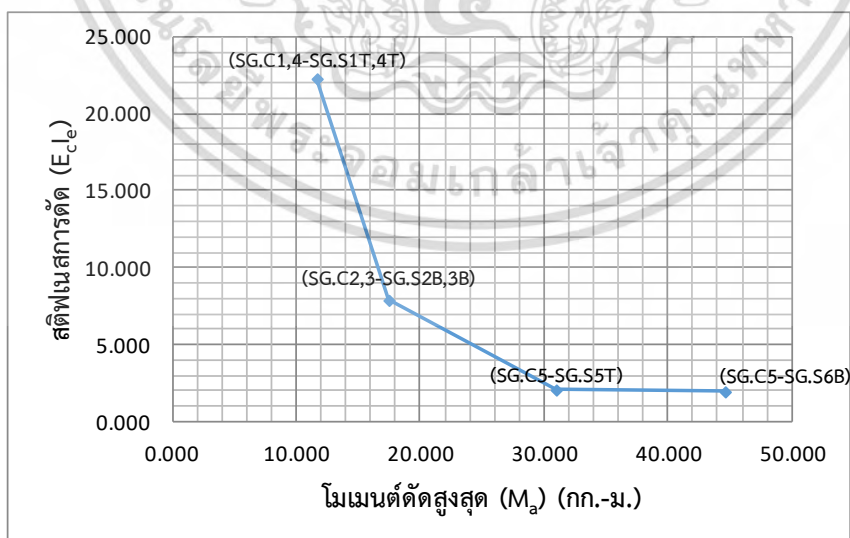
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1

ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติเฟนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งของพื้น S1

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	โมเมนต์ดัดสูงสุด (M_a) (กก.-ม.)	โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว (I_{cr}) (ซม. ⁴)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)	สติเฟนสการดัด ($E_c I_e$) $\times 10^3$
SG.C1,4-SG.S1T,4T	11.637	46.503	1,055.563	22.329
SG.C2,3-SG.S2B,3B	17.436	76.683	375.452	7.942
SG.C5-SG.S5T	30.942	46.503	100.181	2.119
SG.C5-SG.S6B	44.581	76.683	94.557	2.000



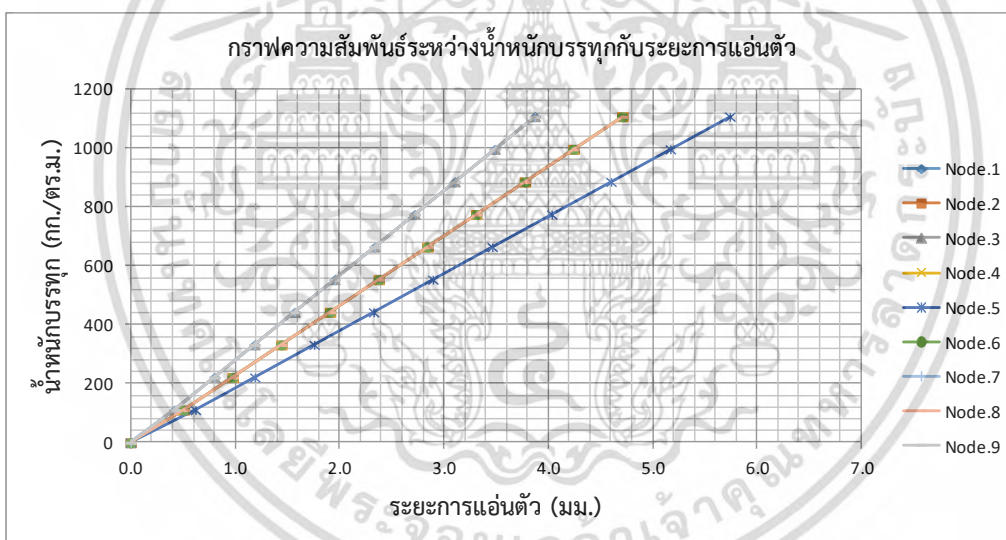
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2. การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ของพื้น S1

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวของพื้น S1

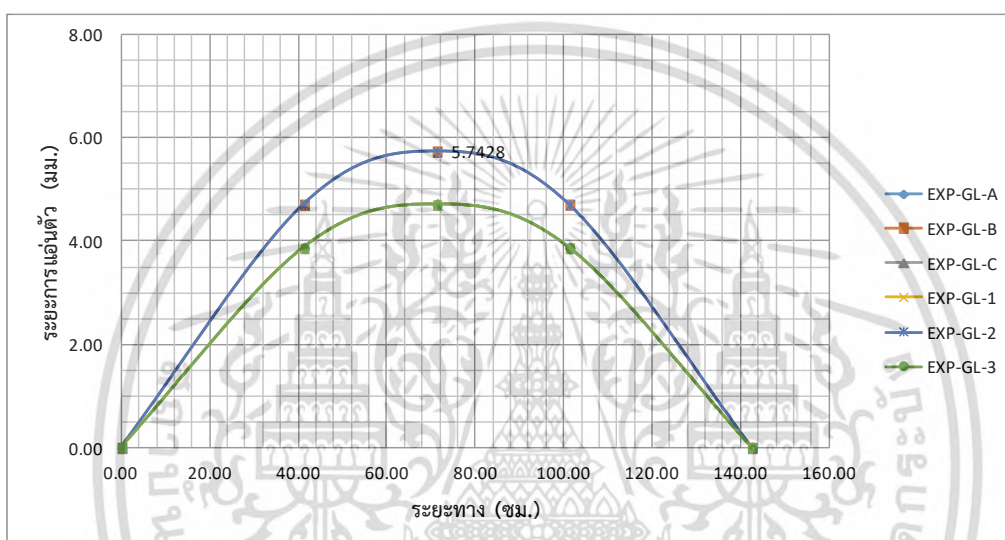
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.4193	0.5102	0.4193	0.5102	0.6216	0.5102	0.4193	0.5102	0.4193
221.61	0.8030	0.9772	0.8030	0.9772	1.1906	0.9772	0.8030	0.9772	0.8030
332.41	1.1869	1.4441	1.1869	1.4441	1.7595	1.4441	1.1869	1.4441	1.1869
443.21	1.5707	1.9110	1.5707	1.9110	2.3284	1.9110	1.5707	1.9110	1.5707
554.02	1.9545	2.3780	1.9545	2.3780	2.8974	2.3780	1.9545	2.3780	1.9545
664.82	2.3382	2.8449	2.3382	2.8449	3.4663	2.8449	2.3382	2.8449	2.3382
775.62	2.7220	3.3118	2.7220	3.3118	4.0352	3.3118	2.7220	3.3118	2.7220
886.43	3.1058	3.7788	3.1058	3.7788	4.6042	3.7788	3.1058	3.7788	3.1058
997.23	3.4896	4.2457	3.4896	4.2457	5.1731	4.2457	3.4896	4.2457	3.4896
1,108.03	3.8733	4.7126	3.8733	4.7126	5.7428	4.7126	3.8733	4.7126	3.8733



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S1

ตารางที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ของพื้น S1

ระยะทาง At.0----->At.142.5 (ซม.)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)					
	X-Longditiional			Y-Longditiional		
	EXP-GL-A	EXP-GL-B	EXP-GL-C	EXP-GL-1	EXP-GL-2	EXP-GL-3
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41.25	3.8733	4.7126	3.8733	3.8733	4.7126	3.8733
71.25	4.7126	5.7428	4.7126	4.7126	5.7428	4.7126
101.25	3.8733	4.7126	3.8733	3.8733	4.7126	3.8733
142.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

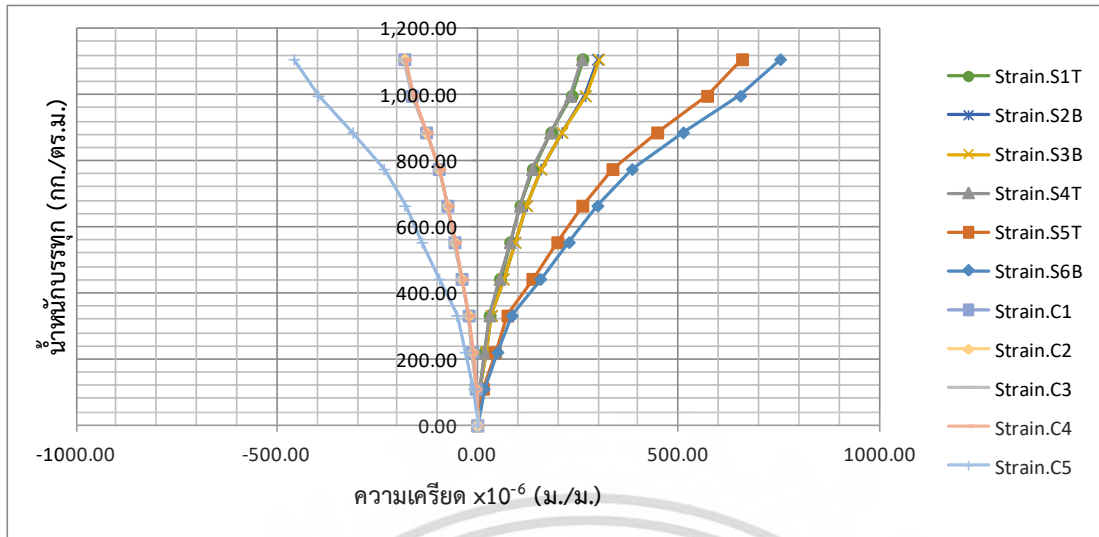


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S1

ตารางที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเครียดของเหล็ก(ϵ_s) $\times 10^6$ (ม./ม.)						ความเครียดของคอนกรีต(ϵ_c) $\times 10^6$ (ม./ม.)				
	Strain.S1T	Strain.S2B	Strain.S3B	Strain.S4T	Strain.S5T	Strain.S6B	Strain.C1	Strain.C2	Strain.C3	Strain.C4	Strain.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	5.8229	6.6504	6.6663	5.7287	14.1664	16.2025	-4.0343	-4.0286	-4.0383	-3.9691	-9.8151
221.61	18.1052	20.6782	20.7279	17.8126	44.0479	50.3790	-12.5441	-12.5263	-12.5565	-12.3414	-30.5184
332.41	30.8852	35.2743	35.3591	30.3860	75.1402	85.9402	-21.3987	-21.3684	-21.4197	-21.0528	-52.0606
443.21	56.4492	64.4713	64.6262	55.5368	137.3345	157.0738	-39.1106	-39.0552	-39.1491	-38.4784	-95.1516
554.02	82.0140	93.6691	93.8943	80.6884	199.5307	228.2095	-56.8230	-56.7425	-56.8789	-55.9046	-138.2440
664.82	107.5732	122.8606	123.1559	105.8345	261.7133	299.3298	-74.5316	-74.4260	-74.6050	-73.3270	-181.3269
775.62	138.4499	158.1252	158.5053	136.2121	336.8328	385.2463	-95.9244	-95.7885	-96.0188	-94.3740	-233.3732
886.43	184.2599	210.4453	210.9512	181.2817	448.2832	512.7156	-127.6637	-127.4828	-127.7893	-125.6002	-310.5911
997.23	235.3881	268.8394	269.4857	231.5835	572.6724	654.9835	-163.0876	-162.8566	-163.2481	-160.4517	-396.7736
1,108.03	262.1840	299.3557	302.6490	260.0825	659.7313	754.5555	-181.6531	-181.3426	-183.3376	-180.1971	-457.0920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

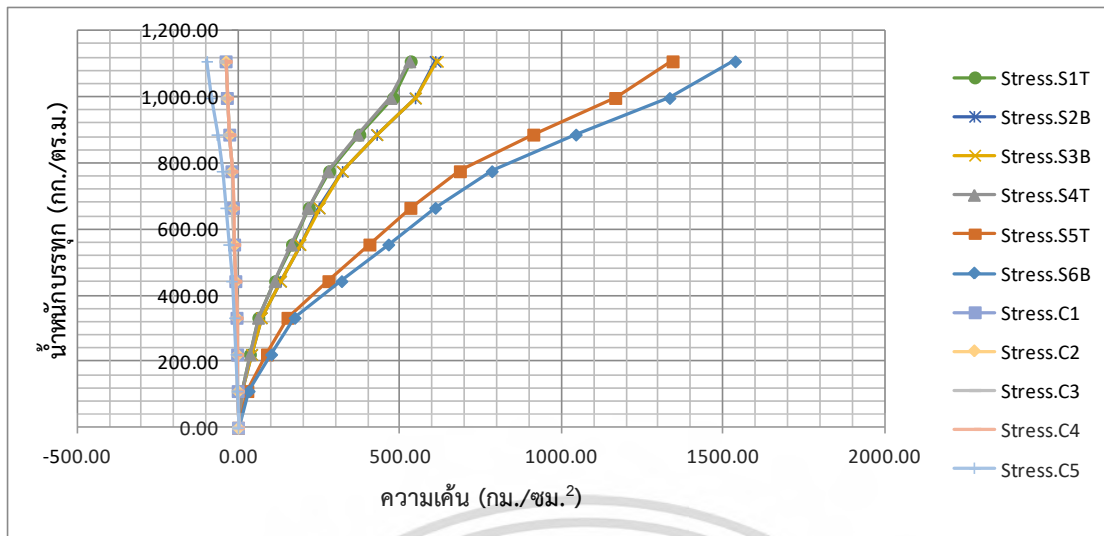


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1

ตารางที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)						ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)				
	Stress.S1T	Stress.S2B	Stress.S3B	Stress.S4T	Stress.S5T	Stress.S6B	Stress.C1	Stress.C2	Stress.C3	Stress.C4	Stress.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	11.8786	13.5667	13.5993	11.6866	28.8994	33.0531	-0.8534	-0.8522	-0.8542	-0.8396	-2.0762
221.61	36.9346	42.1834	42.2848	36.3376	89.8577	102.7731	-2.6535	-2.6497	-2.6561	-2.6106	-6.4557
332.41	63.0058	71.9597	72.1326	61.9875	153.2860	175.3180	-4.5265	-4.5201	-4.5310	-4.4534	-11.0126
443.21	115.1564	131.5214	131.8375	113.2951	280.1623	320.4305	-8.2732	-8.2615	-8.2814	-8.1395	-20.1278
554.02	167.3085	191.0850	191.5443	164.6043	407.0426	465.5474	-12.0200	-12.0030	-12.0318	-11.8257	-29.2433
664.82	219.4493	250.6356	251.2381	215.9024	533.8951	610.6327	-15.7660	-15.7436	-15.7815	-15.5111	-38.3568
775.62	282.4378	322.5754	323.3508	277.8728	687.1389	785.9025	-20.2913	-20.2625	-20.3112	-19.9633	-49.3663
886.43	375.8901	429.3084	430.3404	369.8146	914.4977	1,045.9399	-27.0052	-26.9669	-27.0317	-26.5687	-65.7005
997.23	480.1917	548.4325	549.7508	472.4304	1,168.2517	1,336.1663	-34.4986	-34.4497	-34.5325	-33.9410	-83.9310
1,108.03	534.8554	610.6856	617.4039	530.5684	1,345.8519	1,539.2933	-38.4258	-38.3601	-38.7821	-38.1178	-96.6904

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S1

จากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน จากนั้นทำการหาค่าแรงภายในบนหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น

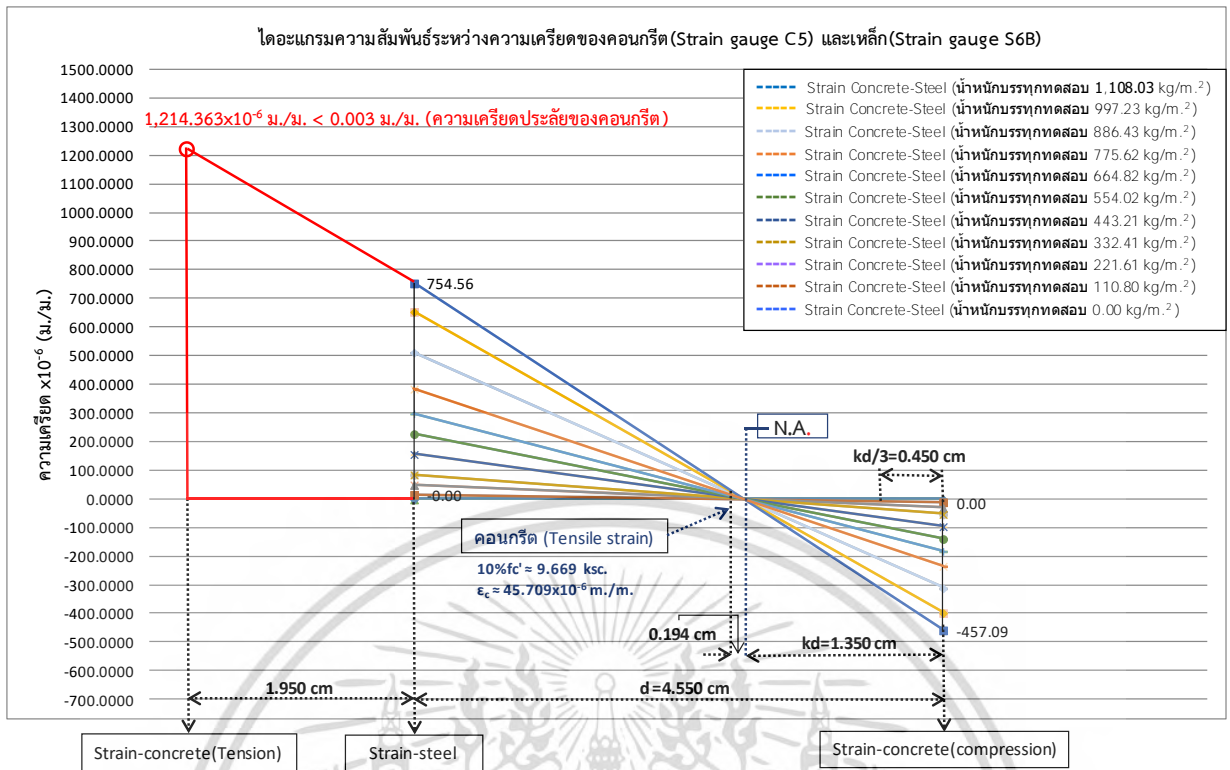
ตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเครียดคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเครียดเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (10%คอนกรีตช่วยรับแรงดึง) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน-ตำแหน่ง ความเครียดคอนกรีตช่วยรับแรงดึง (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$
Strain.C1,4-Strain.S1T,4T	180.925	261.133	1.180	18.093	0.171	562.441
Strain.C2,3-Strain.S2B,3B	182.340	301.002	1.350	18.234	0.194	484.426
Strain.C5-Strain.S5T	457.092	659.731	1.180	45.709	0.171	1,421.052
Strain.C5-Strain.S6B	457.092	754.556	1.350	45.709	0.194	1,214.363

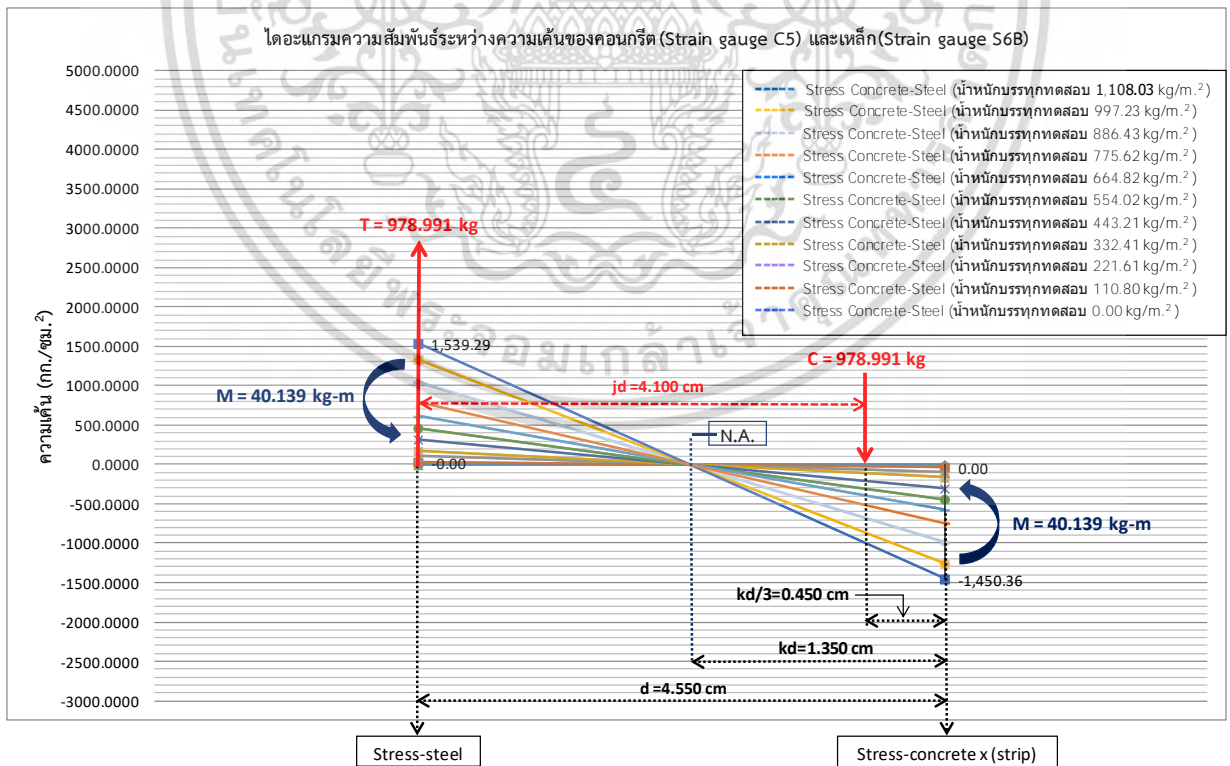
ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S1

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเค้นคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเค้นเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ซม.)	ระยะแขนของโมเมนต์ดัด (jd) (ซม.)	แรงภายในบนหน้าตัด C=T (กก.)	โมเมนต์ดัดบนหน้าตัด (Moment) (กก.-ม.)
Stress.C1,4-Stress.S1T,4T	38.272	532.711	1.180	3.257	338.805	11.034
Stress.C2,3-Stress.S2B,3B	38.571	614.044	1.350	4.100	390.530	16.012
Stress.C5-Stress.S5T	96.690	1,345.851	1.180	3.257	855.962	27.876
Stress.C5-Stress.S6B	96.690	1,539.294	1.350	4.100	978.991	40.139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

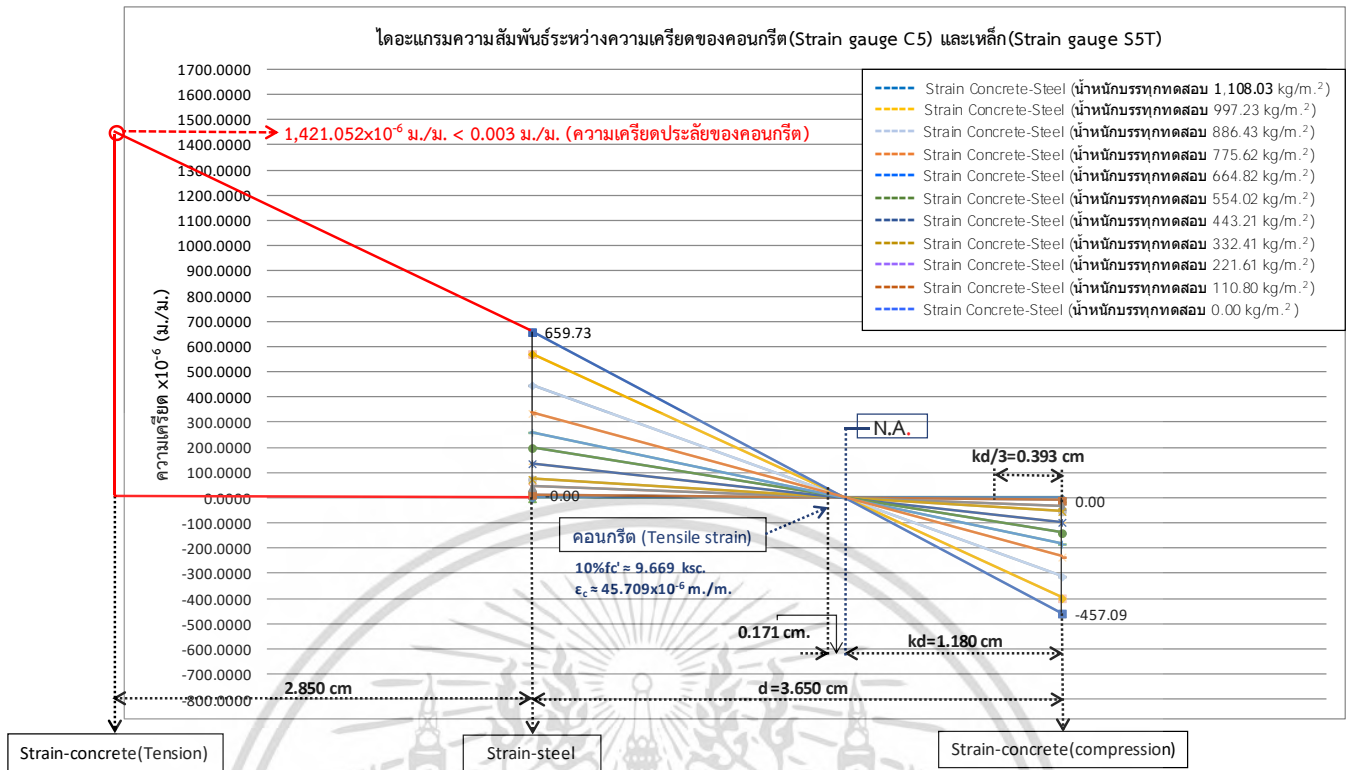


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1

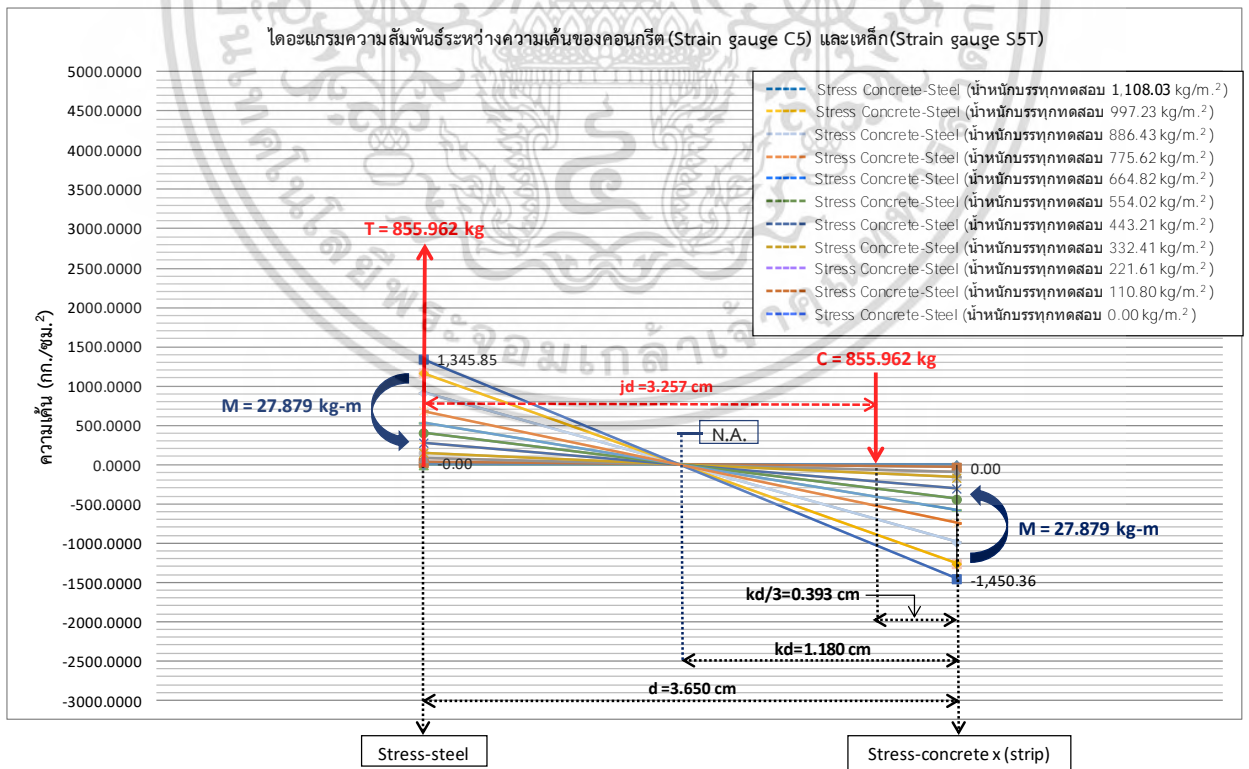


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

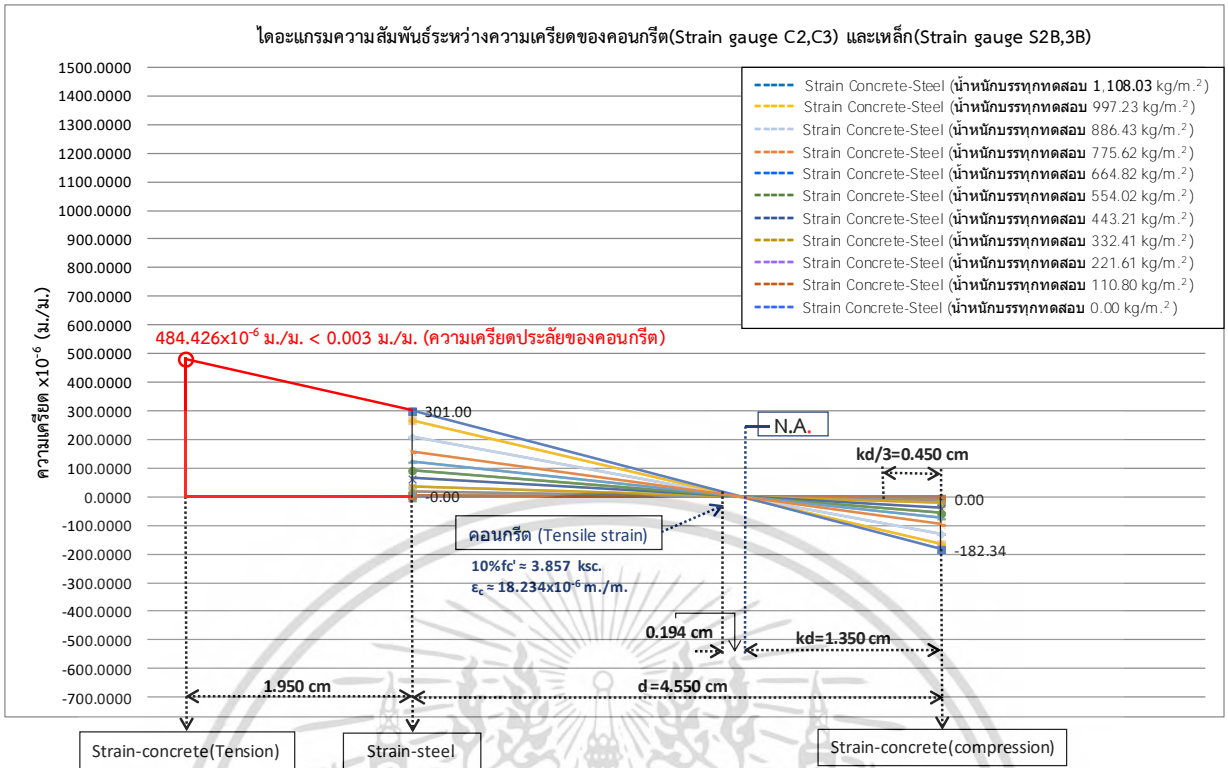


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1

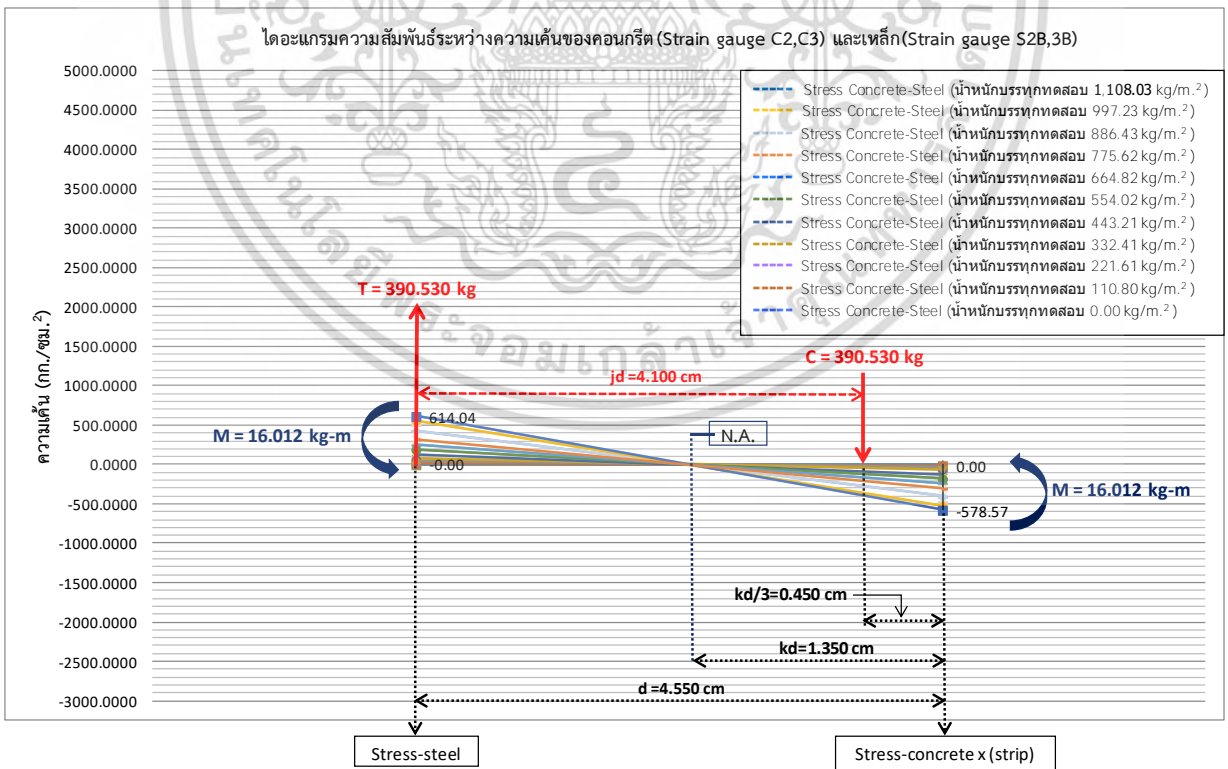


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

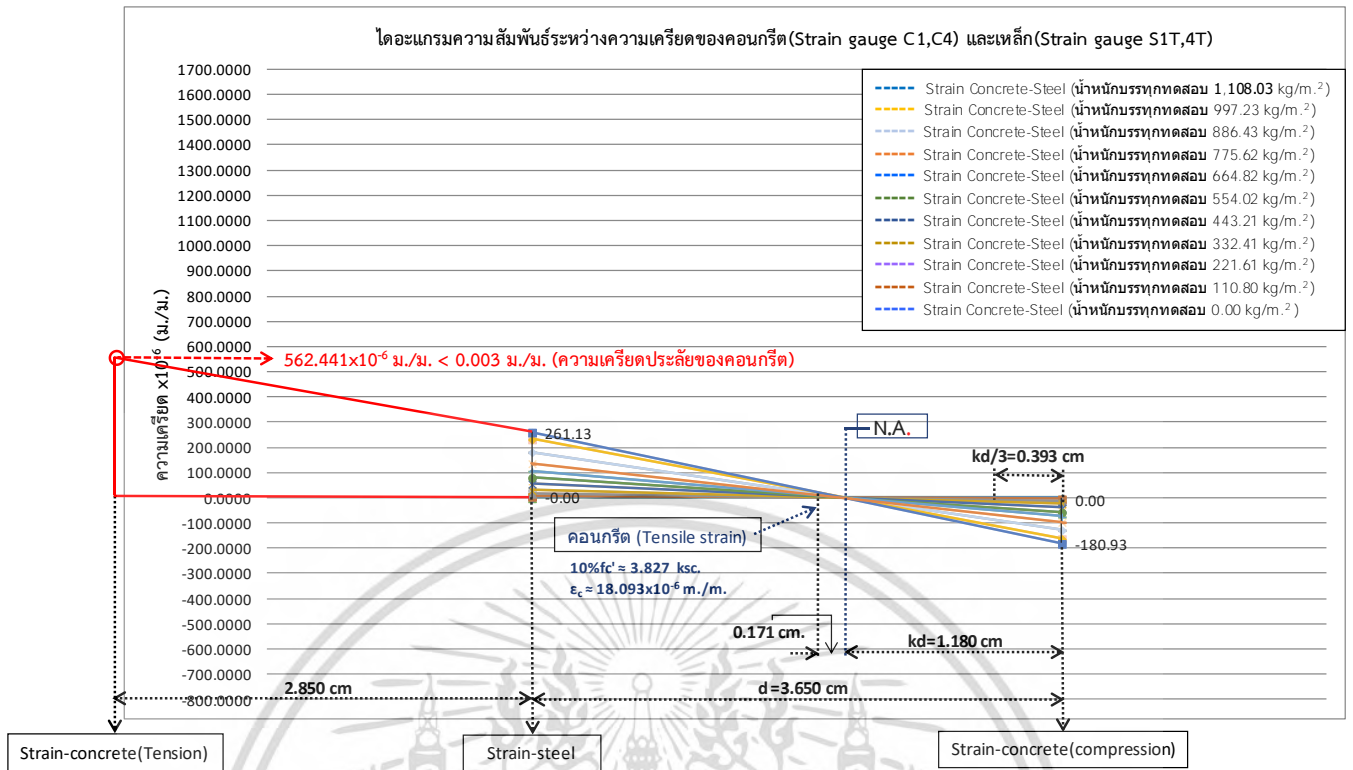


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1

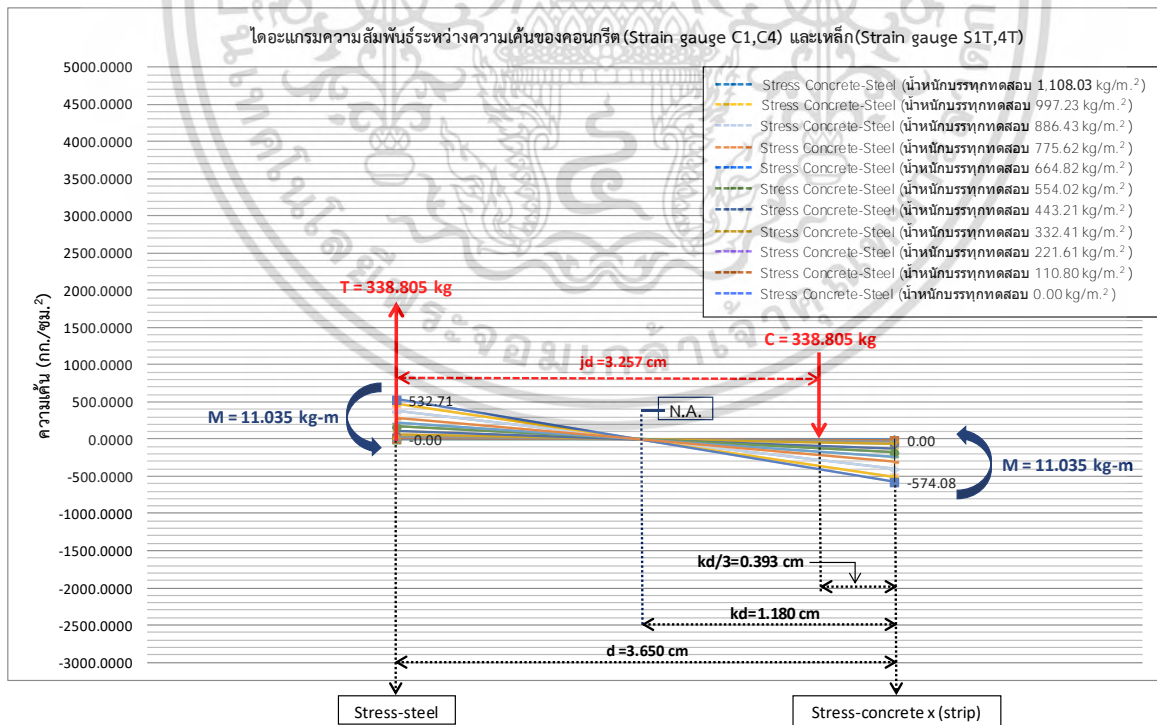


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1

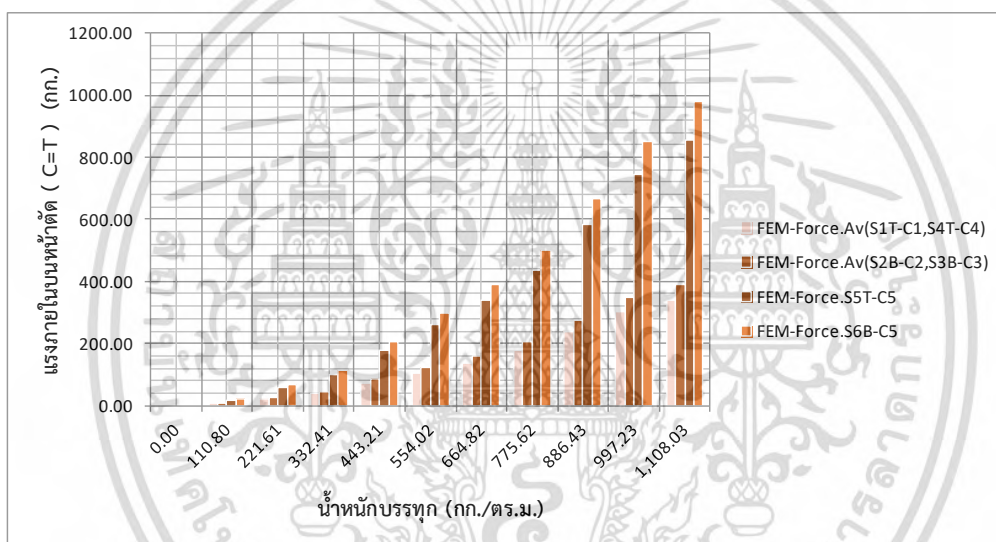


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S1

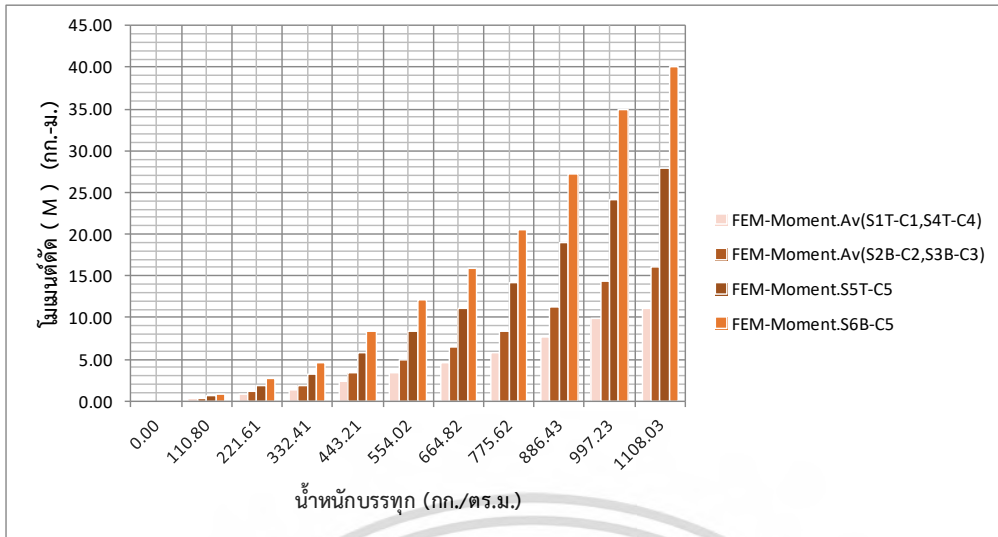
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	แรงอัดของคอนกรีต (C) (กก.) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T) (กก.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	7.5548	8.6284	8.6492	7.4327	18.3800	21.0218
221.61	23.4904	26.8287	26.8932	23.1107	57.1495	65.3637
332.41	40.0717	45.7663	45.8764	39.4240	97.4899	111.5023
443.21	73.2394	83.6476	83.8487	72.0557	178.1832	203.7938
554.02	106.4082	121.5300	121.8222	104.6884	258.8791	296.0882
664.82	139.5698	159.4042	159.7874	137.3139	339.5573	388.3624
775.62	179.6304	205.1580	205.6511	176.7271	437.0204	499.8340
886.43	239.0661	273.0401	273.6965	235.2021	581.6206	665.2178
997.23	305.4020	348.8030	349.6415	300.4657	743.0081	849.8018
1,108.03	340.1681	388.3960	392.6689	337.4415	855.9618	978.9905



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2

ตารางที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ตัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S1

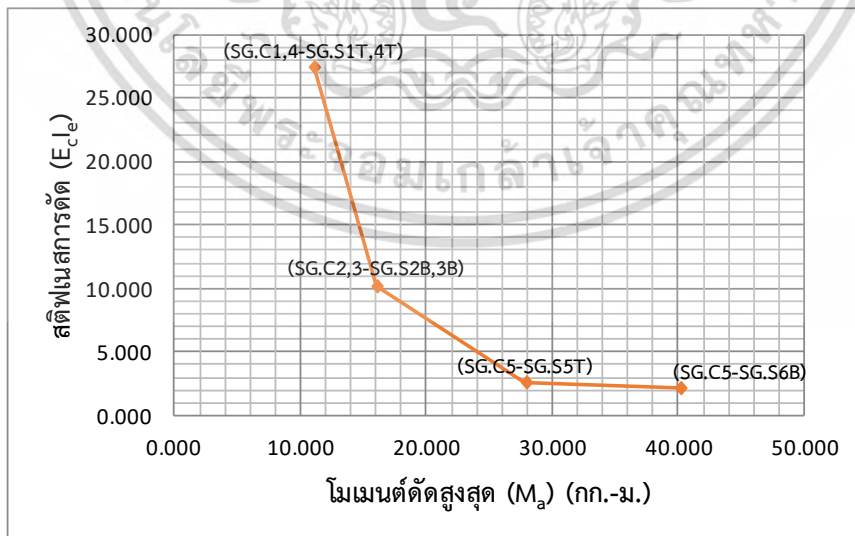
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	โมเมนต์ตัด (M) (กก.-ม.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.2461	0.3538	0.3546	0.2421	0.5986	0.8619
221.61	0.7651	1.1000	1.1026	0.7527	1.8614	2.6799
332.41	1.3051	1.8764	1.8809	1.2840	3.1752	4.5716
443.21	2.3854	3.4296	3.4378	2.3469	5.8034	8.3555
554.02	3.4657	4.9827	4.9947	3.4097	8.4317	12.1396
664.82	4.5458	6.5356	6.5513	4.4723	11.0594	15.9229
775.62	5.8506	8.4115	8.4317	5.7560	14.2338	20.4932
886.43	7.7864	11.1946	11.2216	7.6605	18.9434	27.2739
997.23	9.9469	14.3009	14.3353	9.7862	24.1998	34.8419
1108.03	11.0793	15.9242	16.0994	10.9905	27.8787	40.1386



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนกบรทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S1

ตารางที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติเฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ S1

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	โมเมนต์ดัดสูงสุด (M_u) (กก.-ม.)	โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว (I_{cr}) (ซม. ⁴)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)	สติเฟเนสการดัด ($E_c I_e$) $\times 10^3$
SG.C1,4-SG.S1T,4T	11.035	47.017	1,297.259	27.441
SG.C2,3-SG.S2B,3B	16.012	77.428	482.236	10.201
SG.C5-SG.S5T	27.879	47.017	124.549	2.635
SG.C5-SG.S6B	40.139	77.428	103.125	2.181



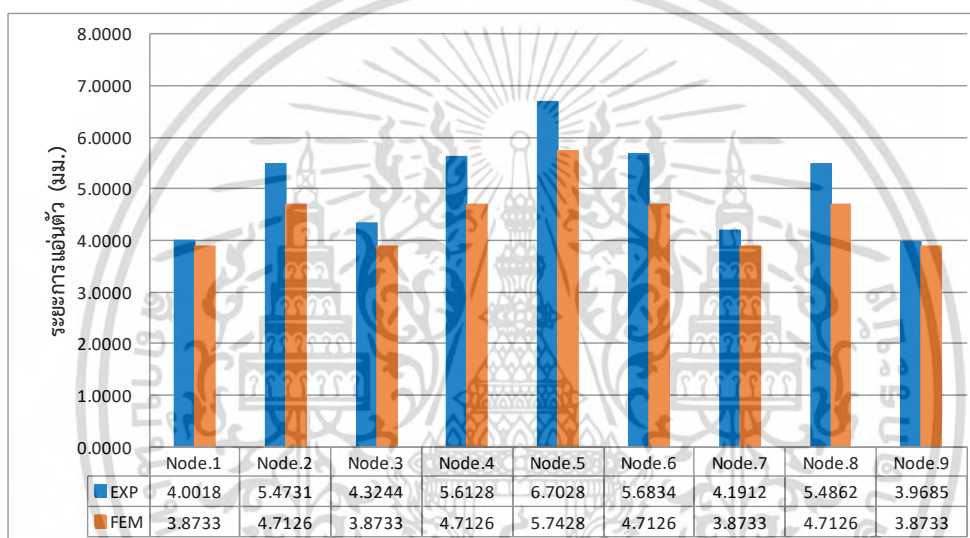
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการแอ่นตัว เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

น้ำหนักบรรทุกกระทำ 1,108.03 กก./ม. ²	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
EXP	4.0018	5.4731	4.3244	5.6128	6.7028	5.6834	4.1912	5.4862	3.9685
FEM	3.8733	4.7126	3.8733	4.7126	5.7428	4.7126	3.8733	4.7126	3.8733
%(EXP/FEM)	3.32	16.14	11.65	19.10	16.72	20.60	8.21	16.42	2.46

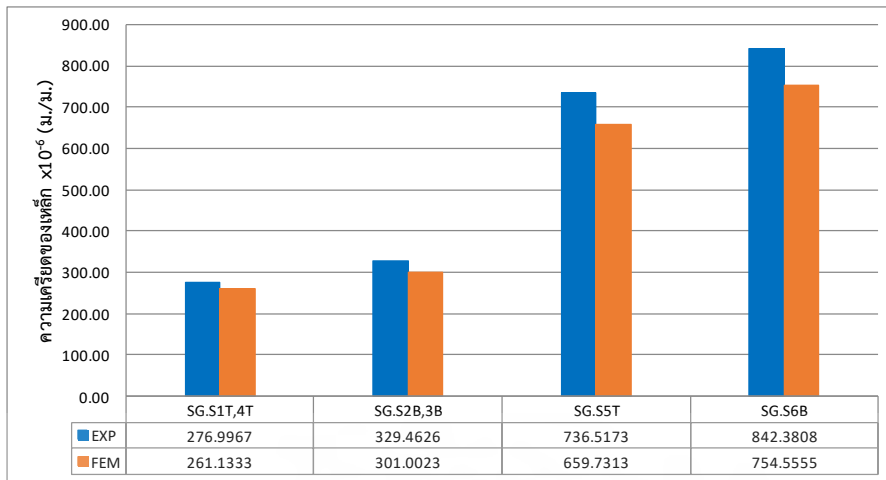


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

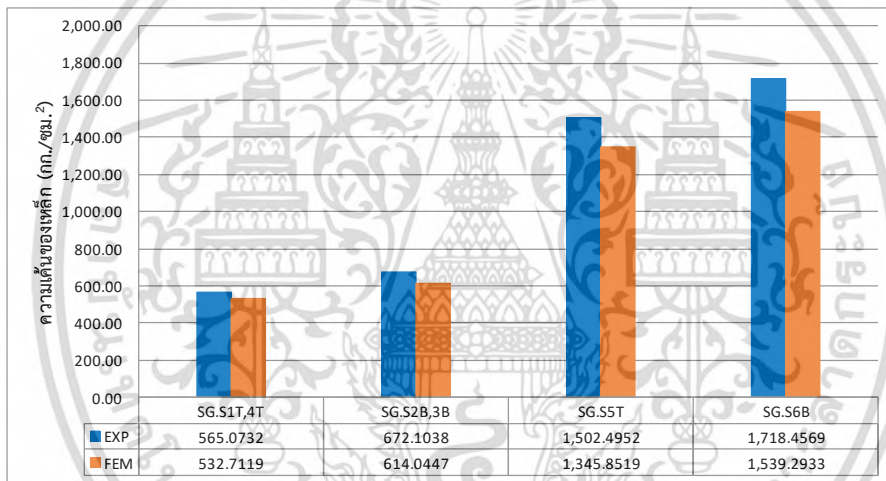
ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความเครียด-ความเค้นของเหล็ก เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก)	ความเครียดของเหล็ก $\times 10^{-6}$ (มม./มม.)		ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S6B	842.3808	754.5555	1,718.4569	1,539.2933	11.64
SG.S5T	736.5173	659.7313	1,502.4952	1,345.8519	10.39
SG.S2B,3B	329.4626	301.0023	672.1038	614.0447	9.46
SG.S1T,4T	276.9967	261.1333	565.0732	532.7119	6.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเครียดของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

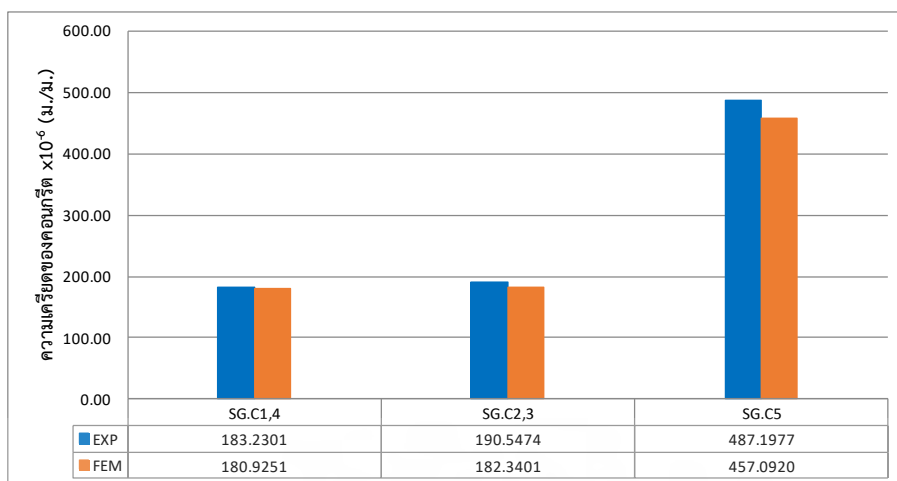


รูปที่ 4.34 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความเครียด-ความเค้นของคอนกรีต และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

ตำแหน่ง Strain Gauge (คอนกรีต)	ความเครียดของคอนกรีต $\times 10^{-6}$ (มม./มม.)		ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.C1,4	183.2301	180.9251	38.7594	38.2718	1.27
SG.C2,3	190.5474	182.3401	40.3072	38.5711	4.50
SG.C5	487.1977	457.0920	103.0588	96.6904	6.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเครียดของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S1

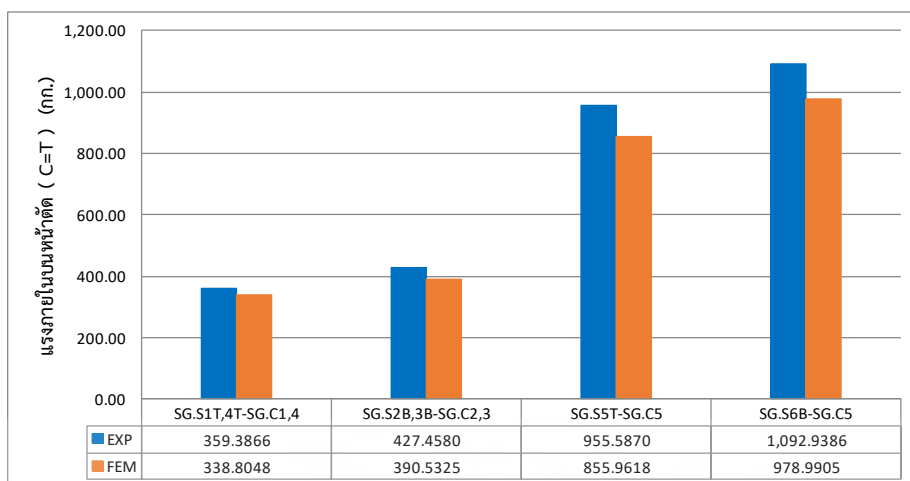


รูปที่ 4.36 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเค้นของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S1

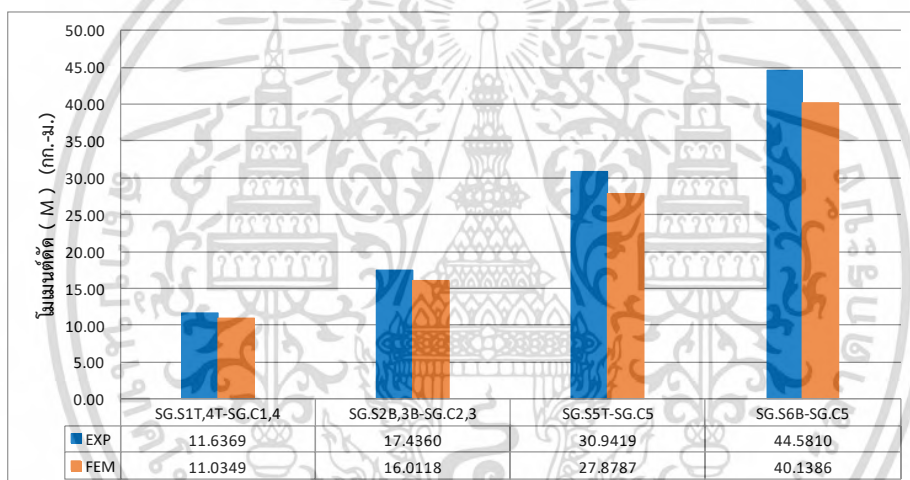
ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายใน โมเมนต์บนหน้าตัด เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S1

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก-คอนกรีต)	แรงภายในบนหน้าตัด (C=T) กก.		โมเมนต์คัต (M) (กก.-ม.)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T-SG.C1,4	359.3866	338.8048	11.6369	11.0349	5.46
SG.S2B,3B-SG.C2,3	427.4580	390.5325	17.4360	16.0118	8.89
SG.S5T-SG.C5	955.5870	855.9618	30.9419	27.8787	10.99
SG.S6B-SG.C5	1,092.9386	978.9905	44.5810	40.1386	11.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) จากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

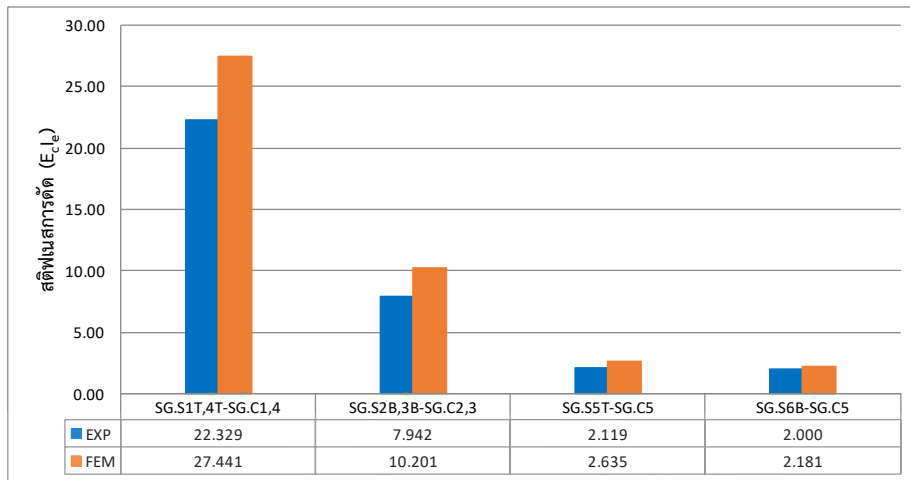


รูปที่ 4.38 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์ตัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

ตารางที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ สติฟเนสการตัดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปด้าน Finite Element ในพื้น S1

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก-คอนกรีต)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)		สติฟเนสการตัด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T-SG.C1,4	1,055.563	1,297.259	22.329	27.441	18.631
SG.S2B,3B-SG.C2,3	375.452	482.236	7.942	10.201	22.144
SG.S5T-SG.C5	100.181	124.549	2.119	2.635	19.565
SG.S6B-SG.C5	94.557	103.125	2.000	2.181	8.308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

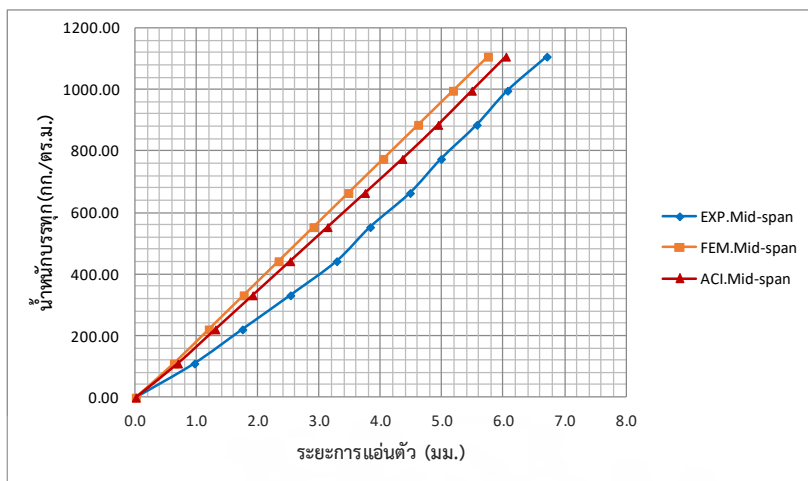


รูปที่ 4.39 กราฟการเปรียบเทียบค่าสตีฟเนสการดัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S1

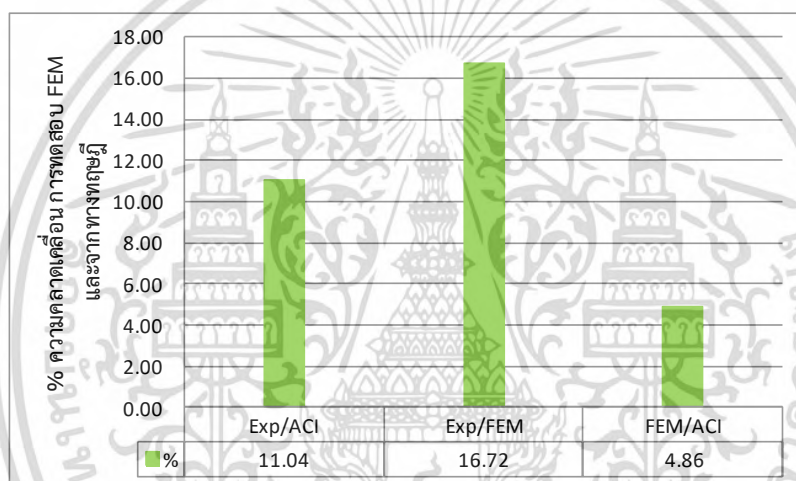
4.1.4 วิเคราะห์ผลทดสอบการแอ่นตัวระหว่างผลการทดสอบจริง การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทางทฤษฎี ในพื้น S1

ตารางที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของพื้น S1 จากผลทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทฤษฎี

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้น (มม.)		
	EXP.	FEM.	ACI
0.00	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.9558	0.6216	0.6876
221.61	1.7381	1.1906	1.2977
332.41	2.5204	1.7595	1.9077
443.21	3.2757	2.3284	2.5178
554.02	3.8216	2.8974	3.1278
664.82	4.4723	3.4663	3.7379
775.62	4.9787	4.0352	4.3479
886.43	5.5611	4.6042	4.9311
997.23	6.0609	5.1731	5.4804
1,108.03	6.7028	5.7428	6.0361



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S1



รูปที่ 4.41 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะการแอ่นตัว การทดสอบ โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎี

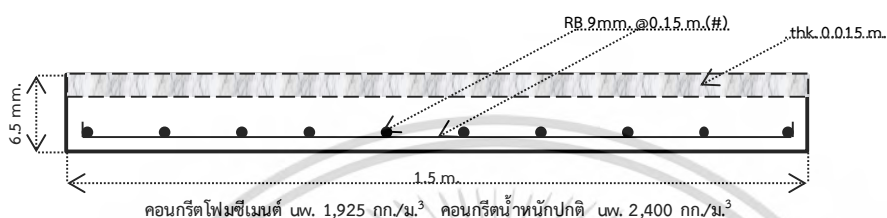
จากการทดสอบพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก 1,108 ก.ก./ตร.ม. มีการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นที่ 6.70 มม. มีค่าความเค้นอัดที่ผิว 103.06 ksc. ซึ่งมากกว่า ความเค้นอัดที่ผิวจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) คือ 96.69 ksc. จึงทำให้เกิดการแอ่นตัวมากขึ้น

จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กเสริมล่าง มีค่าน้อยในตอนแรก เนื่องจากคอนกรีตช่วยรับแรงดึง จนน้ำหนักบรรทุกที่ 222 ก.ก./ตร.ม. ความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงความสูงสุดของน้ำหนักบรรทุกทดสอบ 0.000842 ม./ม. ค่าความเครียดนี้ต่ำกว่าค่าความเครียดครากของเหล็กเสริม 0.001939 ม./ม.

จากจากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) สามารถหาค่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีตด้านรับแรงดึง ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด เท่ากับ 0.001366 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเครียดประลัยของคอนกรีตที่มีค่า 0.003 ม./ม.

4.2 ข้อมูลผลทดสอบของพื้นตัวอย่างทดสอบ S2 และการวิเคราะห์ผล

แบบจำลองตัวอย่างพื้นทดสอบ S2 เป็นพื้นลูกผสม 2 ชั้น (2Layer-Experimental) โดยชั้นล่างสุดของพื้นทดสอบเป็นคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย $f_c' = 180 \text{ ksc}$ และชั้นบนเป็นคอนกรีตโพนซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก $1,925 \text{ กก./ม}^3$ มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 50% (E_c) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ $90,631 \text{ กก./ซม.}^2$ เสริมเหล็กตะแกรงรับแรงดึง โดยจะมีการเสริมเหล็ก ดังรายละเอียด จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.42 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างพื้นตัวอย่างทดสอบ S2

จากการทดสอบพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก $1,108 \text{ กก./ตร.ม.}$ มีค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ 8.19 มม. ในขณะที่ผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element เท่ากับ 9.86 มม. ค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นที่ตามทฤษฎีเท่ากับ 10.29 มม. ค่าการแอ่นตัวจากการทดสอบน้อยกว่าทฤษฎี 20.41% และน้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 16.94%

วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้พื้นทดสอบ S2 มีระยะการแอ่นตัวน้อยลง โดยใช้ผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element มีรายละเอียดการพิจารณา ดังนี้

เปรียบเทียบการแอ่นตัวของพื้นที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) ในทุกตำแหน่งที่มีการติดตั้ง เครื่องมือวัดการแอ่นตัว (Dial Gauge) เฉลี่ยอยู่ที่ 18.42%

เปรียบเทียบความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยหน่วยความเค้นจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ 114.79 กก./ซม.^2 , ความเครียดจากผลทดสอบ 806.27×10^{-6} ในขณะที่ ความเค้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 124.40 กก./ซม.^2 , ความเครียดเท่ากับ 873.80×10^{-6} ค่าหน่วยความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต จากการทดสอบ น้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 7.73%

เปรียบเทียบความเค้น-ความเครียด ของเหล็ก ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยหน่วยความเค้นจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ $2,004.75 \text{ กก./ซม.}^2$, ความเครียดจากผลทดสอบ 982.72×10^{-6} ในขณะที่ ความเค้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ $2,241.61 \text{ กก./ซม.}^2$, ความเครียดเท่ากับ $1,098.83 \times 10^{-6}$ ค่าหน่วยความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต จากการทดสอบ น้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 11.64%

เปรียบเทียบความแรงภายในหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยแรงภายในหน้าตัดจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นที่เท่ากับ $1,275.02 \text{ กก.}$, โมเมนต์ดัด 51.723 กก.-ม. ในขณะที่ แรงภายในหน้าตัดได้จากการประมวลผลของ

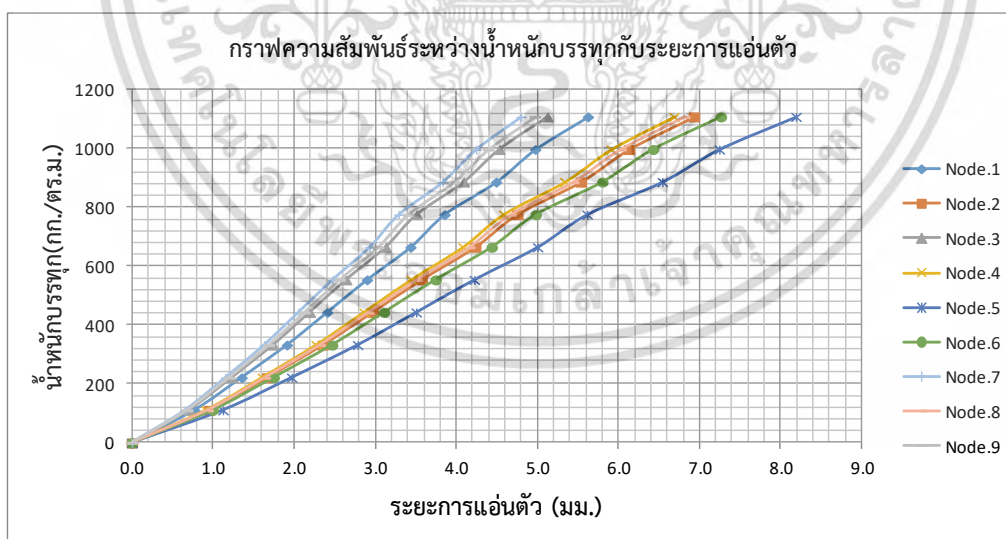
โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 1,425.67 กก. , โมเมนต์ดัด 57.61 กก.-ม. แรงภายในหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น จากการทดสอบ น้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 10.21%

เปรียบเทียบสตีเฟนสการ ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่ามากกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 12.37% เนื่องจากพื้นที่ได้จากการทดสอบมีค่าการแอ่นตัวที่น้อยกว่าทำให้สตีเฟนสการตัดจึงมีค่ามากกว่า

4.2.1. ผลการทดสอบของพื้น S2

ตารางที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.7716	0.9511	0.7033	0.9174	1.1238	0.9967	0.6584	0.9349	0.6818
221.61	1.3539	1.6688	1.2340	1.6097	1.9718	1.7489	1.1552	1.6404	1.1964
332.41	1.9126	2.3573	1.7432	2.2739	2.7854	2.4705	1.6319	2.3173	1.6900
443.21	2.4088	2.9690	2.1955	2.8639	3.5082	3.1115	2.0553	2.9186	2.1285
554.02	2.9011	3.5757	2.6441	3.4491	4.2251	3.7473	2.4753	3.5150	2.5634
664.82	3.4372	4.2365	3.1328	4.0866	5.0059	4.4398	2.9328	4.1646	3.0372
775.62	3.8579	4.7550	3.5162	4.5867	5.6186	4.9832	3.2917	4.6743	3.4089
886.43	4.4944	5.5395	4.0964	5.3435	6.5455	5.8054	3.8348	5.4454	3.9713
997.23	4.9772	6.1346	4.5364	5.9175	7.2487	6.4291	4.2468	6.0305	4.3980
1,108.03	5.6261	6.9344	5.1279	6.6891	8.1938	7.2673	4.8005	6.8167	4.9714

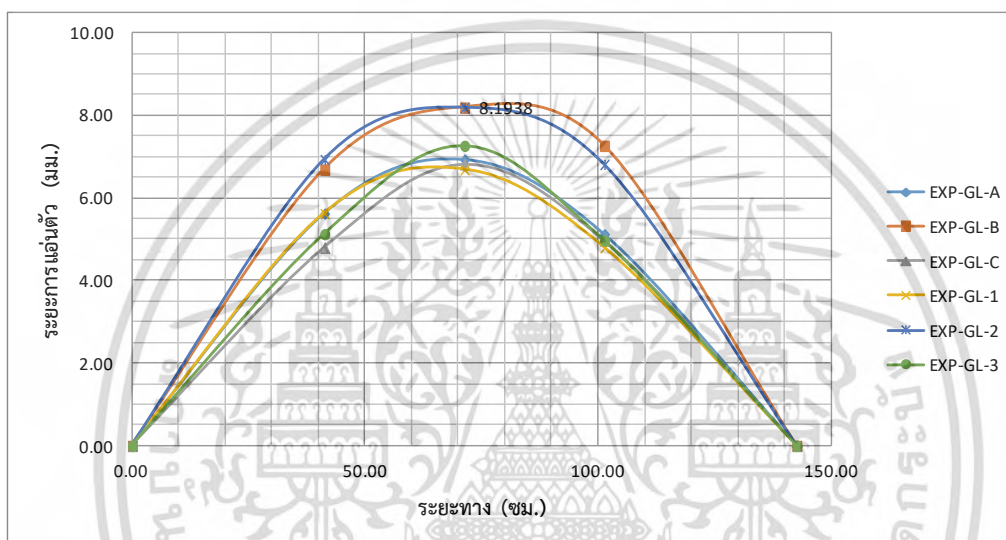


รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้น S2

ระยะทาง At.0---->At.142.5 (ซม.)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)					
	X-Longdional			Y-Longdional		
	EXP-GL-A	EXP-GL-B	EXP-GL-C	EXP-GL-1	EXP-GL-2	EXP-GL-3
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41.25	5.6261	6.6891	4.8005	5.6261	6.9344	5.1279
71.25	6.9344	8.1938	6.8167	6.6891	8.1938	7.2673
101.25	5.1279	7.2673	4.9714	4.8005	6.8167	4.9714
142.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

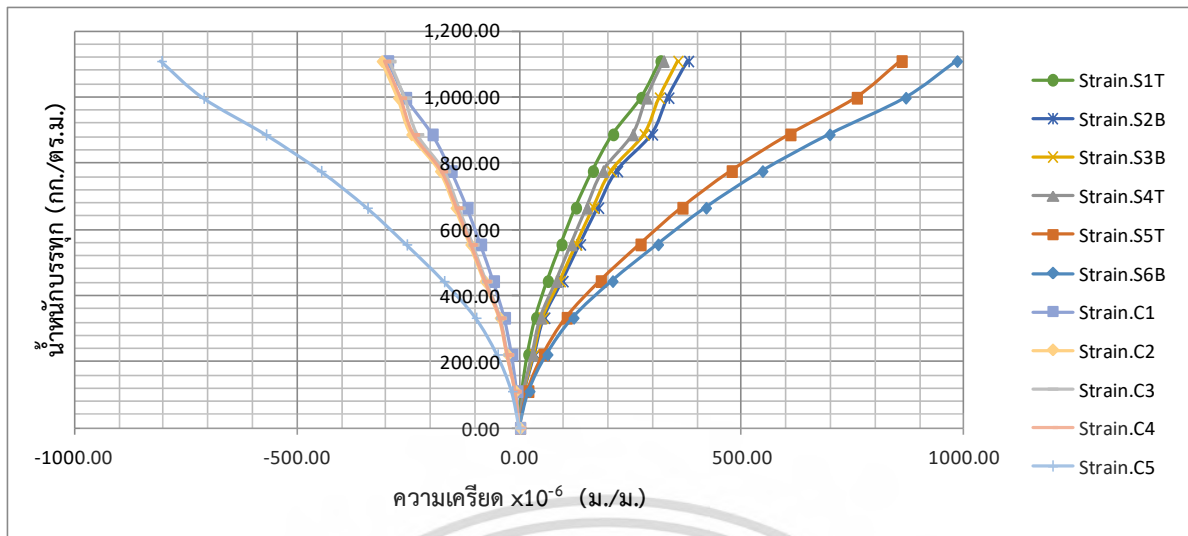


รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S2

ตารางที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเครียดของเหล็ก(E_s) $\times 10^{-6}$ (ม./ม.)						ความเครียดของคอนกรีต(E_c) $\times 10^{-6}$ (ม./ม.)				
	Strain.S1T	Strain.S2B	Strain.S3B	Strain.S4T	Strain.S5T	Strain.S6B	Strain.C1	Strain.C2	Strain.C3	Strain.C4	Strain.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	6.3830	11.9799	11.2203	10.2008	18.5415	21.2308	-5.9965	-9.8288	-9.2057	-9.5831	-17.4187
221.61	18.4909	34.1227	31.9593	29.0553	53.7128	61.5035	-17.3712	-27.9958	-26.2208	-27.2959	-50.4602
332.41	36.1721	55.6400	52.1124	47.3772	105.0732	120.3134	-33.9817	-45.6496	-42.7554	-44.5083	-98.7105
443.21	62.5203	96.7862	90.6499	82.4130	181.6100	207.9514	-58.7344	-79.4078	-74.3733	-77.4226	-170.6127
554.02	93.2965	136.0962	127.4676	115.8853	271.0092	310.3175	-87.6470	-111.6594	-104.5802	-108.8680	-254.5984
664.82	125.7303	176.7882	165.5797	150.5344	365.2233	418.1968	-118.1167	-145.0450	-135.8490	-141.4188	-343.1074
775.62	163.8867	219.3745	205.4660	186.7964	476.0608	545.1106	-153.9627	-179.9847	-168.5735	-175.4851	-447.2332
886.43	209.3168	298.0955	279.1960	253.8270	608.0268	696.2174	-196.6417	-244.5709	-229.0650	-238.4566	-571.2081
997.23	272.8433	334.5801	313.3675	284.8935	757.3984	867.2546	-256.3214	-274.5045	-257.1008	-267.6419	-711.5346
1,108.03	315.8827	379.1260	355.0892	322.8241	858.2382	982.7206	-296.7546	-311.0520	-291.3311	-303.2757	-806.2681

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

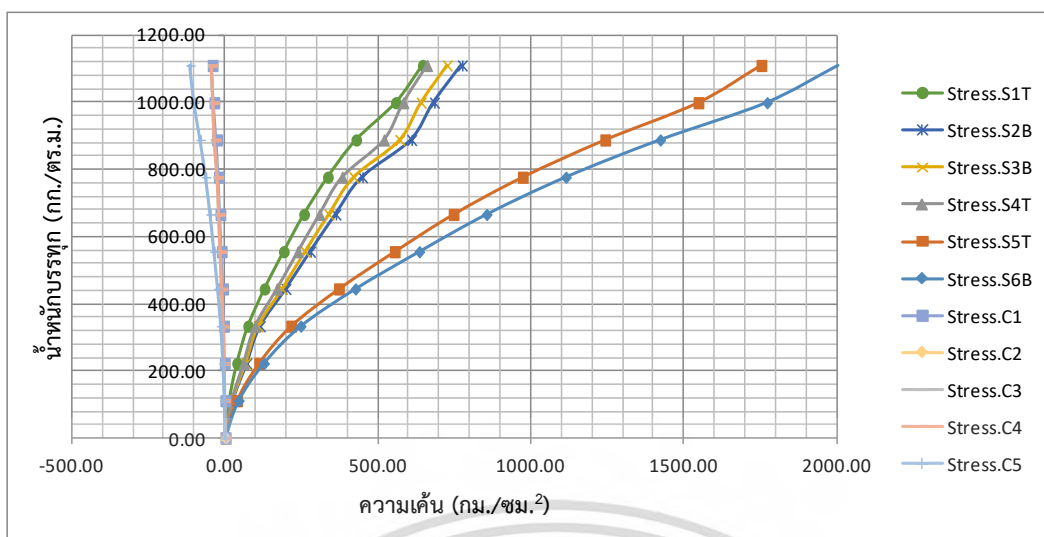


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)						ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)					
	Stress.S1T	Stress.S2B	Stress.S3B	Stress.S4T	Stress.S5T	Stress.S6B	Stress.C1	Stress.C2	Stress.C3	Stress.C4	Stress.C5	
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
110.80	13.0214	24.4389	22.8895	20.8096	37.8246	43.3109	-0.8537	-1.3993	-1.3106	-1.3644	-2.4799	
221.61	37.7215	69.6103	65.1969	59.2728	109.5741	125.4671	-2.4732	-3.9858	-3.7331	-3.8861	-7.1841	
332.41	73.7910	113.5056	106.3093	96.6495	214.3492	245.4393	-4.8380	-6.4992	-6.0871	-6.3367	-14.0535	
443.21	127.5414	197.4439	184.9258	168.1226	370.4843	424.2209	-8.3621	-11.3054	-10.5886	-11.0227	-24.2903	
554.02	190.3249	277.6363	260.0340	236.4061	552.8588	633.0477	-12.4784	-15.8971	-14.8892	-15.4996	-36.2474	
664.82	256.4897	360.6479	337.7826	307.0901	745.0555	853.1214	-16.8164	-20.6502	-19.3410	-20.1339	-48.8485	
775.62	334.3289	447.5239	419.1506	381.0647	971.1640	1112.0256	-21.9198	-25.6246	-24.0000	-24.9840	-63.6730	
886.43	427.0062	608.1147	569.5599	517.8070	1240.3746	1420.2836	-27.9961	-34.8198	-32.6122	-33.9493	-81.3235	
997.23	556.6003	682.5434	639.2698	581.1827	1545.0928	1769.1993	-36.4927	-39.0815	-36.6037	-38.1044	-101.3019	
1108.03	644.4007	773.4171	724.3820	658.5613	1750.8060	2004.7501	-42.2492	-44.2848	-41.4771	-43.1777	-114.7892	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2

จากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน จากนั้นทำการหาค่าแรงภายในบนหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น

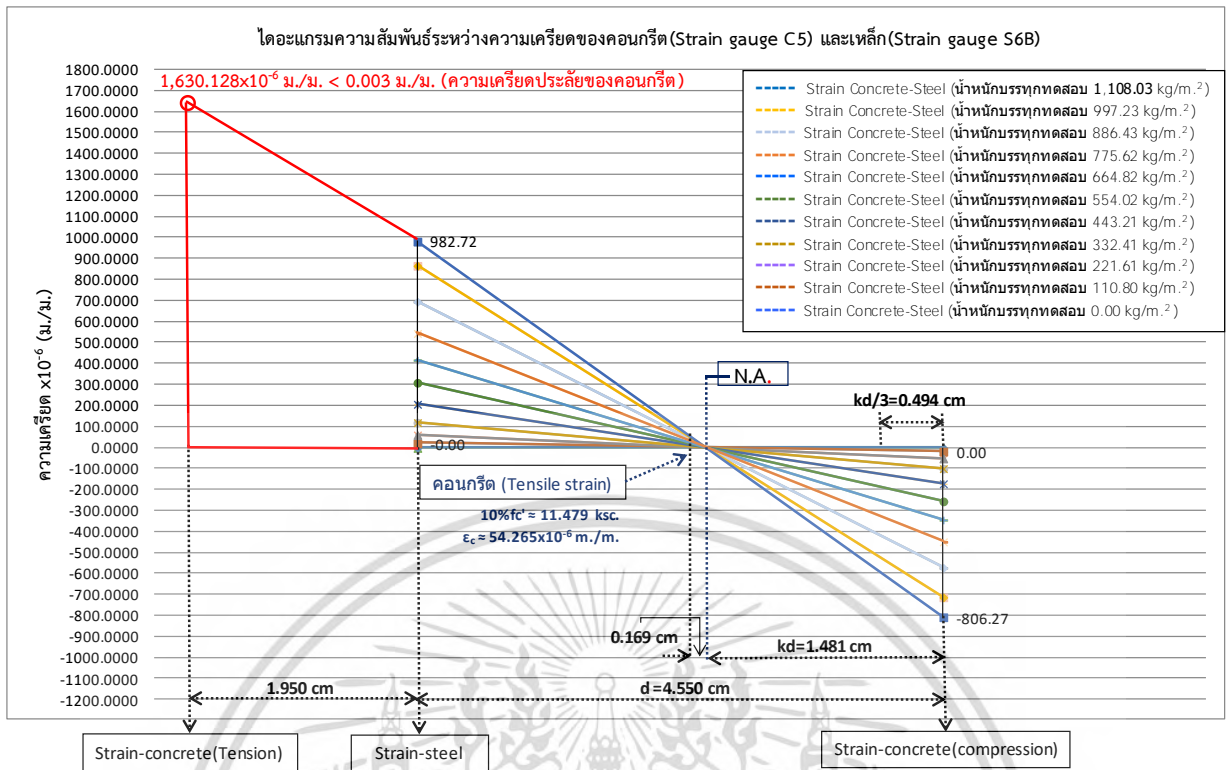
ตารางที่ 4.29 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเครียดคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเครียดเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (10%คอนกรีตช่วยรับแรงดึง) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน-ตำแหน่ง ความเครียดคอนกรีตช่วยรับแรงดึง (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$
Strain.C1,4-Strain.S1T,4T	-300.015	319.353	1.293	18.323	0.149	753.755
Strain.C2,3-Strain.S2B,3B	-301.192	367.108	1.481	20.271	0.169	641.363
Strain.C5-Strain.S5T	-806.268	858.238	1.293	54.265	0.149	1,996.914
Strain.C5-Strain.S6B	-806.268	982.721	1.481	54.265	0.169	1,630.128

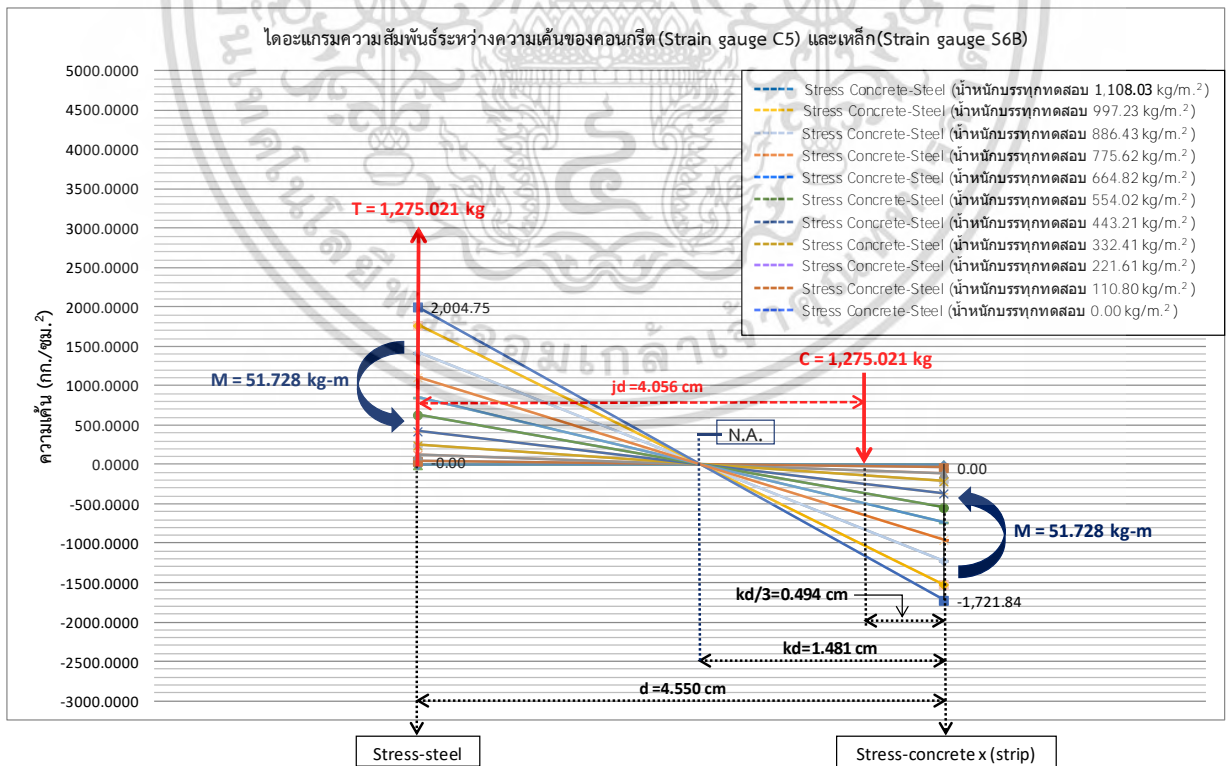
ตารางที่ 4.30 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเค้นคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเค้นเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ซม.)	ระยะแกนของโมเมนต์ดัด (jd) (ซม.)	แรงภายในบนหน้าตัด C=T (กก.)	โมเมนต์ดัดบนหน้าตัด (Moment) (กก.-ม.)
Stress.C1,4-Stress.S1T,4T	-42.713	651.481	1.293	3.219	414.342	13.338
Stress.C2,3-Stress.S2B,3B	-42.881	748.900	1.481	4.056	476.300	19.320
Stress.C5-Stress.S5T	-114.789	1,750.806	1.293	3.219	1,113.513	35.844
Stress.C5-Stress.S6B	-114.789	2,004.750	1.481	4.056	1,275.021	51.719

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



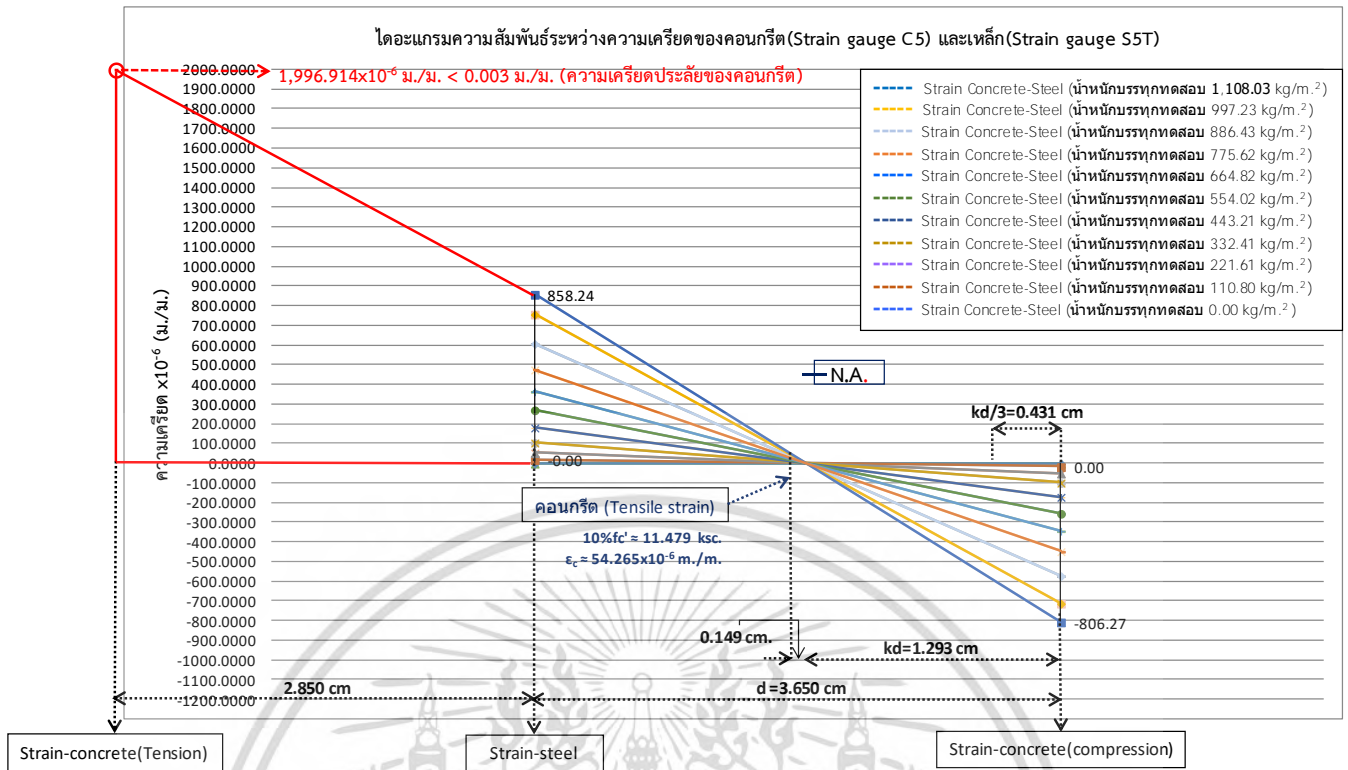
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2



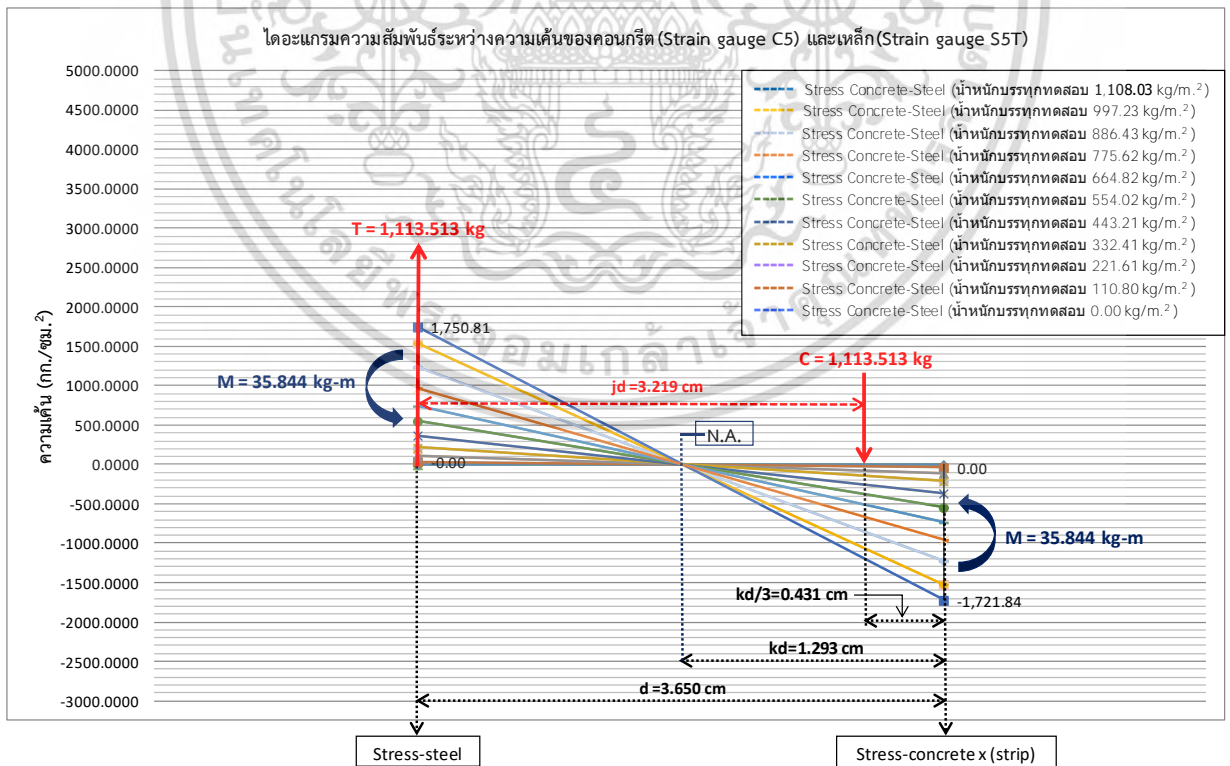
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่

ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



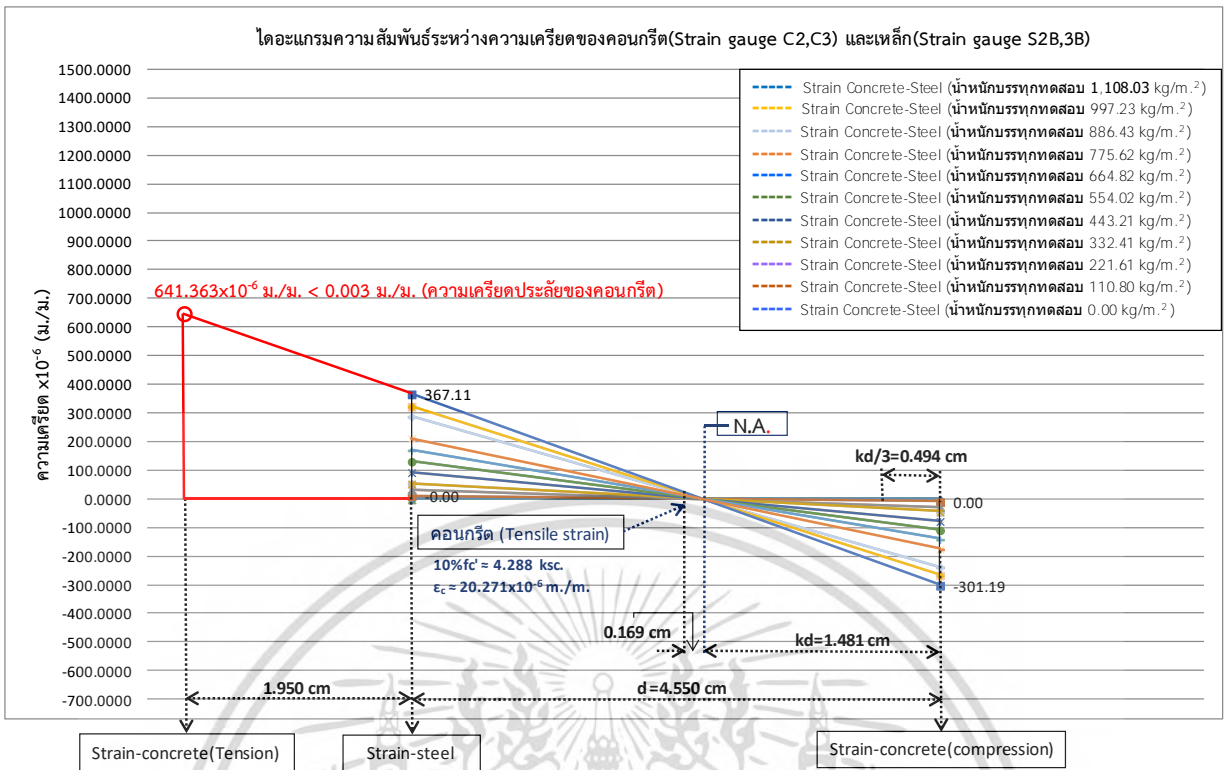
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2



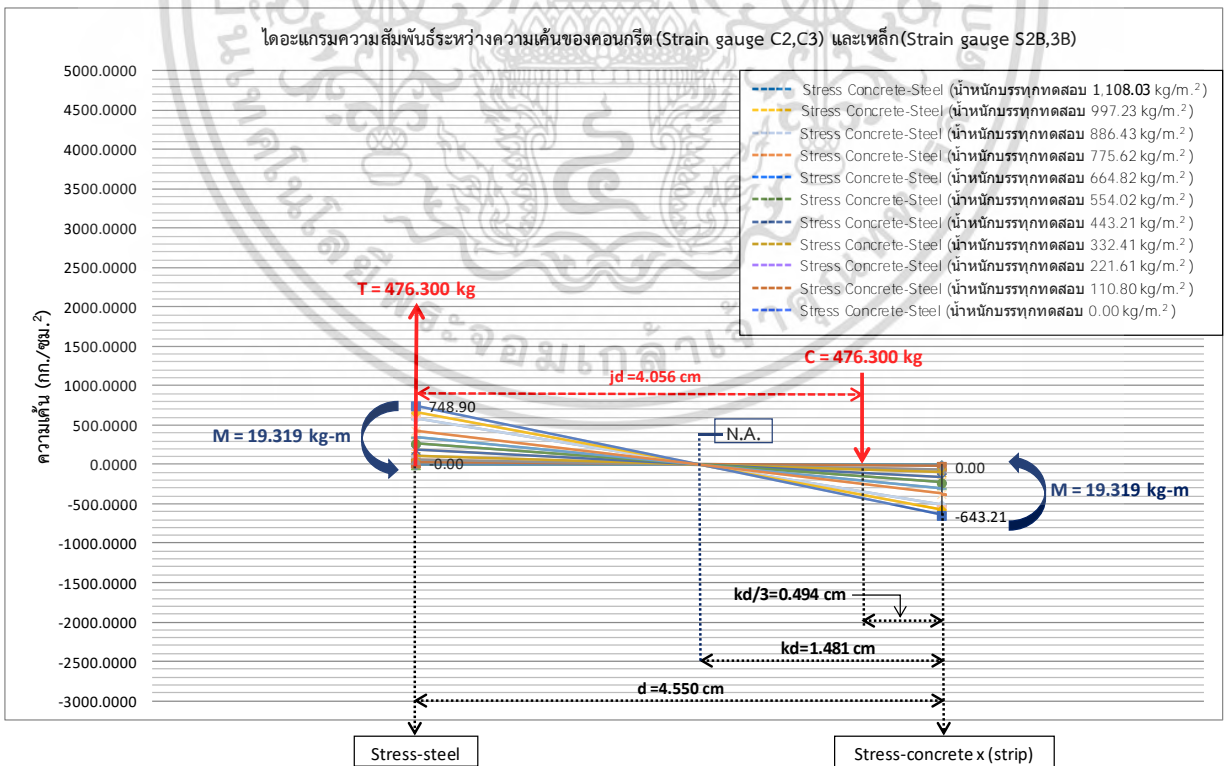
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่

ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

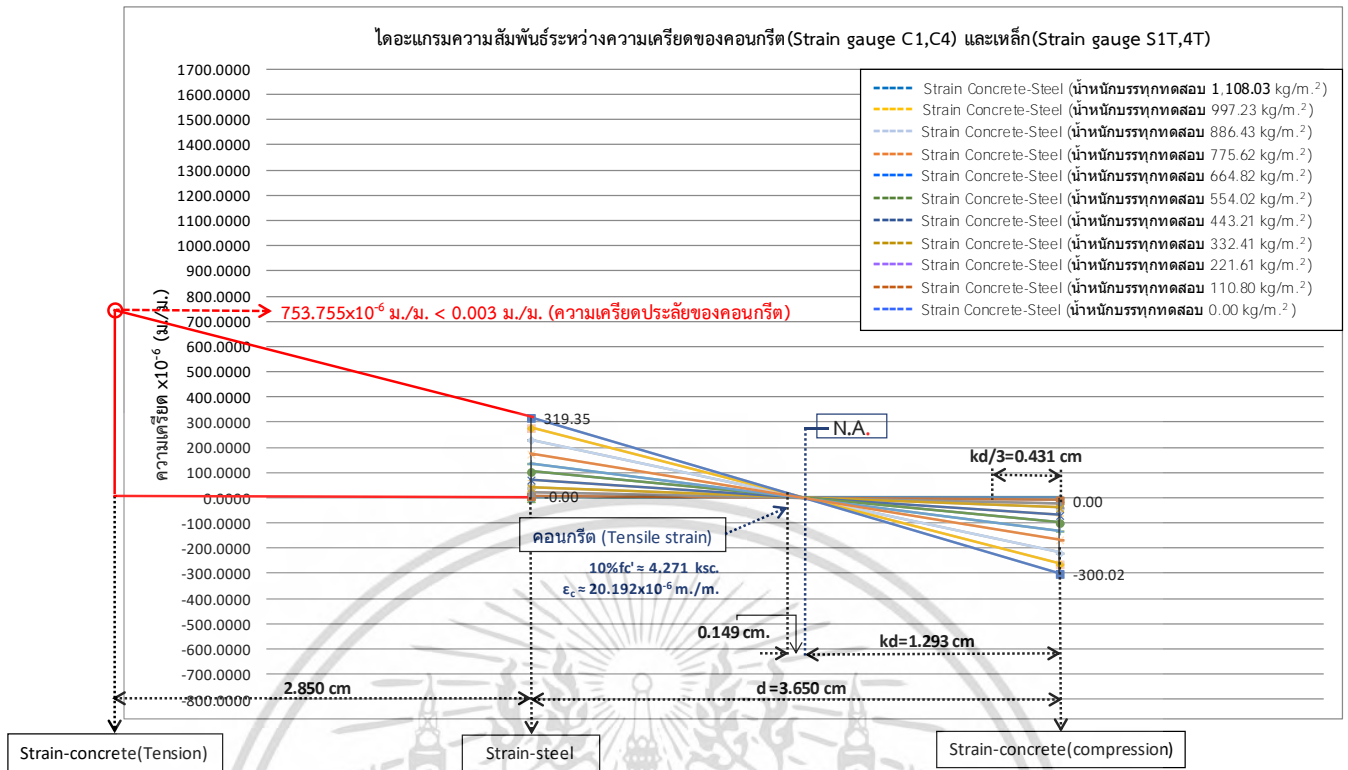


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2

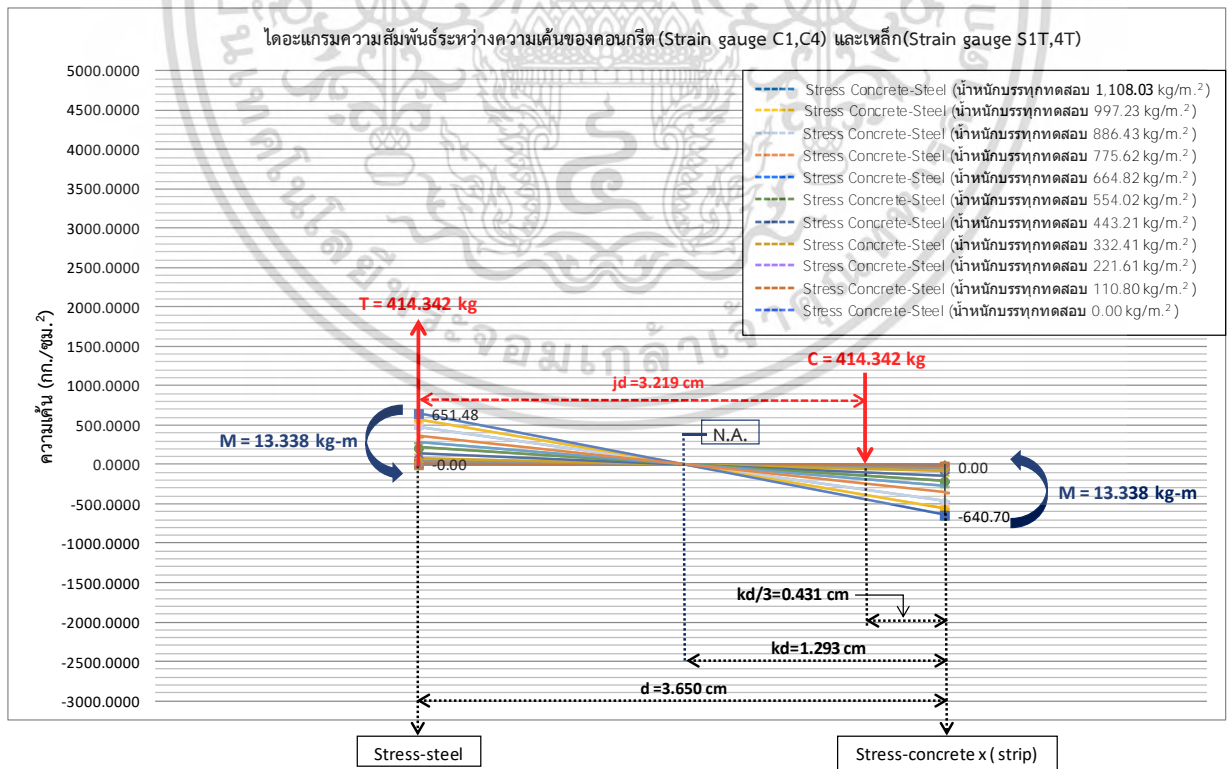


รูปที่ 4.52 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยบริษัท อีเอสเอส จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่น ๆ ที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่น ๆ ที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2

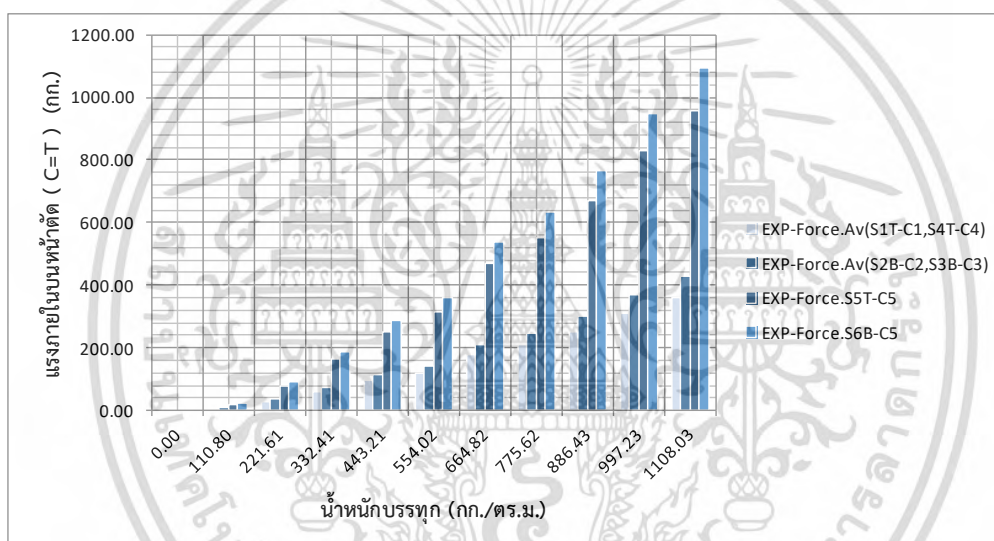


รูปที่ 4.54 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ภายในหน่วยงานราชการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	แรงอัดของคอนกรีต (C) (กก.) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T) (กก.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	8.2816	15.5431	14.5577	13.2349	24.0565	27.5457
221.61	23.9909	44.2721	41.4652	37.6975	69.6891	79.7971
332.41	46.9311	72.1896	67.6127	61.4691	136.3261	156.0994
443.21	81.1163	125.5743	117.6128	106.9260	235.6280	269.8045
554.02	121.0466	176.5767	165.3816	150.3543	351.6182	402.6183
664.82	163.1275	229.3721	214.8297	195.3093	473.8553	542.5852
775.62	212.6332	284.6252	266.5798	242.3571	617.6603	707.2483
886.43	271.5760	386.7610	362.2401	329.3253	788.8782	903.3004
997.23	353.9978	434.0976	406.5756	369.6322	982.6790	1,125.2108
1,108.03	409.8388	491.8933	460.7070	418.8450	1,113.5126	1,275.0210



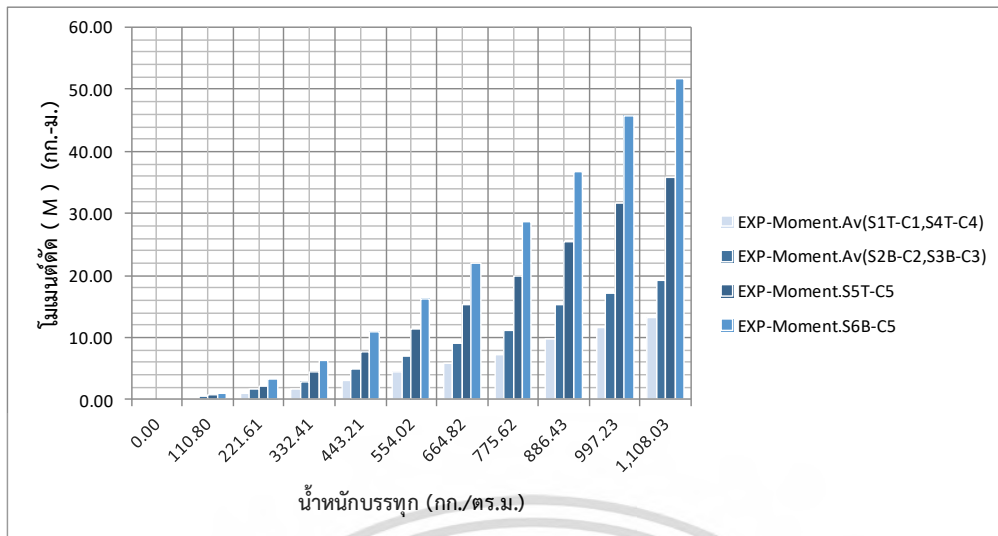
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2

ตารางที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้น S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	โมเมนต์ดัด (M) (กก.-ม.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.2666	0.6304	0.5905	0.4260	0.7744	1.1173
221.61	0.7723	1.7957	1.6818	1.2135	2.2433	3.2366
332.41	1.5107	2.9280	2.7424	1.9787	4.3883	6.3314
443.21	2.6111	5.0933	4.7704	3.4419	7.5849	10.9433
554.02	3.8965	7.1619	6.7079	4.8399	11.3186	16.3302
664.82	5.2511	9.3033	8.7135	6.2870	15.2534	22.0073
775.62	6.8447	11.5444	10.8125	7.8015	19.8825	28.6860
886.43	8.7420	15.6870	14.6925	10.6010	25.3940	36.6379
997.23	11.3952	17.6070	16.4907	11.8985	31.6324	45.6385
1,108.03	13.1927	19.9512	18.6863	13.4826	35.8440	51.7149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

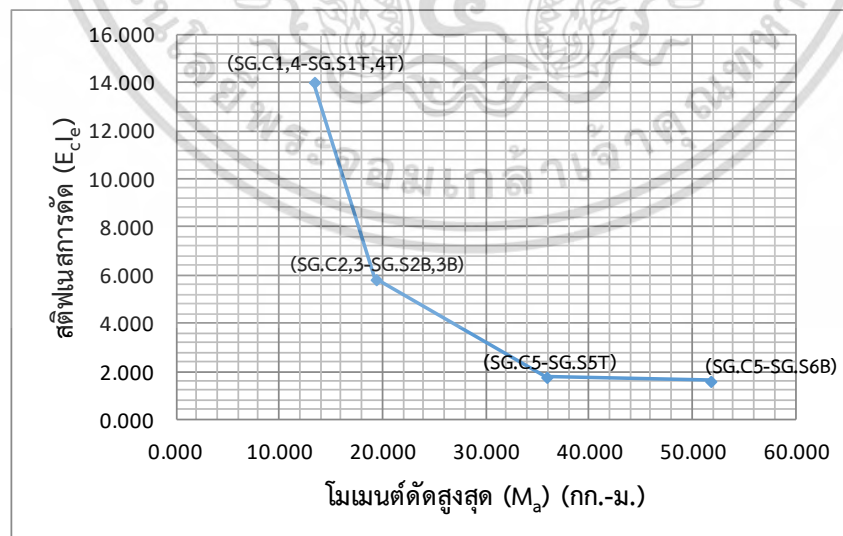
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติเฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	โมเมนต์ดัดสูงสุด (M_a) (กก.-ม.)	โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว (I_{cr}) (ซม. ⁴)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)	สติเฟเนสการดัด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$
SG.C1,4-SG.S1T,4T	13.338	49.674	734.658	14.054
SG.C2,3-SG.S2B,3B	19.319	81.729	306.021	5.854
SG.C5-SG.S5T	35.844	49.674	93.798	1.794
SG.C5-SG.S6B	51.728	81.729	84.969	1.625



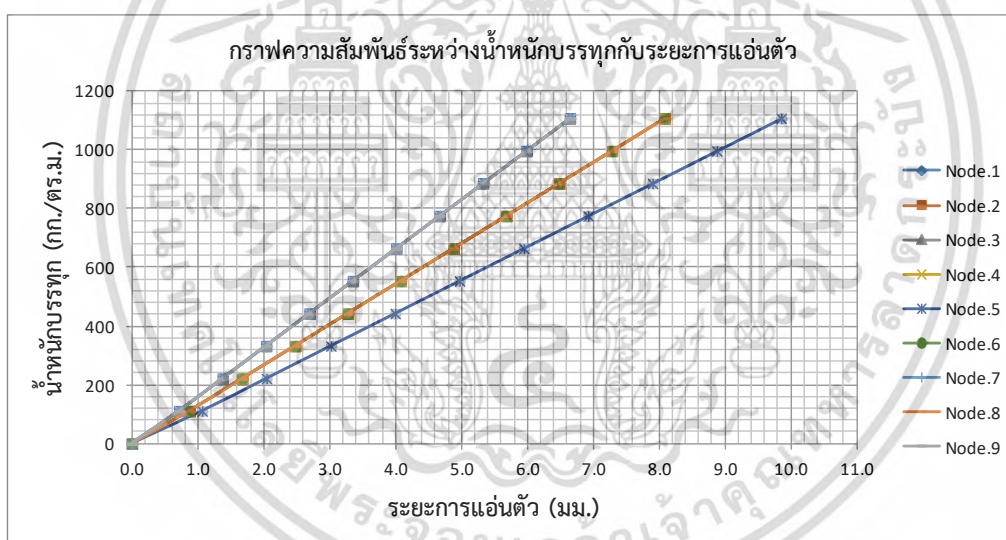
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติเฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S2

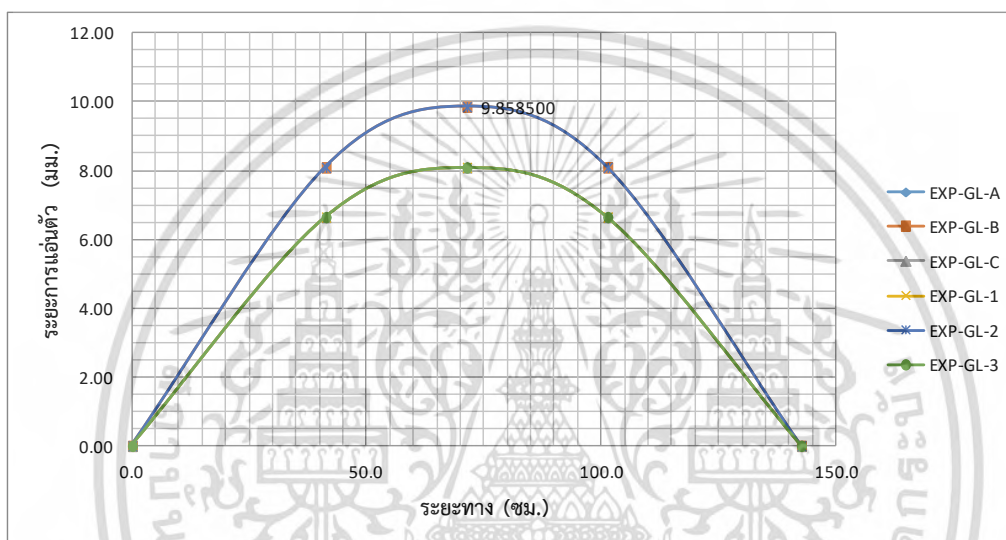
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.7198	0.8758	0.7198	0.8758	1.0671	0.8758	0.7198	0.8758	0.7198
221.61	1.3787	1.6775	1.3787	1.6775	2.0439	1.6775	1.3787	1.6775	1.3787
332.41	2.0375	2.4790	2.0375	2.4790	3.0205	2.4790	2.0375	2.4790	2.0375
443.21	2.6963	3.2806	2.6963	3.2806	3.9971	3.2806	2.6963	3.2806	2.6963
554.02	3.3552	4.0822	3.3552	4.0822	4.9739	4.0822	3.3552	4.0822	3.3552
664.82	4.0140	4.8838	4.0140	4.8838	5.9505	4.8838	4.0140	4.8838	4.0140
775.62	4.6728	5.6853	4.6728	5.6853	6.9271	5.6853	4.6728	5.6853	4.6728
886.43	5.3317	6.4870	5.3317	6.4870	7.9039	6.4870	5.3317	6.4870	5.3317
997.23	5.9905	7.2885	5.9905	7.2885	8.8805	7.2885	5.9905	7.2885	5.9905
1,108.03	6.6502	8.0912	6.6502	8.0912	9.8585	8.0912	6.6502	8.0912	6.6502



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้น S2

ระยะทาง At.0---->At.142.5 (ซม.)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)					
	X-Longdional			Y-Longdional		
	EXP-GL-A	EXP-GL-B	EXP-GL-C	EXP-GL-1	EXP-GL-2	EXP-GL-3
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41.25	6.6502	8.0912	6.6502	6.6502	8.0912	6.6502
71.25	8.0912	9.8585	8.0912	8.0912	9.8585	8.0912
101.25	6.6502	8.0912	6.6502	6.6502	8.0912	6.6502
142.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

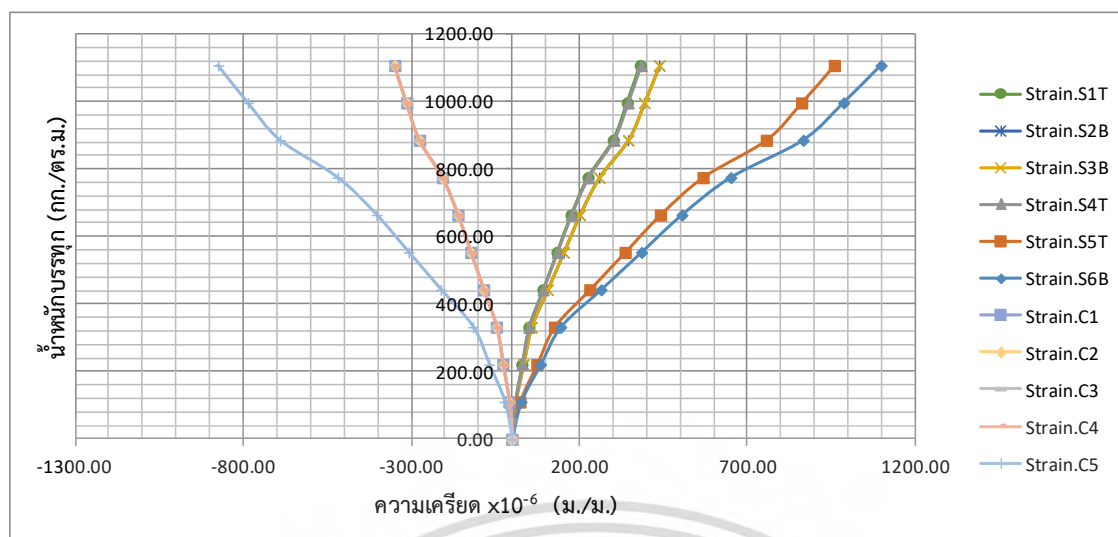


รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S2

ตารางที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเครียดของเหล็ก(ϵ_s) $\times 10^6$ (ม./ม.)						ความเครียดของคอนกรีต(ϵ_c) $\times 10^6$ (ม./ม.)				
	Strain.S1T	Strain.S2B	Strain.S3B	Strain.S4T	Strain.S5T	Strain.S6B	Strain.C1	Strain.C2	Strain.C3	Strain.C4	Strain.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	9.5332	10.9324	10.9416	9.6033	23.9301	27.4018	-8.6807	-8.6935	-8.7009	-8.7446	-21.7902
221.61	29.6419	33.9924	34.0212	29.8600	74.4065	85.2014	-26.9913	-27.0310	-27.0540	-27.1898	-67.7529
332.41	50.5654	57.9867	58.0359	50.9374	126.9281	145.3428	-46.0437	-46.1115	-46.1507	-46.3825	-115.5779
443.21	92.4189	105.9829	106.0728	93.0988	231.9878	265.6446	-84.1546	-84.2785	-84.3500	-84.7737	-211.2429
554.02	134.2737	153.9806	154.1112	135.2615	337.0507	385.9500	-122.2666	-122.4467	-122.5506	-123.1661	-306.9108
664.82	176.1193	201.9678	202.1391	177.4150	442.0907	506.2292	-160.3703	-160.6066	-160.7428	-161.5501	-402.5579
775.62	226.6708	259.9386	260.1590	228.3384	568.9839	651.5321	-206.4014	-206.7054	-206.8807	-207.9198	-518.1040
886.43	301.6711	345.9464	346.2398	303.8904	757.2478	867.1094	-274.6950	-275.0996	-275.3329	-276.7158	-689.5329
997.23	343.5248	393.9428	394.2770	346.0520	862.3080	987.4117	-312.8060	-313.2668	-313.5325	-315.1072	-785.1984
1,108.03	382.2876	438.3946	438.7665	385.1000	959.6094	1,098.8296	-348.1025	-348.6152	-348.9109	-350.6634	-873.7988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

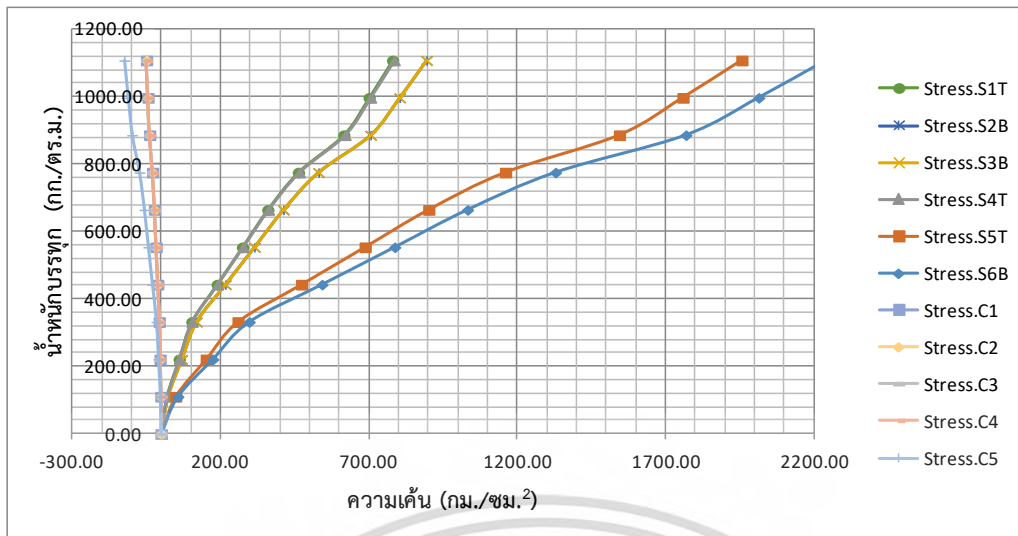


รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)						ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)					
	Stress.S1T	Stress.S2B	Stress.S3B	Stress.S4T	Stress.S5T	Stress.S6B	Stress.C1	Stress.C2	Stress.C3	Stress.C4	Stress.C5	
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
110.80	19.4478	22.3020	22.3210	19.5908	48.8173	55.8997	-1.2359	-1.2377	-1.2388	-1.2450	-3.1023	
221.61	60.4695	69.3444	69.4033	60.9144	151.7892	173.8108	-3.8428	-3.8484	-3.8517	-3.8710	-9.6460	
332.41	103.1534	118.2929	118.3933	103.9123	258.9334	296.4994	-6.5553	-6.5649	-6.5705	-6.6035	-16.4549	
443.21	188.5345	216.2051	216.3885	189.9215	473.2551	541.9149	-11.9812	-11.9988	-12.0090	-12.0693	-30.0749	
554.02	273.9183	314.1204	314.3868	275.9335	687.5834	787.3381	-17.4072	-17.4329	-17.4476	-17.5353	-43.6952	
664.82	359.2835	412.0143	412.3638	361.9266	901.8650	1,032.7077	-22.8321	-22.8657	-22.8851	-23.0001	-57.3126	
775.62	462.4085	530.2747	530.7244	465.8103	1,160.7271	1,329.1254	-29.3856	-29.4289	-29.4538	-29.6018	-73.7630	
886.43	615.4090	705.7306	706.3292	619.9365	1,544.7856	1,768.9031	-39.1086	-39.1662	-39.1994	-39.3963	-98.1695	
997.23	700.7906	803.6433	804.3250	705.9462	1,759.1084	2,014.3199	-44.5345	-44.6001	-44.6379	-44.8621	-111.7895	
1,108.03	779.8666	894.3251	895.0837	785.6039	1,957.6032	2,241.6123	-49.5597	-49.6327	-49.6748	-49.9243	-124.4036	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S2

จากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน จากนั้นทำการหาค่าแรงภายในบนหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น

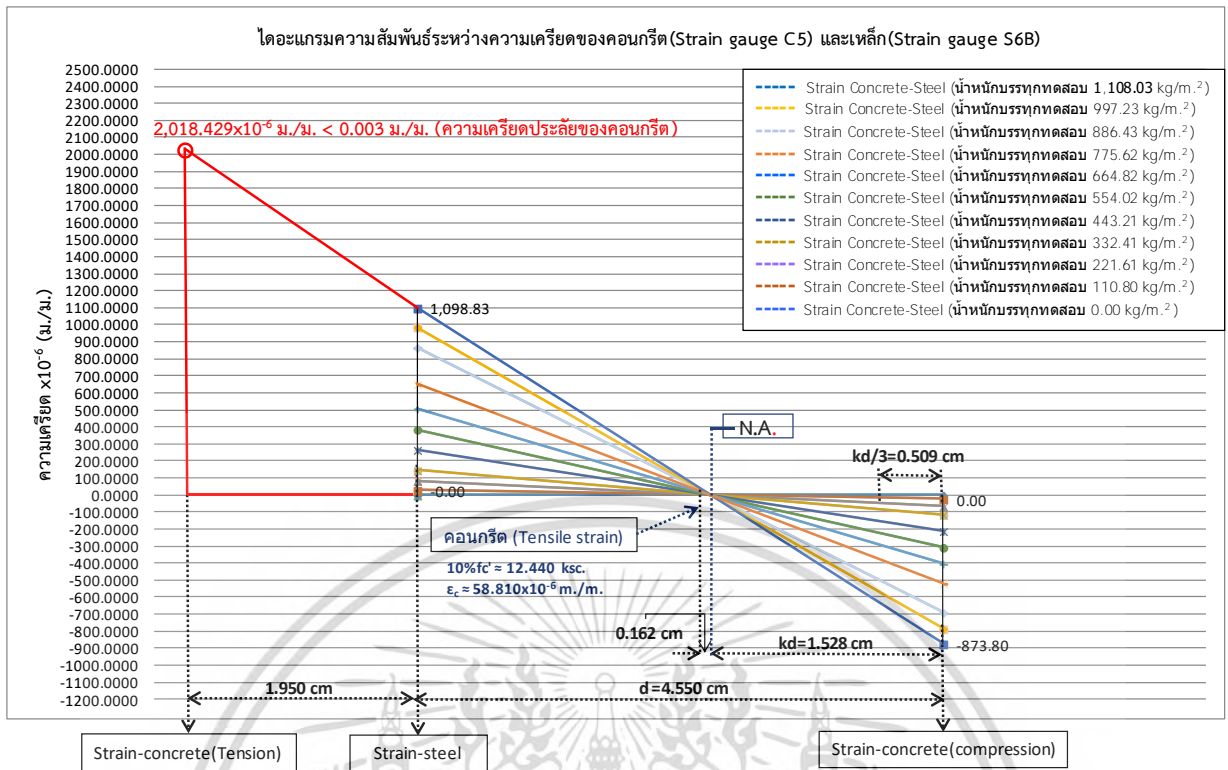
ตารางที่ 4.38 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเครียดคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเครียดเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (10%คอนกรีตช่วยรับแรงดึง) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน-ตำแหน่ง ความเครียดคอนกรีตช่วยรับแรงดึง (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$
Strain.C1,4-Strain.S1T,4T	349.383	383.694	1.334	23.515	0.141	875.937
Strain.C2,3-Strain.S2B,3B	348.763	438.581	1.528	23.473	0.162	765.841
Strain.C5-Strain.S5T	873.799	959.609	1.334	58.810	0.141	2,220.679
Strain.C5-Strain.S6B	873.799	1,098.830	1.528	58.810	0.162	2,018.429

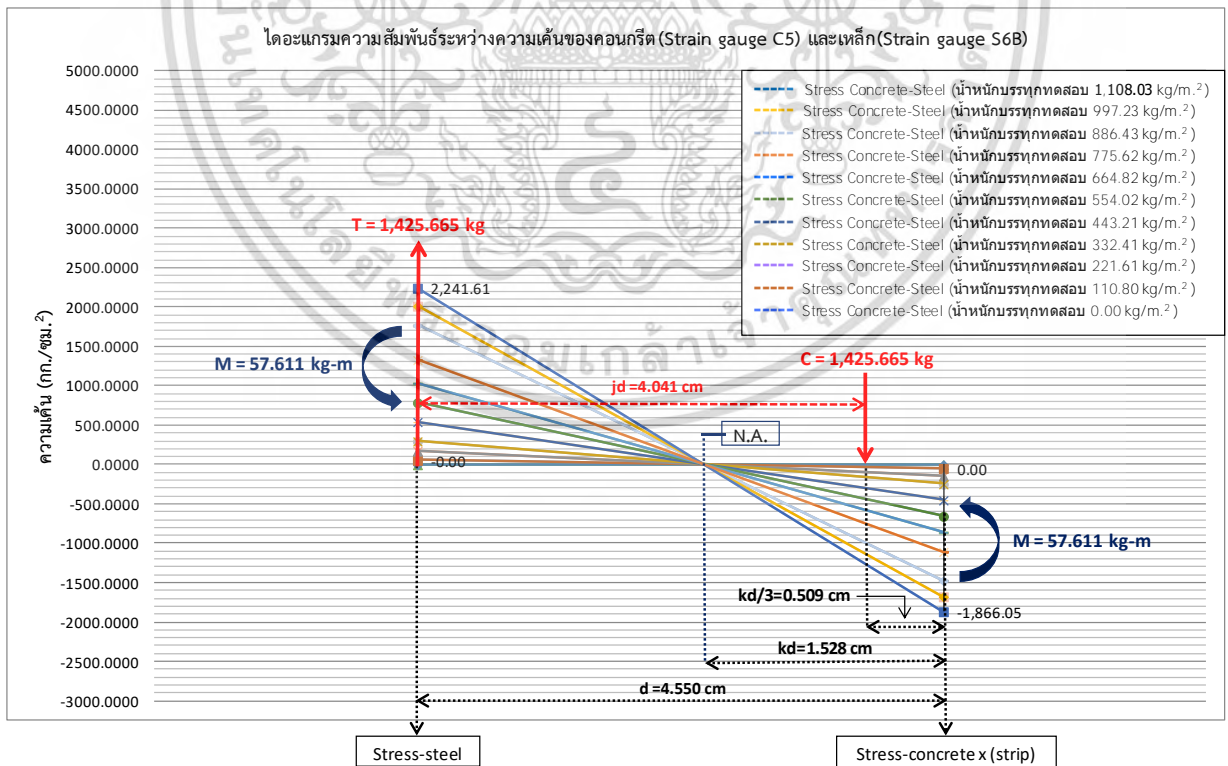
ตารางที่ 4.39 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเค้นคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเค้นเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (ซม.)	ระยะแกนของโมเมนต์ดัด (จ.ด) (ซม.)	แรงภายในบนหน้าตัด C=T (กก.)	โมเมนต์ดัดบนหน้าตัด (Moment) (กก.-ม.)
Stress.C1,4-Stress.S1T,4T	49.742	782.735	1.334	3.205	497.820	15.957
Stress.C2,3-Stress.S2B,3B	49.654	894.704	1.528	4.041	569.032	22.993
Stress.C5-Stress.S5T	124.404	1,957.603	1.334	3.205	1,245.036	39.908
Stress.C5-Stress.S6B	124.404	2,241.612	1.528	4.041	1,425.665	57.606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

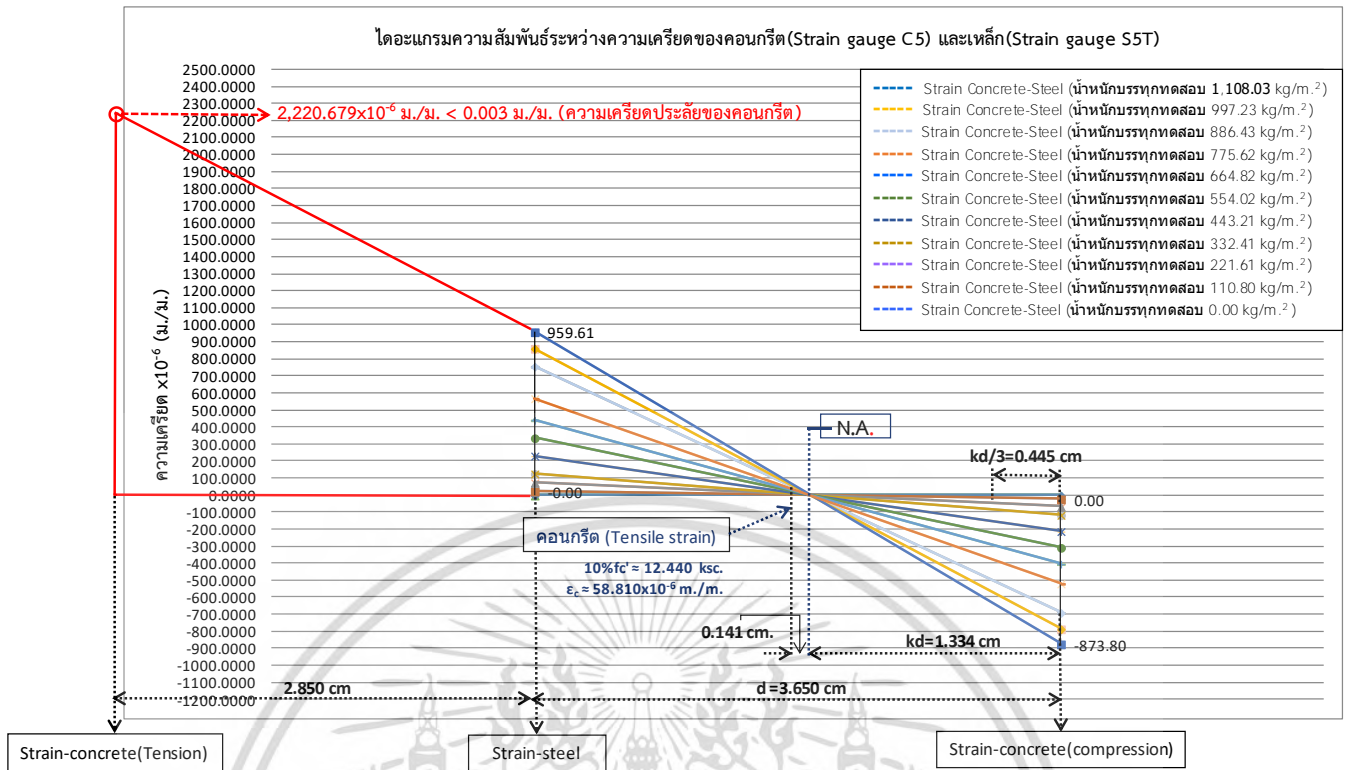


รูปที่ 4.62 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2

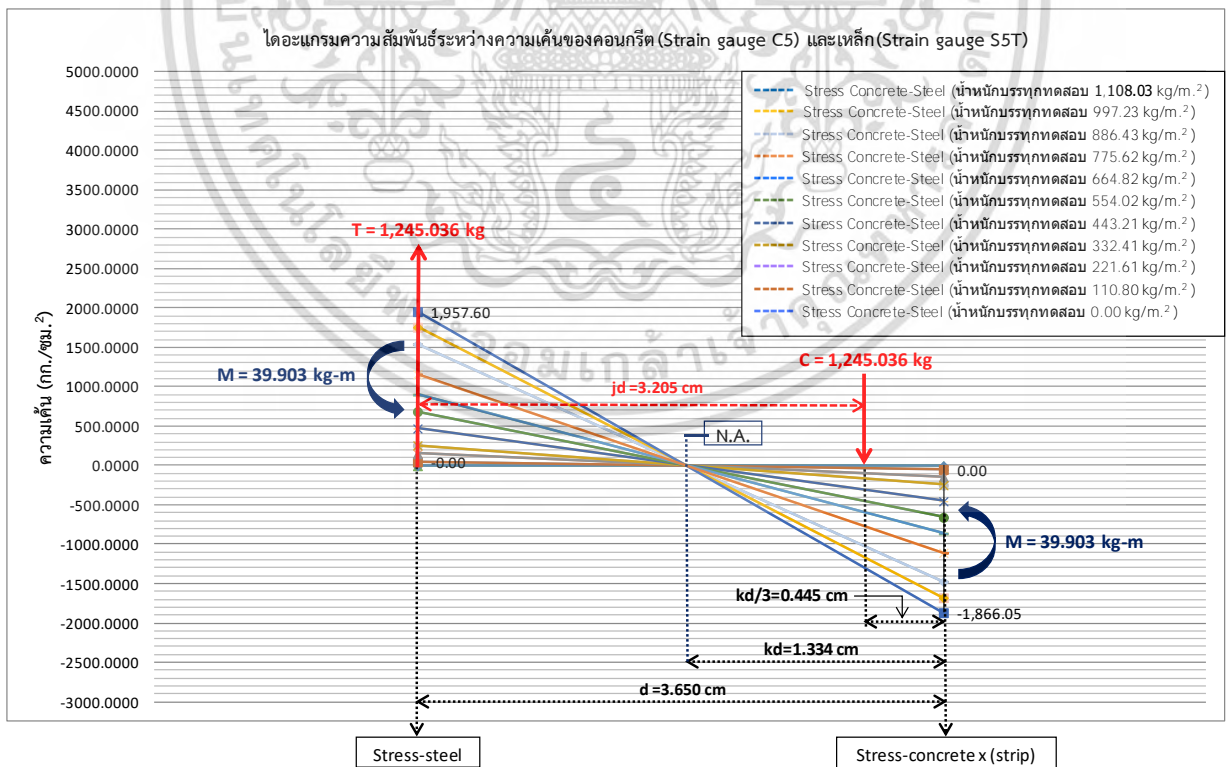


รูปที่ 4.63 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับเจ้าของเอกสาร ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

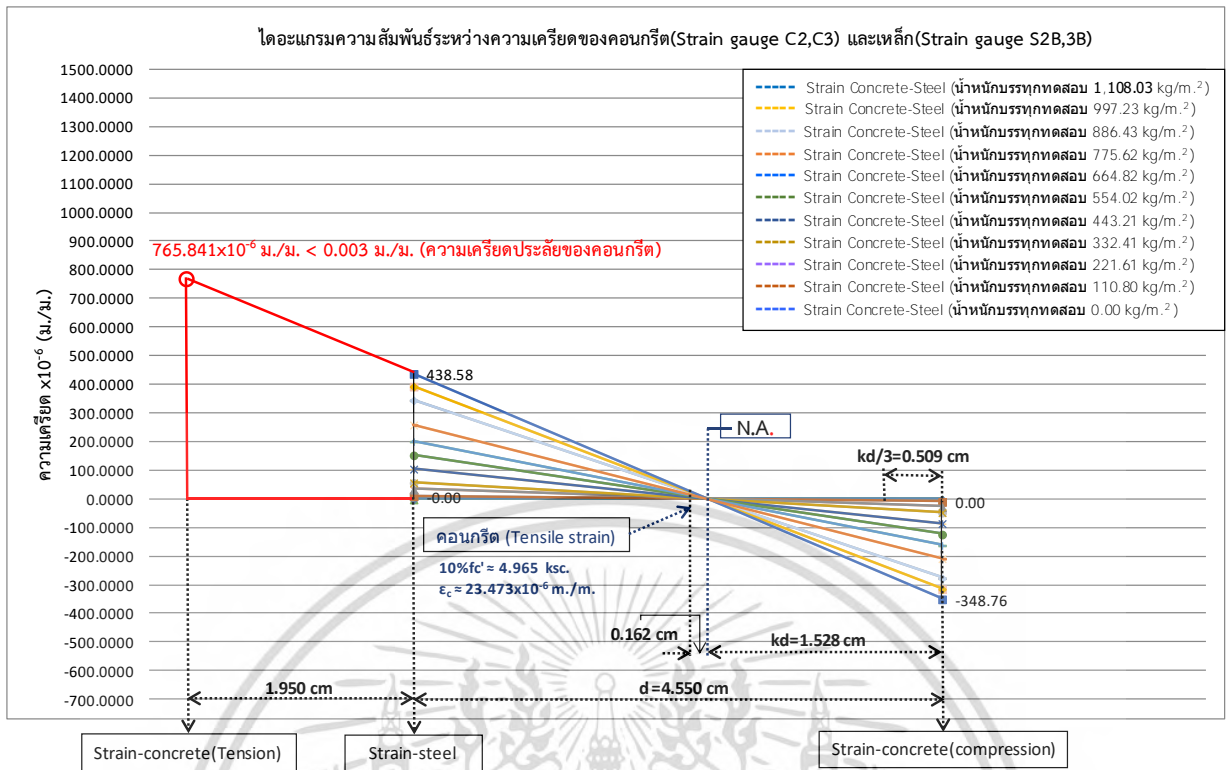


รูปที่ 4.64 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2

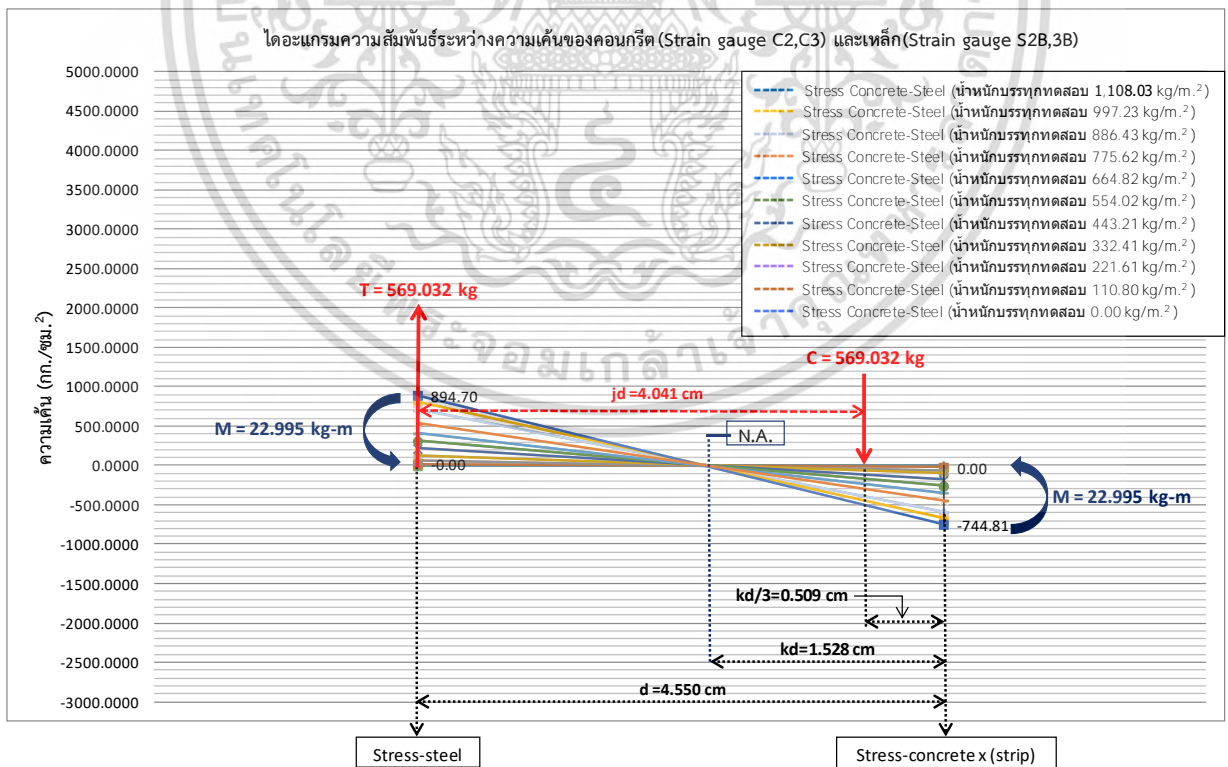


รูปที่ 4.65 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

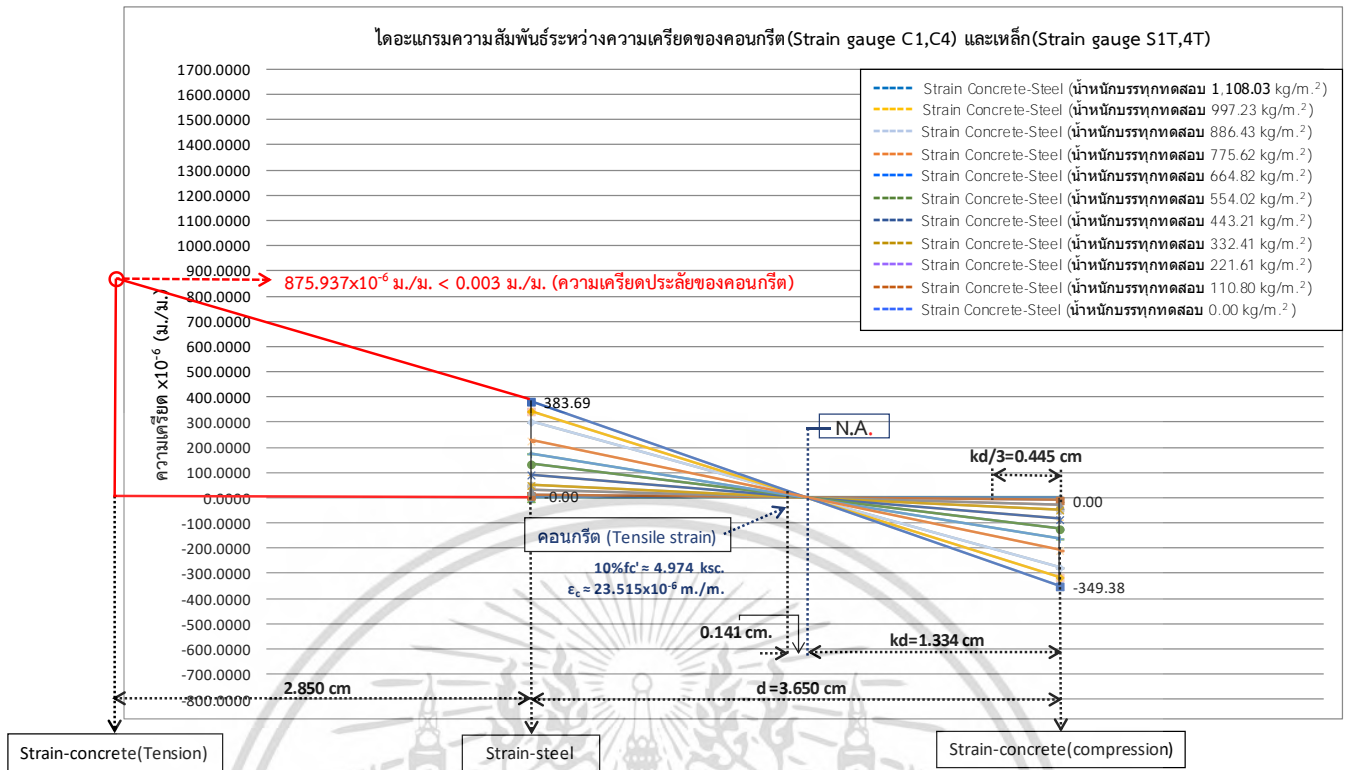


รูปที่ 4.66 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2

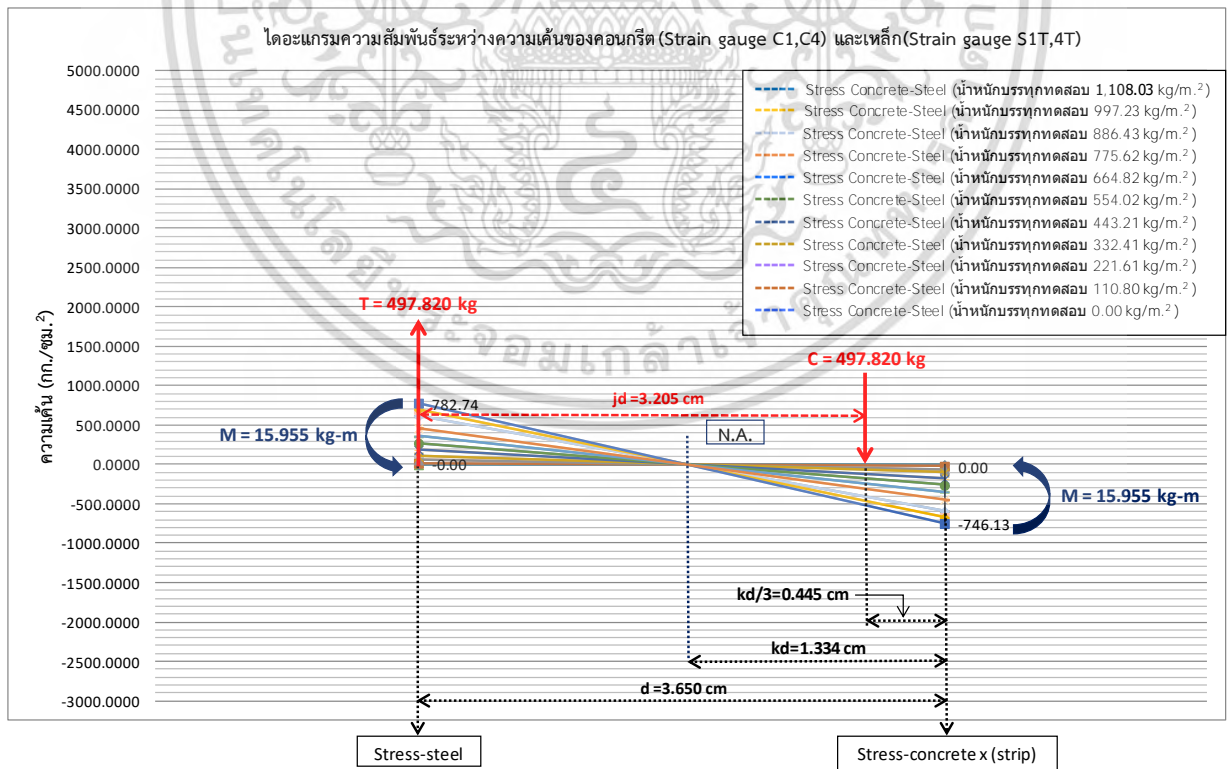


รูปที่ 4.67 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการแข่งขันเพื่อการแข่งขันเท่านั้น เมื่อผู้ผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2

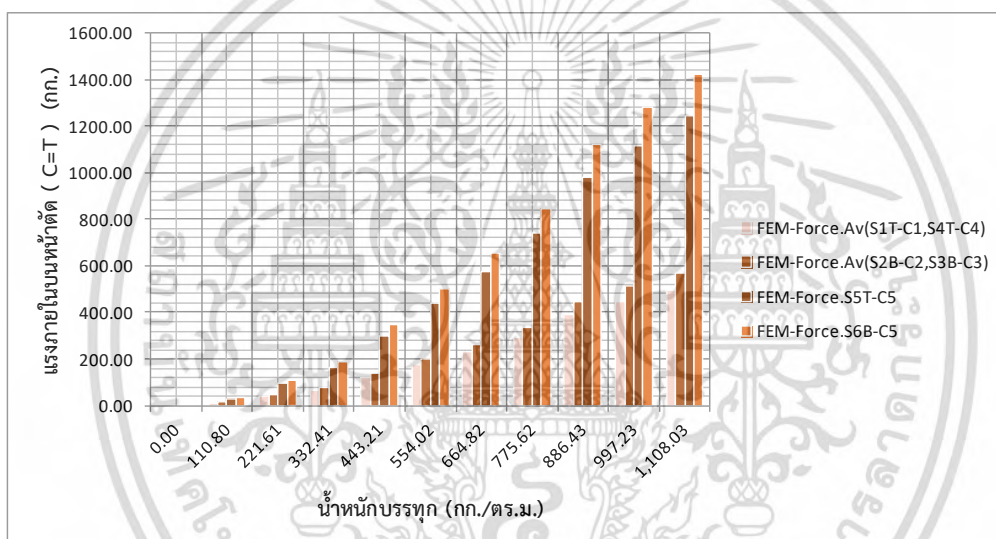


รูปที่ 4.69 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2

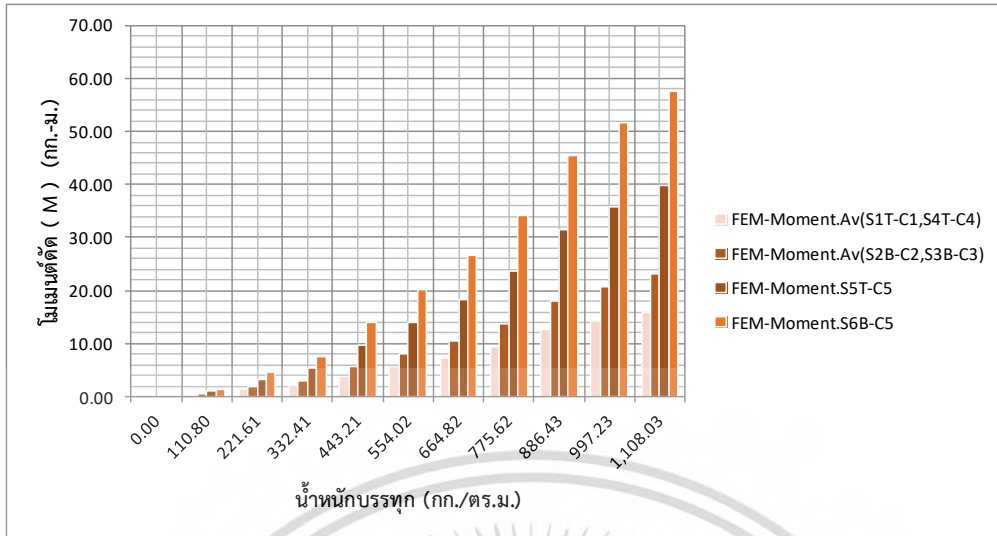
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	แรงอัดของคอนกรีต (C) (กก.) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T) (กก.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	12.3688	14.1841	14.1961	12.4598	31.0478	35.5522
221.61	38.4586	44.1031	44.1405	38.7415	96.5379	110.5437
332.41	65.6056	75.2343	75.2981	66.0882	164.6816	188.5736
443.21	119.9080	137.5065	137.6231	120.7901	300.9902	344.6579
554.02	174.2120	199.7806	199.9500	175.4937	437.3031	500.7470
664.82	228.5043	262.0411	262.2634	230.1853	573.5862	656.8021
775.62	294.0918	337.2547	337.5407	296.2554	738.2224	845.3238
886.43	391.4002	448.8447	449.2254	394.2796	982.4836	1,125.0224
997.23	445.7028	511.1172	511.5507	448.9818	1,118.7929	1,281.1075
1,108.03	495.9952	568.7907	569.2732	499.6441	1,245.0356	1,425.6654



รูปที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S2

ตารางที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ตัดในแต่ละตำแหน่งของพื้น S2

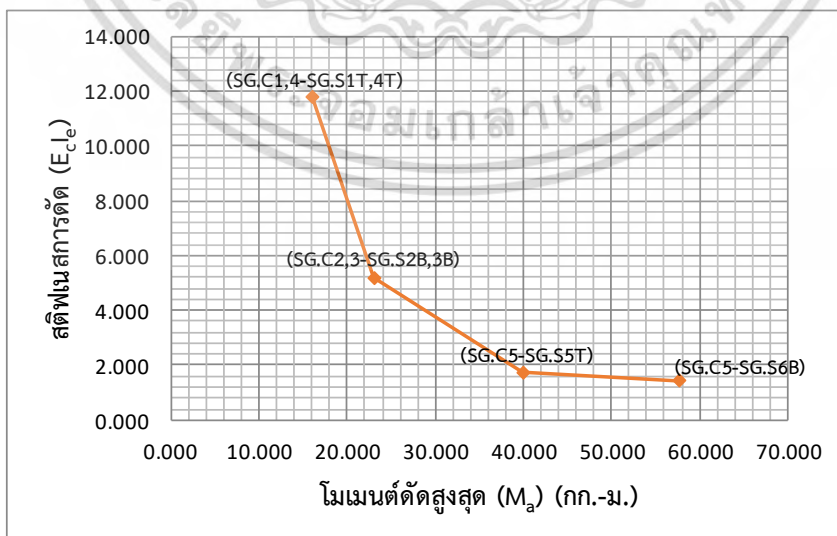
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	โมเมนต์ตัด (M) (กก.-ม.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.3964	0.5732	0.5737	0.3993	0.9951	1.4367
221.61	1.2326	1.7822	1.7837	1.2417	3.0940	4.4671
332.41	2.1027	3.0402	3.0428	2.1181	5.2780	7.6203
443.21	3.8431	5.5566	5.5613	3.8713	9.6467	13.9276
554.02	5.5835	8.0731	8.0800	5.6246	14.0156	20.2352
664.82	7.3236	10.5891	10.5981	7.3774	18.3834	26.5414
775.62	9.4256	13.6285	13.6400	9.4950	23.6600	34.1595
886.43	12.5444	18.1378	18.1532	12.6367	31.4886	45.4622
997.23	14.2848	20.6542	20.6718	14.3899	35.8573	51.7696
1,108.03	15.8966	22.9848	23.0043	16.0136	39.9034	57.6111



รูปที่ 4.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	โมเมนต์ดัดสูงสุด (M_u) (กก.-ม.)	โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว (I_{cr}) (ซม. ⁴)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)	สติฟเนสการดัด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$
SG.C1,4-SG.S1T,4T	15.955	49.395	616.391	11.792
SG.C2,3-SG.S2B,3B	22.995	81.729	270.780	5.180
SG.C5-SG.S5T	39.903	49.395	90.426	1.730
SG.C5-SG.S6B	57.611	81.729	75.616	1.447



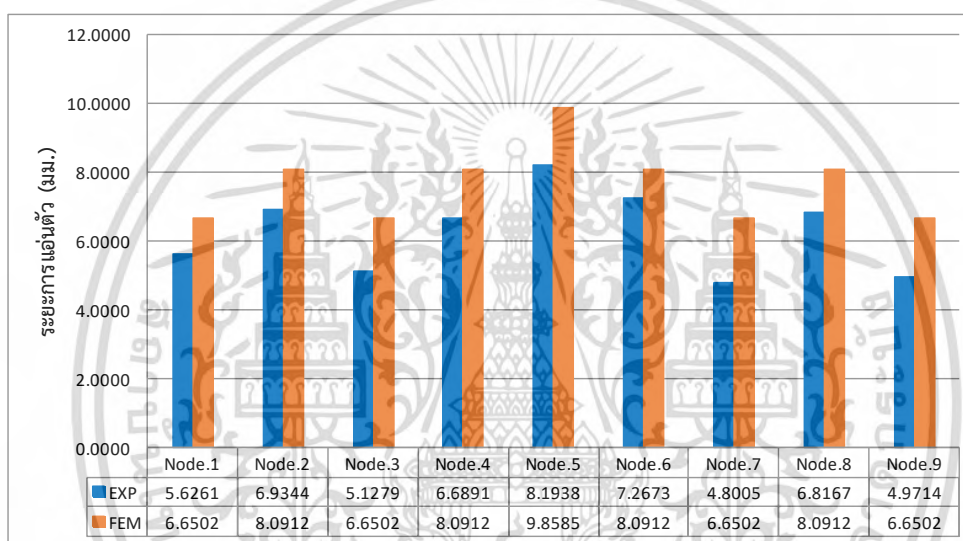
รูปที่ 4.72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2

ตารางที่ 4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการแอ่นตัว เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ 1,108.03 กก./ม. ²	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
EXP	5.6261	6.9344	5.1279	6.6891	8.1938	7.2673	4.8005	6.8167	4.9714
FEM	6.6502	8.0912	6.6502	8.0912	9.8585	8.0912	6.6502	8.0912	6.6502
%(EXP/FEM)	15.40	14.30	22.89	17.33	16.89	10.18	27.81	15.75	25.24

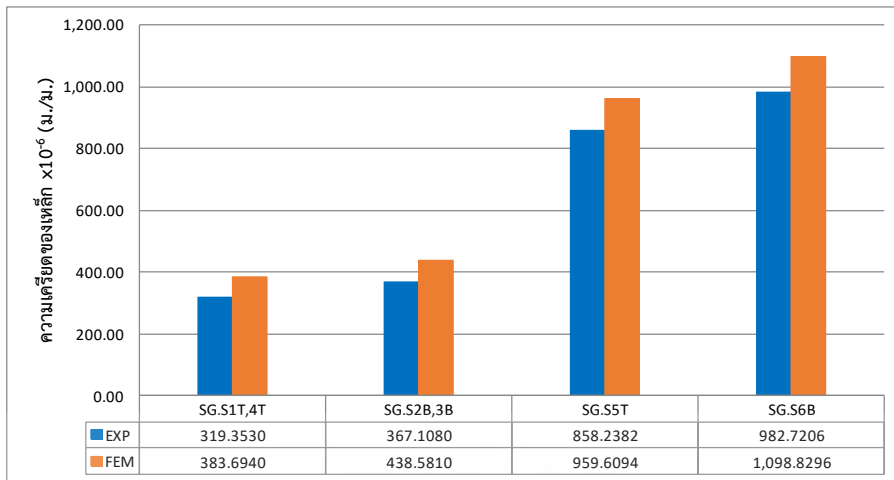


รูปที่ 4.73 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2

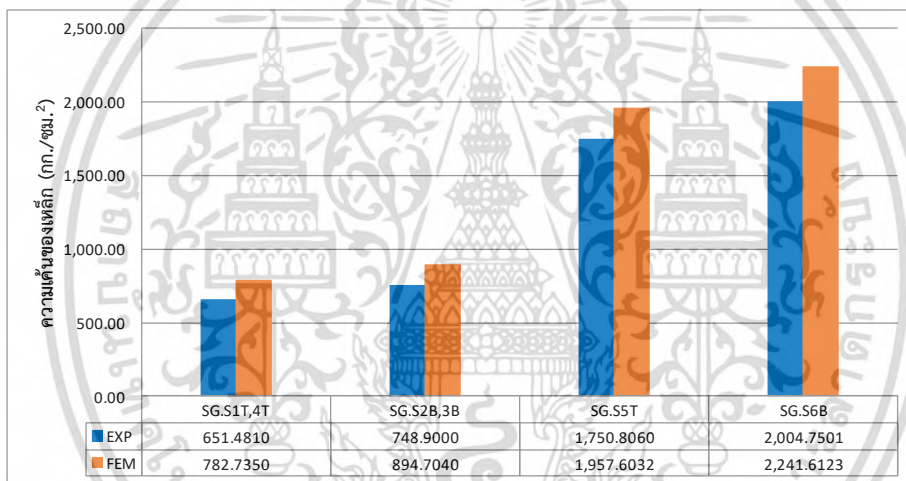
ตารางที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียด-ความเค้นของเหล็ก เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S2

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก)	ความเครียดของเหล็ก $\times 10^{-6}$ (มม./มม.)		ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T	319.3530	383.6940	651.4810	782.7350	6.07
SG.S2B,3B	367.1080	438.5810	748.9000	894.7040	9.46
SG.S5T	858.2382	959.6094	1,750.8060	1,957.6032	10.39
SG.S6B	982.7206	1,098.8296	2,004.7501	2,241.6123	11.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.74 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

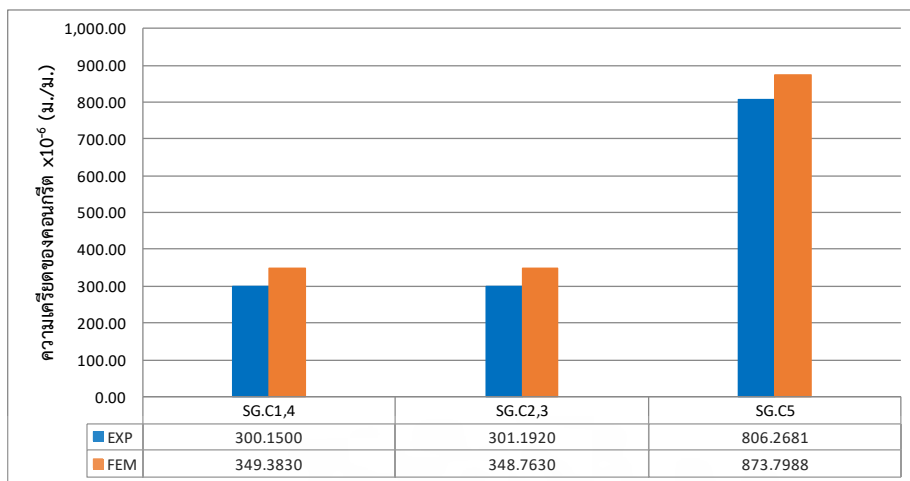


รูปที่ 4.75 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

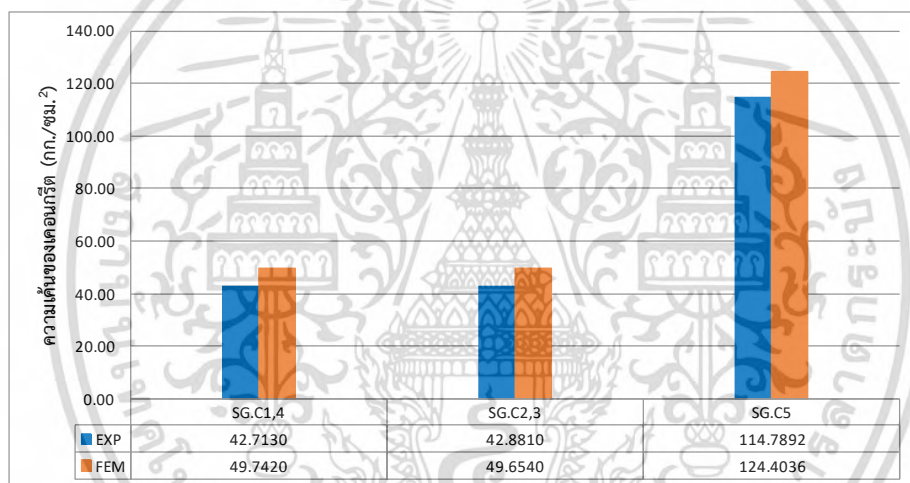
ตารางที่ 4.45 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความเค้น-ความเค้นของคอนกรีต และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

ตำแหน่ง Strain Gauge (คอนกรีต)	ความเค้นของคอนกรีต $\times 10^{-6}$ (มม./มม.)		ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.C1,4	300.1500	349.3830	42.7130	49.7420	14.09
SG.C2,3	301.1920	348.7630	42.8810	49.6540	13.64
SG.C5	806.2681	873.7988	114.7892	124.4036	7.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.76 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเครียดของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

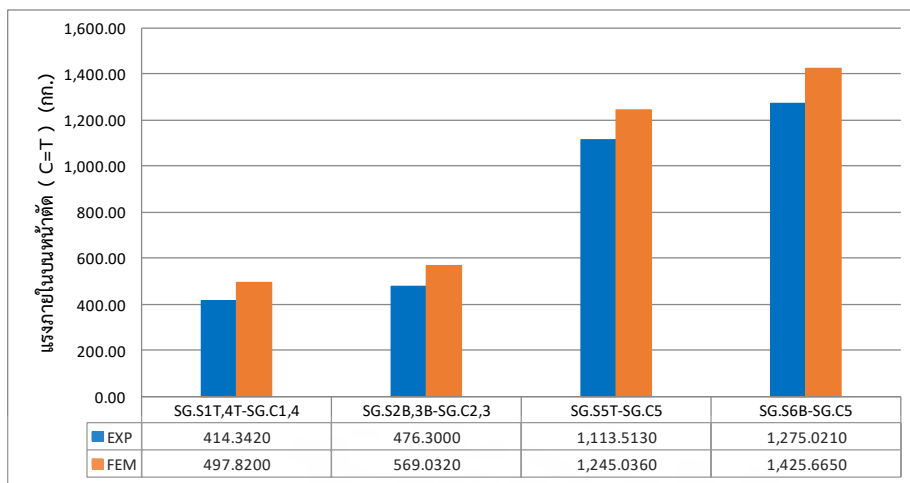


รูปที่ 4.77 กราฟการเปรียบเทียบของค่าความเค้นของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

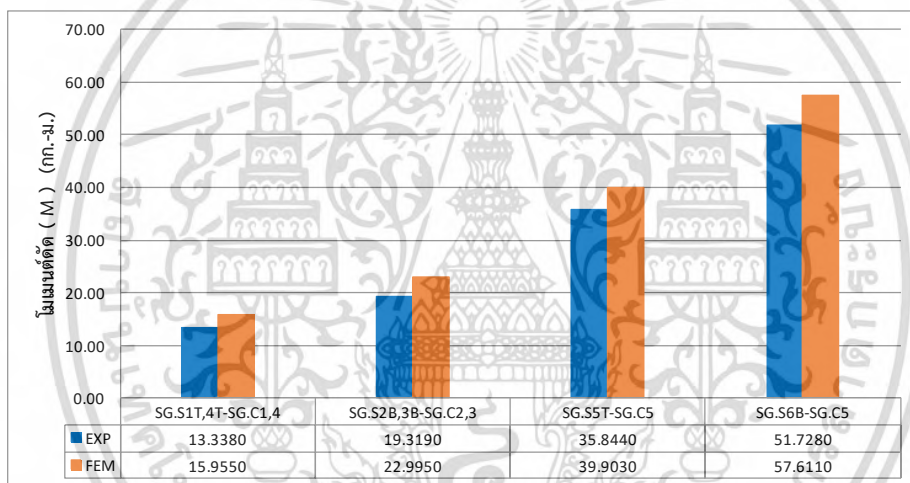
ตารางที่ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายใน โมเมนต์บนหน้าตัด เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก-คอนกรีต)	แรงภายในบนหน้าตัด (C=T) กก.		โมเมนต์ดัด (M) (กก.-ม.)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T-SG.C1,4	414.3420	497.8200	13.3380	15.9550	16.40
SG.S2B,3B-SG.C2,3	476.3000	569.0320	19.3190	22.9950	15.99
SG.S5T-SG.C5	1,113.5130	1245.0360	35.8440	39.9030	10.17
SG.S6B-SG.C5	1,275.0210	1425.6650	51.7280	57.6110	10.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.78 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) จากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

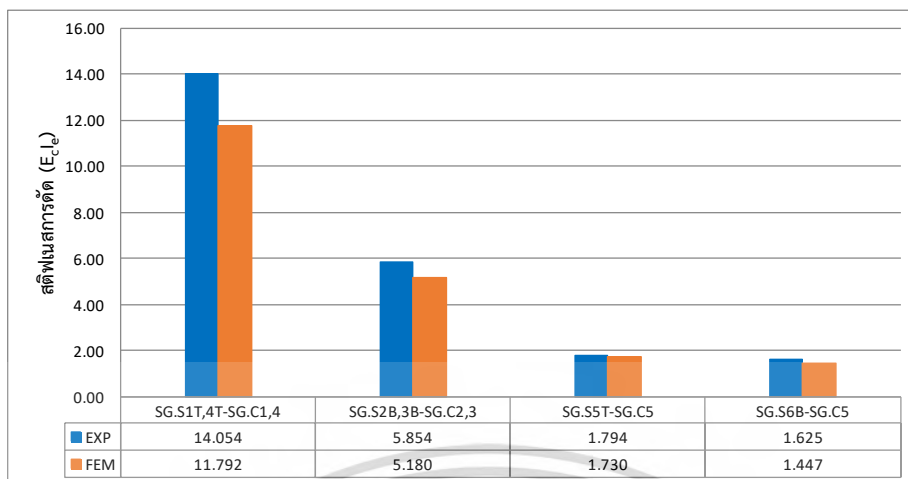


รูปที่ 4.79 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์ตัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

ตารางที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ สติฟเนสการตัดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปด้าน Finite Element ในพื้น S2

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก-คอนกรีต)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)		สติฟเนสการตัด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T-SG.C1,4	734.658	616.391	14.054	11.792	19.186
SG.S2B,3B-SG.C2,3	306.021	270.780	5.854	5.180	13.015
SG.S5T-SG.C5	93.798	90.426	1.794	1.730	3.729
SG.S6B-SG.C5	84.969	75.616	1.625	1.447	12.369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

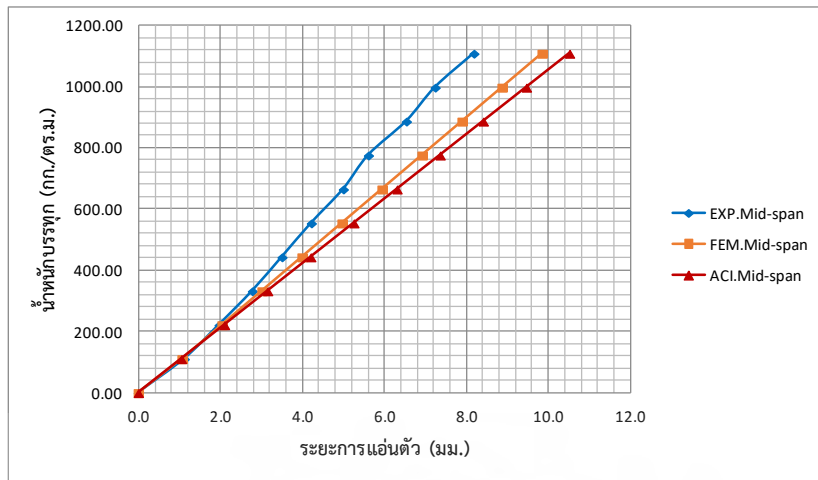


รูปที่ 4.80 กราฟการเปรียบเทียบค่าสตีฟเนสการตัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S2

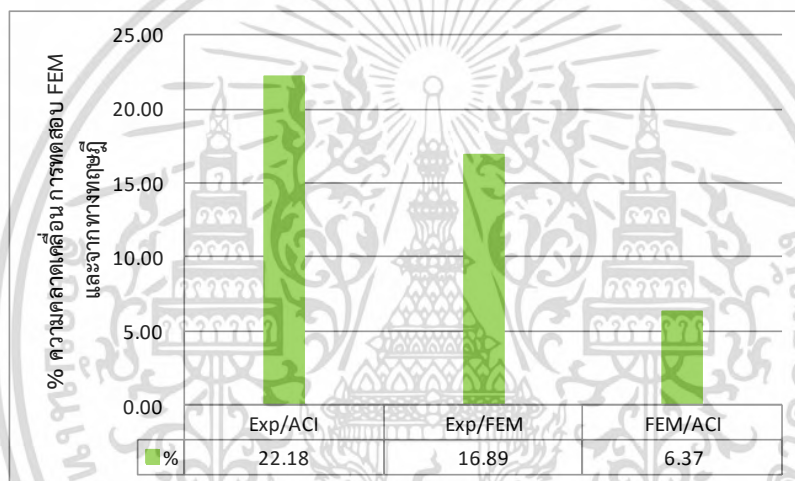
4.2.4 วิเคราะห์ผลทดสอบการแอ่นตัวระหว่างผลการทดสอบจริง การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทางทฤษฎี ในพื้น S1

ตารางที่ 4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของพื้น S2 จากผลทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทฤษฎี

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้น (มม.)		
	EXP.	FEM.	ACI
0.00	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	1.1238	1.0671	1.0529
221.61	1.9718	2.0439	2.1057
332.41	2.7854	3.0205	3.1586
443.21	3.5082	3.9971	4.2115
554.02	4.2251	4.9739	5.2644
664.82	5.0059	5.9505	6.3172
775.62	5.6186	6.9271	7.3701
886.43	6.5455	7.9039	8.4230
997.23	7.2487	8.8805	9.4759
1,108.03	8.1938	9.8585	10.5287



รูปที่ 4.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S2



รูปที่ 4.82 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะการแอ่นตัว การทดสอบ โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎี

จากการทดสอบพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก 1,108 กก./ตร.ม. มีการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นที่ 8.19 มม. มีค่าความเค้นอัดที่ผิว 114.79 ksc. ซึ่งน้อยกว่า ความเค้นอัดที่ผิวจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) คือ 124.40 ksc. จึงทำให้เกิดการแอ่นตัวน้อยลง

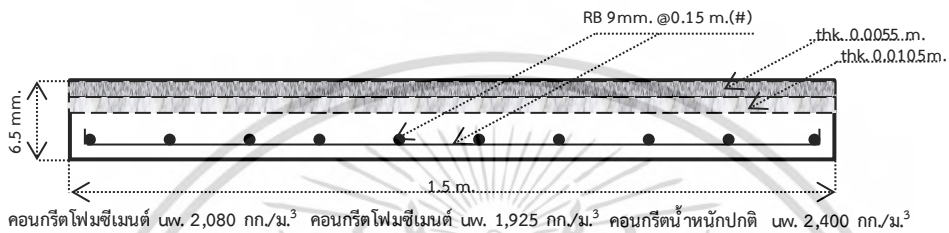
จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กเสริมล่าง มีค่าน้อยในตอนแรก เนื่องจากคอนกรีตช่วยรับแรงดึง จนน้ำหนักบรรทุกที่ 222 กก./ตร.ม. ความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงความสูงสุดของน้ำหนักบรรทุกทดสอบ 0.000983 ม./ม. ค่าความเครียดนี้ต่ำกว่าค่าความเครียดครากของเหล็กเสริม 0.001939 ม./ม.

จากจากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) สามารถหาค่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีตด้านรับแรงดึง ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด เท่ากับ 0.001630 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเครียดประลัยของคอนกรีตที่มีค่า 0.003 ม./ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ข้อมูลผลทดสอบของพื้นตัวอย่างทดสอบ S3 และการวิเคราะห์ผล

แบบจำลองตัวอย่างพื้นทดสอบ S3 เป็นพื้นลูกผสม 3 ชั้น (3Layer-Experimental) โดยชั้นล่างสุดของพื้นทดสอบเป็นคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย $f_c' = 180 \text{ ksc}$ ชั้นถัดมาเป็นคอนกรีตโพนซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก $2,080 \text{ กก./ม}^3$ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 25% (E_{c_2}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ $142,371 \text{ กก./ชม.}^2$ และชั้นบนสุดเป็นคอนกรีตโพนซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก $1,925 \text{ กก./ม}^3$ และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 50% (E_{c_1}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ $90,631 \text{ กก./ชม.}^2$ เสริมเหล็กตะแกรงรับแรงดึง โดยจะมีการเสริมเหล็ก ดังรายละเอียด จากรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.83 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างพื้นตัวอย่างทดสอบ S3

จากการทดสอบพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก $1,108 \text{ กก./ตร.ม.}$ มีค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นเท่ากับ 9.69 มม. ในขณะที่ผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element เท่ากับ 11.51 มม. ค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นตามทฤษฎีเท่ากับ 12.02 มม. ค่าการแอ่นตัวจากการทดสอบน้อยกว่าทฤษฎี 20.41% และน้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 15.84%

วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้พื้นทดสอบ S3 มีระยะการแอ่นตัวน้อยลง โดยใช้ผลที่ได้จากการจากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element มีรายละเอียดการพิจารณา ดังนี้

เปรียบเทียบการแอ่นตัวของพื้น ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) ในทุกตำแหน่งที่มีการติดตั้ง เครื่องมือวัดการแอ่นตัว (Dial Gauge) เฉลี่ยอยู่ที่ 16.49%

เปรียบเทียบความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยหน่วยความเค้นจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นเท่ากับ 122.73 กก./ชม.^2 , ความเครียดจากผลทดสอบ 878.95×10^{-6} ในขณะที่ ความเค้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 131.97 กก./ชม.^2 , ความเครียดเท่ากับ 945.15×10^{-6} ค่าหน่วยความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต จากการทดสอบ น้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 7.00%

เปรียบเทียบความเค้น-ความเครียด ของเหล็ก ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยหน่วยความเค้นจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นเท่ากับ $2,192.43 \text{ กก./ชม.}^2$, ความเครียดจากผลทดสอบ $1,074.72 \times 10^{-6}$ ในขณะที่ ความเค้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ $2,409.19 \text{ กก./ชม.}^2$, ความเครียดเท่ากับ $1,180.98 \times 10^{-6}$ ค่าหน่วยความเค้น-ความเครียด ของคอนกรีต จากการทดสอบ น้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 11.64%

เปรียบเทียบความแรงภายในหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่าน้อยกว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) โดยแรงภายในหน้าตัดจากผลทดสอบ ที่กึ่งกลางพื้นเท่ากับ $1,394.36 \text{ กก.}$ โมเมนต์ดัด 56.40 กก.-ม. ในขณะที่ แรงภายในหน้าตัดได้จากการประมวลผลของ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

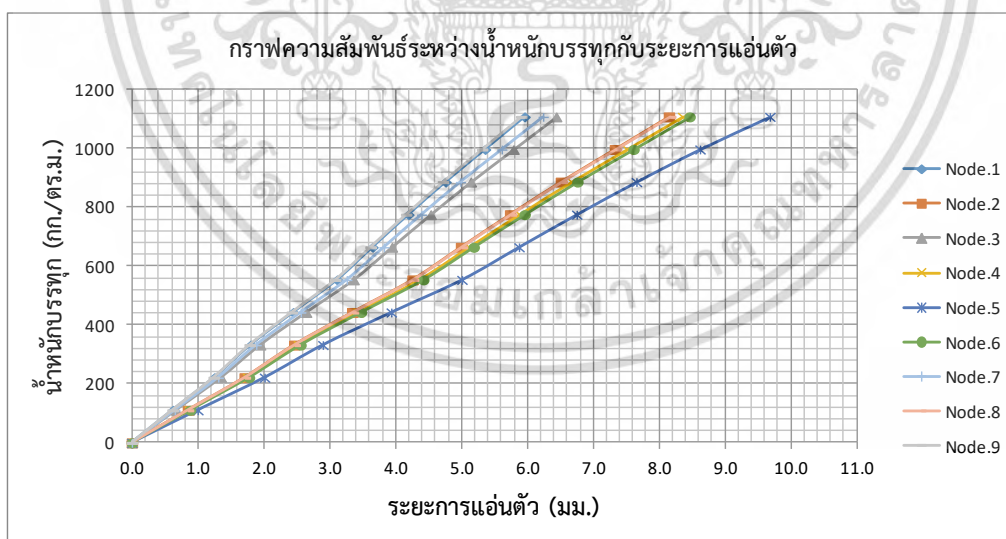
โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) เท่ากับ 1,532.25 กก. , โมเมนต์ดัด 61.78 กก.-ม. แรงภายในหน้าตัดและ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น จากการทดสอบ น้อยกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 8.70%

เปรียบเทียบสตีเฟนสการ ที่วัดได้จากการทดสอบ มีค่ามากกว่าผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) 8.61% เนื่องจากพื้นที่ได้จากการทดสอบมีค่าการแอนตัวที่น้อยกว่าทำให้สตีเฟนสการดัดจึงมีค่ามากกว่า

4.3.1. ผลการทดสอบของพื้น S3

ตารางที่ 4.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอนตัวในพื้นที่ S3

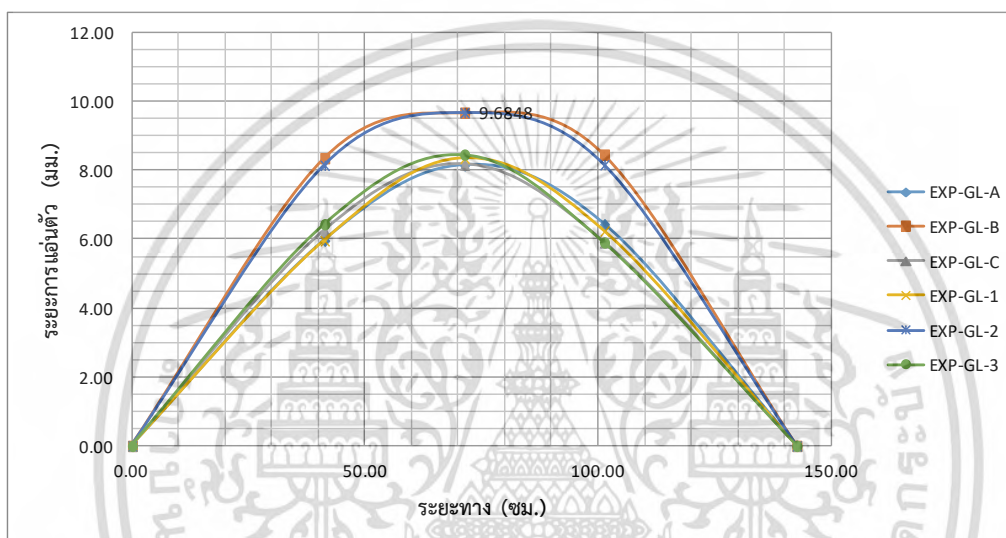
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอนตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.6221	0.8509	0.6723	0.8726	1.0007	0.8836	0.6516	0.8529	0.6170
221.61	1.2516	1.7117	1.3524	1.7554	2.0131	1.7775	1.3108	1.7158	1.2411
332.41	1.8023	2.4649	1.9476	2.5278	2.8990	2.5596	1.8876	2.4708	1.7873
443.21	2.4483	3.3485	2.6456	3.4339	3.9381	3.4771	2.5642	3.3565	2.4279
554.02	3.1151	4.2604	3.3662	4.3692	5.0107	4.4241	3.2625	4.2706	3.0892
664.82	3.6535	4.9968	3.9480	5.1243	5.8766	5.1887	3.8264	5.0087	3.6231
775.62	4.1981	5.7415	4.5364	5.8881	6.7526	5.9621	4.3967	5.7553	4.1631
886.43	4.7623	6.5132	5.1461	6.6794	7.6601	6.7634	4.9876	6.5287	4.7226
997.23	5.3618	7.3331	5.7940	7.5203	8.6244	7.6149	5.6155	7.3506	5.3171
1,108.03	5.9613	8.1531	6.4418	8.3611	9.6848	8.4663	6.2434	8.1726	5.9117



รูปที่ 4.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอนตัวในพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.50 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้น S3

ระยะทาง At.0----->At.142.5 (ซม.)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)					
	X-Longdional			Y-Longdional		
	EXP-GL-A	EXP-GL-B	EXP-GL-C	EXP-GL-1	EXP-GL-2	EXP-GL-3
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41.25	5.9613	8.3611	6.2434	5.9613	8.1531	6.4418
71.25	8.1531	9.6848	8.1726	8.3611	9.6848	8.4663
101.25	6.4418	8.4663	5.9117	6.2434	8.1726	5.9117
142.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

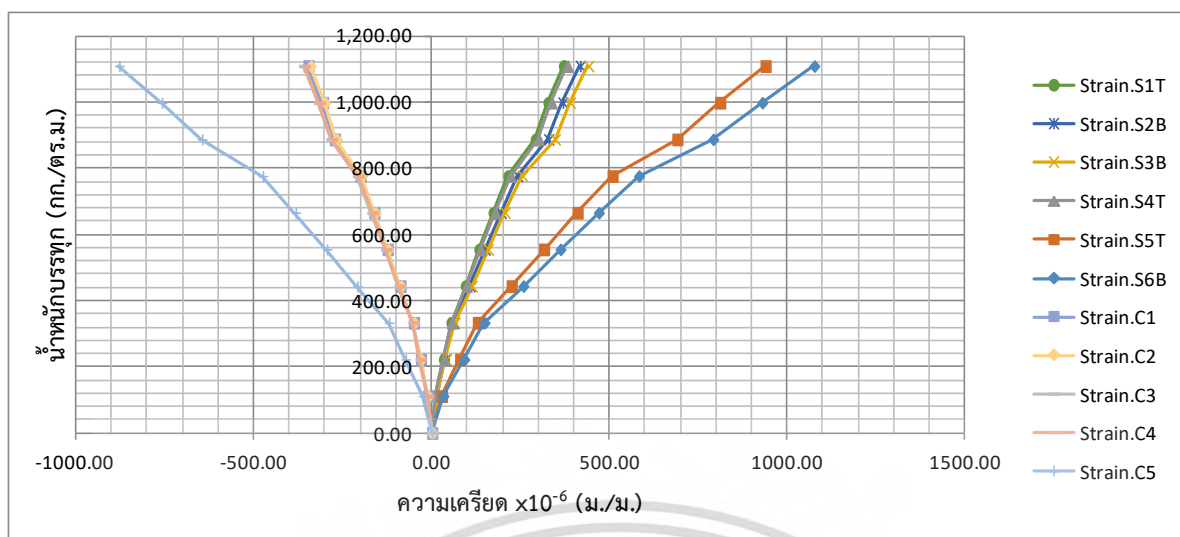


รูปที่ 4.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S3

ตารางที่ 4.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S3

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเครียดของเหล็ก(E_s) $\times 10^{-6}$ (ม./ม.)						ความเครียดของคอนกรีต(E_c) $\times 10^{-6}$ (ม./ม.)				
	Strain.S1	Strain.S2	Strain.S3	Strain.S4	Strain.S5	Strain.S6	Strain.C1	Strain.C2	Strain.C3	Strain.C4	Strain.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	11.7106	13.1687	13.9164	12.0539	27.7083	31.7634	-10.9790	-10.7699	-11.3814	-11.3009	-25.9774
221.61	33.3557	37.5088	39.6387	34.3336	78.9227	90.4729	-31.2720	-30.6763	-32.4182	-32.1889	-73.9926
332.41	54.3894	61.1614	64.6343	55.9840	128.6903	147.5240	-50.9918	-50.0203	-52.8607	-52.4868	-120.6513
443.21	94.6107	106.3906	112.4319	97.3845	223.8577	256.6190	-88.7006	-87.0108	-91.9515	-91.3012	-209.8739
554.02	133.0371	149.6015	158.0964	136.9375	314.7782	360.8456	-124.7266	-122.3504	-129.2979	-128.3834	-295.1148
664.82	172.8144	194.3315	205.3663	177.8811	408.8950	468.7363	-162.0191	-158.9325	-167.9573	-166.7693	-383.3524
775.62	214.4435	241.1437	254.8368	220.7306	507.3932	581.6496	-201.0477	-197.2175	-208.4163	-206.9421	-475.6976
886.43	291.3950	327.6765	346.2831	299.9382	689.4677	790.3705	-273.1923	-267.9876	-283.2050	-281.2018	-646.3984
997.23	327.0596	367.7816	388.6656	336.6484	809.7785	928.2886	-306.6290	-300.7873	-317.8671	-315.6188	-759.1936
1,108.03	370.6042	416.7480	440.4124	381.4697	937.5162	1074.7206	-347.4535	-340.8341	-360.1879	-357.6403	-878.9519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

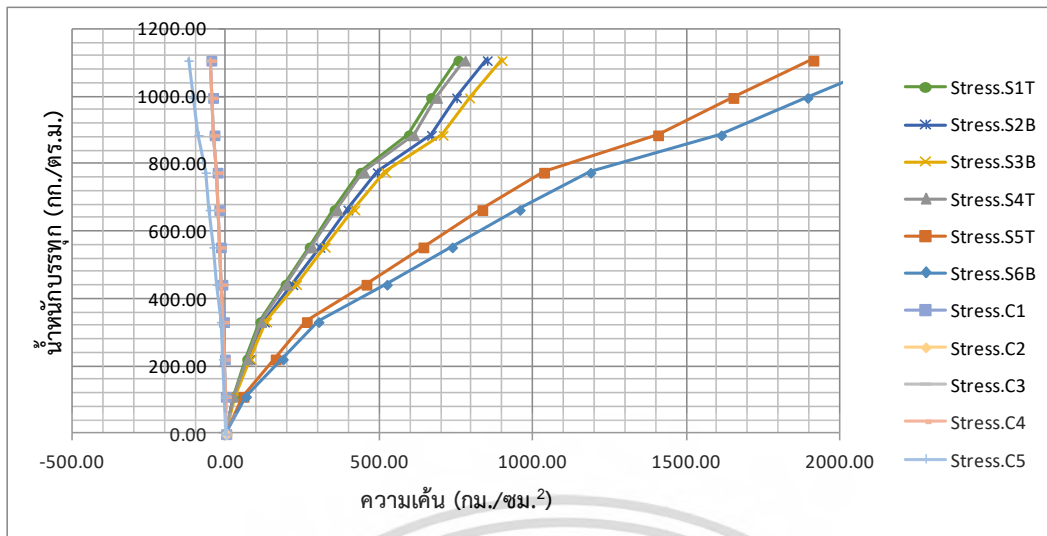


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)						ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)				
	Stress.S1	Stress.S2	Stress.S3	Stress.S4	Stress.S5	Stress.S6	Stress.C1	Stress.C2	Stress.C3	Stress.C4	Stress.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	23.8896	26.8641	28.3895	24.5900	56.5250	64.7973	-1.5330	-1.5038	-1.5892	-1.5779	-3.6272
221.61	68.0456	76.5179	80.8629	70.0406	161.0022	184.5647	-4.3665	-4.2833	-4.5265	-4.4945	-10.3314
332.41	110.9543	124.7692	131.8540	114.2073	262.5282	300.9489	-7.1199	-6.9842	-7.3808	-7.3286	-16.8463
443.21	193.0058	217.0369	229.3610	198.6644	456.6698	523.5028	-12.3851	-12.1491	-12.8390	-12.7482	-29.3043
554.02	271.3957	305.1870	322.5167	279.3526	642.1475	736.1250	-17.4153	-17.0835	-18.0536	-17.9259	-41.2063
664.82	352.5414	396.4362	418.9473	362.8774	834.1458	956.2221	-22.6224	-22.1914	-23.4515	-23.2857	-53.5261
775.62	437.4647	491.9332	519.8670	450.2904	1035.0822	1186.5653	-28.0719	-27.5371	-29.1007	-28.8949	-66.4201
886.43	594.4458	668.4600	706.4176	611.8740	1406.5141	1612.3558	-38.1453	-37.4186	-39.5433	-39.2637	-90.2553
997.23	667.2015	750.2745	792.8778	686.7628	1651.9480	1893.7087	-42.8140	-41.9983	-44.3832	-44.0692	-106.0043
1108.03	756.0325	850.1658	898.4414	778.1982	1912.5331	2192.4301	-48.5142	-47.5900	-50.2923	-49.9366	-122.7261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3

จากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน จากนั้นทำการหาค่าแรงภายในบนหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น

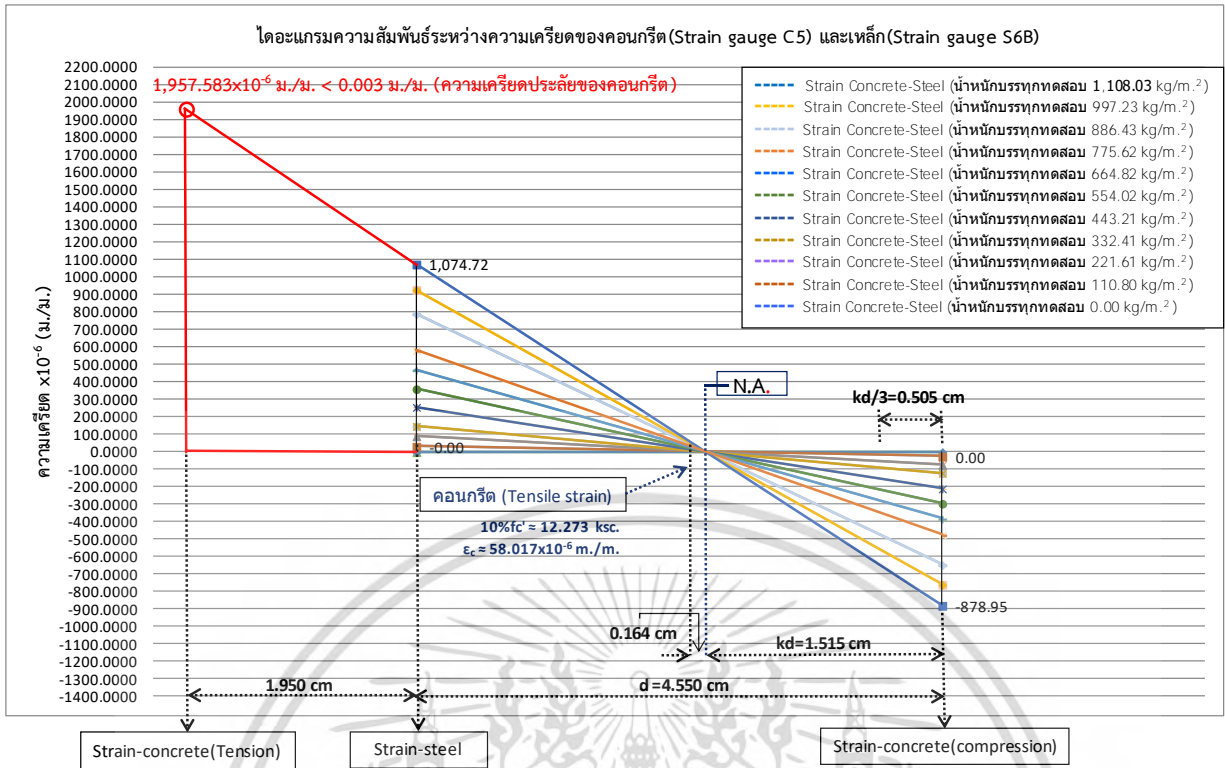
ตารางที่ 4.53 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเครียดคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเครียดเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (10%คอนกรีตช่วยรับแรงดึง) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน-ตำแหน่ง ความเครียดคอนกรีตช่วยรับแรงดึง (ซม.)	ความเครียดคอนกรีต (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$
Strain.C1,4-Strain.S1T,4T	-352.547	376.037	1.322	23.271	0.144	773.936
Strain.C2,3-Strain.S2B,3B	-350.511	428.580	1.515	23.136	0.164	773.936
Strain.C5-Strain.S5T	-878.952	937.516	1.322	58.017	0.144	2,285.002
Strain.C5-Strain.S6B	-878.952	1,074.721	1.515	58.017	0.164	1,957.583

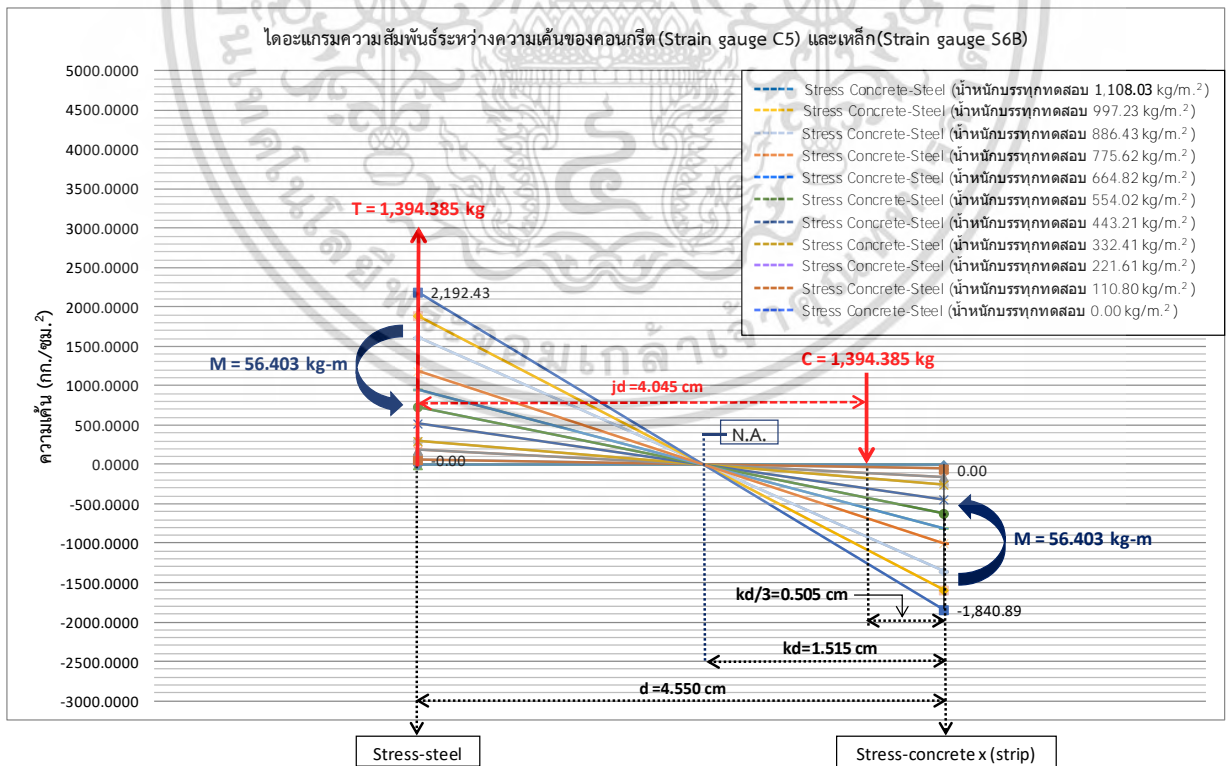
ตารางที่ 4.54 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเค้นคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเค้นเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ซม.)	ระยะแกนของโมเมนต์ดัด (jd) (ซม.)	แรงภายในบนหน้าตัด C=T (กก.)	โมเมนต์ดัดบนหน้าตัด (Moment) (กก.-ม.)
Stress.C1,4-Stress.S1T,4T	-49.225	767.115	1.322	3.209	487.888	15.658
Stress.C2,3-Stress.S2B,3B	-48.941	874.304	1.515	4.045	556.057	22.493
Stress.C5-Stress.S5T	-122.726	1,912.533	1.322	3.209	1,216.371	39.037
Stress.C5-Stress.S6B	-122.726	2,192.430	1.515	4.045	1,394.385	56.403

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

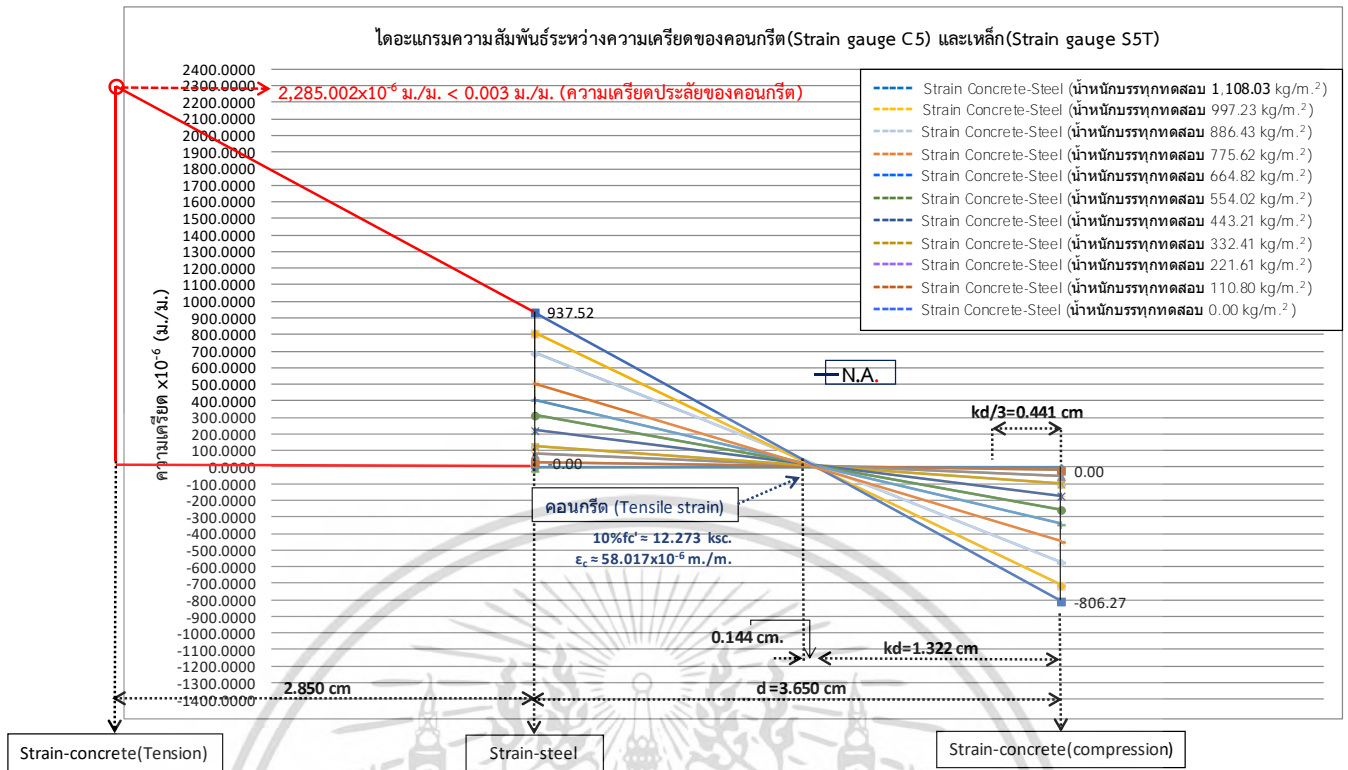


รูปที่ 4.88 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3

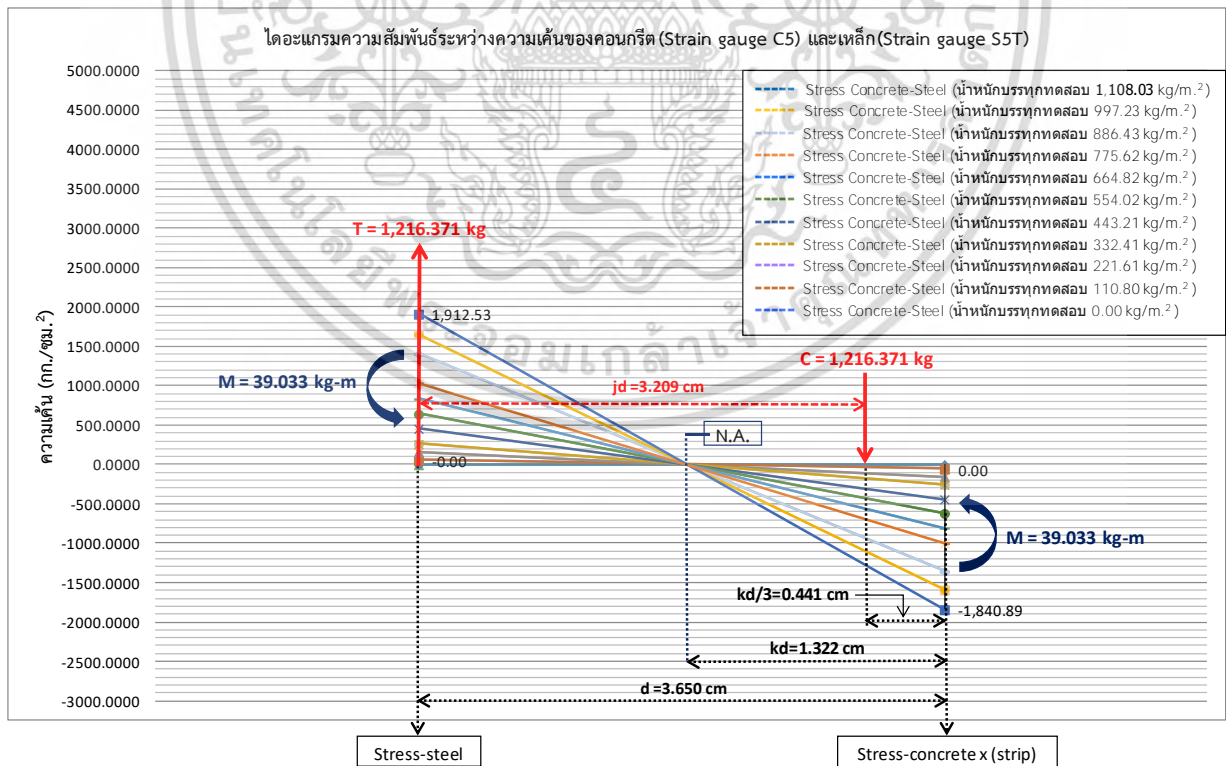


รูปที่ 4.89 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

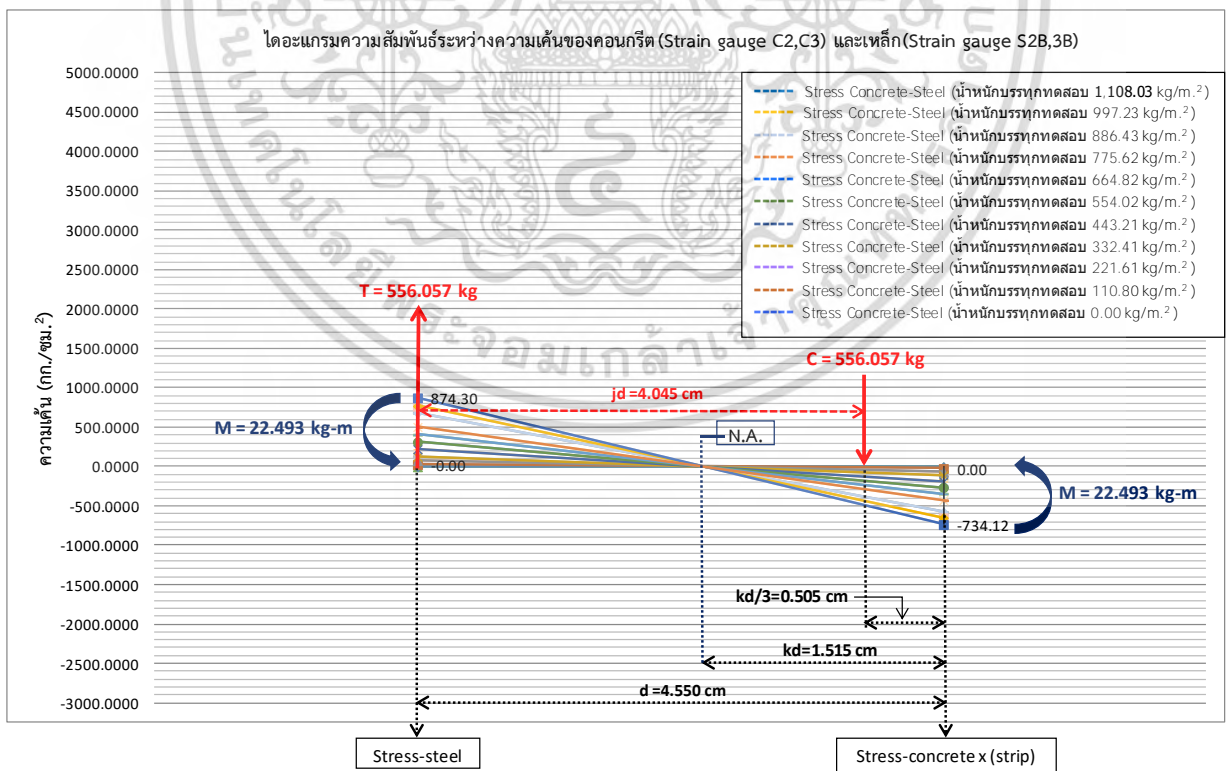
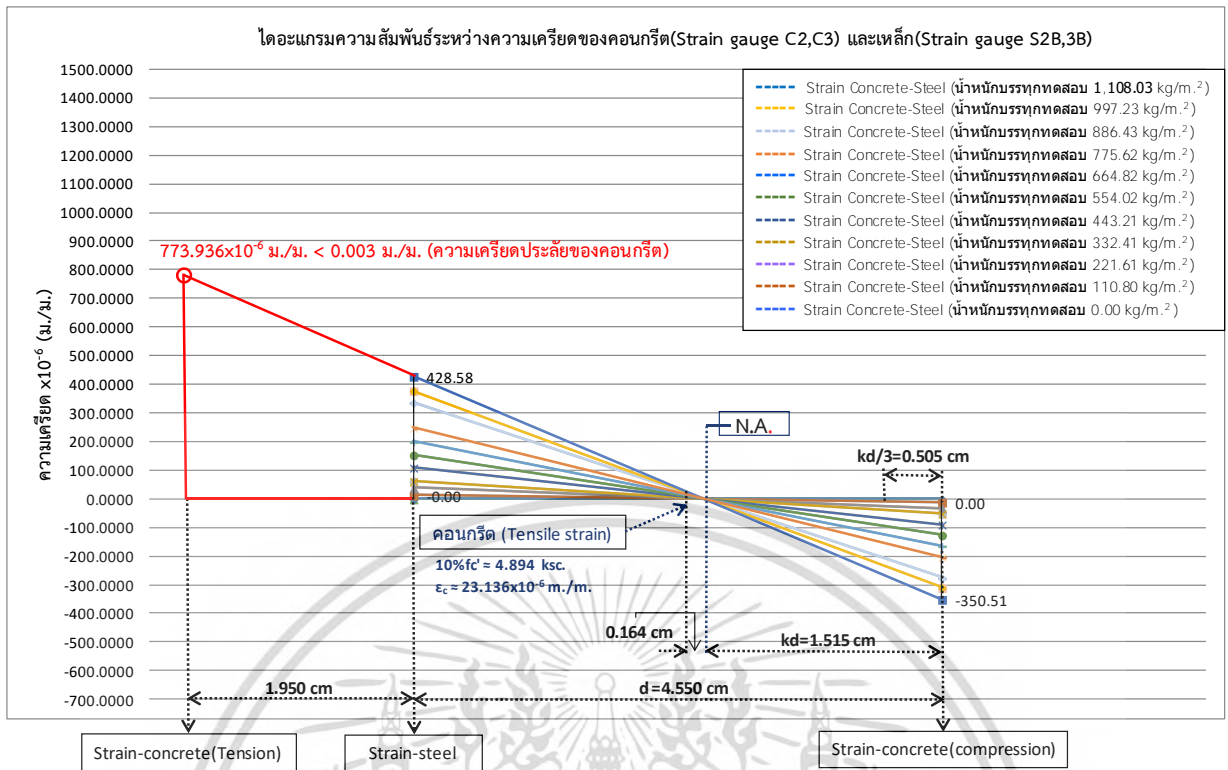


รูปที่ 4.90 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3

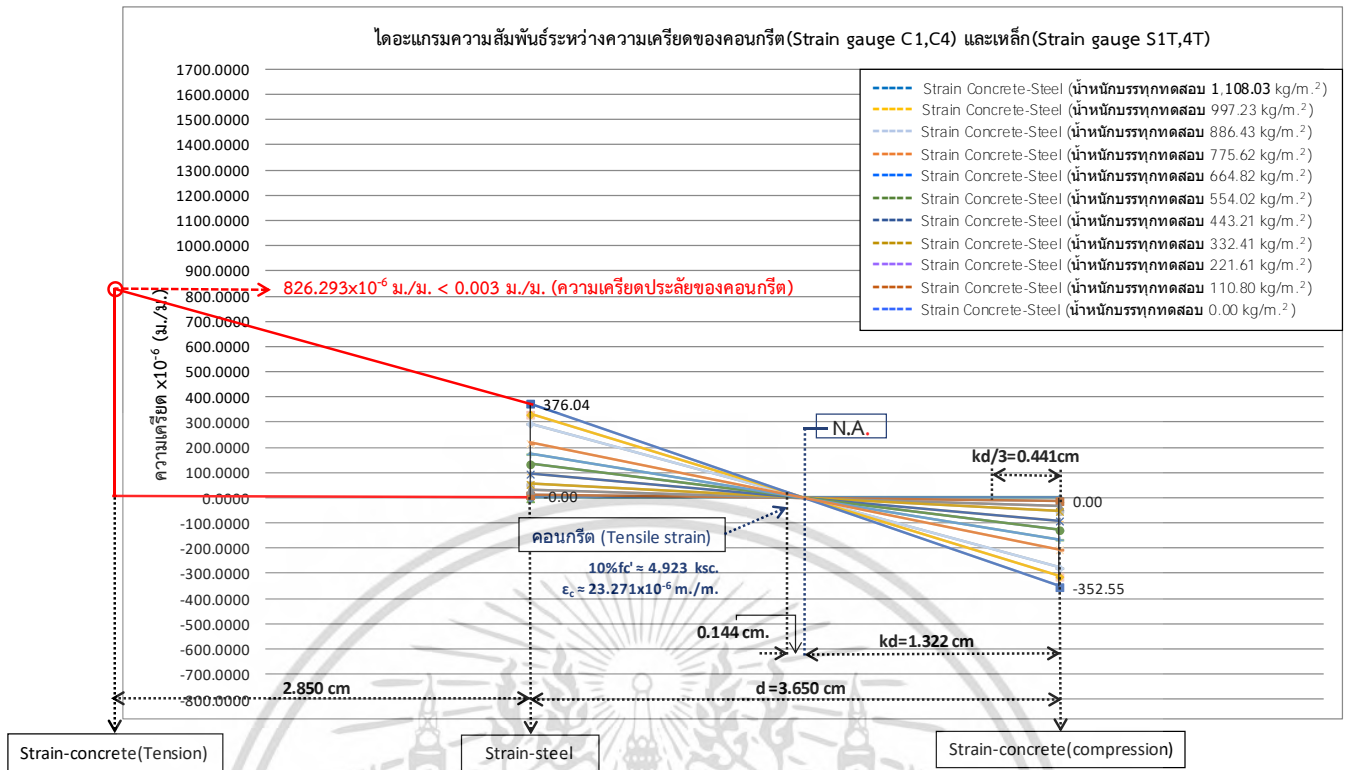


รูปที่ 4.91 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3

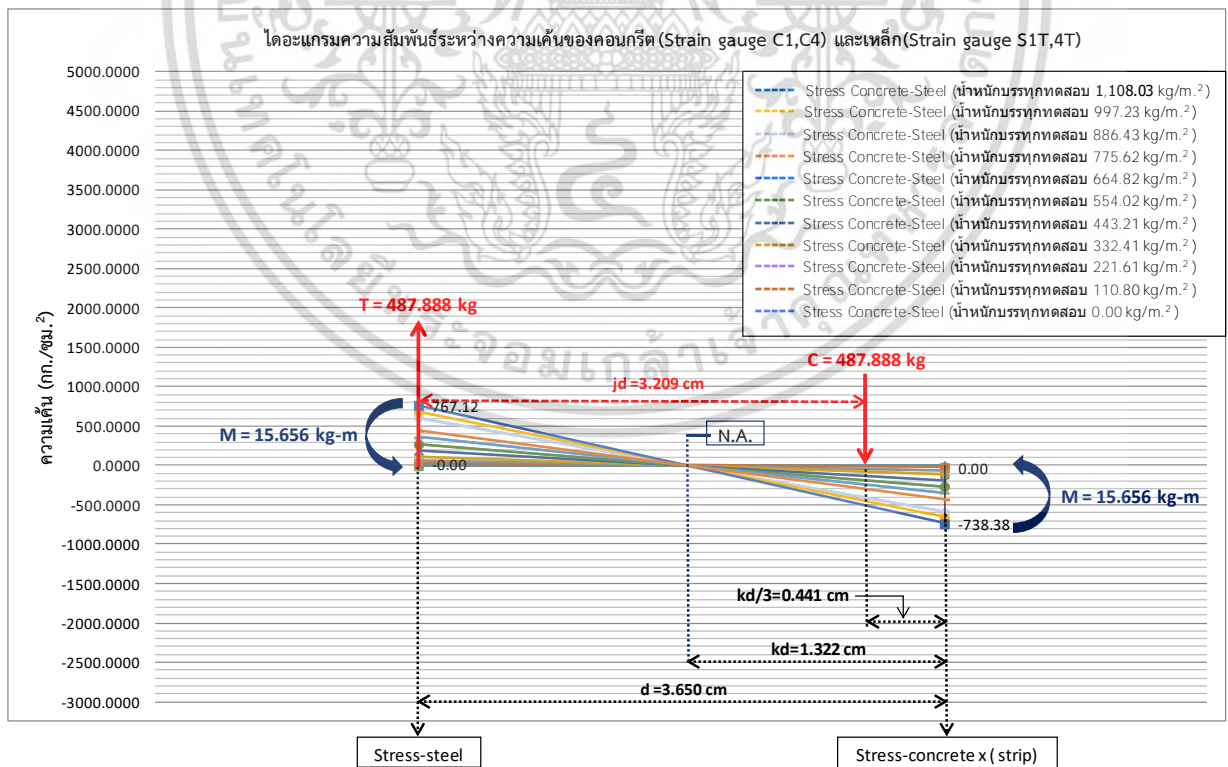
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.94 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3

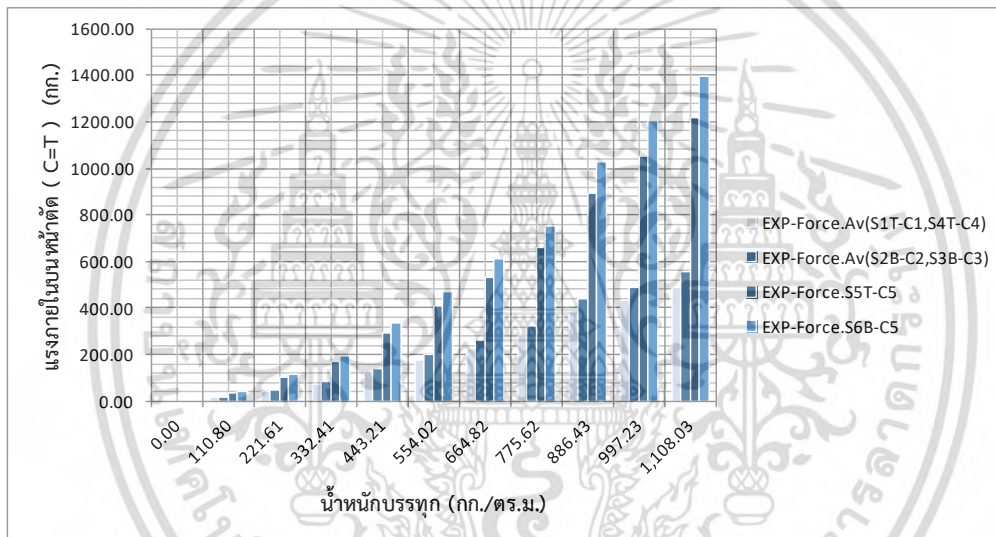


รูปที่ 4.95 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S3

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	แรงอัดของคอนกรีต (C) (กก.) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T) (กก.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	15.1938	17.0855	18.0557	15.6392	35.9499	41.2111
221.61	43.2770	48.6654	51.4288	44.5458	102.3974	117.3831
332.41	70.5669	79.3532	83.8592	72.6358	166.9679	191.4035
443.21	122.7517	138.0355	145.8736	126.3506	290.4420	332.9478
554.02	172.6076	194.0990	205.1206	177.6682	408.4058	468.1755
664.82	224.2163	252.1334	266.4505	230.7900	530.5167	608.1573
775.62	278.2275	312.8695	330.6354	286.3847	658.3123	754.6555
886.43	378.0675	425.1405	449.2816	389.1519	894.5430	1,025.4583
997.23	424.3401	477.1746	504.2703	436.7811	1,050.6390	1,204.3988
1,108.03	480.8367	540.7055	571.4087	494.9341	1,216.3710	1,394.3855



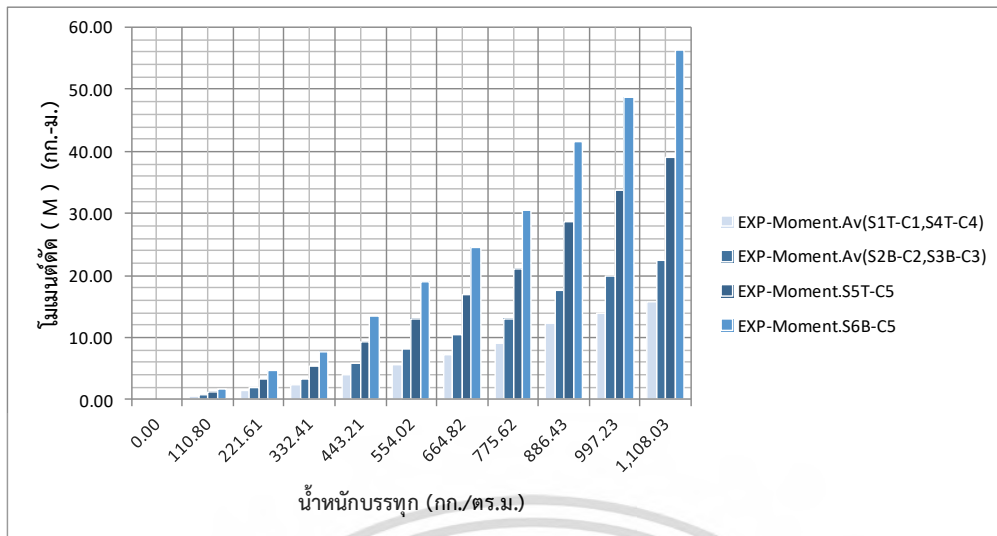
รูปที่ 4.96 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S3

ตารางที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้น S3

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	โมเมนต์ดัด (M) (กก.-ม.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.4876	0.6911	0.7304	0.5019	1.1536	1.6670
221.61	1.3888	1.9685	2.0803	1.4295	3.2859	4.7481
332.41	2.2645	3.2098	3.3921	2.3309	5.3580	7.7423
443.21	3.9391	5.5835	5.9006	4.0546	9.3203	13.4677
554.02	5.5390	7.8513	8.2971	5.7014	13.1057	18.9377
664.82	7.1951	10.1988	10.7779	7.4061	17.0243	24.6000
775.62	8.9283	12.6556	13.3742	9.1901	21.1252	30.5258
886.43	12.1322	17.1969	18.1734	12.4879	28.7059	41.4798
997.23	13.6171	19.3017	20.3977	14.0163	33.7150	48.7179
1,108.03	15.4300	21.8715	23.1135	15.8824	39.0333	56.4029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์อื่น ๆ ได้

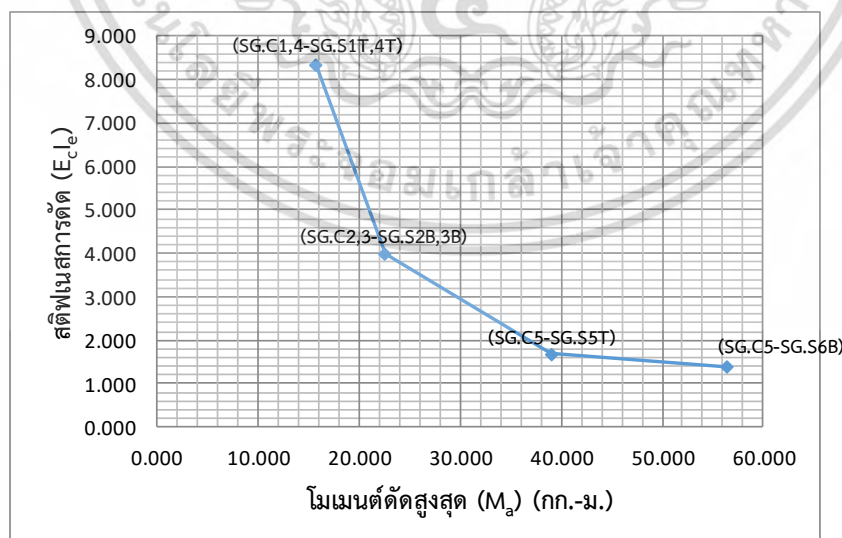
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.97 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	โมเมนต์ดัดสูงสุด (M_a) (กก.-ม.)	โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว (I_{cr}) (ซม. ⁴)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)	สติฟเนสการดัด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$
SG.C1,4-SG.S1T,4T	15.656	52.914	478.873	8.348
SG.C2,3-SG.S2B,3B	22.493	87.686	229.384	3.999
SG.C5-SG.S5T	39.033	52.914	96.673	1.685
SG.C5-SG.S6B	56.403	87.686	80.401	1.402



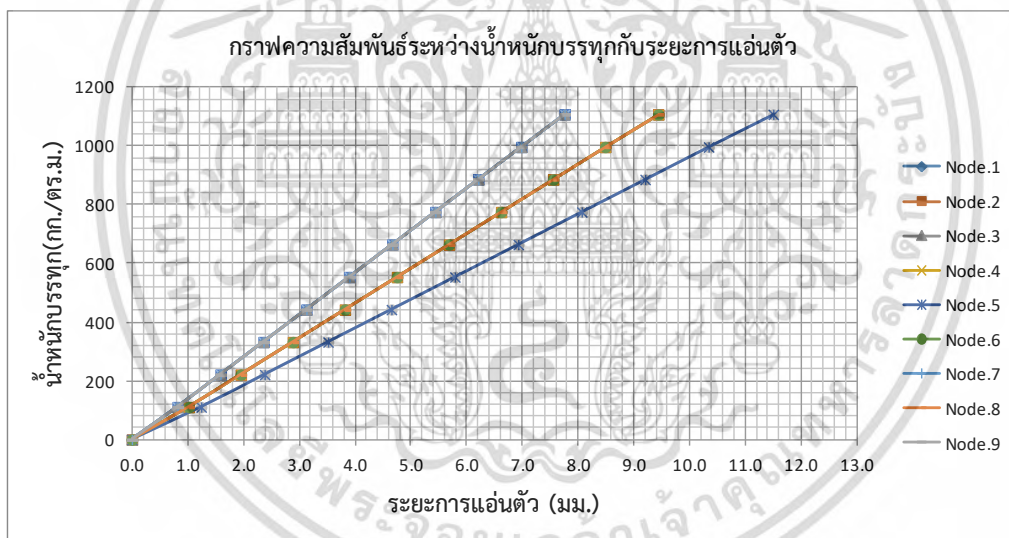
รูปที่ 4.98 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวในพื้นที่ S3

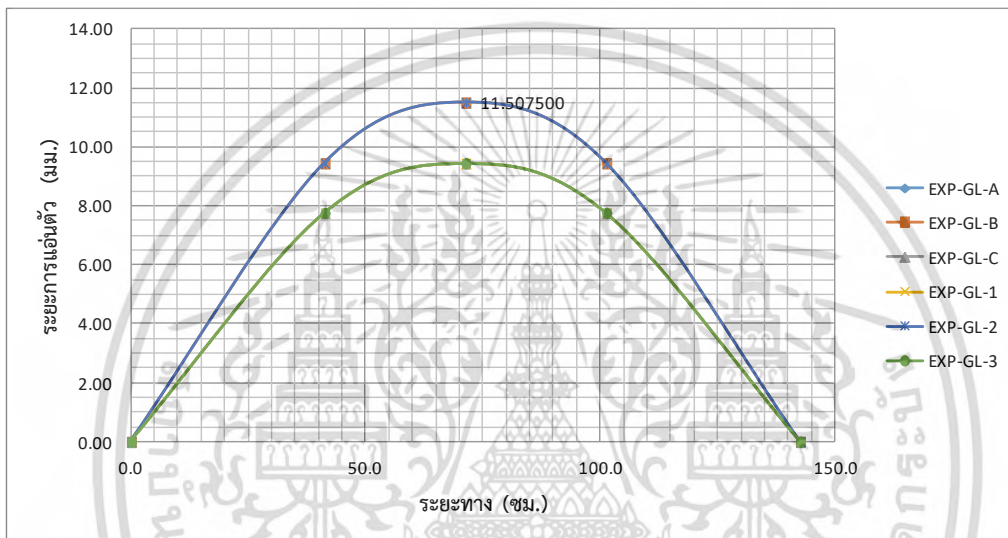
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.8191	1.0204	0.8191	1.0204	1.2432	1.0204	0.8191	1.0204	0.8191
221.61	1.5900	1.9544	1.5900	1.9544	2.3812	1.9544	1.5900	1.9544	1.5900
332.41	2.3608	2.8882	2.3608	2.8882	3.5190	2.8882	2.3608	2.8882	2.3608
443.21	3.1317	3.8220	3.1317	3.8220	4.6568	3.8220	3.1317	3.8220	3.1317
554.02	3.9025	4.7560	3.9025	4.7560	5.7948	4.7560	3.9025	4.7560	3.9025
664.82	4.6734	5.6898	4.6734	5.6898	6.9326	5.6898	4.6734	5.6898	4.6734
775.62	5.4443	6.6236	5.4443	6.6236	8.0704	6.6236	5.4443	6.6236	5.4443
886.43	6.2151	7.5576	6.2151	7.5576	9.2084	7.5576	6.2151	7.5576	6.2151
997.23	6.9860	8.4914	6.9860	8.4914	10.3462	8.4914	6.9860	8.4914	6.9860
1,108.03	7.7625	9.4445	7.7625	9.4445	11.5075	9.4445	7.7625	9.4445	7.7625



รูปที่ 4.99 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวของพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.59 แสดงความสัมพันธ์ระยะการแอ่นตัวกับระยะในแกน X-Y ในพื้น S3

ระยะทาง At.0----->At.142.5 (ซม.)	ระยะการแอ่นตัว (มม.)					
	X-Longdional			Y-Longdional		
	EXP-GL-A	EXP-GL-B	EXP-GL-C	EXP-GL-1	EXP-GL-2	EXP-GL-3
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
41.25	7.762500	9.444500	7.762500	7.762500	9.444500	7.762500
71.25	9.444500	11.507500	9.444500	9.444500	11.507500	9.444500
101.25	7.762500	9.444500	7.762500	7.762500	9.444500	7.762500
142.5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

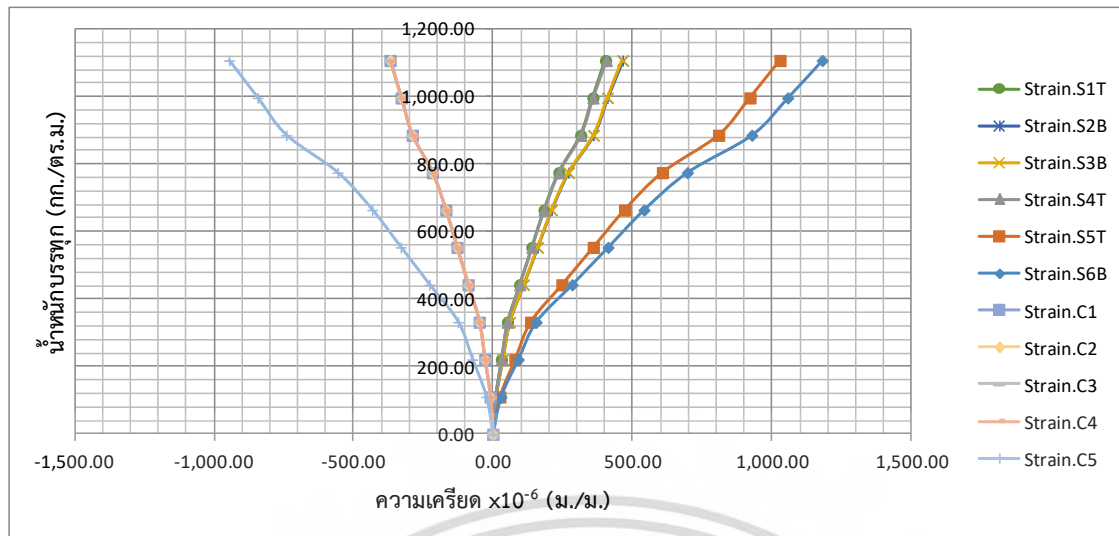


รูปที่ 4.100 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวกับระยะทางในแนวแกน X-Y ในพื้น S3

ตารางที่ 4.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กกับคอนกรีตในพื้น S2

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเครียดของเหล็ก(ϵ_s) $\times 10^6$ (มม./มม.)						ความเครียดของคอนกรีต(ϵ_c) $\times 10^6$ (มม./มม.)				
	Strain.S1	Strain.S2	Strain.S3	Strain.S4	Strain.S5	Strain.S6	Strain.C1	Strain.C2	Strain.C3	Strain.C4	Strain.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	9.9633	11.4111	11.4385	9.9727	25.5855	29.3448	-9.1047	-9.0918	-9.1137	-9.1132	-23.3805
221.61	30.9793	35.4809	35.5661	31.0084	79.5537	91.2428	-28.3095	-28.2694	-28.3374	-28.3361	-72.6978
332.41	52.8468	60.5259	60.6714	52.8964	135.7087	155.6487	-48.2925	-48.2241	-48.3400	-48.3378	-124.0134
443.21	96.5887	110.6238	110.8897	96.6793	248.0361	284.4807	-88.2647	-88.1397	-88.3516	-88.3476	-226.6605
554.02	140.3319	160.7232	161.1095	140.4636	360.3670	413.3167	-128.2382	-128.0565	-128.3643	-128.3585	-329.3108
664.82	184.0655	210.8117	211.3184	184.2383	472.6734	542.1245	-168.2029	-167.9646	-168.3684	-168.3607	-431.9387
775.62	236.8978	271.3209	271.9731	237.1201	608.3447	697.7304	-216.4821	-216.1754	-216.6951	-216.6853	-555.9180
886.43	315.2819	361.0949	361.9629	315.5778	809.6323	928.5936	-288.1112	-287.7030	-288.3946	-288.3816	-739.8588
997.23	359.0240	411.1930	412.1814	359.3610	921.9603	1,057.4263	-328.0836	-327.6188	-328.4064	-328.3915	-842.5064
1,108.03	404.2989	466.0416	464.6483	407.1611	1,029.6849	1,180.9791	-368.0560	-367.5346	-368.4181	-368.4014	-945.1541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

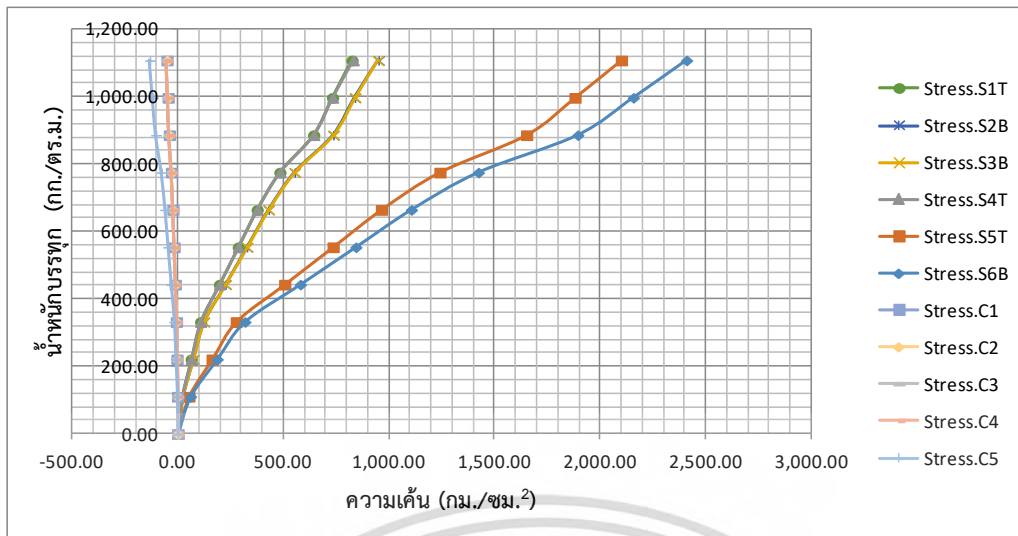


รูปที่ 4.101 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)						ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)				
	Stress.S1	Stress.S2	Stress.S3	Stress.S4	Stress.S5	Stress.S6	Stress.C1	Stress.C2	Stress.C3	Stress.C4	Stress.C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	20.3252	23.2786	23.3346	20.3443	52.1944	59.8634	-1.2713	-1.2695	-1.2725	-1.2725	-3.2646
221.61	63.1978	72.3809	72.5549	63.2571	162.2896	186.1352	-3.9528	-3.9472	-3.9567	-3.9565	-10.1507
332.41	107.8075	123.4728	123.7696	107.9087	276.8457	317.5233	-6.7430	-6.7334	-6.7496	-6.7493	-17.3157
443.21	197.0409	225.6725	226.2149	197.2258	505.9936	580.3406	-12.3242	-12.3068	-12.3364	-12.3358	-31.6482
554.02	286.2770	327.8753	328.6634	286.5457	735.1487	843.1660	-17.9056	-17.8803	-17.9233	-17.9224	-45.9810
664.82	375.4937	430.0558	431.0896	375.8461	964.2537	1,105.9340	-23.4858	-23.4526	-23.5089	-23.5079	-60.3107
775.62	483.2715	553.4946	554.8251	483.7251	1,241.0232	1,423.3699	-30.2270	-30.1841	-30.2567	-30.2553	-77.6217
886.43	643.1752	736.6336	738.4043	643.7788	1,651.6498	1,894.3310	-40.2284	-40.1714	-40.2680	-40.2661	-103.3050
997.23	732.4090	838.8337	840.8502	733.0964	1,880.7990	2,157.1496	-45.8097	-45.7448	-45.8547	-45.8526	-117.6371
1,108.03	824.7697	950.7248	947.8825	830.6086	2,100.5571	2,409.1974	-51.3909	-51.3181	-51.4415	-51.4392	-131.9700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.102 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นของเหล็กกับคอนกรีตในพื้นที่ S3

จากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน จากนั้นทำการหาค่าแรงภายในบนหน้าตัดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น

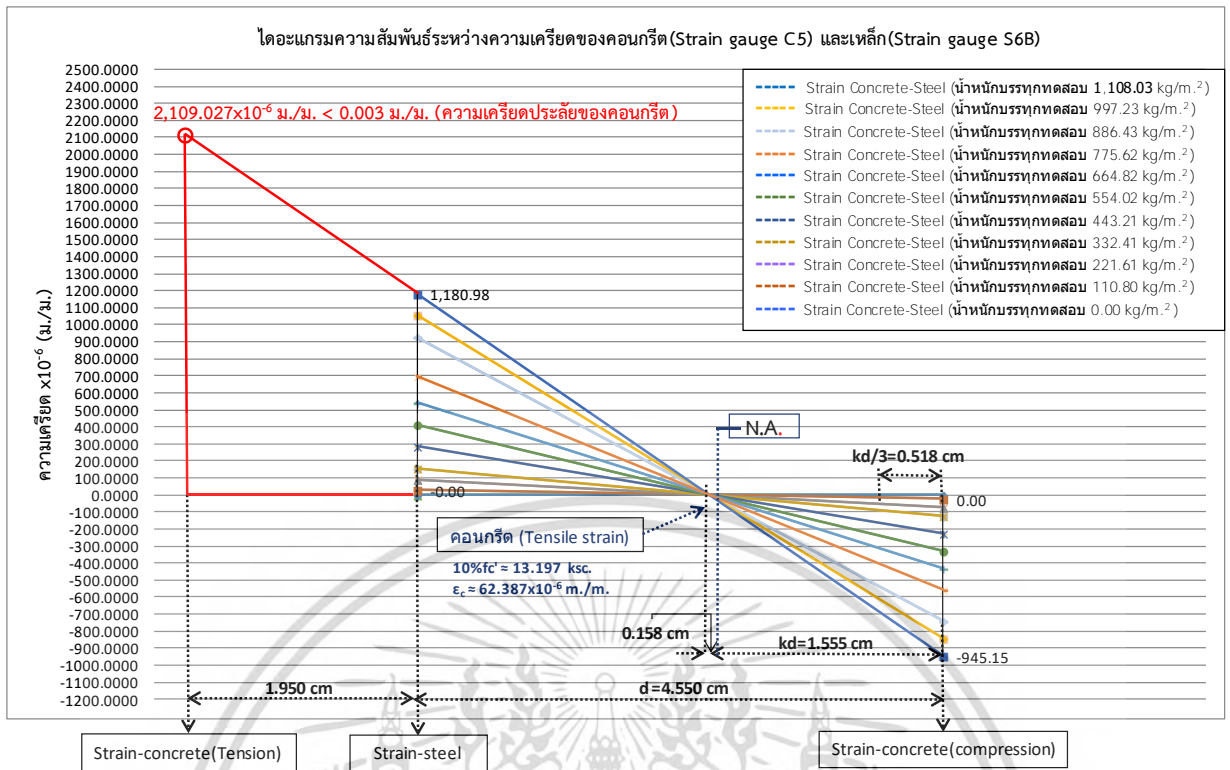
ตารางที่ 4.62 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเครียดคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเครียดเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ชม.)	ความเครียดคอนกรีต (10%คอนกรีตช่วยรับแรงดึง) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน-ตำแหน่ง ความเครียดคอนกรีตช่วยรับแรงดึง (ชม.)	ความเครียดคอนกรีต (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$
Strain.C1,4-Strain.S1T,4T	-368.229	405.730	1.356	24.306	0.139	899.753
Strain.C2,3-Strain.S2B,3B	-367.976	465.345	1.555	24.289	0.158	788.324
Strain.C5-Strain.S5T	-945.154	1,029.685	1.356	62.387	0.139	2,488.824
Strain.C5-Strain.S6B	-945.154	1,180.979	1.555	62.387	0.158	2,109.027

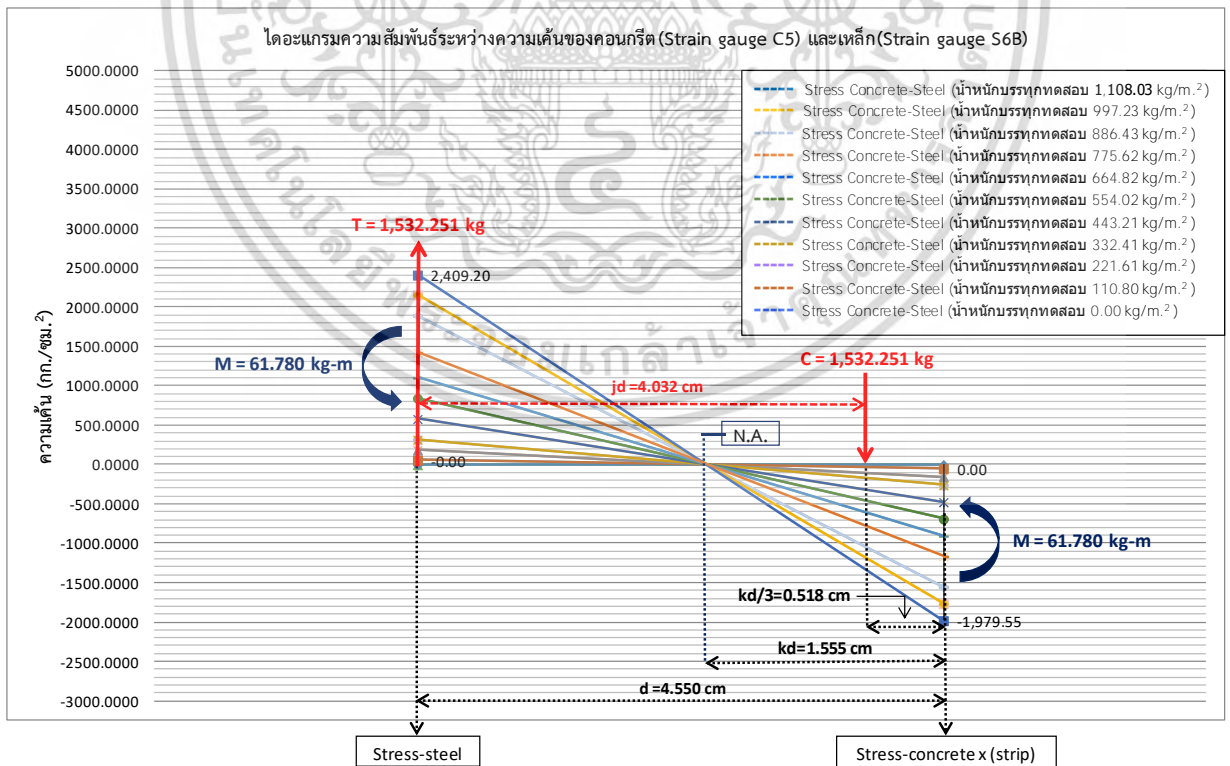
ตารางที่ 4.63 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีตและเหล็กในพื้นที่ S3

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	ความเค้นคอนกรีต (Compression) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ความเค้นเหล็ก (Tension) (ม./ม.) $\times 10^{-6}$	ระยะแกนสะเทิน (kd) (ชม.)	ระยะแกนของโมเมนต์ดัด (jd) (ชม.)	แรงภายในบนหน้าตัด C=T (กก.)	โมเมนต์ดัดบนหน้าตัด (Moment) (กก.-ม.)
Stress.C1,4-Stress.S1T,4T	-51.415	827.689	1.356	3.198	526.411	16.835
Stress.C2,3-Stress.S2B,3B	-51.380	949.304	1.555	4.032	603.757	24.341
Stress.C5-Stress.S5T	-131.970	2,100.557	1.356	3.198	1,335.956	42.724
Stress.C5-Stress.S6B	-131.970	2,409.197	1.555	4.032	1,532.251	61.775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



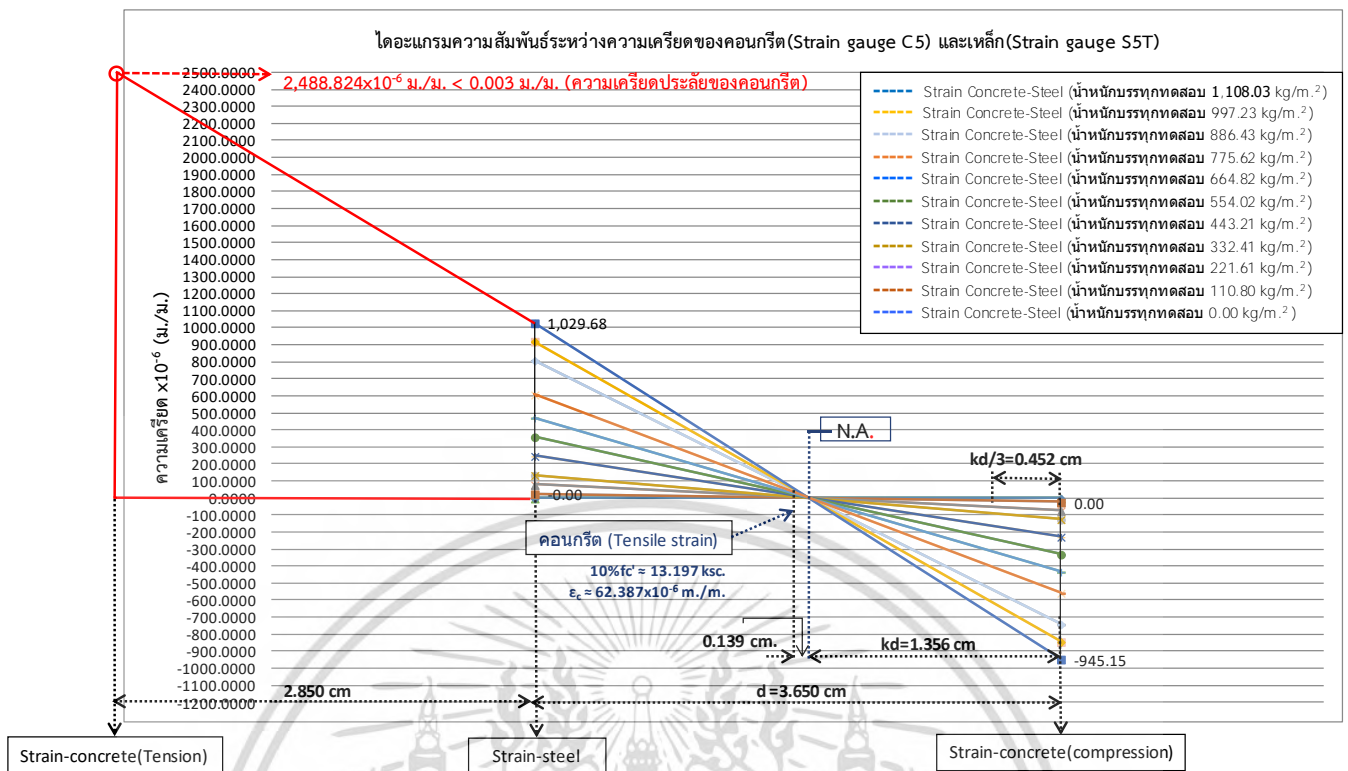
รูปที่ 4.103 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3



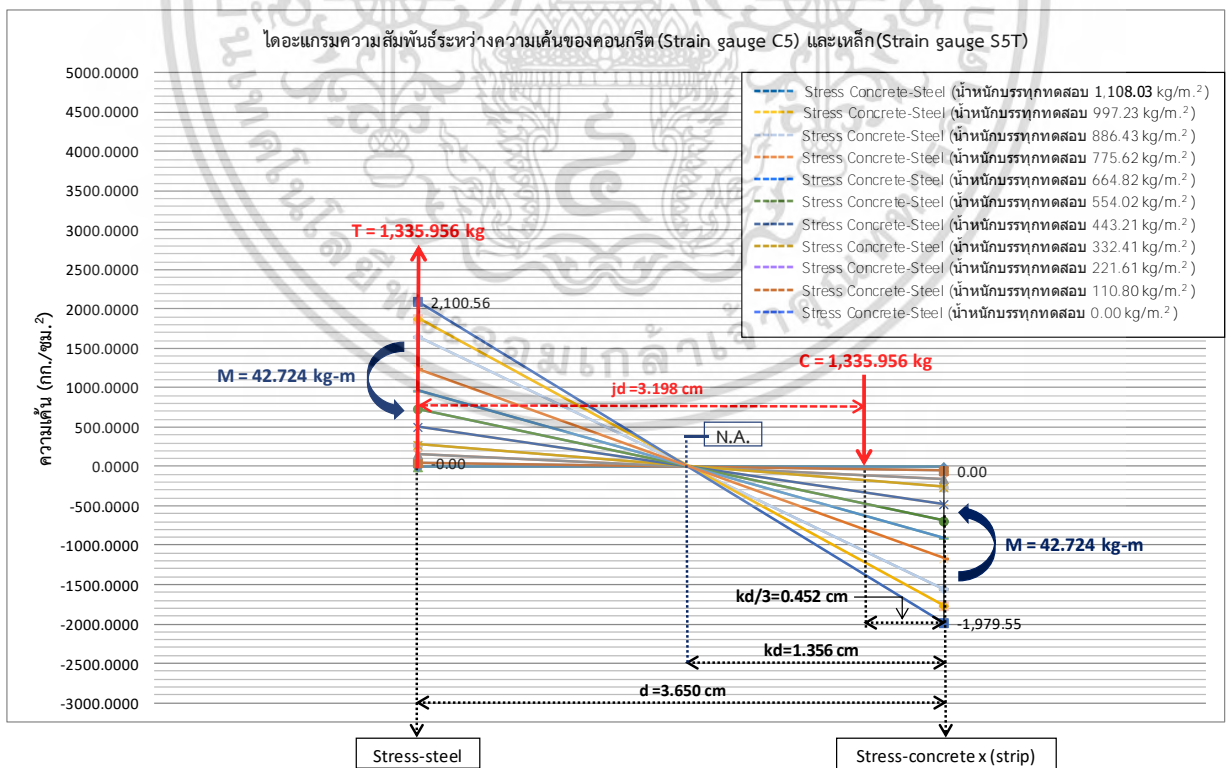
รูปที่ 4.104 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่

ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S6B ในพื้น S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับกรมโยธาธิการและผังเมือง ผู้ใช้ที่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

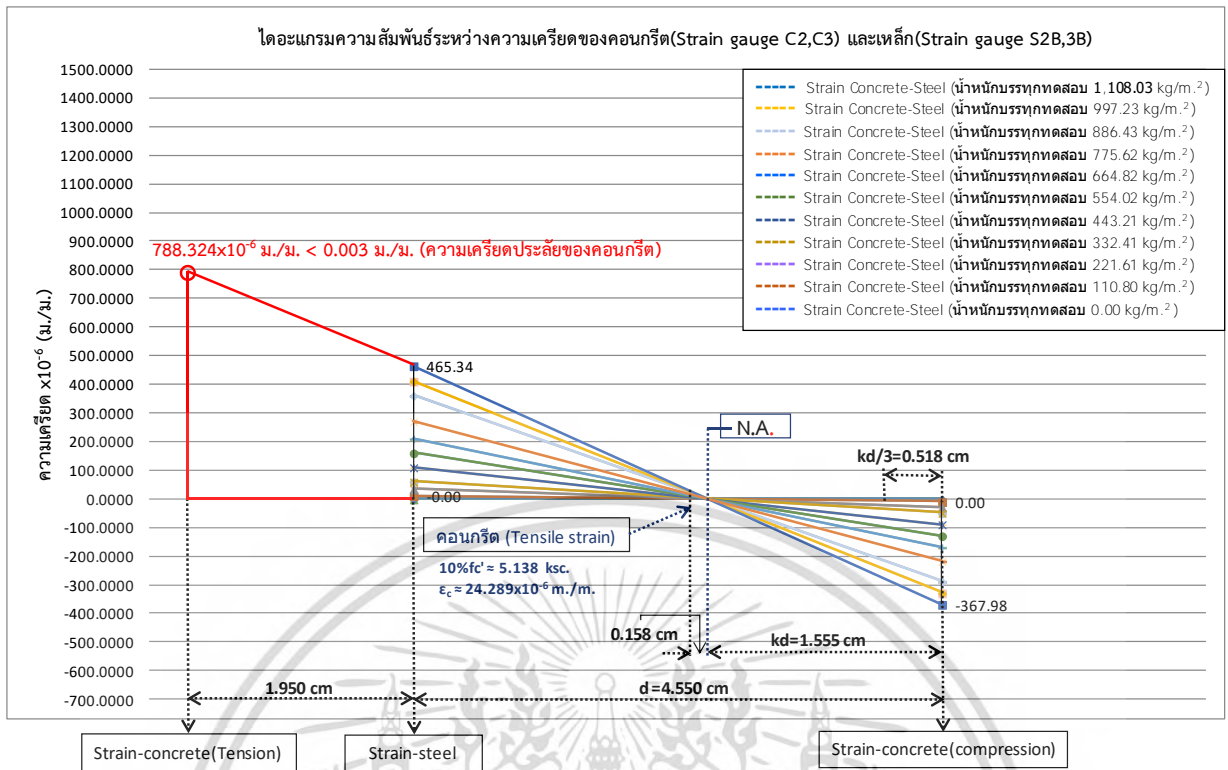


รูปที่ 4.105 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3

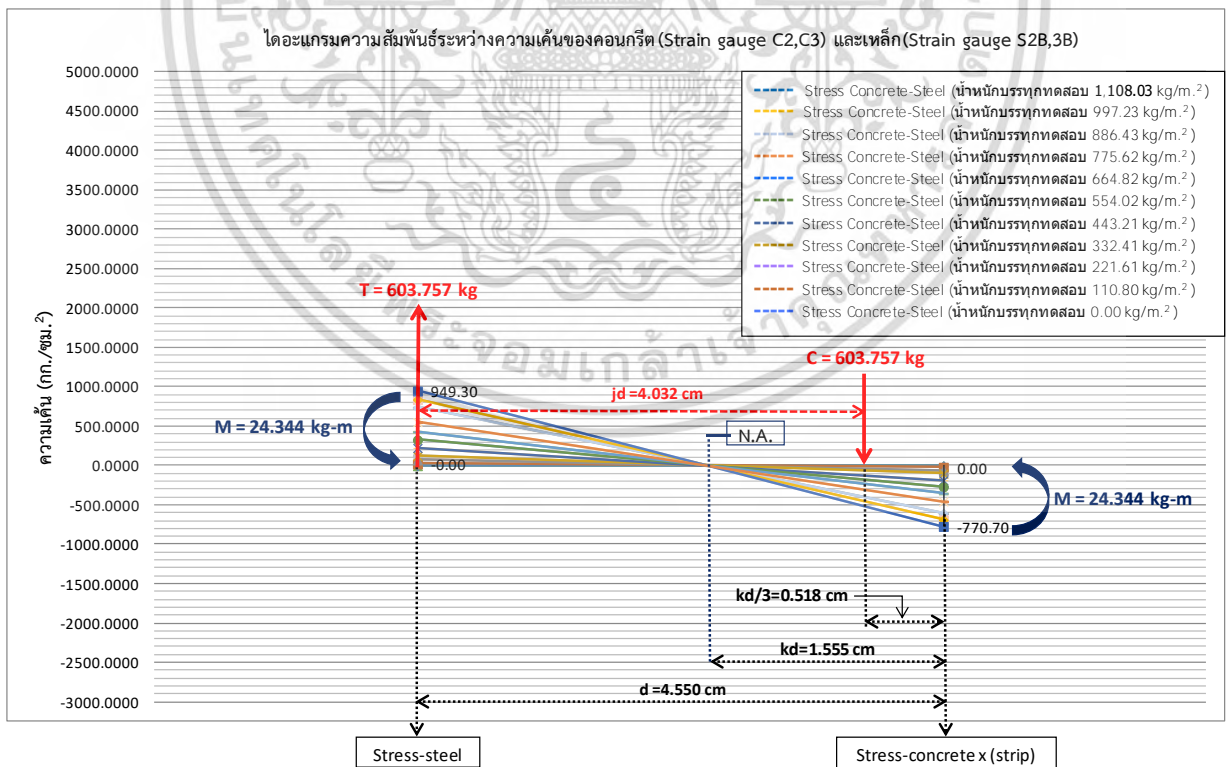


รูปที่ 4.106 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C5 และ Strain Gauge S5T ในพื้น S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

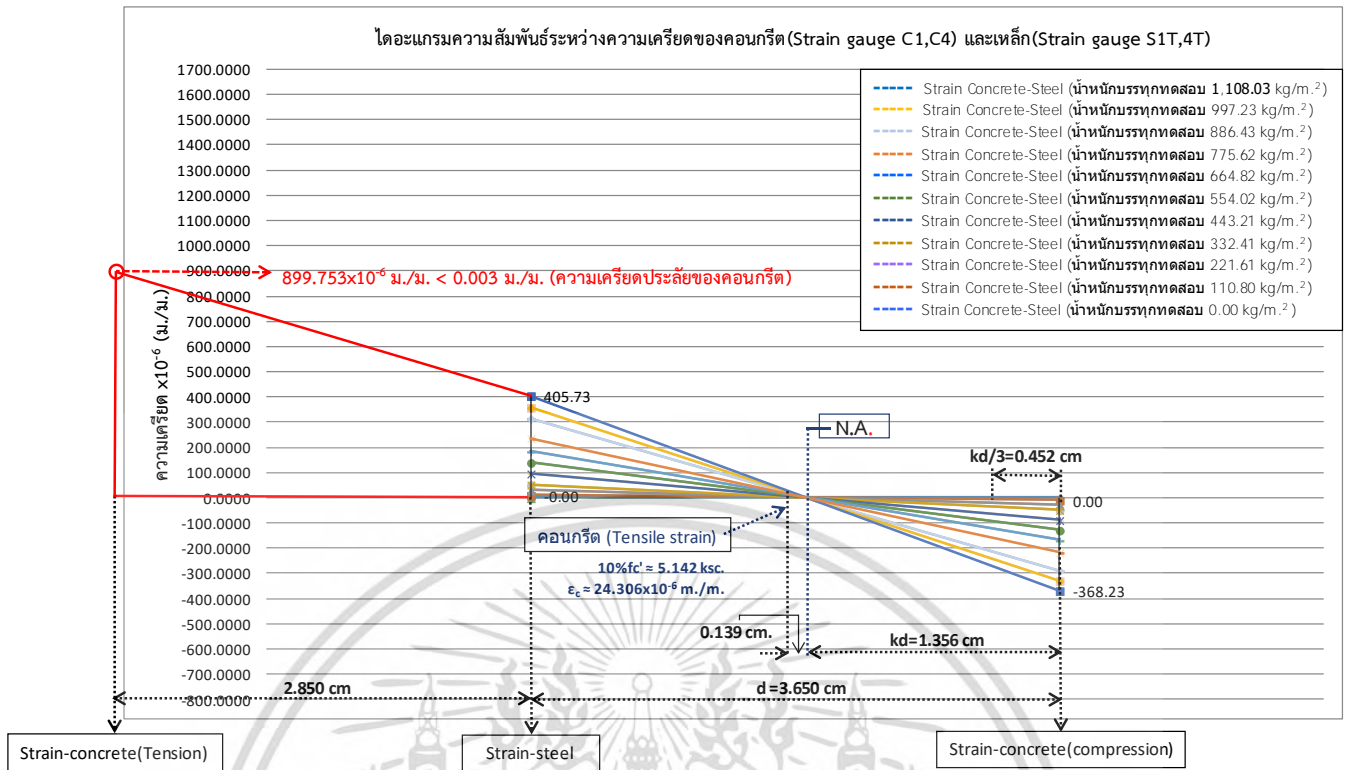


รูปที่ 4.107 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S3

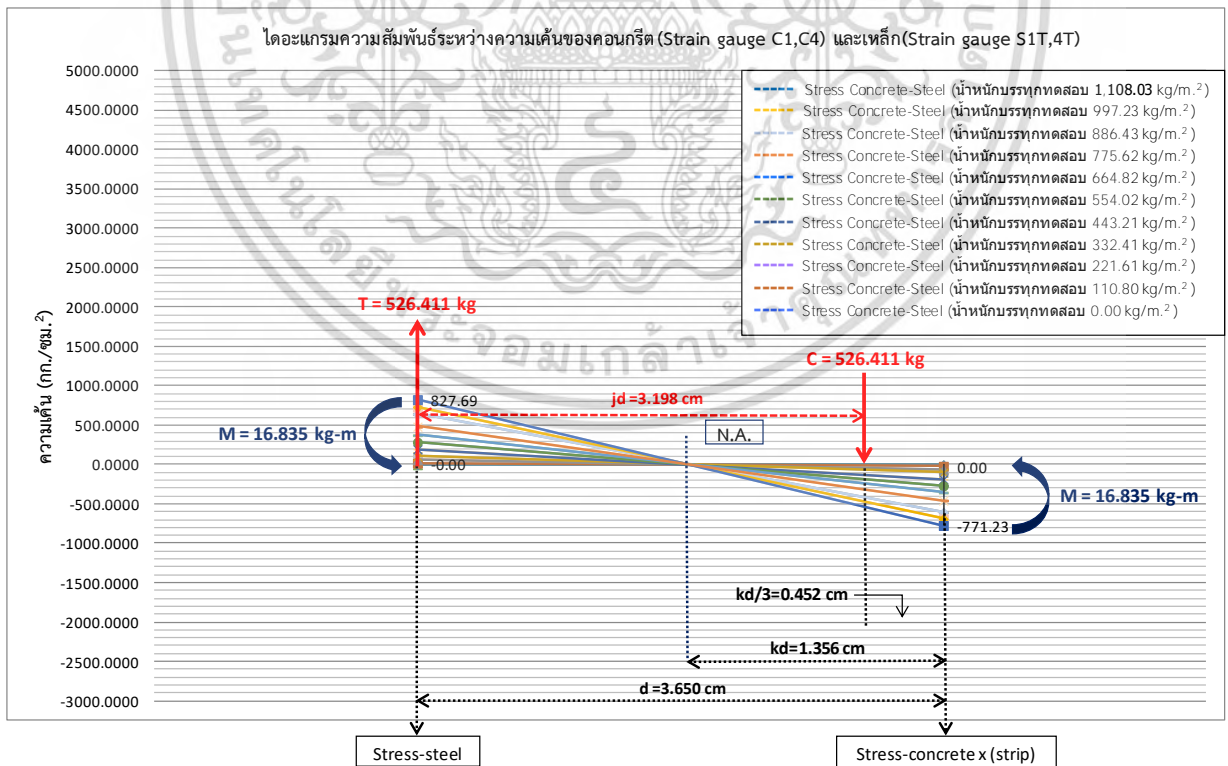


รูปที่ 4.108 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C2,C3 และ Strain Gauge S2B,3B ในพื้น S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.109 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเครียดในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3

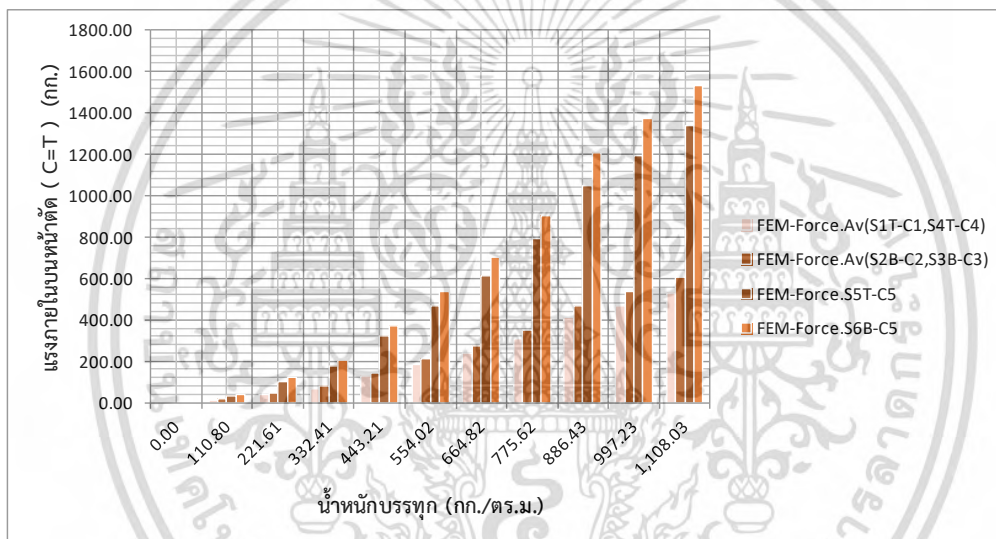


รูปที่ 4.110 กราฟแสดงไดอะแกรมความสัมพันธ์ของการกระจายหน่วยความเค้นในคอนกรีต-เหล็ก ที่ตำแหน่ง Strain Gauge C1,C4 และ Strain Gauge S1T,4T ในพื้น S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลทั้งหมดโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S3

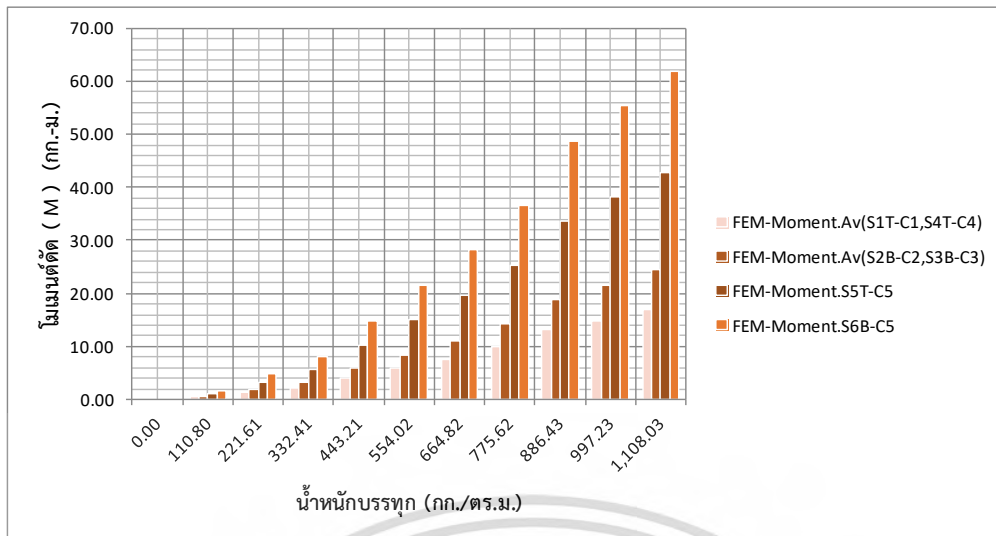
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	แรงอัดของคอนกรีต (C) (กก.) = แรงดึงในเหล็กเสริม (T) (กก.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	12.9268	14.8052	14.8408	12.9390	33.1956	38.0731
221.61	40.1938	46.0343	46.1449	40.2315	103.2162	118.3820
332.41	68.5656	78.5287	78.7175	68.6299	176.0739	201.9448
443.21	125.3180	143.5277	143.8727	125.4356	321.8119	369.0966
554.02	182.0722	208.5287	209.0300	182.2431	467.5546	536.2536
664.82	238.8140	273.5155	274.1730	239.0381	613.2654	703.3740
775.62	307.3607	352.0226	352.8688	307.6491	789.2908	905.2633
886.43	409.0594	468.4989	469.6251	409.4433	1,050.4493	1,204.7945
997.23	465.8121	533.4983	534.7807	466.2493	1,196.1881	1,371.9472
1,108.03	524.5535	604.6610	602.8533	528.2671	1,335.9543	1,532.2496



รูปที่ 4.111 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) ในพื้น S3

ตารางที่ 4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งของพื้น S3

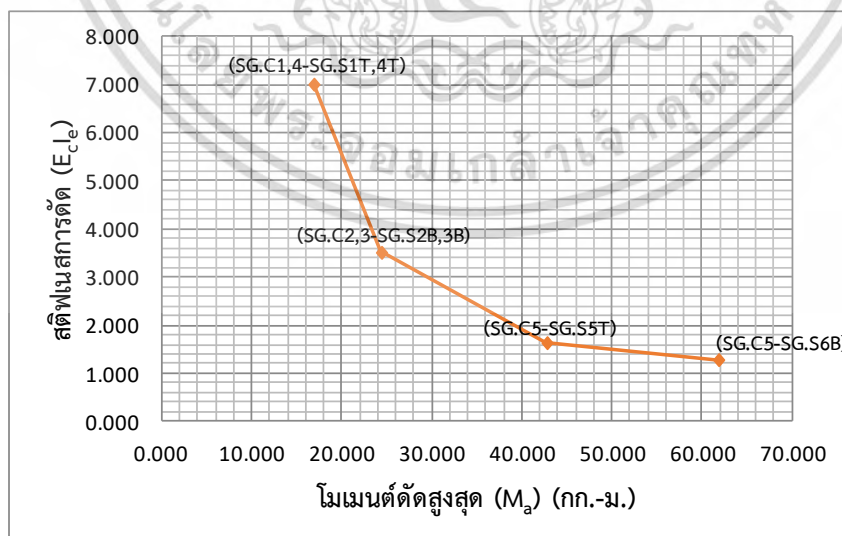
น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	โมเมนต์ดัด (M) (กก.ม.)					
	S1T-C1	S2B-C2	S3B-C3	S4T-C4	S5T-C5	S6B-C5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	0.4134	0.5969	0.5984	0.4138	1.0616	1.5351
221.61	1.2854	1.8561	1.8606	1.2866	3.3009	4.7732
332.41	2.1927	3.1663	3.1739	2.1948	5.6308	8.1424
443.21	4.0077	5.7870	5.8009	4.0114	10.2915	14.8820
554.02	5.8227	8.4079	8.4281	5.8281	14.9524	21.6217
664.82	7.6373	11.0281	11.0547	7.6444	19.6122	28.3600
775.62	9.8294	14.1936	14.2277	9.8386	25.2415	36.5002
886.43	13.0817	18.8899	18.9353	13.0940	33.5934	48.5773
997.23	14.8967	21.5106	21.5624	14.9107	38.2541	55.3169
1,108.03	16.7752	24.3799	24.3070	16.8940	42.7238	61.7803



รูปที่ 4.112 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนกบรรทุกกับโมเมนต์ดัดในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3

ตารางที่ 4.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุด กับ โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพและสติฟเนสการดัด ในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ S3

ตำแหน่ง Strain Gauge คอนกรีต-เหล็ก	โมเมนต์ดัดสูงสุด (M_u) (กก.-ม.)	โมเมนต์อินเนอร์เซียหน้าตัดแปลงร้าว (I_{cr}) (ซม. ⁴)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)	สติฟเนสการดัด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$
SG.C1,4-SG.S1T,4T	16.835	52.630	402.397	7.015
SG.C2,3-SG.S2B,3B	24.344	87.259	201.956	3.521
SG.C5-SG.S5T	42.724	52.630	94.277	1.644
SG.C5-SG.S6B	61.780	87.259	74.029	1.291



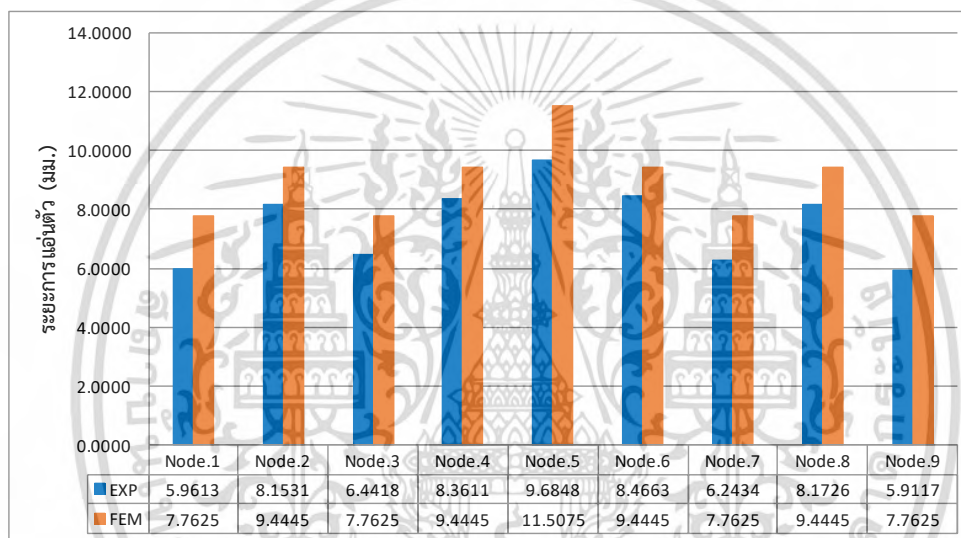
รูปที่ 4.113 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดสูงสุดกับสติฟเนสการดัดแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

ตารางที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการแอ่นตัว เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

น้ำหนักบรรทุกกระทำ 1,108.03 กก./ม. ²	ระยะการแอ่นตัว (มม.)								
	Node.1	Node.2	Node.3	Node.4	Node.5	Node.6	Node.7	Node.8	Node.9
EXP	5.9613	8.1531	6.4418	8.3611	9.6848	8.4663	6.2434	8.1726	5.9117
FEM	7.7625	9.4445	7.7625	9.4445	11.5075	9.4445	7.7625	9.4445	7.7625
%(EXP/FEM)	23.20	13.67	17.01	11.47	15.84	10.36	19.57	13.47	23.84

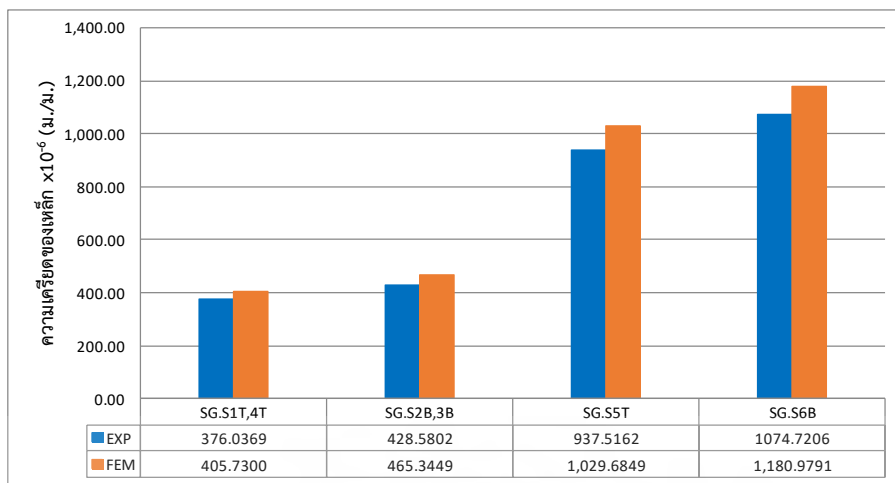


รูปที่ 4.114 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

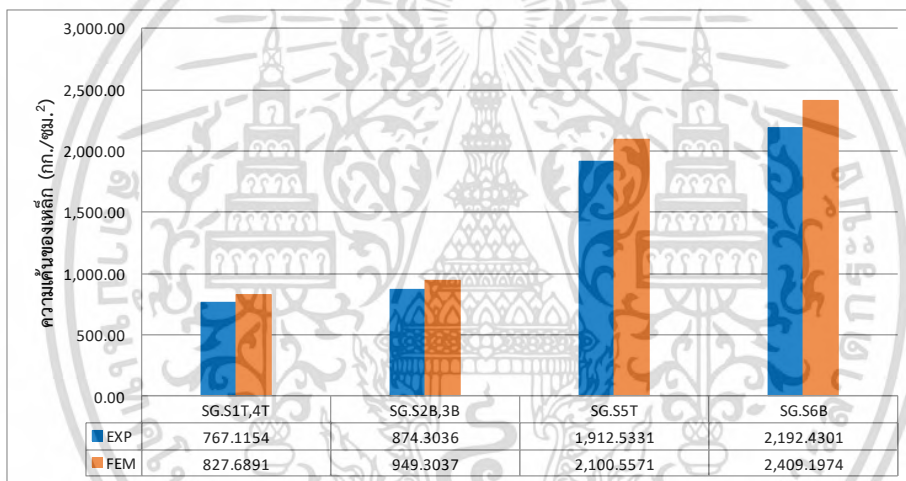
ตารางที่ 4.68 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียด-ความเค้นของเหล็ก เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก)	ความเครียดของเหล็ก $\times 10^{-6}$ (มม./มม.)		ความเค้นของเหล็ก (กก./ซม. ²)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T	376.0369	405.7300	767.1154	827.6891	6.07
SG.S2B,3B	428.5802	465.3449	874.3036	949.3037	9.46
SG.S5T	937.5162	1,029.6849	1,912.5331	2,100.5571	10.39
SG.S6B	1074.7206	1,180.9791	2,192.4301	2,409.1974	11.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.115 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเครียดของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

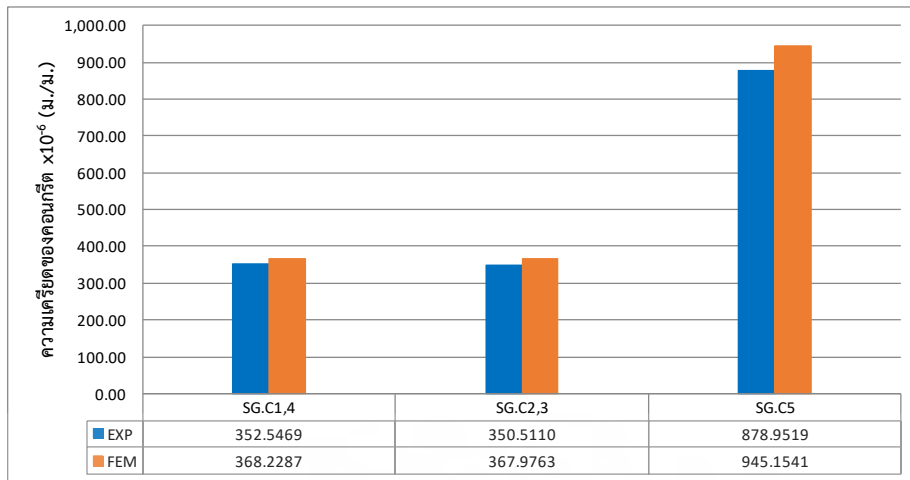


รูปที่ 4.116 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเค้นของเหล็กจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

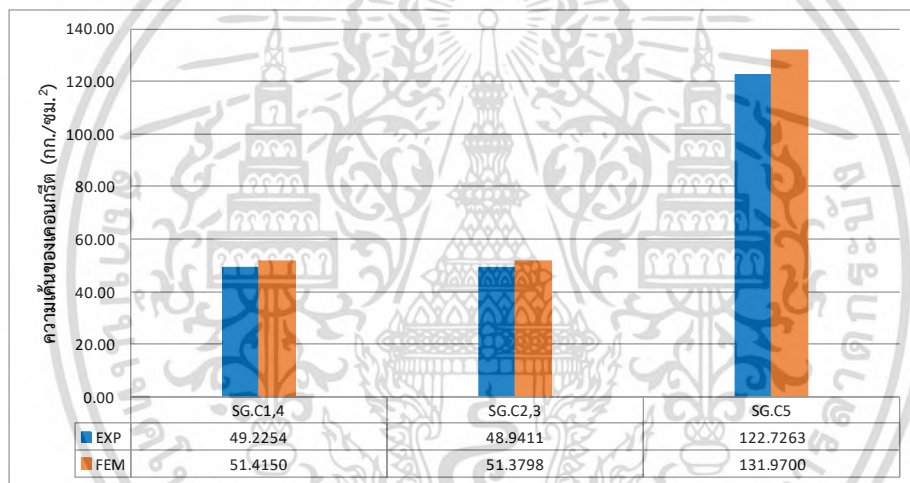
ตารางที่ 4.69 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเครียด-ความเค้นของคอนกรีต และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

ตำแหน่ง Strain Gauge (คอนกรีต)	ความเครียดของคอนกรีต $\times 10^{-6}$ (มม./มม.)		ความเค้นของคอนกรีต (กก./ซม. ²)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.C1,4	352.5469	368.2287	49.2254	51.4150	4.26
SG.C2,3	350.5110	367.9763	48.9411	51.3798	4.75
SG.C5	878.9519	945.1541	122.7263	131.9700	7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.117 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะความเครียดของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

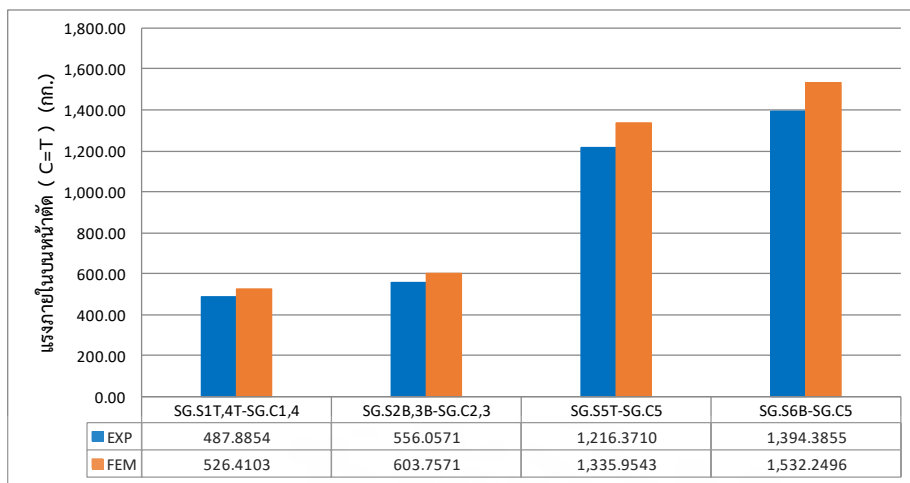


รูปที่ 4.118 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะความเค้นของคอนกรีตจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

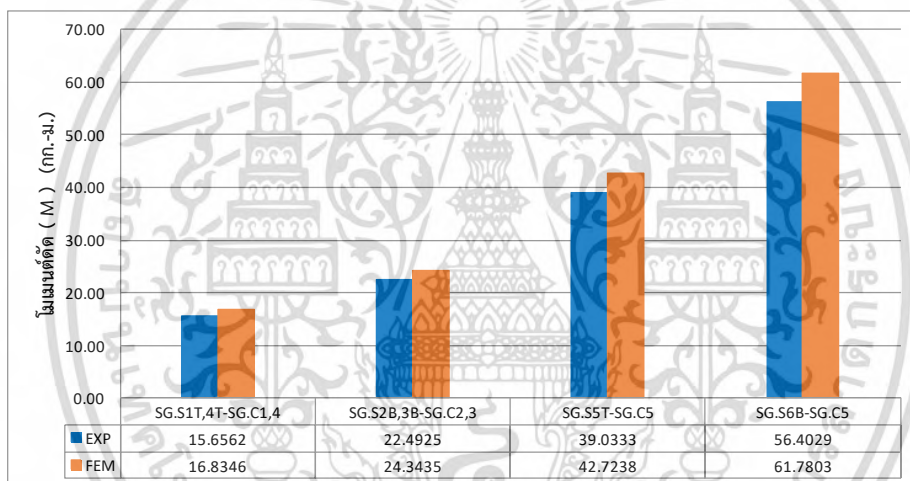
ตารางที่ 4.70 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายใน โมเมนต์บนหน้าตัด เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก-คอนกรีต)	แรงภายในบนหน้าตัด (C=T) กก.		โมเมนต์ดัด (M) (กก.-ม.)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T-SG.C1,4	487.8854	526.4103	15.6562	16.8346	7.00
SG.S2B,3B-SG.C2,3	556.0571	603.7571	22.4925	24.3435	7.60
SG.S5T-SG.C5	1,216.3710	1,335.9543	39.0333	42.7238	8.64
SG.S6B-SG.C5	1,394.3855	1,532.2496	56.4029	61.7803	8.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.119 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงภายในบนหน้าตัด (C=T) จากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

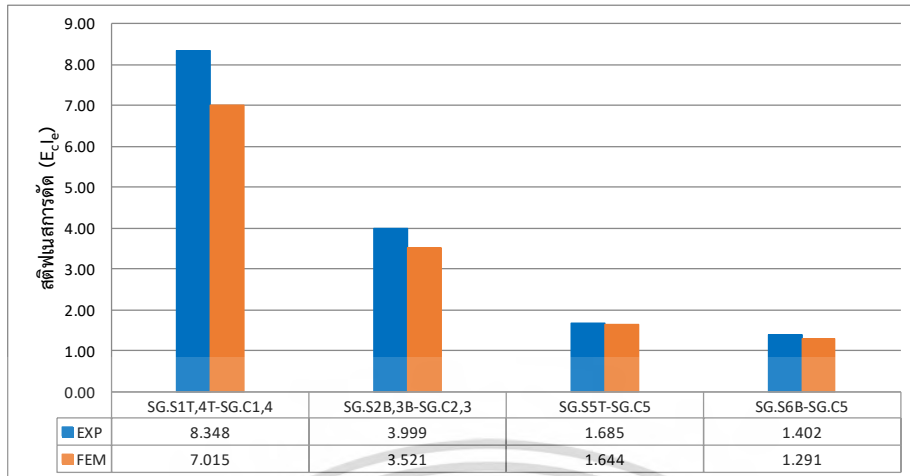


รูปที่ 4.120 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์คดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

ตารางที่ 4.71 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ สติฟเนสการคดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปด้าน Finite Element ในพื้น S3

ตำแหน่ง Strain Gauge (เหล็ก-คอนกรีต)	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) (ซม. ⁴)		สติฟเนสการคด ($E_c I_e$) $\times 10^{-3}$		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
	EXP	FEM	EXP	FEM	
SG.S1T,4T-SG.C1,4	478.873	402.397	8.348	7.015	19.005
SG.S2B,3B-SG.C2,3	229.384	201.956	3.999	3.521	13.581
SG.S5T-SG.C5	96.673	94.277	1.685	1.644	2.541
SG.S6B-SG.C5	80.401	74.029	1.402	1.291	8.607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

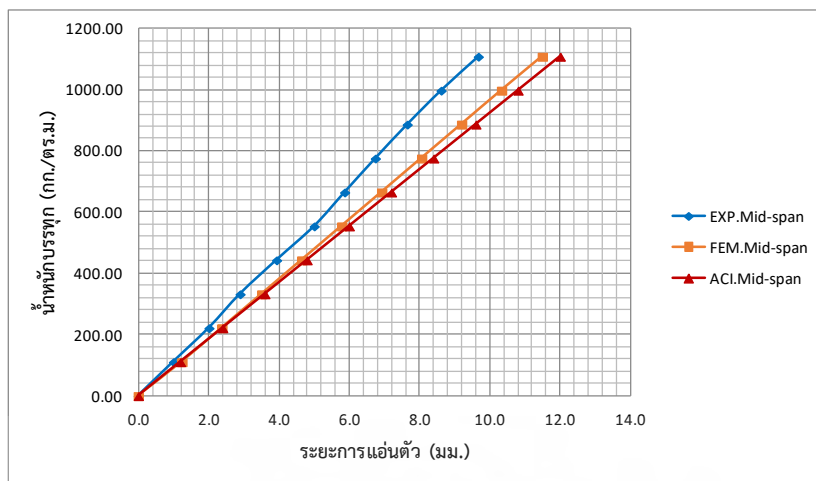


รูปที่ 4.121 กราฟการเปรียบเทียบค่าสติเฟนสการัดจากผลทดสอบและการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element ในพื้น S3

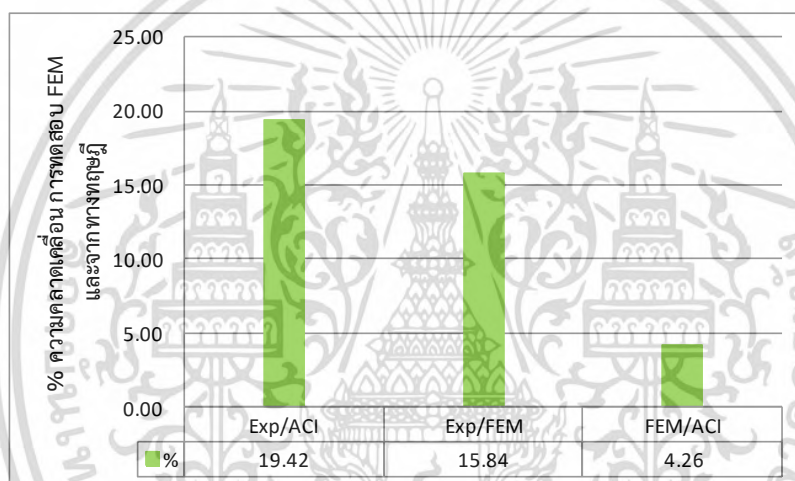
4.3.4 วิเคราะห์ผลทดสอบการแอ่นตัวระหว่างผลการทดสอบจริง การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทางทฤษฎี ในพื้น S3

ตารางที่ 4.72 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวที่กึ่งกลางของพื้น S3 จากผลทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน Finite Element และทฤษฎี

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (กิโลกรัม/ตร.เมตร)	ระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้น (มม.)		
	EXP.	FEM.	ACI
0.00	0.0000	0.0000	0.0000
110.80	1.0007	1.2432	1.2019
221.61	2.0131	2.3812	2.4038
332.41	2.8990	3.5190	3.6057
443.21	3.9381	4.6568	4.8076
554.02	5.0107	5.7948	6.0095
664.82	5.8766	6.9326	7.2114
775.62	6.7526	8.0704	8.4133
886.43	7.6601	9.2084	9.6152
997.23	8.6244	10.3462	10.8171
1,108.03	9.6848	11.5075	12.0190



รูปที่ 4.122 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวในพื้นที่ S3



รูปที่ 4.123 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะการแอ่นตัว การทดสอบ โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎี

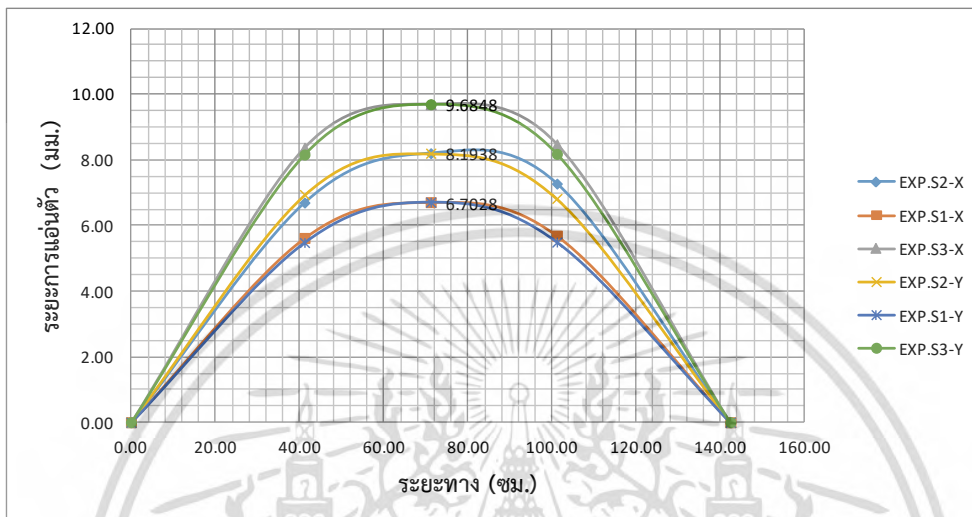
จากการทดสอบพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก 1,108 กก./ตร.ม. มีการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้นที่ 9.69 มม. มีค่าความเค้นอัดที่ผิว 122.73 ksc. ซึ่งมากกว่า ความเค้นอัดที่ผิวจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) คือ 131.97 ksc. จึงทำให้เกิดการแอ่นตัวมากขึ้น

จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดของเหล็กเสริมล่าง มีค่าน้อยในตอนแรก เนื่องจากคอนกรีตช่วยรับแรงดึง จนน้ำหนักบรรทุกที่ 222 กก./ตร.ม. ความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงความสูงสุดของน้ำหนักบรรทุกทดสอบ 0.001075 ม./ม. ค่าความเครียดนี้น้อยกว่าค่าความเครียดครากของเหล็กเสริม 0.001939 ม./ม.

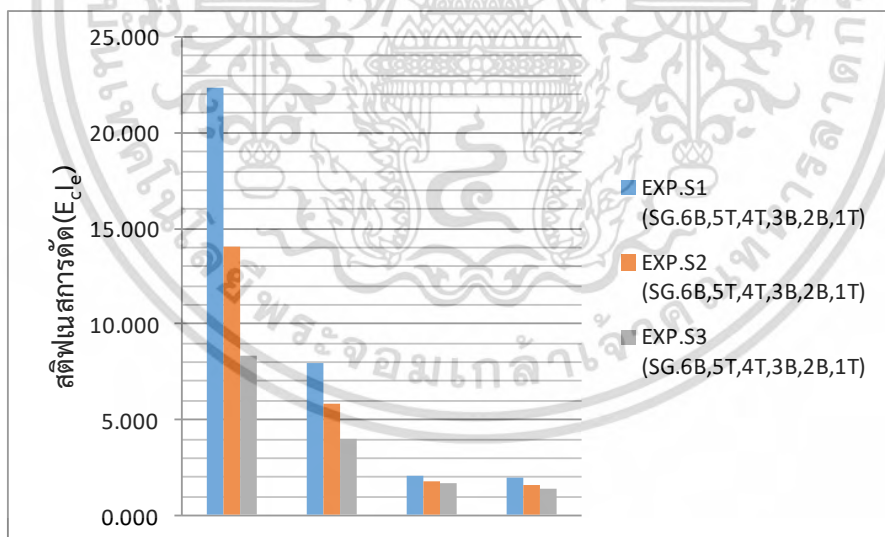
จากจากข้อมูลผลทดสอบความเครียด-ความเค้น จะสามารถเขียนไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) สามารถหาค่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีตด้านรับแรงดึง ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด เท่ากับ 0.001958 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเครียดประลัยของคอนกรีตที่มีค่า 0.003 ม./ม.

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวจากการทดสอบของพื้นที่ทดสอบทั้ง 3 พื้น

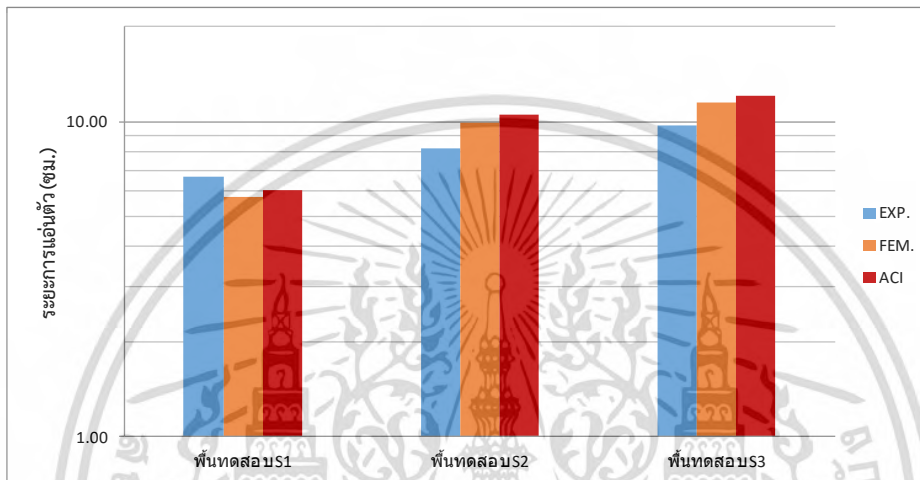


รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบสถิติการดัดของพื้นที่ทดสอบทั้ง 3 พื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการแอนตัวจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และจากทฤษฎี

พื้นที่ตัวอย่างทดสอบ	ระยะเวลาการแอนตัว (ผลทดสอบ) (มม.)	ระยะเวลาการแอนตัว (FEM) (มม.)	ระยะเวลาการแอนตัว (ACI) (มม.)
S1	6.70	5.74	6.04
S2	8.19	9.86	10.53
S3	9.69	11.51	12.02

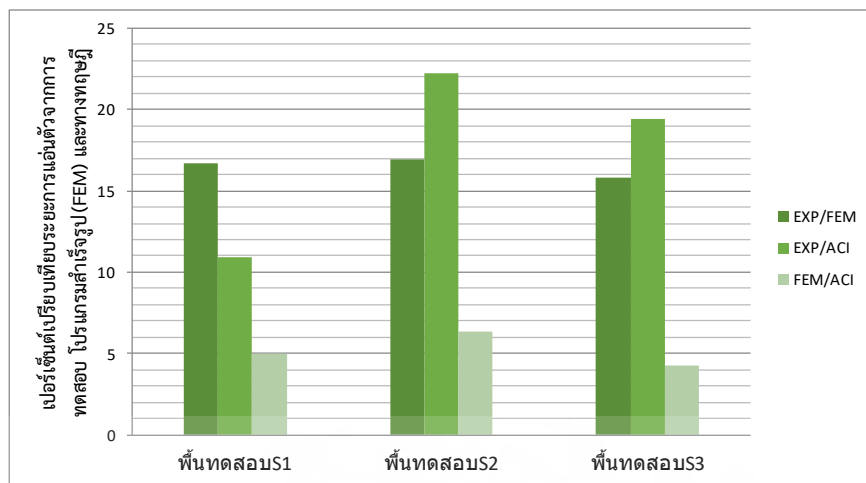


รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการแอนตัวจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (FEM) และกับทฤษฎี

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน จากระยะการแอนตัวจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และจากทฤษฎี

พื้นที่ตัวอย่างทดสอบ	EXP/FEM	EXP/ACI	FEM/ACI
S1	16.73%	10.93%	4.97%
S2	16.94%	22.22%	6.36%
S3	15.81%	19.38%	4.24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



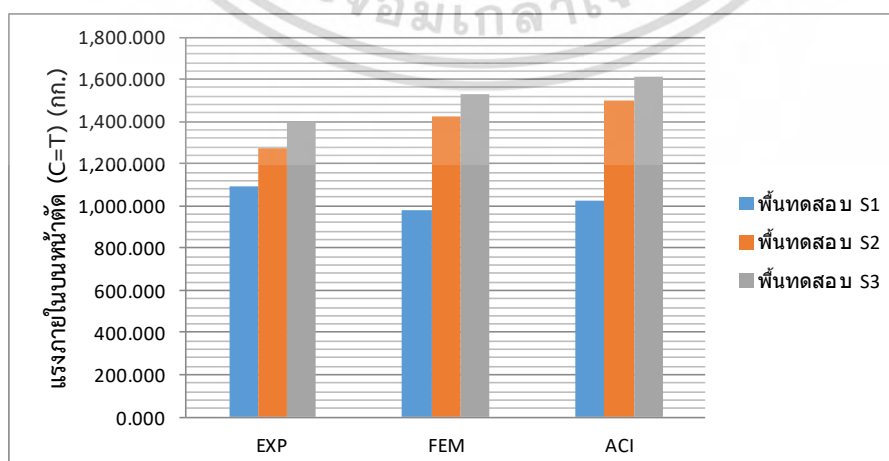
รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน จากระยะการแผ่นดินไหว

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการแผ่นดินไหวที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป(FEM) และทฤษฎีของพื้นคอนกรีตลูกผสม 2 ชั้น และพื้นลูกผสม 3 ชั้น

พื้นที่ทดสอบ	S2/S1			S3/S1		
	การทดสอบ	โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM)	ทฤษฎี	การทดสอบ	โปรแกรมสำเร็จรูป(FEM)	ทฤษฎี
อัตราส่วน	1.22	1.72	1.74	1.45	2.01	1.99

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ตัดจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (FEM) และทฤษฎี

พื้นที่ทดสอบ	แรงภายในบนหน้าตัด (C=T) (ก.ก.)		
	EXP	FEM	ACI
S1	1,092.939	978.991	1,027.523
S2	1,275.021	1,425.665	1,497.537
S3	1,394.385	1,532.251	1,609.672

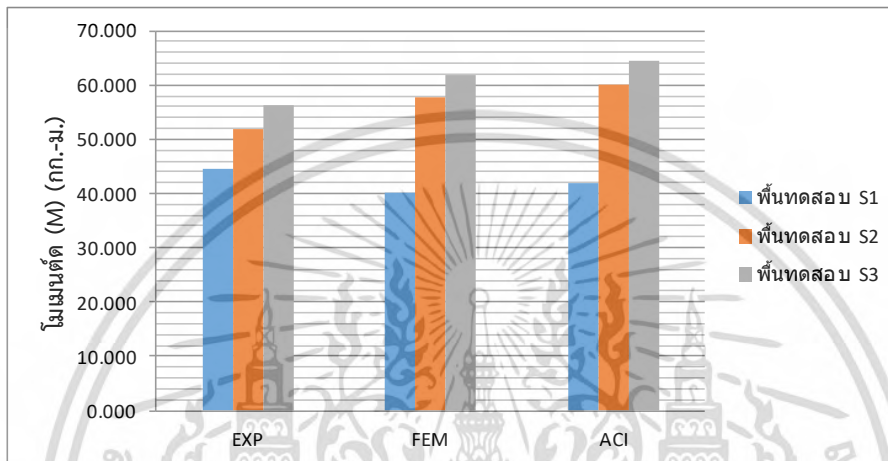


รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในบนหน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ตัดจากการทดสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (FEM) และทฤษฎี

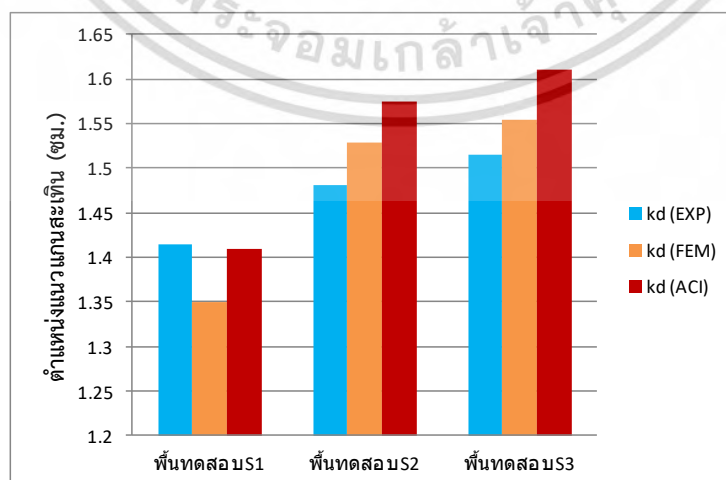
พื้นที่ทดสอบ	โมเมนต์ตัด (กก.-ม.)		
	EXP	FEM	ACI
S1	44.581	40.139	41.923
S2	51.728	57.611	60.172
S3	56.403	61.780	64.526



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ตัด

ตารางที่ 5.6 แสดงพฤติกรรมตำแหน่งแกนสะเทินจากการทดสอบเมื่อพิจารณาเหล็กเสริมล่าง

พื้นที่ตัวอย่างทดสอบ	S1	S2	S3
kd (EXP)	1.414	1.481	1.515
kd (FEM)	1.350	1.528	1.555
kd (ACI)	1.410	1.575	1.610



รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งแนวแกนสะเทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดสอบ

1.) ระยะเวลาแอนตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กผสม 2 ชั้น และ 3 ชั้น จากผลการทดสอบ พบว่ามีค่าน้อยกว่า ระยะเวลาแอนตัวที่ได้จากทางทฤษฎี จากการเปรียบเทียบในตารางที่ 5.1

2.) ระยะเวลาแอนตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กผสม 2 ชั้น และ 3 ชั้น ที่กำหนดในแต่ละชั้นให้มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเนื่องจากการคืบ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา พบว่าระยะเวลาแอนตัวมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากในงานวิจัยส่วนมาก จะมีค่ามากกว่าการแอนตัวทันที 1.5-3 เท่า

3.) จากการติดตามวัดความเครียด (Strain gauge indicator) ทำให้ทราบถึงหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นและลดลง ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าเวลาที่พื้นแอนตัวน้อยลงหรือเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผันแปรของหน่วยแรงที่วัดได้

4.) จากรูปแบบการจำลองของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กผสม 2 ชั้น และ 3 ชั้น เมื่อนำมาหล่อเป็นชั้นตัวอย่างเนื้อเดียวกัน ซึ่งในแต่ละชั้นนั้นมีเงื่อนไขขอบเขตของแรงแตกต่างกันออกไป จึงอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สตีฟการัด(ความแกร่ง) เพิ่มขึ้นทำให้การแอนตัวน้อยลง

3.) จากการสร้างกราฟไดอะแกรมความสัมพันธ์ ของการกระจายหน่วยการยืดหดตัว (Strain Distribution) และการกระจายของหน่วยแรง (Stress Distribution) บนหน้าตัดแบบเชิงเส้น ทำให้สามารถหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินได้ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎี หนึ่งอาจเป็นเพราะการวิเคราะห์คิดในสถานะที่ยังเป็นอีลาสติก

4.) การคำนวณการแอนตัวระยะยาวเนื่องจากเวลาจากสมการที่ (2.7) จะใช้ค่าการแอนตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใดจากสมการ (2.4) รวมกับการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นตามเวลาจากสมการ (2.5) โดยวิธีของไมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ (I_e) ที่เสนอโดย ACI จะคำนึงถึงพฤติกรรมการโก่งตัวในช่วงที่เหล็กมีพฤติกรรมเป็นเส้นตรง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างทดสอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กผสม โดยจำลองความถี่ของจำนวนชั้นจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลงของหน่วยน้ำหนักต่างๆในแบบจำลอง เนื่องจากจะทำให้มีความแม่นยำในการทำนายมากขึ้น และเพิ่มตัวอย่างทดสอบของพื้นคอนกรีตที่ทำการทิ้งน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้แล้ว 1 ปี เพื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับค่าระยะเวลาแอนตัวที่เกิดขึ้นจริงนอกเหนือจากผลที่ได้จากทางทฤษฎีเพียงอย่างเดียว

บรรณานุกรม

- [1] G.W.Washa, and P.G. Fluck, "Effect of Compressive Reinforcement on the Plastic Flow of Reinforced Concrete Beams," ACI Journal, Vol. 49(2) pp. 89-108, Oct 1952.
- [2] Wei-Wen Yu, and George Winter, "Instantaneous and Long-Time Deflections of Reinforced Concrete Beams under Working Load," ACI Journal, Vol. 57(1), pp. 29-50, July 1960
- [3] William G. Corley, and Mete A . Sozen, "Time-Dependent Deflections of Reinforced Concrete Beams," ACI Journal, Vol. 63, pp. 373-386, March 1966.
- [4] Dan E. Branson, and ACI Committee 435, "Deflections of Reinforced Concrete Flexural Members," ACI Journal, Vol. 63, pp. 637-673, June 1966.
- [5] Pieter C. Pretorius, Deflections of Reinforced Concrete Members: A Simple Approach," ACI Journal, Vol. 82, pp. 805-812, June 1985.
- [6] G. Clarke, H Scholz, and M. Alexander, "New Method to Predict the Creep Deflection of Cracked Reinforced Concrete Flexural Members," ACI Materials Journal, Vol. 85, pp. 95-101, March-April 1988.
- [7] Raed M. Samra, "Predicting Deflections of Reinforce Concrete Beams Analytically" Journal of Structural Engineering, Vol. 115(5), pp. 1158-1168, Oct 1989.
- [8] Raed M. Samra, "Time-Dependent of Reinforced Concrete Beams Revisited" Journal of Structural Engineering, Vol. 123(6), pp. 823-830, Jun 1997.
- [9] วินิต ซ่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [10] วินิต ซ่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [11] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์. มาตรฐานการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. มาตรฐาน ว.ส.ท. 1000.38 กรุงเทพฯ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544.
- [12] เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน. "การศึกษาการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลายภายใต้น้ำหนักคงค้าง." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธาบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548.



ภาคผนวก ก.

- ก-1 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา
- ก-2 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตคอนกรีตโฟมซีเมนต์
- ก-3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ก-4 การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
- ก-5 การคำนวณหาระยะการแอ่นตัวของพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา ทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design) ตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI) ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนผสมจากค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับสัดส่วนที่ใช้คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 และขนาดโตสุดของมวลรวมเท่ากับ 10 มม.

กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ย (f_c') ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 180 กก./ซม².

- มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ
 - กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15
 - มวลรวมหยาบขนาดโตสุด 10 มม. (3/8") มีความถ่วงจำเพาะของเนื้อแท้ (แห้งด้วยเตาอบ) เท่ากับ 2.68 ค่าการดูดซึมเท่ากับ 0.5% หน่วยน้ำหนักของหิน เท่ากับ 1,400 กก./ม³.
 - มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะเนื้อแท้ (แห้งด้วยเตาอบ) เท่ากับ 2.64 ค่าการดูดซึมเท่ากับ 0.7% ค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.40
 - กำหนดค่าความยุบตัวเท่ากับ 8 – 10 ซม.
 - กำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 10 มม.

- ขั้นตอนการออกแบบ
(คอนกรีตไม่ถูกกับสภาวะเปิดเผยรุนแรง จึงใช้คอนกรีตที่ไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ)
ขั้นตอนที่ (1.)

ในการออกแบบจะต้องออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังรับแรงอัดมากกว่ากำลังรับแรงอัดของงานที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$f_{cr} = f_c' + k_s$$

โดยที่ f_c' = กำลังรับแรงอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

k_s = ส่วนเผื่อซึ่งประกอบด้วย

k = ค่าคงที่

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือ มากกว่า หรือ ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าส่วนเผื่อกำลังอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดที่กำหนด f_c' (กก./ซม ²)	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม (กก./ซม ²)
น้อยกว่า 210	70
210-350	85
350 หรือมากกว่า	100

ดังนั้นกำลังรับแรงอัดที่ต้องผลิต (f_{cr}) = 180 + 70 = 250 กก./ซม².

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ (2.) ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักของปูนซีเมนต์

- ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 10 มม. ค่าความยุบตัว 8 ถึง 10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจาย
ฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้เท่ากับ 225 ลิตร/ม³ ของคอนกรีต

- คอนกรีตที่ต้องการกำลังรับแรงอัด 250 กก./ซม². และคอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ จะได้
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก ที่ต้องใช้เท่ากับ 0.68

- น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ต้องการเท่ากับ $225/0.68 = 332.42$ กก.

ขั้นตอนที่ (3.) หาปริมาตรของปูนซีเมนต์

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรปูนซีเมนต์} &= \text{น้ำหนักปูนซีเมนต์} / \text{ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์} \\ &= 332.42 / 3.15 \\ &= 105.53 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (4.) หาปริมาตรของทราย

$$\begin{aligned} \text{ทั่วไปจะใช้ปริมาตรปูนซีเมนต์} + \text{ปริมาตรทราย} &= 40\% \text{ โดยปริมาตร หรือ } 400 \text{ ลิตร} \\ \text{ปริมาตรทราย} &= 400 - 105.53 \\ &= 294.47 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (5.) หาน้ำหนักของทราย

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักทราย} &= \text{ปริมาตรทราย} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของทราย} \\ &= 294.47 \times 2.64 \\ &= 777.40 \text{ กก.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (6.) หาปริมาตรของหิน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรหิน} &= 1,000 - \text{ปริมาตรปูนซีเมนต์} - \text{ปริมาตรน้ำ} - \text{ปริมาตรทราย} \\ &= 1,000 - 105.53 - 225 - 294.47 \\ &= 375 \text{ ลิตร.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (7.) หาน้ำหนักของหิน

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักหิน} &= \text{ปริมาตรหิน} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของหิน} \\ &= 375 \times 2.68 \\ &= 1,005 \text{ กก.} \end{aligned}$$

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตร ของคอนกรีตเป็นดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณปูนซีเมนต์	333	กิโลกรัม
ปริมาณน้ำ	225	ลิตร
ปริมาณทราย	778	กิโลกรัม
ปริมาณหิน	1,005	กิโลกรัม
ปริมาณคอนกรีต	2,341	กิโลกรัม

■ ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร (1:2:4)

คือใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งสามารถแปลเป็นส่วนผสม โดยน้ำหนักดังนี้

กำหนดให้	หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	=	1,400	กก./ม ³ .		
	หน่วยน้ำหนักของทราย	=	1,450	กก./ม ³ .		
	หน่วยน้ำหนักของหิน	=	1,400	กก./ม ³ .		
การคำนวณ						
ปูนซีเมนต์ 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร	=	50 / 1,400	=	0.036	ม ³ .	
ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร	=	0.036 × 2	=	0.072	ม ³ .	
น้ำหนักของทราย	=	0.072 × 1,450	=	104	กก.	
หิน 4 ส่วน มีปริมาตร	=	0.036 × 4	=	0.144	ม ³ .	
น้ำหนักของหิน	=	0.144 × 1,400	=	201.6	กก.	
ปริมาณน้ำสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ยุบตัว 10 ซม.	=	28	ลิตร	($f_c' = 180 \text{ ksc}$)		
น้ำหนักส่วนผสมเมื่อใช้ปูน 1 ถุง	=	50+104+202+28	กก.	=	384	กก.
หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต	=	2,400	กก./ม ³ .			
ต้องใช้ปริมาณปูน	=	2,400 / 384	=	7 ถุง =	350	กก./ม ³ .

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตร ของคอนกรีตเป็นดังนี้

ปริมาณปูนซีเมนต์	350	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณน้ำ	168	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณทราย	624	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณหิน	1,212	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณคอนกรีต	2,354	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ก-2 ส่วนผสมคอนกรีตโฟมซีเมนต์

หน่วยน้ำหนักออกแบบ $1,600 \text{ kg/m}^3$, $1,700 \text{ kg/m}^3$, $1,800 \text{ kg/m}^3$, $1,900 \text{ kg/m}^3$ และ $2,000 \text{ kg/m}^3$.

ในการศึกษานี้ จะใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งจะกำหนดอัตราส่วนผสมก่อนแล้วจึงไปหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตหลังจากได้อายุตามต้องการ

ตัวอย่าง กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.0 และปริมาณฟองโฟมเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์เท่ากับ 3.15 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60

1.) หาปริมาตรของแต่ละส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม.

$$V_s + V_w + V_c + V_f = 1.00$$

โดย $V_s =$ ปริมาตรของทราย
 $V_w =$ ปริมาตรของน้ำ
 $V_c =$ ปริมาตรของซีเมนต์
 $V_f =$ ปริมาตรของฟองโฟม

เมื่อ $V_f = 0.30$

$$V_s = 3.15 \times 1.00 V_c / 2.60 = 1.2115 V_c$$

$$V_w = 3.15 \times 0.40 V_c / 1.00 = 1.2600 V_c$$

แทนค่าต่างๆในสมการข้างต้นจะได้

$$1.21 V_c + 1.26 V_c + V_c + 0.3 = 1.00$$

แก้สมการจะได้ $V_c = 0.2016$, $V_s = 0.2443$, $V_w = 0.2541$

หรือสรุปได้ว่า

ปริมาตรของโฟม = 0.3000 ลบ.ม.

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.2016 ลบ.ม.

ปริมาตรของทราย = 0.2443 ลบ.ม.

ปริมาตรของน้ำ = 0.2541 ลบ.ม.

2.) หาน้ำหนักของแต่ละส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม.

น้ำหนักของซีเมนต์ = $0.2016 \times 3,150 = 635$ กก./ลบ.ม.

น้ำหนักของทราย = $0.2443 \times 2,600 = 635$ กก./ลบ.ม.

น้ำหนักของน้ำ = $0.2541 \times 1,000 = 254$ กก./ลบ.ม.

ปริมาตรของโฟม = $0.3000 \times 1,000 = 300$ ลิตร/ลบ.ม.

เมื่อได้น้ำหนักส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรแล้ว ให้คำนวณหาปริมาตรของแบบหล่อที่ใช้ต่อ 1 ชุดการทดลอง แล้วจึงแปลงอัตราส่วนผสมต่อ 1 ลบ.ม. เป็นปริมาตรตามที่ต้องการ

ก-3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design)

กำหนด	เลือกใช้ความหนาพื้น	6.5	ซม.
	หนูนลูปูน (covering)	1.5	ซม.
	เหล็กเส้นกลม (RB Ø9mm.)	9	มม.
	กำลังรับแรงอัดประลัยคอนกรีต (f_c')	180	กก./ซม. ²
	ความกว้างประสิทธิภาพของพื้น	142.5	ซม.
การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ทาง			
จาก	น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น	156	กก./ม. ²
	น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด(w_{EXP})	1,264.030	กก./ม. ²
	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต(E_c)	202,856.087	กก./ซม. ²
	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม(E_s)	2,040,000	กก./ซม. ²
	กำลังครากของเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ(RB)	2,400	กก./ซม. ²
คำนวณโมเมนต์โดยคอนกรีต(M_R)			
	ถ้าใช้ระยะหุ้มคอนกรีต 1.5 ซม. และใช้เหล็กเสริม RB9 หาความลึกประสิทธิภาพ d_1, d_2		
	ความลึกประสิทธิภาพ d_1	4.55	ซม.
	ความลึกประสิทธิภาพ d_2	3.65	ซม.

จากการคำนวณพื้นคอนกรีตสามารถต้านทานโมเมนต์สูงสุดขณะทดสอบ 43.740 กก.-ม.

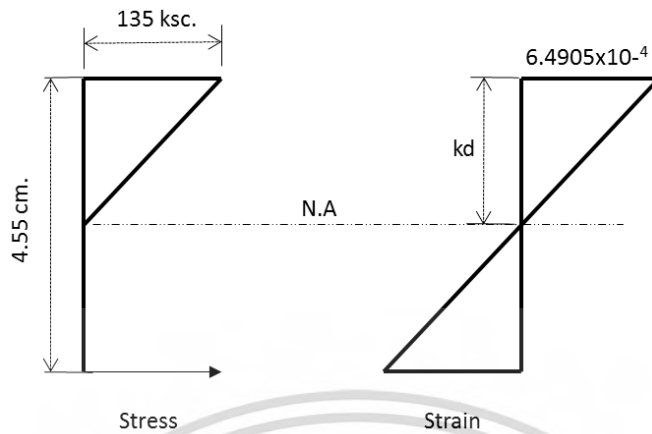
คำนวณปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{M^+_{\max}}{f_s j d}$$

จากการตรวจสอบเมื่อใช้เหล็กเส้นกลม RB-dia.6ระยะ@15ซม. สามารถรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเหล็กเสริมในคอนกรีต



รูปที่ ก.1 แสดงหน่วยแรง และความเครียดในหน้าตัดคาน

$$\frac{\varepsilon_s}{d - kd} = \frac{\varepsilon_c}{kd}$$

$$\varepsilon_s = \frac{6.4905 \times 10^{-4} (4.55 - kd)}{kd}$$

$$\frac{1}{2} f_c' b k d = A_s f_s$$

$$\frac{1}{2} (135)(15)(k d) = A_s \varepsilon_s E$$

$$1,012.50 k d = 0.636 \left(\frac{6.4905 \times 10^{-4} (4.55 - k d)}{k d} \right) 2.04 \times 10^6$$

$$1,012.50 k d^2 = 3,928.660 - 863.442 k d$$

$$1,012.50 k d^2 + 863.442 k d - 3,928.660 = 0$$

$$k d = 1.41 \text{ ซม.}$$

ตรวจสอบค่า Stress ในเหล็กเมื่อใช้เหล็ก RB-Dia.9 mm.

$$\frac{135}{207,997.46} = 6.4905 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_s = \frac{6.4905 \times 10^{-4} (4.55 - k d)}{k d}$$

$$\varepsilon_s = 1.100 \times 10^{-3} \text{ m./m.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-4 การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

คอนกรีต $f'_c = 180 \text{ ksc}$. ที่อายุ 365 วัน โดยรับน้ำหนักบรรทุกทุก 50% ของน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

จาก
$$E_{ci} = 4,270w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \text{ที่ } w_c = 2.408 \text{ tons}/m^3$$

เพราะฉะนั้น
$$E_{ci} = 4,270(2.408^{1.5})\sqrt{180} = 202,856.09 \text{ กก./ชม.}^2$$

จาก
$$\phi_\infty(t) = C_u K_a K_h K_{th} K_s K_f K_e$$

ที่
$$C_u = 2.35$$

$$K_a = 0.843617083$$

$$K_h = 1.00$$

$$K_{th} = 1.00$$

$$K_s = 1.05$$

$$K_f = 1.00$$

$$K_e = 1.00$$

เพราะฉะนั้น
$$\phi_\infty(t) = (2.35)(0.843617083)(1.00)(1.00)(1.05)(1.00)(1.00) = 2.081625151$$

จาก
$$\phi_\infty(t) = \phi_\infty(t) \frac{(t-t_0)^{0.6}}{10+(t-t_0)^{0.6}}$$

ที่
$$t = 365 \text{ วัน}, t_0 = 28 \text{ วัน}$$

เพราะฉะนั้น
$$\phi(t) = 2.081625151 \left[\frac{(365-28)^{0.6}}{10+(365-28)^{0.6}} \right]$$

$$= 1.595868152$$

จาก
$$E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\phi(t)}$$

เพราะฉะนั้น
$$E_{ce}(t) = \frac{202,856.09}{1+1.595868152}$$

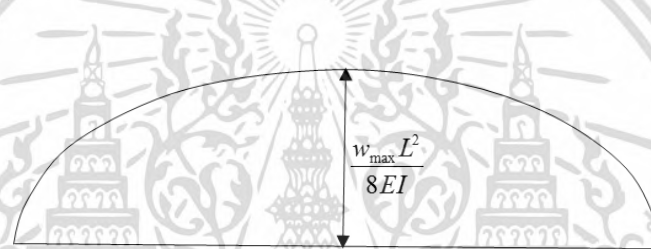
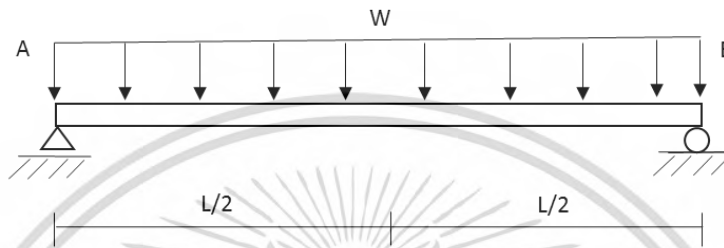
$$= 82,363.08 \text{ กก./ชม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่าที่คอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. เมื่อเวลาผ่านไป 365 วันไปจะเกิดคืบในคอนกรีตทำให้ค่า
โมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเหลือเพียง 82,363.08 กก./ซม.² เท่านั้น

ก-5 การคำนวณหาค่าน้ำหนักกระทำแบบแผ่กระจาย (kg/m.²)

พิจารณาพื้นที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา (Simple Support)



Bending Moment Diagram

$$M = \frac{(w_d + w_l)L^2}{8}$$

จาก

$$L = 1.425 \text{ ม.}$$

$$w_d = 0.065 \times 2,400 = 156 \text{ กก./ม.}^2$$

แทนค่าลงในสมการ

$$M = \frac{(156 + w_l)(1.425^2)}{8}$$

จากการคำนวณจะได้ค่าโมเมนต์ (M) = 431.416 กก.-ม./เมตร

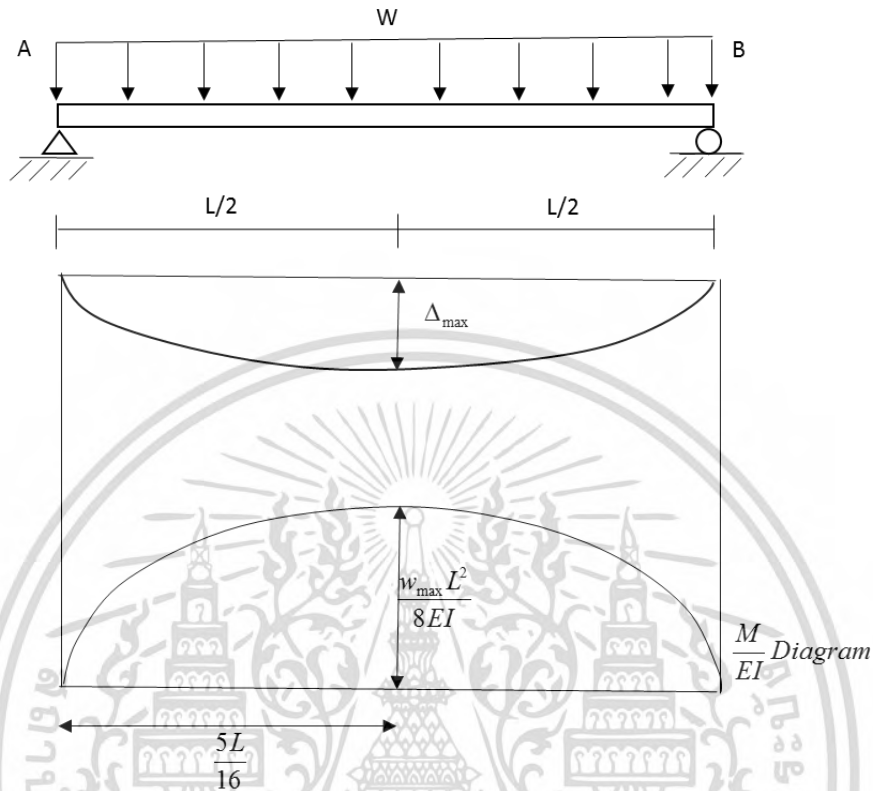
$$w_{\max} = 1,699.636 \text{ กก./ม.}^2$$

ดังนั้น

$$w_l = 1,543.636 \text{ กก./ม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-6 การคำนวณหาระยะแอ่นตัวของคาน



รูปที่ ก.3 แสดงน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำ และแผนภาพของโมเมนต์ดัด

เป็นที่ทราบกันดีว่าการโก่งตัวของโครงสร้างที่จุดกึ่งกลางของชิ้นส่วนในโครงสร้าง

$$\Delta = \int_A^B \frac{M}{EI} x dx$$

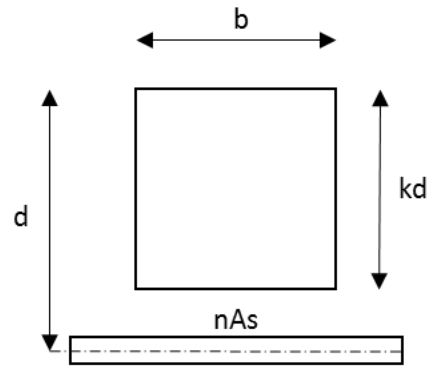
$$= \left(\frac{2}{3} \left(\frac{\omega L^2}{8EI} x \frac{L}{2} \right) \right) x \frac{5L}{16} = \frac{5\omega L^4}{384EI}$$

$$M_{\max} = 43.740 \text{ kg} - m$$

$$\omega_{\text{exp}} = 1,264.030 \text{ kg} / m^2$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5\omega L^4}{384EI}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 หน้าตัดแปลงร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง

$$kd = 1.41 \text{ ซม.}$$

$$k = \frac{1.41}{4.55} = 0.310 \text{ ซม.}$$

$$I_{cr} = \frac{bk^3d^3}{3} + nA_s(d - kd)^2$$

$$= \frac{15(0.310)^3(4.55)^3}{3} + 10(0.636)(4.55 - 1.41)^2$$

$$= 76.738 \text{ ซม.}^4/\text{ม.}$$

$$I_g = \frac{1}{12}bh^3$$

$$= \frac{1}{12}(15)(6.5)^3 = 343.281 \text{ ซม.}^4$$

โมดูลัสการแตกร้าว

$$f_r = 2\sqrt{f_c} = 2\sqrt{180} = 26.833 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์การแตกร้าว

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}; y_t = h - kd = 6.5 \text{ cm} - 1.57 \text{ cm} = 4.93 \text{ cm}$$

$$= \frac{26.833(343.281)}{4.93} = 1,868.410 \text{ กก.-ซม./เมตร}$$

หาระยะแอนตัวของคานรูปผสม 3 ชั้น ตามวิธี ACI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g$$

$$I_e = \left(\frac{1,868.410}{6,452.578}\right)^3 (343.281) + \left[1 - \left(\frac{1,868.410}{6,452.578}\right)^3\right] (76.738) \leq 343.281$$

$$= 83.209 \text{ cm}^4 \leq 343.281 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_i = K \left(\frac{5WL^4}{384E_c I_c}\right) \quad K=1 \text{ (สำหรับโครงสร้างรับแรงดิ่งช่วงเดียว)}$$

$$\lambda = \frac{\delta}{1 + 50p} \quad \text{จาก } p' = \frac{A'_g}{bd}$$

$\delta = 1.4$ สำหรับบรรทุกน้ำหนักค้ำงานาน 12 เดือน

$$\lambda = 1.4$$

$$\Delta_a = \lambda \Delta_i$$

$$\Delta_T = \Delta_i + \Delta_a \quad 12.019 \text{ มม.}$$

หาระยะแอ่นตัวของคานารูปผสม 2 ชั้น ตามวิธี ACI

$$I_e = \left(\frac{1,868.410}{6,017.149}\right)^3 (343.281) + \left[1 - \left(\frac{1,868.410}{6,017.149}\right)^3\right] (76.738) \leq 343.281$$

$$= 84.718 \text{ cm}^4 \leq 343.281 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_T = \Delta_i + \Delta_a \quad ; \lambda = 1.4$$

$$\Delta_T = 10.297 \text{ มม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

- ข-1 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน
- ข-2 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน
- ข-3 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐานของแผ่นพื้น
- ข-4 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐานของแผ่นพื้น

ข-1 ข้อมูลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน

- คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา $f_c' \approx 180 \text{ กก./ซม.}^2$

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.00	30.15	176.71	12.59	32,583.51	190.93	211,533.83	2,363.76
2	14.96	30.13	175.77	12.61	30,019.80	177.77	205,276.33	2,381.40
3	14.98	30.15	176.24	12.51	32,150.58	188.71	209,709.07	2,355.02
4	15.00	30.18	176.71	12.56	30,897.20	182.27	206,155.32	2,355.79
5	15.03	30.13	174.37	12.45	30,963.43	182.61	207,312.73	2,370.30
เฉลี่ย						184.46	207,997.46	2,365.25

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.00	30.15	176.71	12.59	23,495.35	132.96	176,522.73	2,363.76
2	14.96	30.13	175.77	12.61	21,760.03	123.80	171,300.91	2,381.40
3	14.98	30.15	176.24	12.51	23,160.10	131.41	174,999.99	2,355.02
4	15.00	30.18	176.71	12.56	22,430.56	126.93	172,034.42	2,355.79
5	15.03	30.13	174.37	12.45	22,174.23	127.17	173,000.27	2,370.30
เฉลี่ย						128.77	173,571.66	2,365.25

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.00	30.15	176.71	12.59	9,398.14	53.18	111,642.78	2,363.76
2	14.96	30.13	175.77	12.61	8,704.01	49.52	108,340.21	2,381.40
3	14.98	30.15	176.24	12.51	9,264.04	52.56	110,679.71	2,355.02
4	15.00	30.18	176.71	12.56	8,972.22	50.77	108,804.12	2,355.79
5	15.03	30.13	174.37	12.45	8,869.69	50.87	109,414.98	2,370.30
เฉลี่ย						51.51	109,866.70	2,366.09

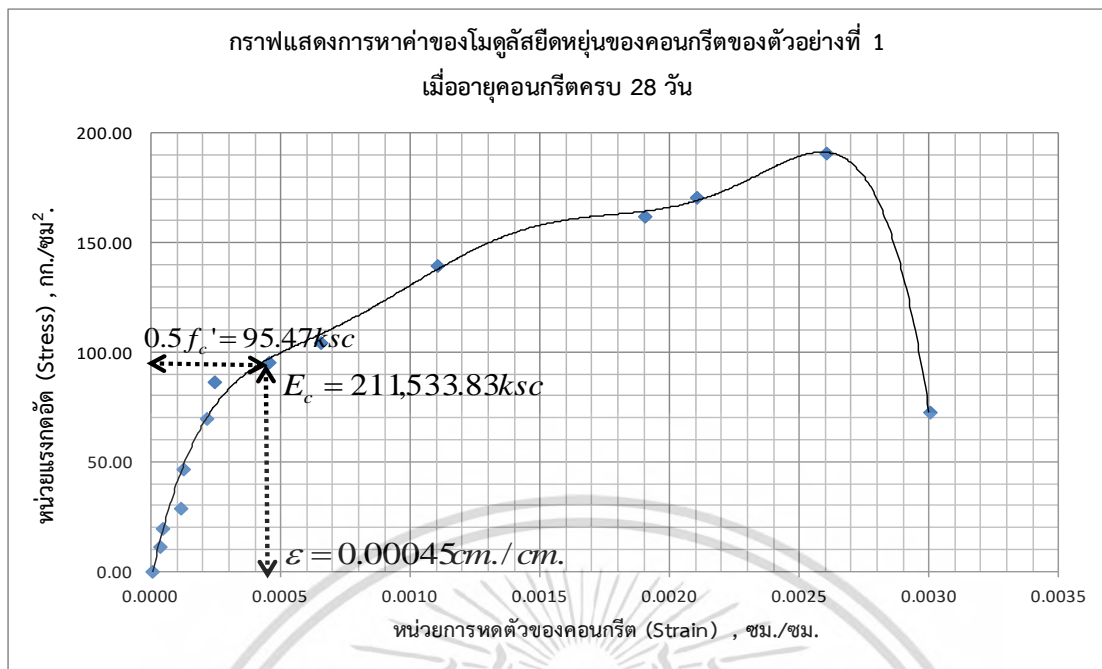
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 190.93$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.4 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.000
19.61	1,998.59	176.71	11.31	0.000
34.00	3,464.68	176.71	19.61	0.000
50.00	5,095.67	176.71	28.84	0.000
90.00	8,255.71	176.71	46.72	0.000
121.00	12,333.18	176.71	69.79	0.000
150.00	15,289.35	176.71	86.52	0.000
166.37	16,869.62	176.71	95.47	0.000
181.00	18,449.39	176.71	104.40	0.001
242.00	24,667.53	176.71	139.59	0.001
281.00	28,643.07	176.71	162.09	0.002
296.00	30,172.12	176.71	170.74	0.002
331.00	33,739.91	176.71	190.93	0.003
126.00	12,842.86	176.71	72.68	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักกรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

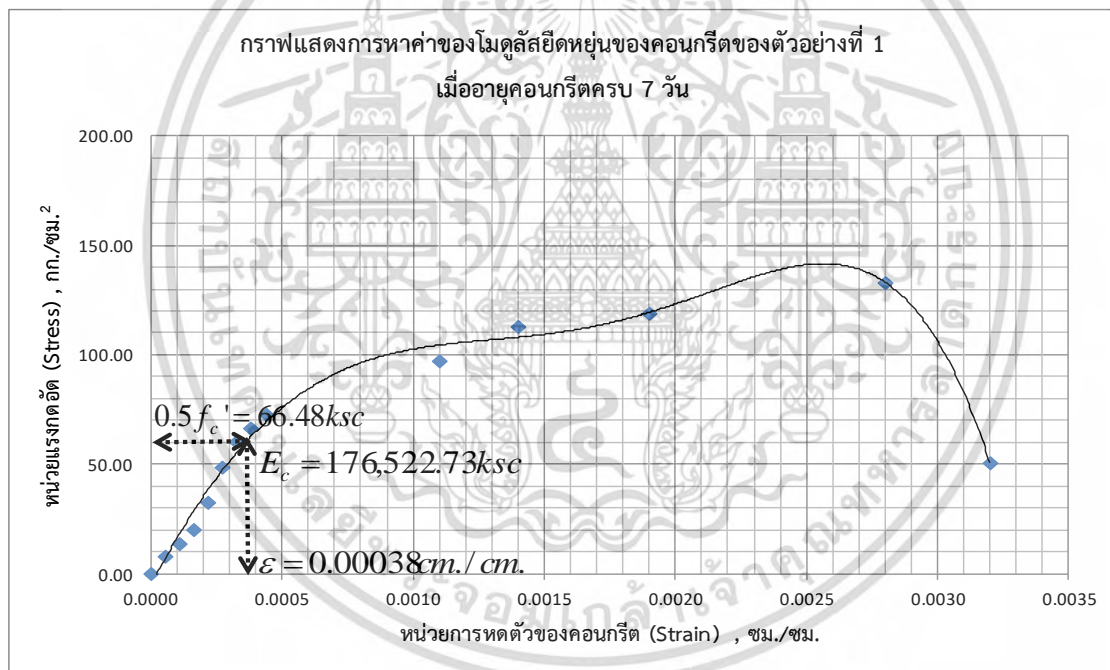
Initial Tangent Modulus Elastic = 211,533.83 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.5 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
13.65	1,391.76	176.71	7.88	0.00005
23.67	2,412.71	176.71	13.65	0.00011
34.81	3,548.48	176.71	20.08	0.00016
56.40	5,749.05	176.71	32.53	0.00022
84.25	8,588.49	176.71	48.60	0.00027
104.45	10,647.08	176.71	60.25	0.00033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
115.24	11,747.54	176.71	66.48	0.00038
126.04	12,847.65	176.71	72.70	0.00044
168.51	17,177.79	176.71	97.21	0.00110
195.67	19,946.24	176.71	112.88	0.00140
206.12	21,011.03	176.71	118.90	0.00190
230.49	23,495.54	176.71	132.96	0.00280
87.73	8,943.42	176.71	50.61	0.00320



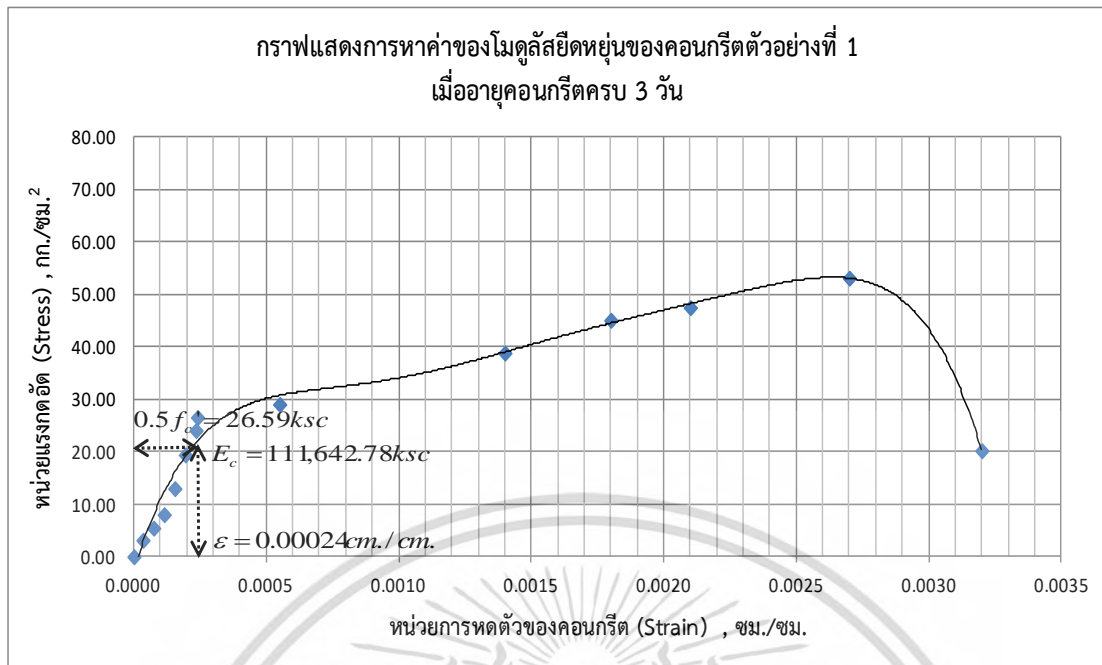
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
5.46	556.71	176.71	3.15	0.00003
9.47	965.08	176.71	5.46	0.00007
13.92	1,419.39	176.71	8.03	0.00011
22.56	2,299.62	176.71	13.01	0.00015
33.70	3,435.39	176.71	19.44	0.00019
41.78	4,258.83	176.71	24.10	0.00023
46.10	4,699.02	176.71	26.59	0.00024
50.41	5,139.06	176.71	29.08	0.00055
67.41	6,871.12	176.71	38.88	0.00140
78.27	7,978.50	176.71	45.15	0.00180
82.45	8,404.41	176.71	47.56	0.00210
92.20	9,398.22	176.71	53.18	0.00270
35.09	3,577.37	176.71	20.24	0.00320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 1

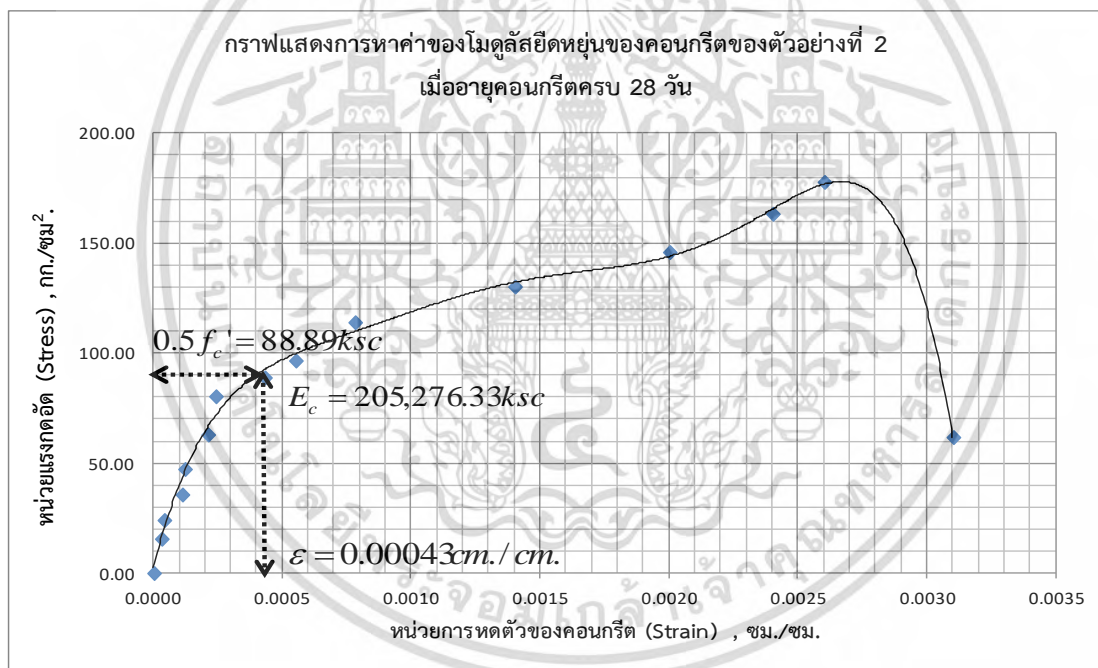
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 177.77$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.7 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.77	0.00	0.000
27.00	2,740.25	175.77	15.59	0.000
42.00	4,234.64	175.77	24.09	0.000
62.00	6,273.37	175.77	35.69	0.000
82.00	8,312.11	175.77	47.29	0.000
109.00	11,064.40	175.77	62.95	0.000
139.00	14,122.51	175.77	80.35	0.000
154.09	15,624.20	175.77	88.89	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
167.00	16,976.74	175.77	96.58	0.001
197.00	20,034.84	175.77	113.98	0.001
225.00	22,889.07	175.77	130.22	0.001
252.00	25,641.36	175.77	145.88	0.002
282.00	28,699.47	175.77	163.28	0.002
307.00	31,247.89	175.77	177.78	0.003
107.00	10,860.53	175.77	61.79	0.003



รูปที่ ข.4 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักกรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

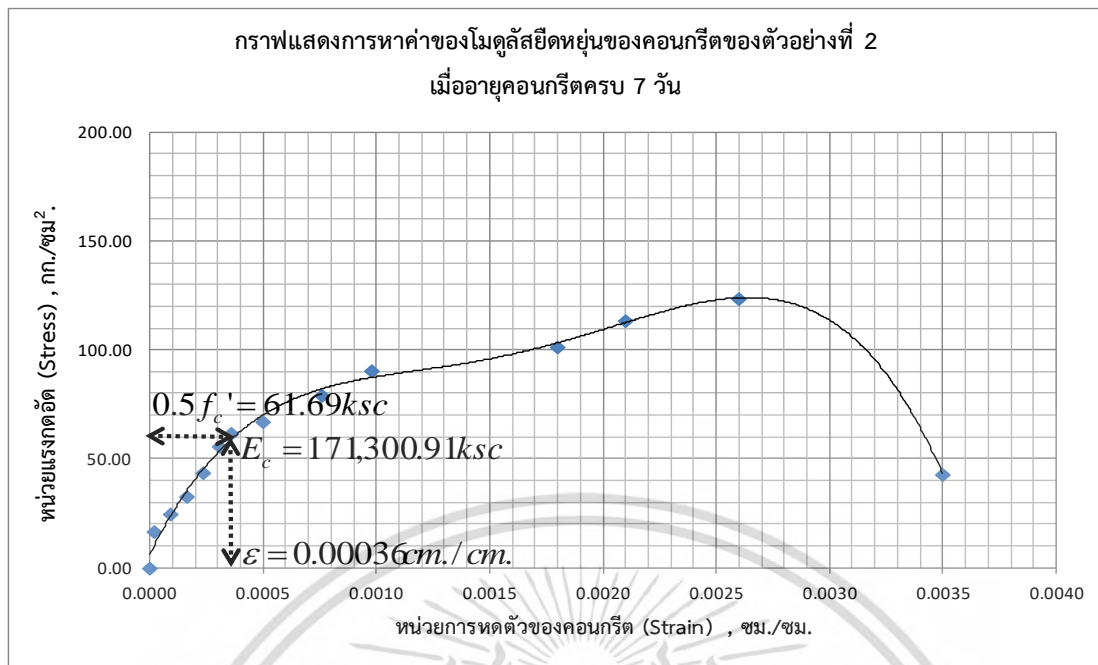
$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 205,276.33 \text{ กก./ซม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.77	0.00	0.00000
28.93	2,948.88	175.77	16.78	0.00002
42.86	4,368.60	175.77	24.85	0.00009
56.78	5,788.32	175.77	32.93	0.00016
75.59	7,704.94	175.77	43.84	0.00024
96.48	9,834.52	175.77	55.95	0.00031
106.74	10,880.26	175.77	61.90	0.00036
115.97	11,822.13	175.77	67.26	0.00050
136.87	13,951.71	175.77	79.37	0.00076
156.36	15,939.32	175.77	90.68	0.00098
175.17	17,855.94	175.77	101.59	0.00180
196.06	19,985.52	175.77	113.70	0.00210
213.47	21,760.17	175.77	123.80	0.00260
74.19	7,562.97	175.77	43.03	0.00350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



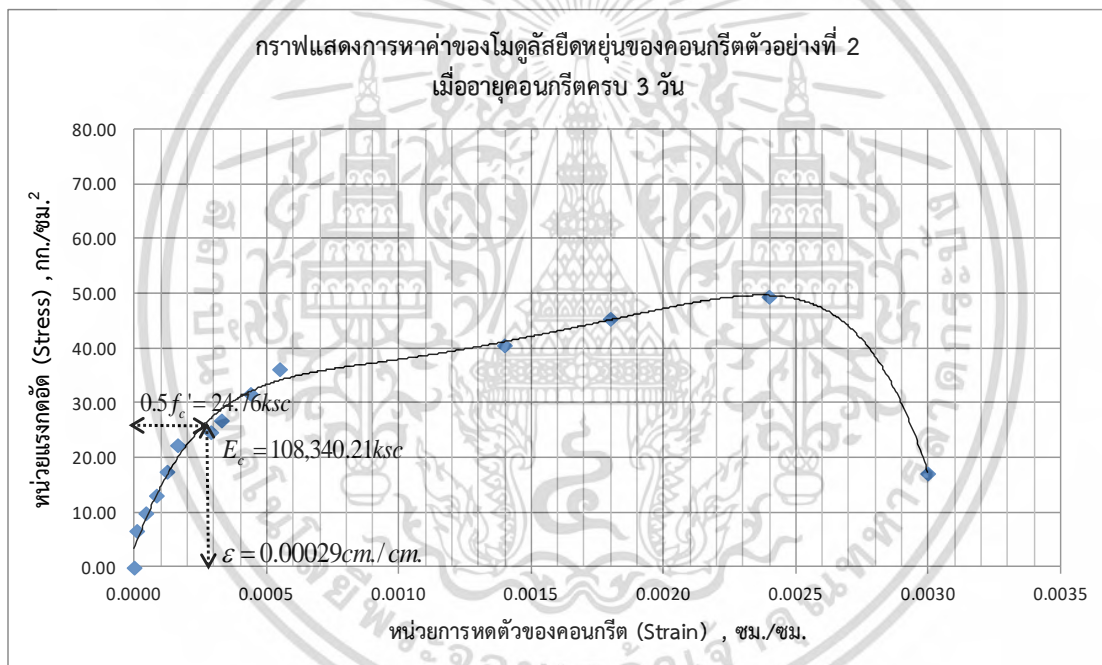
รูปที่ ข.5 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข.9 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.77	0.00	0.00000
11.57	1,179.55	175.77	6.71	0.00001
17.14	1,747.44	175.77	9.94	0.00004
22.71	2,315.33	175.77	13.17	0.00008
30.23	3,081.98	175.77	17.53	0.00012
38.59	3,933.81	175.77	22.38	0.00016
42.69	4,352.10	175.77	24.76	0.00029
46.39	4,728.85	175.77	26.90	0.00033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
54.75	5,580.68	175.77	31.75	0.00044
62.55	6,375.73	175.77	36.27	0.00055
70.07	7,142.38	175.77	40.63	0.00140
78.42	7,994.21	175.77	45.48	0.00180
85.39	8,704.07	175.77	49.52	0.00240
29.68	3,025.19	175.77	17.21	0.00300



รูปที่ ข.6 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 2

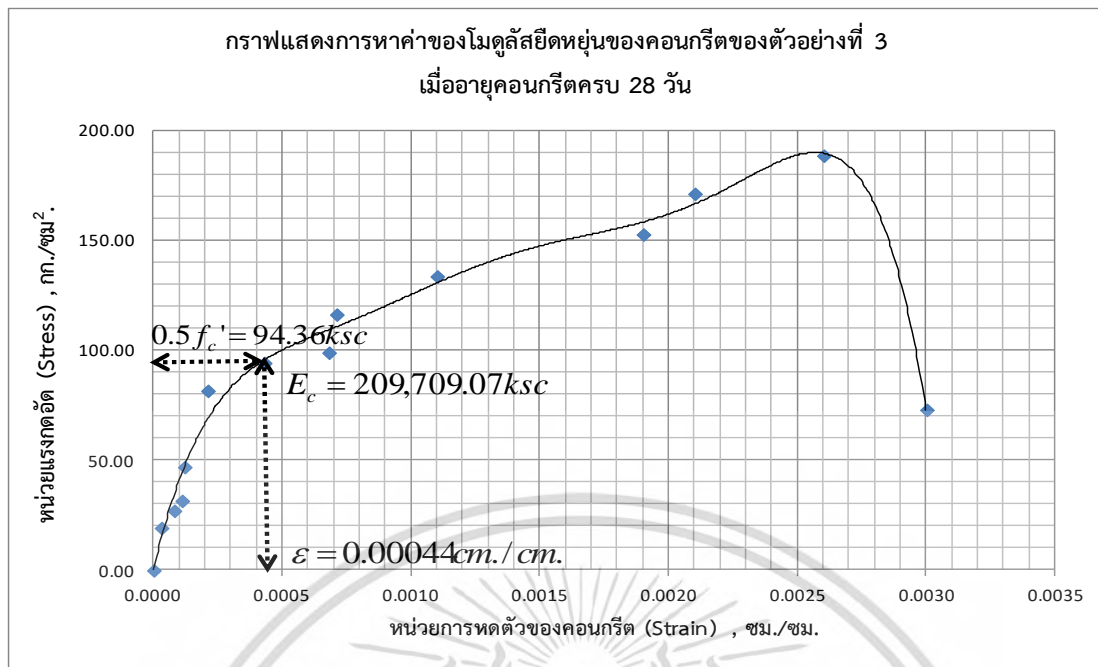
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 188.71$) กก./ซม.²

ตารางที่ข.10แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.000
33.00	3,399.67	176.24	19.29	0.000
47.00	4,777.87	176.24	27.11	0.000
55.00	5,574.47	176.24	31.63	0.000
81.00	8,283.91	176.24	47.00	0.000
141.00	14,400.12	176.24	81.71	0.000
164.01	16,630.01	176.24	94.36	0.000
171.00	17,458.22	176.24	99.06	0.001
201.00	20,516.32	176.24	116.41	0.001
231.00	23,574.43	176.24	133.76	0.001
264.00	26,938.34	176.24	152.85	0.002
296.00	30,200.32	176.24	171.36	0.002
326.00	33,258.42	176.24	188.71	0.003
129.00	12,905.39	176.71	73.03	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักปริมาตร
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

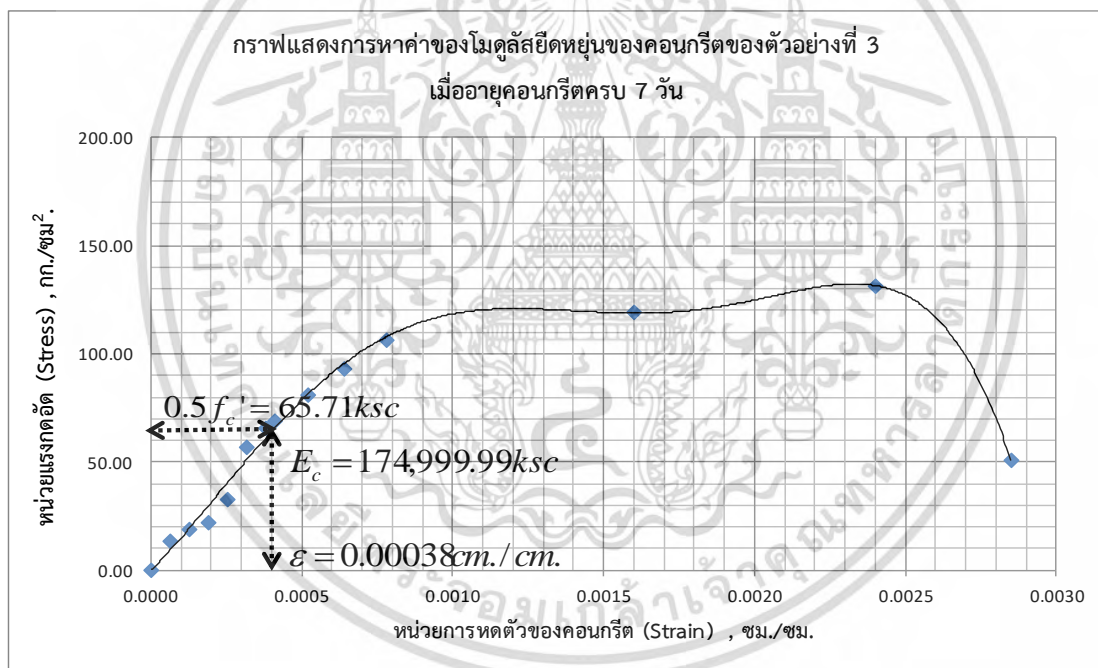
Initial Tangent Modulus Elastic = 209,709.07 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.11 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.00000
23.22	2,367.44	176.24	13.43	0.00006
32.64	3,327.17	176.24	18.88	0.00013
38.08	3,881.91	176.24	22.03	0.00019
56.59	5,768.69	176.24	32.73	0.00025
98.37	10,027.84	176.24	56.90	0.00032
113.61	11,580.68	176.24	65.71	0.00038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
119.26	12,157.42	176.24	68.98	0.00041
140.16	14,287.00	176.24	81.07	0.00052
161.05	16,416.58	176.24	93.15	0.00064
184.03	18,759.12	176.24	106.44	0.00078
206.31	21,030.67	176.24	119.33	0.00160
227.20	23,160.25	176.24	131.41	0.00240
87.93	8,963.05	176.24	50.86	0.00285



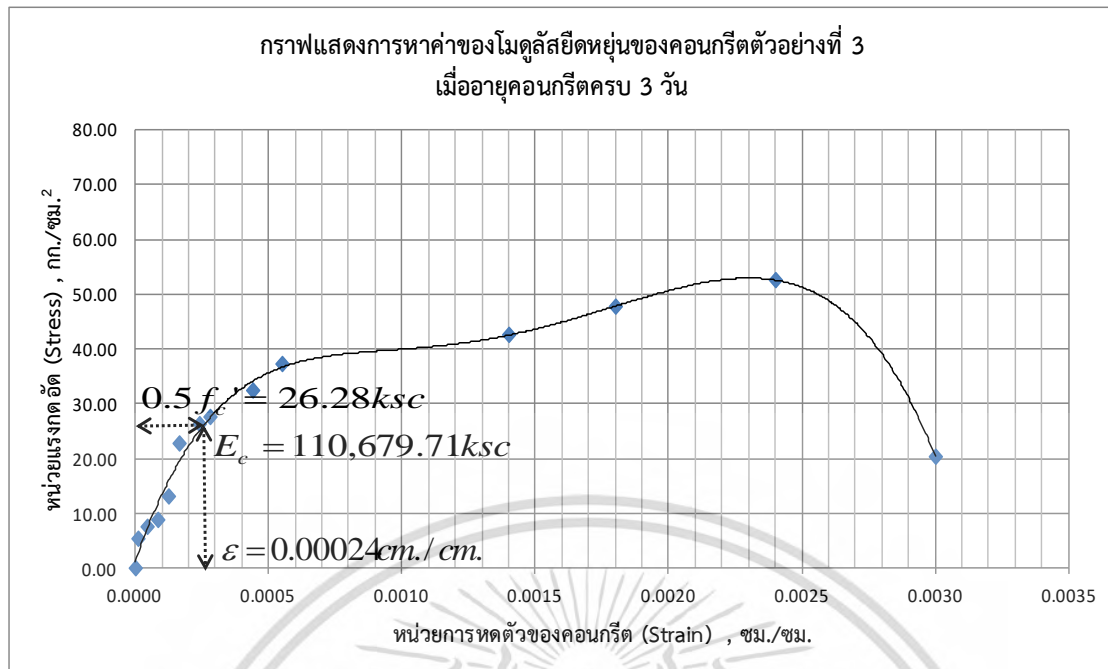
รูปที่ ข.8 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักกรรมดา
ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.00000
9.29	946.97	176.24	5.37	0.00001
13.06	1,330.87	176.24	7.55	0.00004
15.23	1,552.76	176.24	8.81	0.00008
22.64	2,307.47	176.24	13.09	0.00012
39.35	4,011.14	176.24	22.76	0.00016
45.44	4,632.27	176.24	26.28	0.00024
47.71	4,862.97	176.24	27.59	0.00028
56.06	5,714.80	176.24	32.43	0.00044
64.42	6,566.63	176.24	37.26	0.00055
73.61	7,503.65	176.24	42.58	0.00140
82.52	8,412.27	176.24	47.73	0.00180
90.88	9,264.10	176.24	52.57	0.00240
35.17	3,585.22	176.24	20.34	0.00300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 3

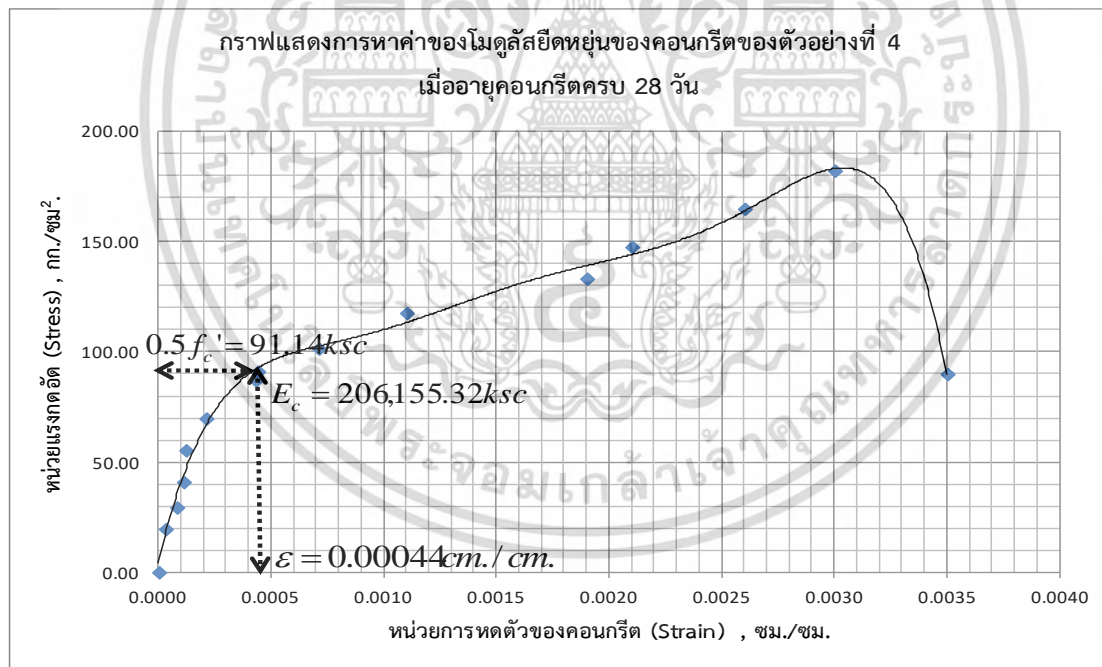
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c \approx 182.27$) กก./ซม.²

ตารางที่ข.13แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.000
34.00	3,464.68	176.71	19.61	0.000
51.00	5,197.60	176.71	29.41	0.000
71.00	7,236.34	176.71	40.95	0.000
96.00	9,784.76	176.71	55.37	0.000
121.00	12,333.18	176.71	69.79	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
151.00	15,391.28	176.71	87.10	0.000
158.83	16,105.35	176.71	91.14	0.000
176.00	17,939.70	176.71	101.52	0.001
204.00	20,793.93	176.71	117.67	0.001
231.00	23,546.23	176.71	133.25	0.002
256.00	26,094.65	176.71	147.67	0.002
286.00	29,152.75	176.71	164.98	0.003
316.00	32,210.86	176.71	182.28	0.003
156.00	15,900.97	176.71	89.98	0.004



รูปที่ ข.10 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

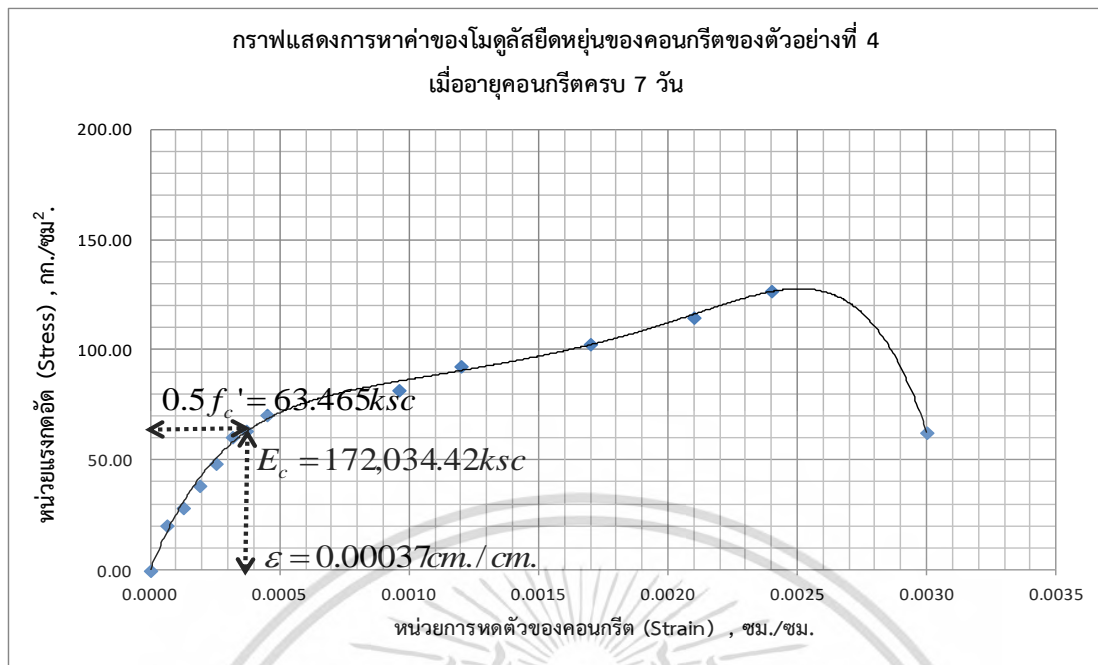
$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 206,155.32 \text{ กก./ซม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
35.51	3,619.47	176.71	20.48	0.00006
49.43	5,039.19	176.71	28.52	0.00013
66.84	6,813.84	176.71	38.56	0.00019
84.25	8,588.49	176.71	48.60	0.00025
105.14	10,718.07	176.71	60.65	0.00032
110.02	11,215.32	176.71	63.47	0.00037
122.55	12,492.72	176.71	70.70	0.00045
142.05	14,480.32	176.71	81.94	0.00096
160.85	16,396.95	176.71	92.79	0.00120
178.26	18,171.59	176.71	102.83	0.00170
199.15	20,301.17	176.71	114.88	0.00210
220.05	22,430.75	176.71	126.94	0.00240
108.63	11,073.00	176.71	62.66	0.00300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



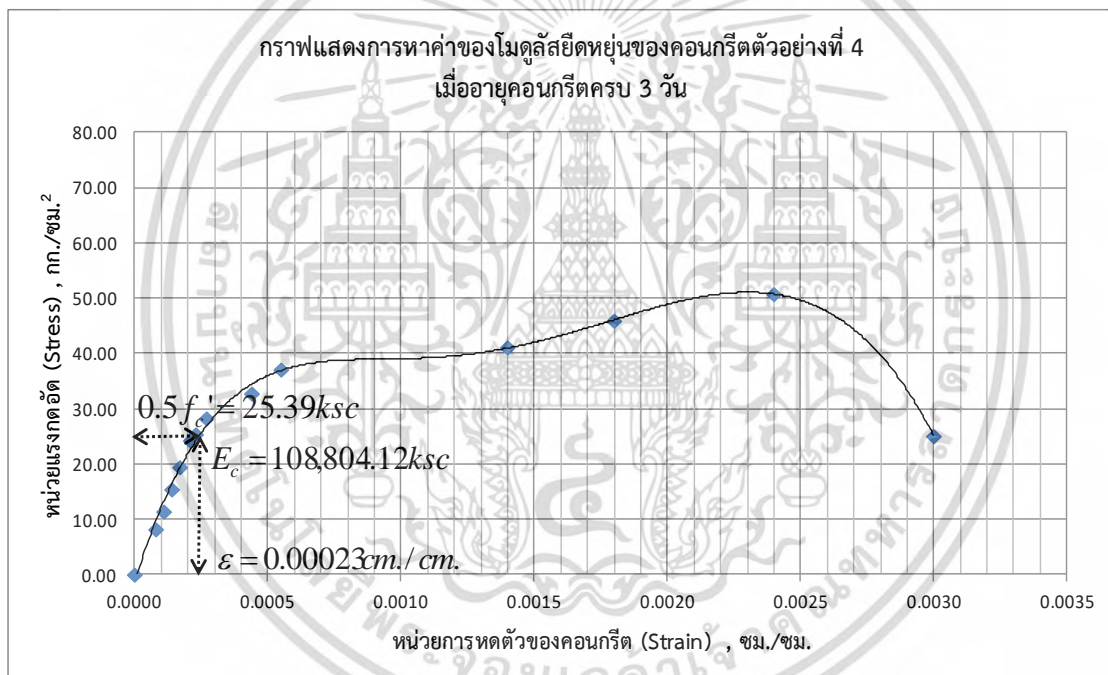
รูปที่ ข.11 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ข.15 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
14.20	1,447.79	176.71	8.19	0.00008
19.77	2,015.68	176.71	11.41	0.00011
26.74	2,725.54	176.71	15.42	0.00014
33.70	3,435.39	176.71	19.44	0.00017
42.06	4,287.23	176.71	24.26	0.00021
44.01	4,486.13	176.71	25.39	0.00023
49.02	4,997.09	176.71	28.28	0.00027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
56.82	5,792.13	176.71	32.78	0.00044
64.34	6,558.78	176.71	37.12	0.00055
71.31	7,268.64	176.71	41.13	0.00140
79.66	8,120.47	176.71	45.95	0.00180
88.02	8,972.30	176.71	50.77	0.00240
43.45	4,429.20	176.71	25.06	0.00300



รูปที่ ข.12 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 4

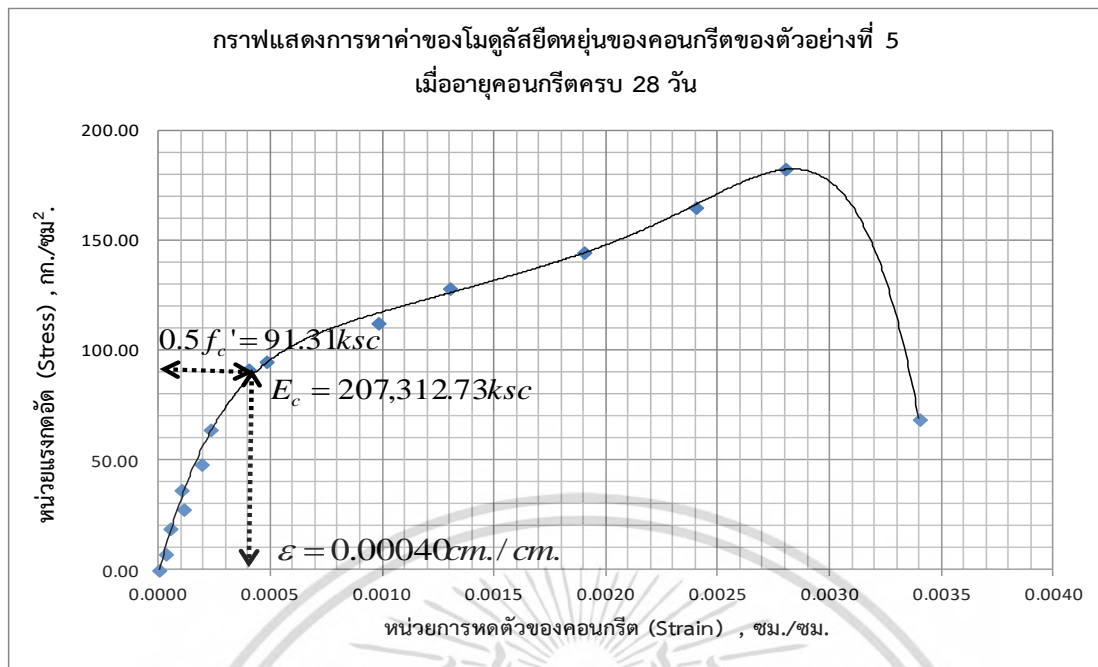
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 182.61$) กก./ซม.²

ตารางที่ข.16 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.000
8.00	1,274.64	174.37	7.31	0.000
33.00	3,299.27	174.37	18.92	0.000
44.00	4,828.32	174.37	27.69	0.000
63.00	6,357.37	174.37	36.46	0.000
83.00	8,396.11	174.37	48.15	0.000
110.00	11,148.40	174.37	63.94	0.000
157.06	15,920.85	174.37	91.31	0.000
162.00	16,551.05	174.37	94.92	0.000
192.00	19,609.16	174.37	112.46	0.001
219.00	22,361.45	174.37	128.24	0.001
247.00	25,215.68	174.37	144.61	0.002
282.00	28,783.47	174.37	165.07	0.002
312.00	31,841.57	174.37	182.61	0.003
117.00	11,963.90	174.37	68.61	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



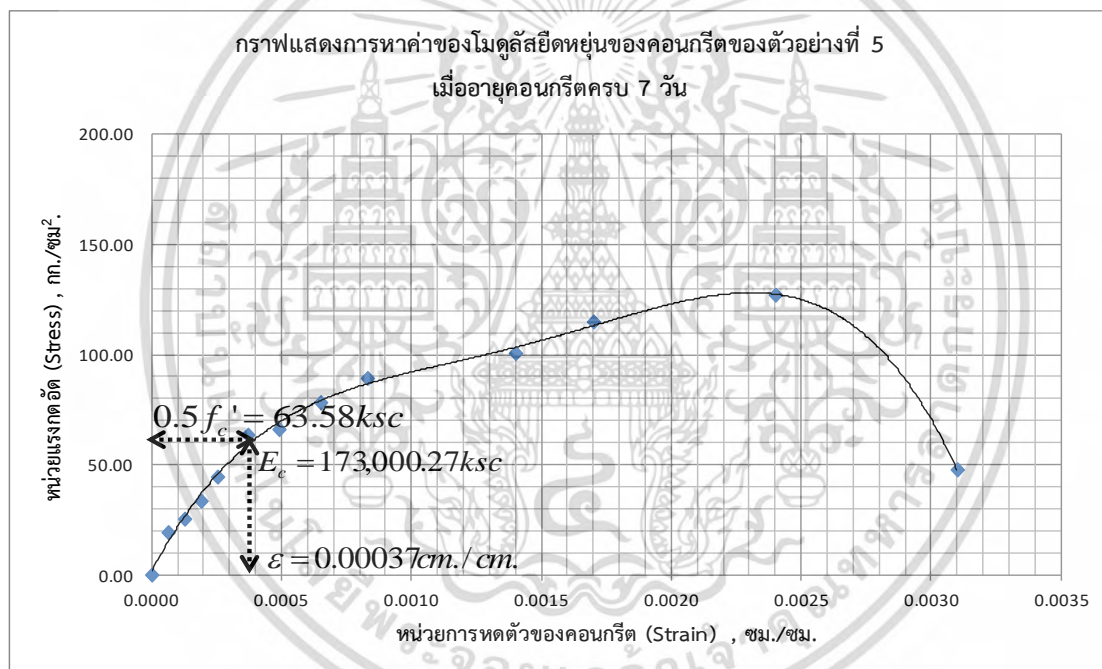
รูปที่ ข.13 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 207,312.73 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.17 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.00000
32.98	3,362.31	174.37	19.28	0.00006
43.43	4,427.10	174.37	25.39	0.00013
57.36	5,846.82	174.37	33.53	0.00019
76.16	7,763.44	174.37	44.52	0.00025
108.76	11,086.84	174.37	63.58	0.00037
113.07	11,525.70	174.37	66.10	0.00049

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
133.96	13,655.28	174.37	78.31	0.00065
152.76	15,571.90	174.37	89.30	0.00083
172.26	17,559.51	174.37	100.70	0.00140
196.63	20,044.01	174.37	114.95	0.00170
217.52	22,173.59	174.37	127.16	0.00240
81.73	8,331.33	174.37	47.78	0.00310

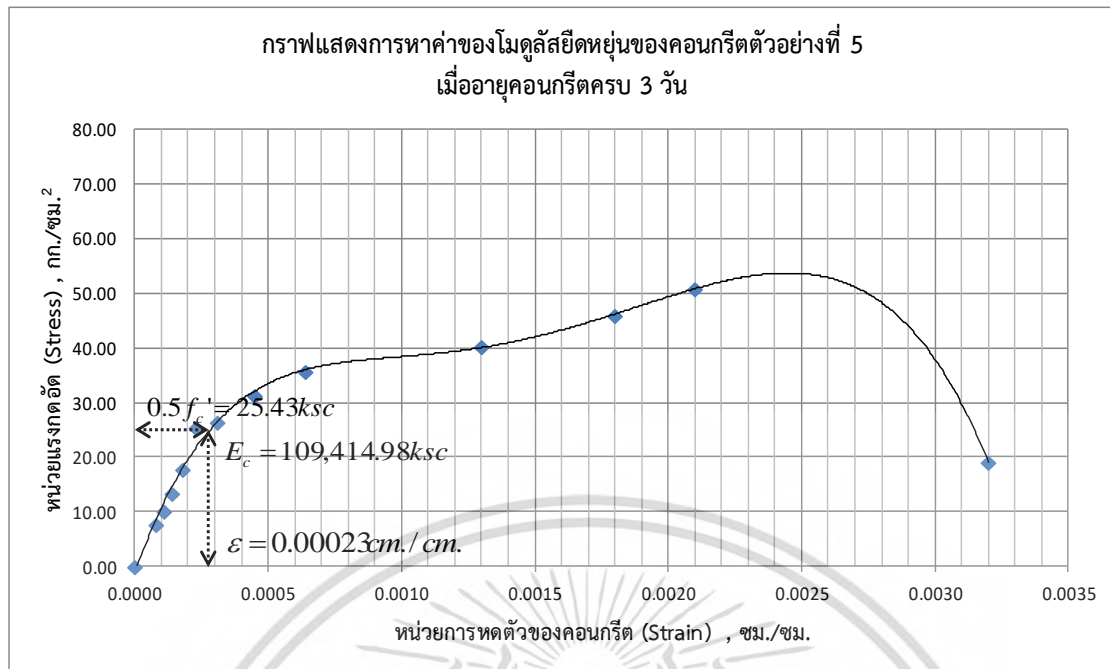


รูปที่ ข.14 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ ข.18 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.00000
13.19	1,344.92	174.37	7.71	0.00008
17.37	1,770.84	174.37	10.16	0.00011
22.94	2,338.73	174.37	13.41	0.00014
30.46	3,105.38	174.37	17.81	0.00018
43.50	4,434.74	174.37	25.43	0.00023
45.23	4,610.28	174.37	26.44	0.00031
53.58	5,462.11	174.37	31.32	0.00045
61.10	6,228.76	174.37	35.72	0.00064
68.90	7,023.80	174.37	40.28	0.00130
78.65	8,017.61	174.37	45.98	0.00180
87.01	8,869.44	174.37	50.87	0.00210
32.69	3,332.53	174.37	19.11	0.00320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.15 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 5

ข-2 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโพลีเมอร์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน

- คอนกรีตโพลีเมอร์ หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³

ตารางที่ ข.19 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ ทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.04	30.30	177.66	8.57	33,393.10	168.47	41,078.27	1,591.85
2	14.98	29.60	176.24	8.30	34,613.89	178.42	40,549.69	1,590.63
3	15.05	29.80	177.89	8.58	34,950.65	181.16	43,675.83	1,618.11
4	14.86	30.00	173.43	8.41	34,437.45	176.98	41,993.41	1,616.39
5	15.20	28.80	174.37	8.50	32,430.22	160.63	41,384.83	1,693.40
เฉลี่ย						173.13	41,736.41	1,622.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.20 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.09	29.70	178.84	8.61	32,351.16	159.99	29,400.35	1,621.55
2	14.89	30.00	174.13	8.42	33,042.31	165.62	29,943.91	1,610.84
3	15.05	30.20	177.89	8.61	33,106.42	166.14	30,026.03	1,603.00
4	15.09	30.30	178.84	8.56	32,863.52	164.16	29,989.70	1,580.40
5	15.27	29.60	175.37	8.55	32,250.14	159.16	29,024.09	1,647.67
เฉลี่ย						163.01	29,676.82	1,612.69

ตารางที่ ข.21 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.12	30.00	179.55	8.61	31,608.04	153.93	22,496.93	1,598.97
2	14.90	30.00	174.37	8.50	30,960.41	148.66	21,672.39	1,625.12
3	15.02	30.20	177.19	8.59	30,968.81	148.72	23,210.74	1,605.30
4	15.09	30.10	178.84	8.61	32,025.91	157.34	22,301.43	1,599.63
5	15.08	29.80	176.37	8.60	30,666.44	146.26	21,879.30	1,636.85
เฉลี่ย						150.98	22,312.16	1,613.17

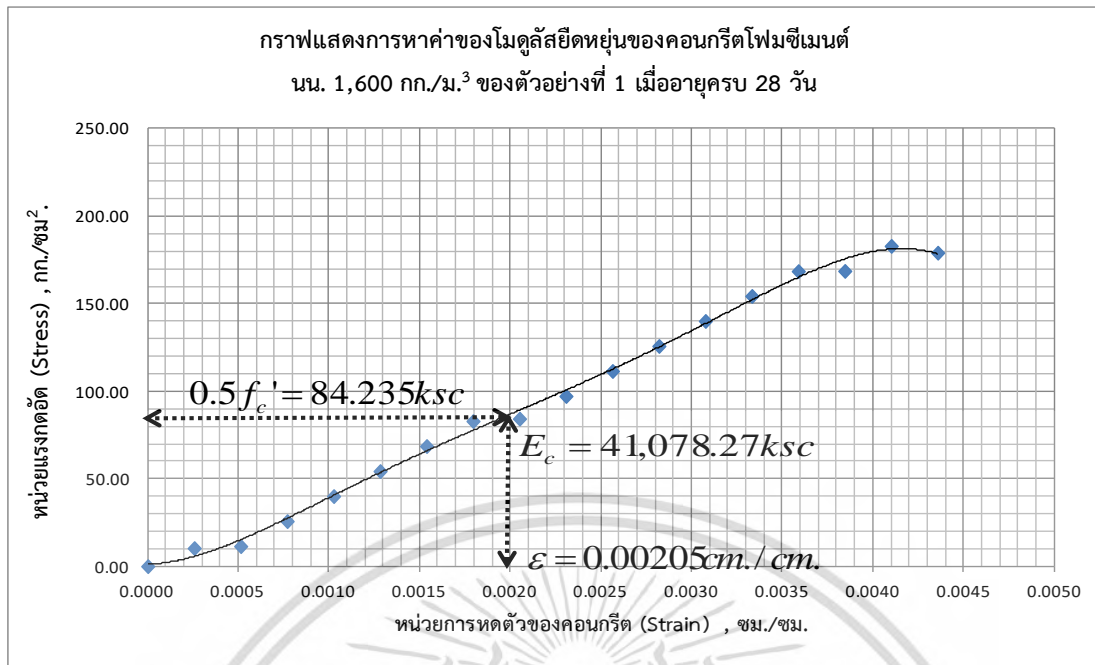
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 168.47$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.22 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.66	0.00	0.00000
17.97	1,831.67	177.66	10.31	0.00026
19.93	2,031.53	177.66	11.43	0.00051
44.83	4,569.76	177.66	25.72	0.00077
69.73	7,107.98	177.66	40.01	0.00103
94.63	9,646.21	177.66	54.30	0.00128
119.53	12,184.44	177.66	68.58	0.00154
144.44	14,723.68	177.66	82.88	0.00179
146.81	14,965.19	177.66	84.24	0.00205
169.34	17,261.91	177.66	97.16	0.00231
194.24	19,800.14	177.66	111.45	0.00256
219.14	22,338.36	177.66	125.74	0.00282
244.04	24,876.59	177.66	140.02	0.00308
268.94	27,414.81	177.66	154.31	0.00333
293.62	29,930.38	177.66	168.47	0.00359
293.84	29,953.04	177.66	168.60	0.00384
318.74	32,491.27	177.66	182.88	0.00410
311.97	31,801.14	177.66	179.00	0.00436

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.16 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

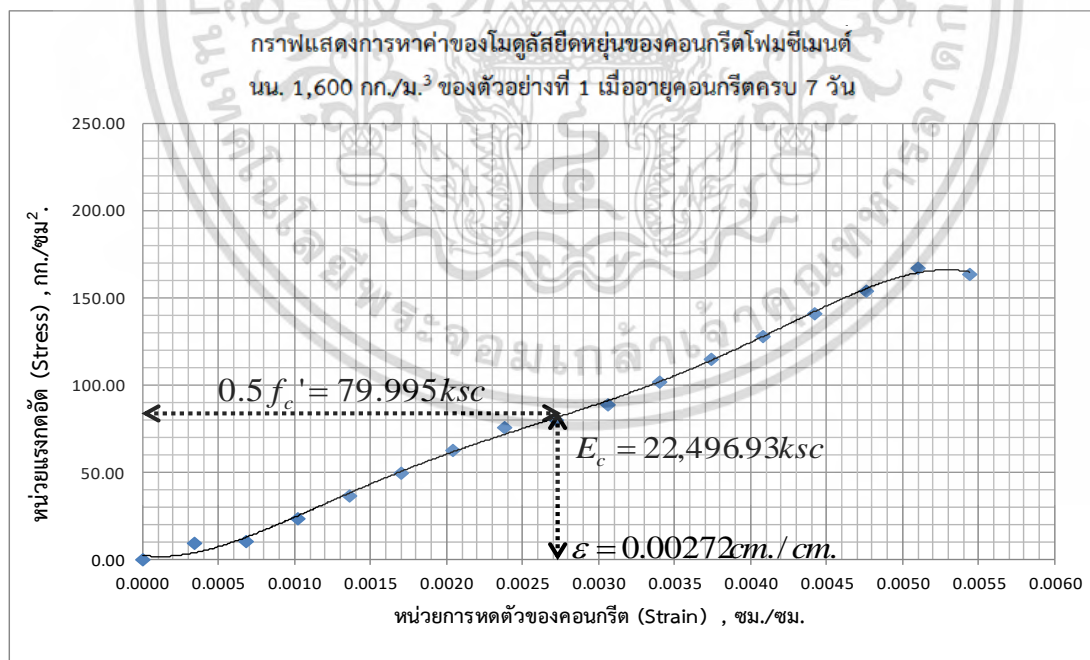
Initial Tangent Modulus Elastic = 41,078.27 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.23 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.66	0.00	0.00000
16.42	1,673.59	177.66	9.42	0.00034
18.21	1,856.20	177.66	10.45	0.00068
40.96	4,175.36	177.66	23.50	0.00102
63.71	6,494.52	177.66	36.56	0.00136
86.46	8,813.68	177.66	49.61	0.00170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
109.21	11,132.84	177.66	62.66	0.00204
131.97	13,452.93	177.66	75.72	0.00238
139.42	14,211.91	177.66	79.995	0.00272
154.72	15,772.09	177.66	88.78	0.00306
177.48	18,091.25	177.66	101.83	0.00340
200.23	20,410.41	177.66	114.88	0.00374
222.98	22,729.57	177.66	127.94	0.00408
245.73	25,048.74	177.66	140.99	0.00442
268.28	27,347.19	177.66	153.93	0.00476
291.23	29,687.06	177.66	167.10	0.00510
285.04	29,056.49	177.66	163.55	0.00544



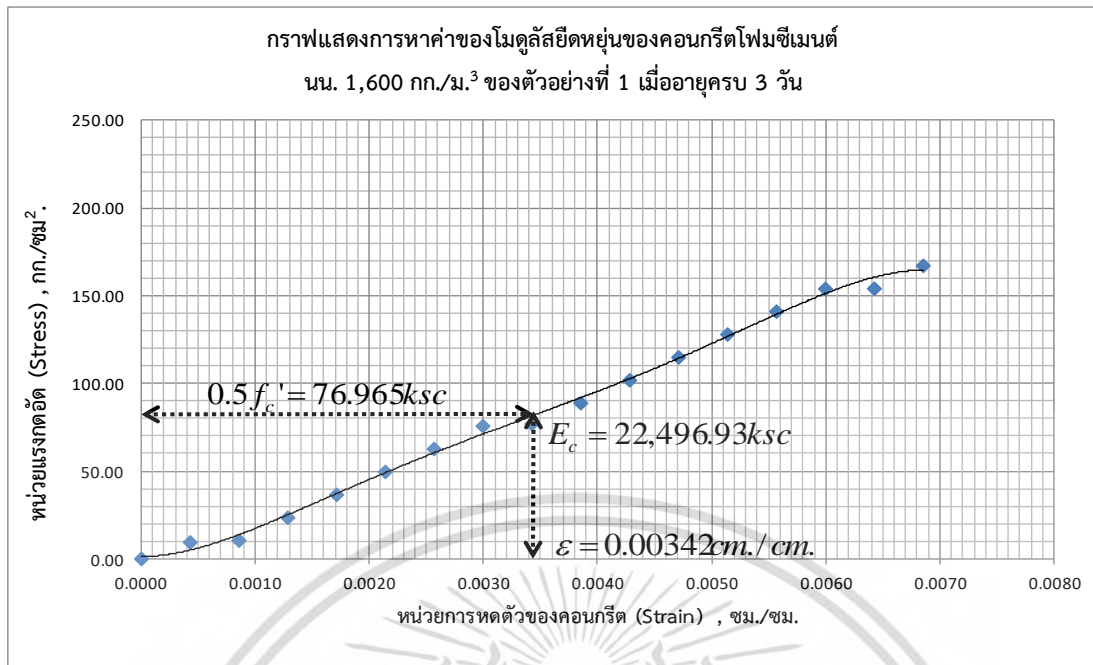
รูปที่ ข.17 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโม่ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 $1,600 \text{ กก./ม.}^3$ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.66	0.00	0.00000
16.42	1,673.59	177.66	9.42	0.00043
18.21	1,856.20	177.66	10.45	0.00086
40.96	4,175.36	177.66	23.50	0.00128
63.71	6,494.52	177.66	36.56	0.00171
86.46	8,813.68	177.66	49.61	0.00214
109.21	11,132.84	177.66	62.66	0.00257
131.97	13,452.93	177.66	75.72	0.00299
134.14	13,673.60	177.66	76.96	0.00342
154.72	15,772.09	177.66	88.78	0.00385
177.48	18,091.25	177.66	101.83	0.00428
200.23	20,410.41	177.66	114.88	0.00471
222.98	22,729.57	177.66	127.94	0.00514
245.73	25,048.74	177.66	140.99	0.00557
268.28	27,347.19	177.66	153.93	0.00599
268.48	27,367.90	177.66	154.05	0.00642
291.23	29,687.06	177.66	167.10	0.00685
285.04	29,056.49	177.66	163.55	0.00728

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.18 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 1

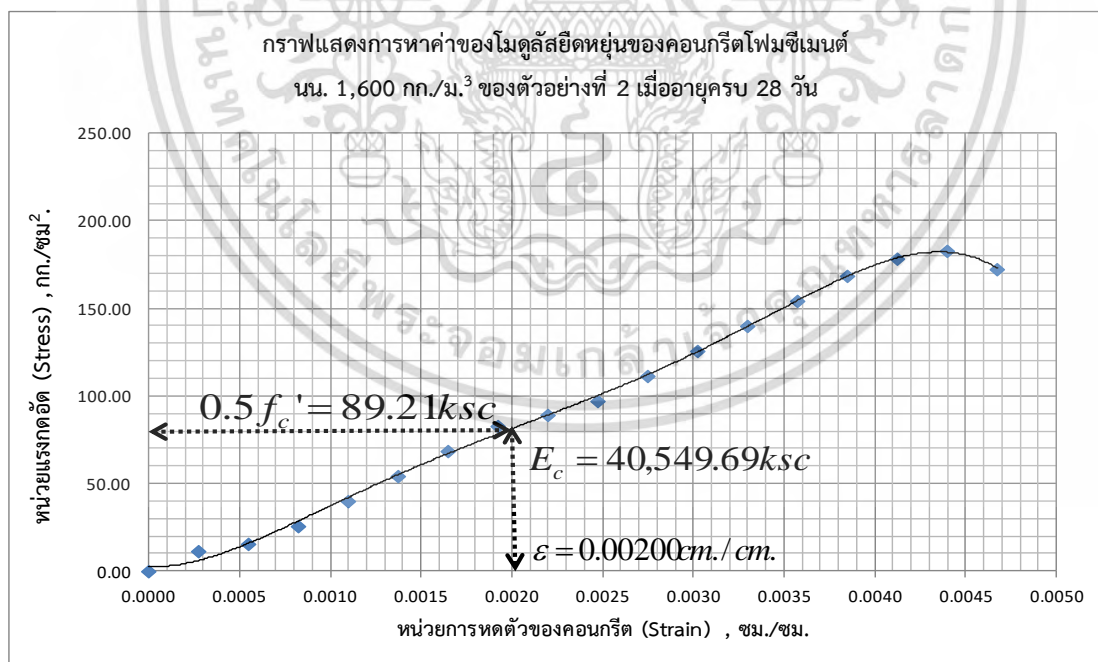
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 178.42$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.25 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.00000
19.78	2,016.19	176.24	11.44	0.00028
26.95	2,747.58	176.24	15.59	0.00055
44.48	4,533.65	176.24	25.72	0.00083
69.19	7,052.51	176.24	40.02	0.00110
93.89	9,570.35	176.24	54.30	0.00138
118.59	12,088.19	176.24	68.59	0.00165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (cm^2)	หน่วยแรงอัด (กก./cm^2)	หน่วยการยืดหดตัว (cm./cm.)
143.28	14,606.03	176.24	82.88	0.00193
154.24	15,722.37	176.24	89.21	0.00220
167.98	17,123.87	176.24	97.16	0.00248
192.69	19,642.73	176.24	111.45	0.00275
217.39	22,160.56	176.24	125.74	0.00303
242.09	24,678.40	176.24	140.03	0.00330
266.79	27,196.24	176.24	154.31	0.00358
291.50	29,715.10	176.24	168.61	0.00385
308.47	31,444.74	176.24	178.42	0.00413
316.20	32,232.94	176.24	182.89	0.00440
298.10	30,387.30	176.24	172.42	0.00468



รูปที่ ข.19 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

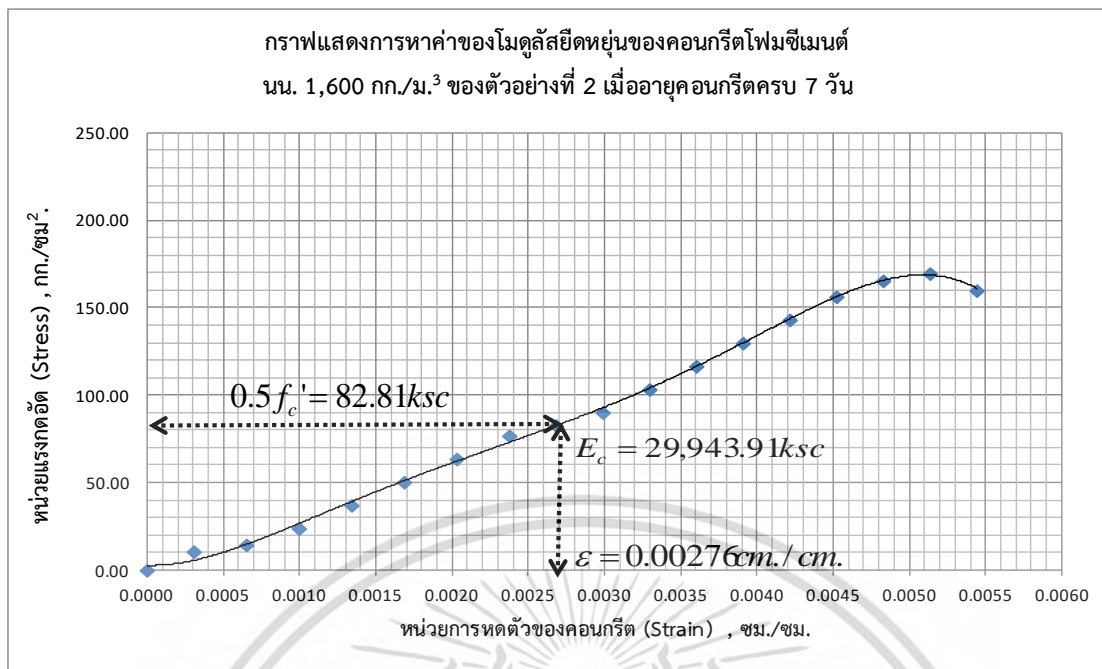
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 40,549.69 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.26 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.00000
18.36	1,871.54	176.24	10.62	0.00031
25.02	2,550.47	176.24	14.47	0.00065
41.28	4,208.41	176.24	23.88	0.00100
64.22	6,546.56	176.24	37.15	0.00134
87.15	8,883.77	176.24	50.41	0.00169
110.08	11,220.97	176.24	63.67	0.00203
133.01	13,558.18	176.24	76.93	0.00238
143.17	14,594.43	176.24	82.81	0.00268
155.93	15,895.39	176.24	90.19	0.00299
178.87	18,233.54	176.24	103.46	0.00330
201.80	20,570.75	176.24	116.72	0.00360
224.73	22,907.95	176.24	129.98	0.00391
247.65	25,245.16	176.24	143.24	0.00422
270.59	27,583.31	176.24	156.51	0.00452
286.34	29,188.87	176.24	165.62	0.00483
293.52	29,920.52	176.24	169.77	0.00514
276.71	28,207.29	176.24	160.05	0.00544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



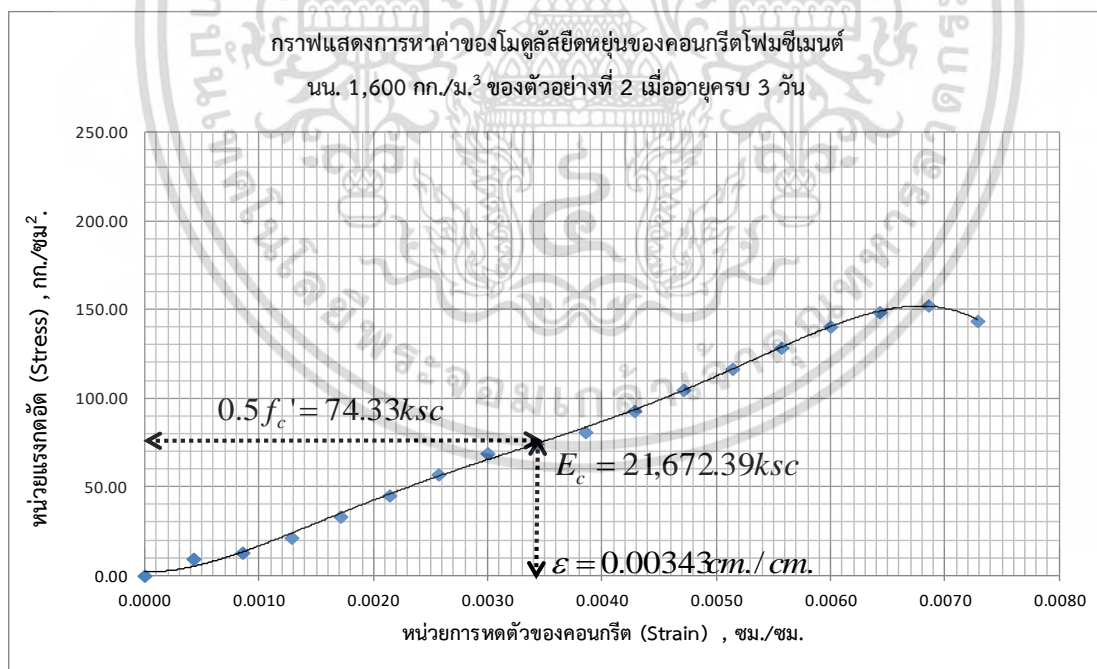
รูปที่ ข.20 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข.27 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.00000
16.48	1,679.89	176.24	9.53	0.00043
22.46	2,289.29	176.24	12.99	0.00086
37.06	3,777.45	176.24	21.43	0.00129
57.65	5,876.17	176.24	33.34	0.00172
78.23	7,974.04	176.24	45.25	0.00214
98.81	10,071.91	176.24	57.15	0.00257
119.39	12,169.78	176.24	69.05	0.00300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
128.51	13,099.92	176.24	74.33	0.00343
139.97	14,267.65	176.24	80.96	0.00386
160.55	16,366.37	176.24	92.86	0.00429
181.13	18,464.24	176.24	104.77	0.00472
201.71	20,562.11	176.24	116.67	0.00515
222.29	22,659.98	176.24	128.57	0.00557
242.88	24,758.70	176.24	140.48	0.00600
257.02	26,199.84	176.24	148.66	0.00643
263.46	26,856.57	176.24	152.39	0.00686
248.38	25,318.78	176.24	143.66	0.00729



รูปที่ ข.21 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 2

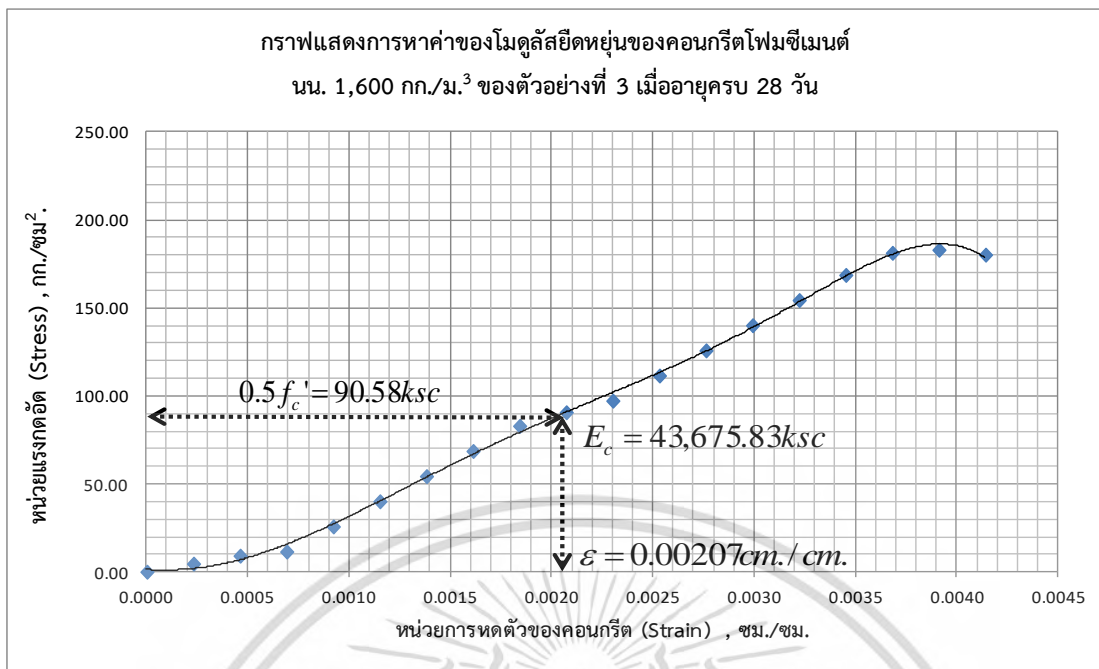
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($fc' \approx 181.16$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.28 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
8.05	816.52	177.89	4.59	0.00023
16.00	1,622.36	177.89	9.12	0.00046
20.07	2,035.06	177.89	11.44	0.00069
45.13	4,576.35	177.89	25.73	0.00092
70.21	7,118.65	177.89	40.02	0.00115
95.27	9,659.93	177.89	54.30	0.00138
120.33	12,201.22	177.89	68.59	0.00161
145.40	14,743.52	177.89	82.88	0.00184
158.91	16,113.28	177.89	90.58	0.00207
170.47	17,284.81	177.89	97.17	0.00230
195.53	19,826.09	177.89	111.45	0.00253
220.60	22,368.39	177.89	125.74	0.00276
245.67	24,909.68	177.89	140.03	0.00299
270.73	27,450.96	177.89	154.31	0.00322
295.80	29,993.27	177.89	168.61	0.00345
317.83	32,226.55	177.89	181.16	0.00368
320.86	32,534.55	177.89	182.89	0.00391
315.98	32,039.77	177.89	180.11	0.00414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.22 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

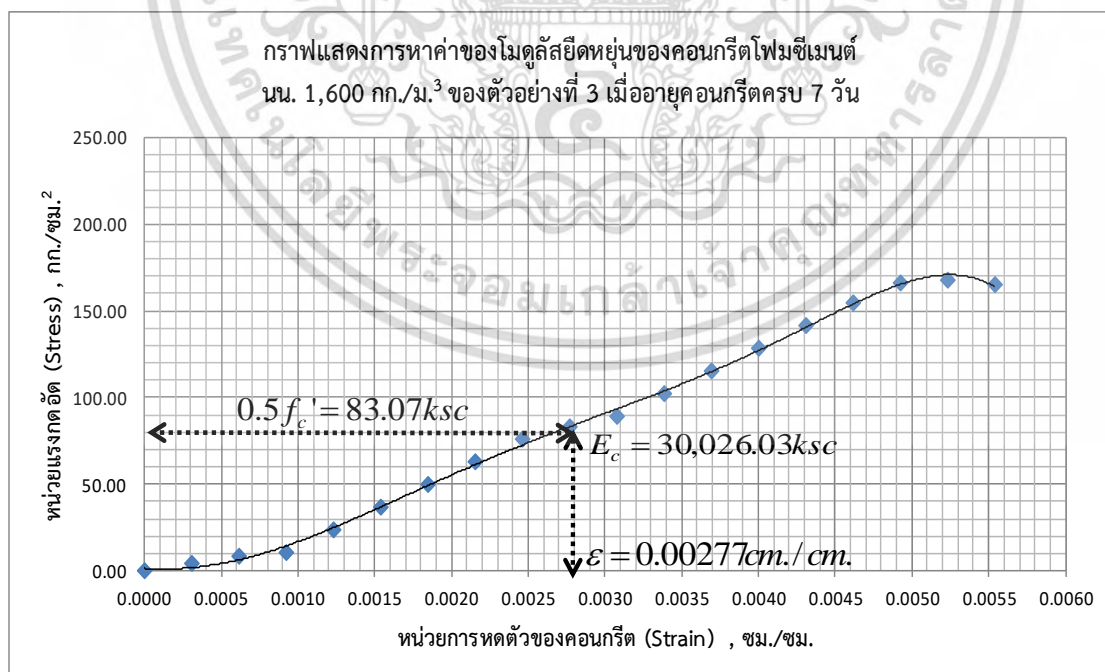
Initial Tangent Modulus Elastic = 43,675.83 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.29 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
7.35	748.82	177.89	4.21	0.00031
14.60	1,487.85	177.89	8.36	0.00062
18.31	1,866.33	177.89	10.49	0.00092
41.17	4,196.92	177.89	23.59	0.00123
64.04	6,528.44	177.89	36.70	0.00154
86.91	8,859.03	177.89	49.80	0.00185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
109.77	11,189.61	177.89	62.90	0.00215
132.64	13,521.13	177.89	76.01	0.00246
144.97	14,777.32	177.89	83.07	0.00277
155.51	15,851.72	177.89	89.11	0.00308
178.37	18,182.31	177.89	102.21	0.00339
201.24	20,513.83	177.89	115.32	0.00369
224.10	22,844.41	177.89	128.42	0.00400
246.97	25,175.00	177.89	141.52	0.00431
269.84	27,506.52	177.89	154.63	0.00462
289.93	29,554.64	177.89	166.14	0.00492
292.70	29,837.11	177.89	167.73	0.00523
288.25	29,383.35	177.89	165.18	0.00554



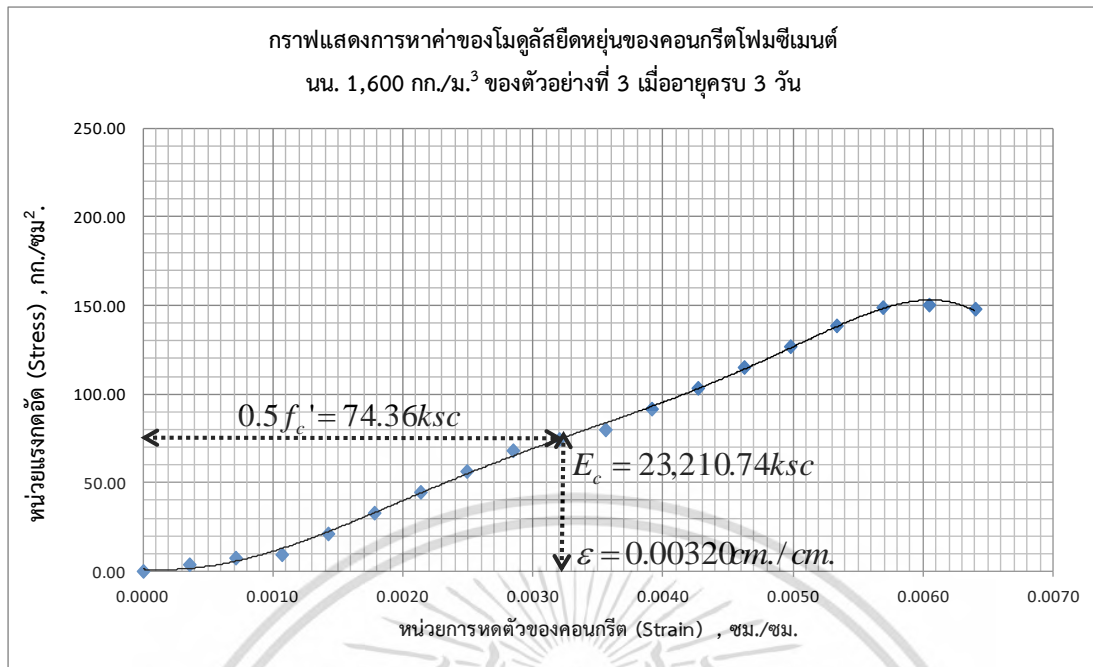
รูปที่ ข.23 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.30 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
6.58	670.53	177.89	3.77	0.00036
13.07	1,332.29	177.89	7.49	0.00071
16.39	1,671.21	177.89	9.39	0.00107
36.87	3,758.13	177.89	21.13	0.00142
57.35	5,845.89	177.89	32.86	0.00178
77.82	7,932.81	177.89	44.59	0.00213
98.29	10,019.73	177.89	56.33	0.00249
118.77	12,107.49	177.89	68.06	0.00284
129.81	13,232.35	177.89	74.39	0.00320
139.25	14,194.42	177.89	79.79	0.00356
159.72	16,281.34	177.89	91.52	0.00391
180.20	18,369.10	177.89	103.26	0.00427
200.67	20,456.02	177.89	114.99	0.00462
221.15	22,542.94	177.89	126.72	0.00498
241.63	24,630.70	177.89	138.46	0.00533
259.62	26,464.70	177.89	148.77	0.00569
262.10	26,717.63	177.89	150.19	0.00604
258.11	26,311.31	177.89	147.91	0.00640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.24 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 3

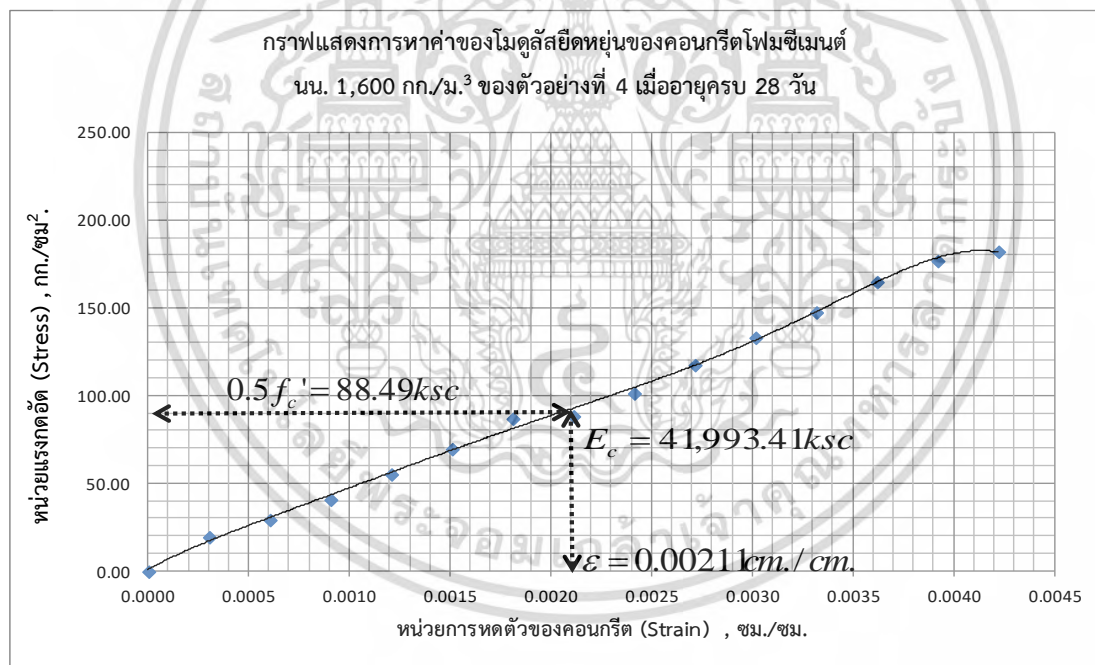
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 176.98$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.31 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
34.00	3,464.68	176.71	19.61	0.00030
51.00	5,197.60	176.71	29.41	0.00060
71.00	7,236.34	176.71	40.95	0.00090
96.00	9,784.76	176.71	55.37	0.00121
121.00	12,333.18	176.71	69.79	0.00151
151.00	15,391.28	176.71	87.10	0.00181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
152.00	15,725.56	177.71	88.49	0.00211
176.00	17,939.70	176.71	101.52	0.00241
204.00	20,793.93	176.71	117.67	0.00271
231.00	23,546.23	176.71	133.25	0.00301
256.00	26,094.65	176.71	147.67	0.00332
286.00	29,152.75	176.71	164.98	0.00362
287.00	31,274.14	176.71	176.98	0.00392
316.00	32,210.86	176.71	182.28	0.00422



รูปที่ ข.25 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

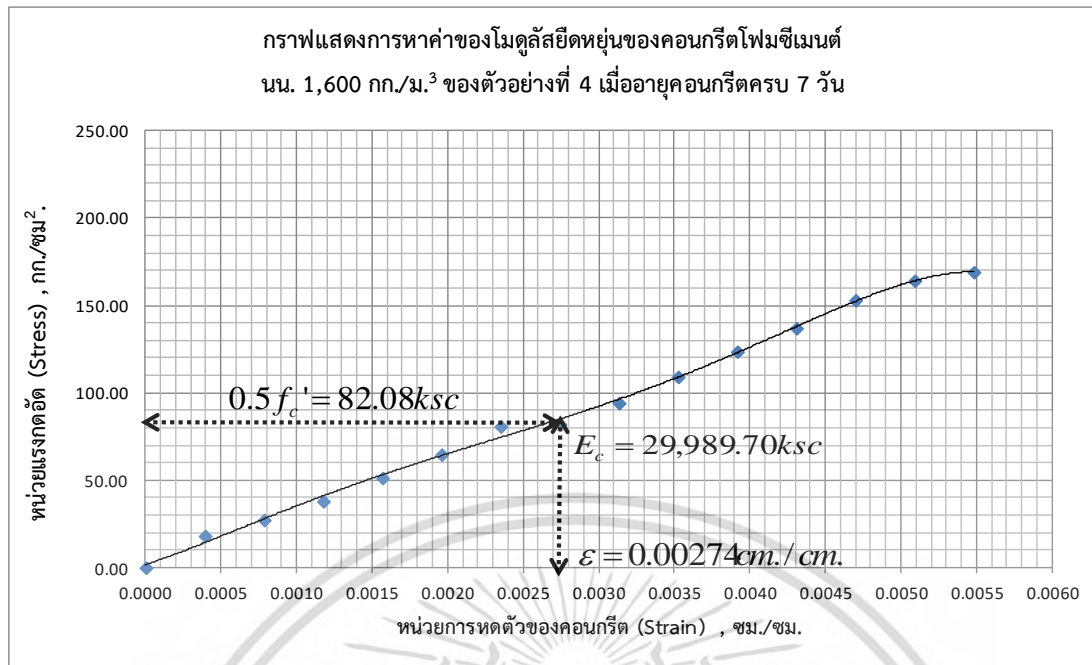
$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 41,993.41 \text{ กก./ซม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.32 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
31.53	3,213.71	176.71	18.19	0.00039
47.29	4,821.10	176.71	27.28	0.00078
65.85	6,712.16	176.71	37.98	0.00117
89.04	9,075.98	176.71	51.36	0.00157
112.22	11,439.79	176.71	64.74	0.00196
140.05	14,276.38	176.71	80.79	0.00235
143.09	14,586.44	177.71	82.08	0.00274
163.24	16,640.20	176.71	94.17	0.00313
189.21	19,287.67	176.71	109.15	0.00352
214.26	21,840.60	176.71	123.60	0.00391
237.45	24,204.42	176.71	136.97	0.00431
265.27	27,041.00	176.71	153.02	0.00470
284.58	29,008.71	176.71	164.16	0.00509
293.10	29,877.58	176.71	169.08	0.00548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



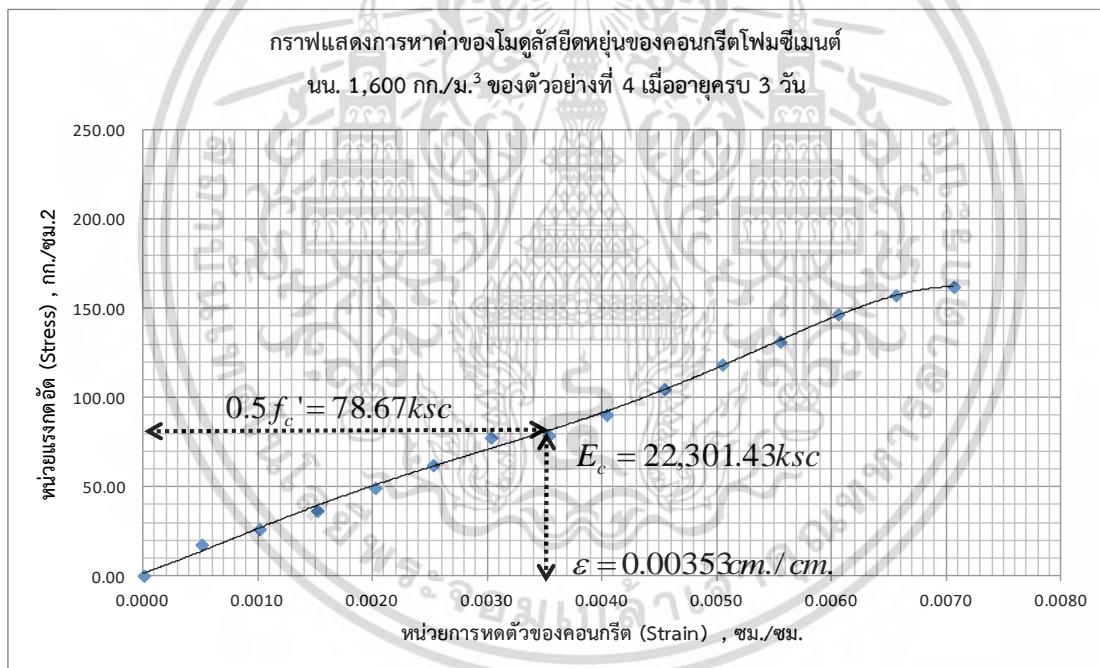
รูปที่ ข.26 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ข.33 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
30.22	3,080.19	176.71	17.43	0.00050
45.33	4,620.81	176.71	26.15	0.00101
63.11	6,433.30	176.71	36.41	0.00151
85.34	8,698.92	176.71	49.23	0.00202
107.56	10,964.53	176.71	62.05	0.00252
134.23	13,683.27	176.71	77.43	0.00303
137.15	13,980.45	177.71	78.67	0.00353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
156.46	15,948.88	176.71	90.25	0.00403
181.35	18,486.37	176.71	104.61	0.00454
205.35	20,933.23	176.71	118.46	0.00504
227.58	23,198.85	176.71	131.28	0.00555
254.25	25,917.58	176.71	146.67	0.00605
272.75	27,803.55	176.71	157.34	0.00656
280.92	28,636.32	176.71	162.05	0.00706



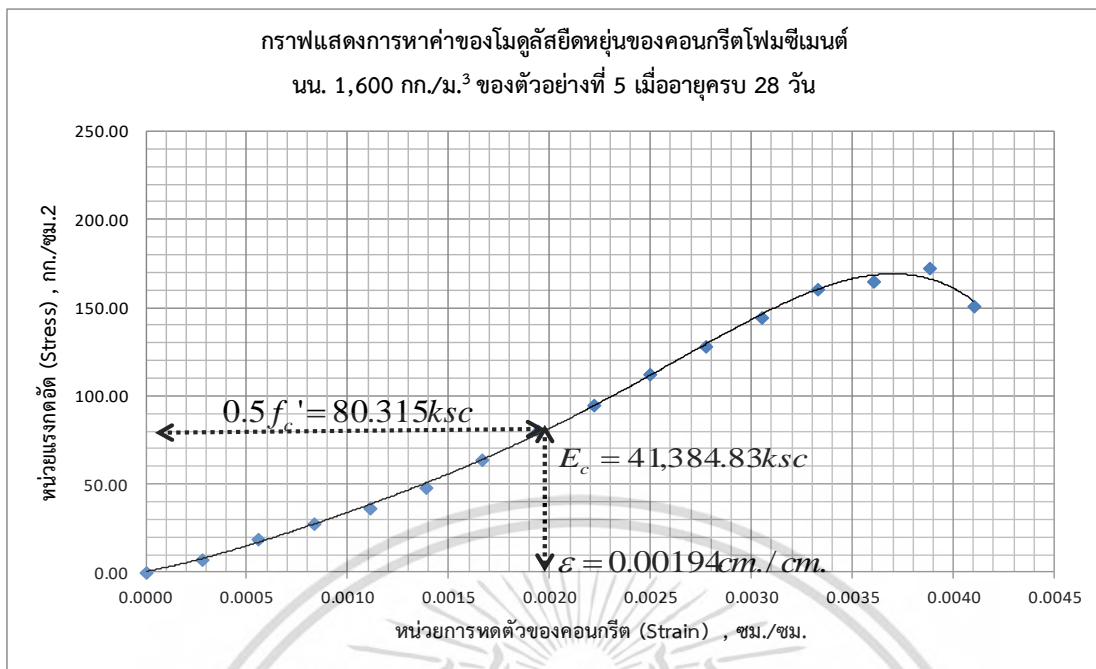
รูปที่ ข.27 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 4

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 160.63$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.34 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.00000
8.00	1,274.64	174.37	7.31	0.00028
33.00	3,299.27	174.37	18.92	0.00055
44.00	4,828.32	174.37	27.69	0.00083
63.00	6,357.37	174.37	36.46	0.00111
83.00	8,396.11	174.37	48.15	0.00139
110.00	11,148.40	174.37	63.94	0.00166
111.00	14,084.84	175.37	80.32	0.00194
162.00	16,551.05	174.37	94.92	0.00222
192.00	19,609.16	174.37	112.46	0.00249
219.00	22,361.45	174.37	128.24	0.00277
247.00	25,215.68	174.37	144.61	0.00305
248.00	28,169.68	175.37	160.63	0.00333
282.00	28,783.47	174.37	165.07	0.00360
312.00	30,098.01	174.37	172.61	0.00388
258.35	26,335.10	174.37	151.03	0.00410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.28 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

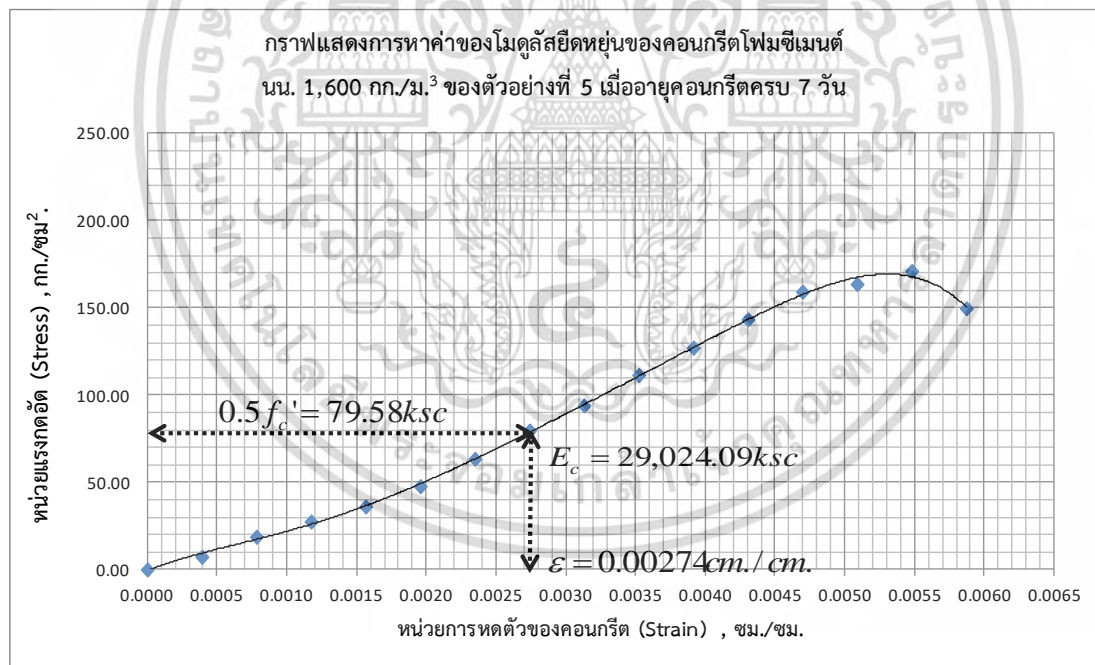
Initial Tangent Modulus Elastic = 41,384.83 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.35 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.00000
12.39	1,262.98	174.37	7.24	0.00039
32.07	3,269.07	174.37	18.75	0.00078
46.93	4,784.13	174.37	27.44	0.00117
61.80	6,299.19	174.37	36.13	0.00157
81.61	8,319.27	174.37	47.71	0.00196
108.36	11,046.38	174.37	63.35	0.00235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
136.91	13,955.94	175.37	79.58	0.00274
160.88	16,399.59	174.37	94.05	0.00313
190.61	19,429.70	174.37	111.43	0.00352
217.36	22,156.81	174.37	127.07	0.00391
245.10	24,984.92	174.37	143.29	0.00431
273.82	27,911.89	175.37	159.16	0.00470
279.78	28,520.06	174.37	163.56	0.00509
292.56	29,822.56	174.37	171.03	0.00548
255.98	26,094.10	174.37	149.65	0.00587



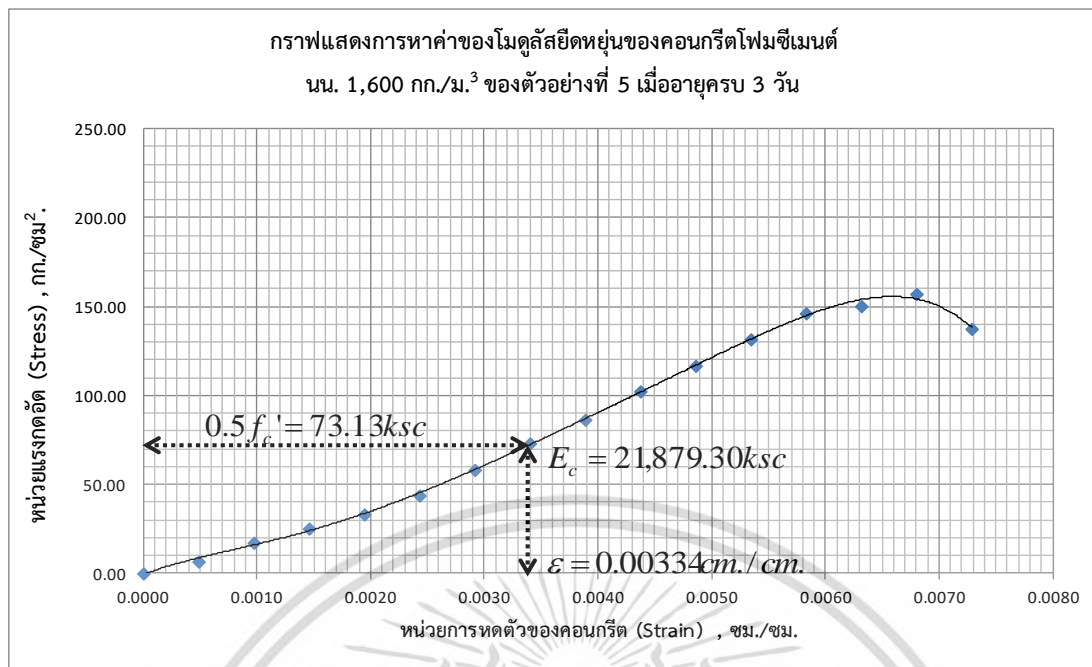
รูปที่ ข.29 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.36 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.00000
11.39	1,160.61	174.37	6.66	0.00049
29.47	3,004.11	174.37	17.23	0.00097
43.13	4,396.38	174.37	25.21	0.00146
56.79	5,788.64	174.37	33.20	0.00194
75.00	7,644.99	174.37	43.84	0.00243
99.58	10,151.06	174.37	58.22	0.00291
125.81	12,824.81	175.37	73.13	0.00340
147.84	15,070.39	174.37	86.43	0.00389
175.16	17,854.92	174.37	102.40	0.00437
199.74	20,360.99	174.37	116.77	0.00486
225.24	22,959.88	174.37	131.67	0.00534
251.62	25,649.62	175.37	146.26	0.00583
257.11	26,208.49	174.37	150.30	0.00631
268.85	27,405.43	174.37	157.17	0.00680
235.24	23,979.16	174.37	137.52	0.00729

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.30 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,600 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 5

- คอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³

ตารางที่ ข.37 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย
 น้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	14.82	29.60	172.50	9.06	38,135.28	185.01	54,769.97	1,774.79
2	14.87	29.80	173.66	9.15	37,802.46	180.43	55,687.70	1,767.66
3	15.00	30.10	176.71	9.27	37,252.89	172.86	54,313.84	1,742.59
4	15.20	30.00	181.46	9.46	37,696.73	178.97	55,806.56	1,737.04
5	14.86	30.20	174.37	9.28	37,968.57	182.72	55,640.06	1,763.02
เฉลี่ย						180.00	55,243.63	1,757.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.38 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.08	30.20	178.60	9.45	36,579.86	163.59	41,060.79	1,752.55
2	15.10	29.80	179.08	9.47	36,317.01	159.96	42,012.99	1,773.99
3	14.96	30.30	175.77	9.33	36,242.33	158.94	40,083.18	1,752.56
4	15.10	29.80	179.08	9.36	36,238.40	158.88	41,034.05	1,754.69
5	14.90	30.10	174.37	9.35	36,804.52	166.68	40,778.01	1,782.06
เฉลี่ย						161.61	40,993.80	1,763.17

ตารางที่ ข.39 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.08	30.20	178.60	9.48	36,240.89	158.92	31,232.82	1,756.81
2	15.10	30.00	179.08	9.39	35,530.06	149.12	30,835.21	1,747.84
3	15.04	30.20	177.66	9.44	35,616.28	150.31	30,373.75	1,760.02
4	15.15	29.70	180.27	9.41	35,472.78	148.33	30,792.86	1,758.34
5	14.86	30.10	173.43	9.31	35,873.89	153.86	31,158.96	1,783.24
เฉลี่ย						152.11	30,878.72	1,761.25

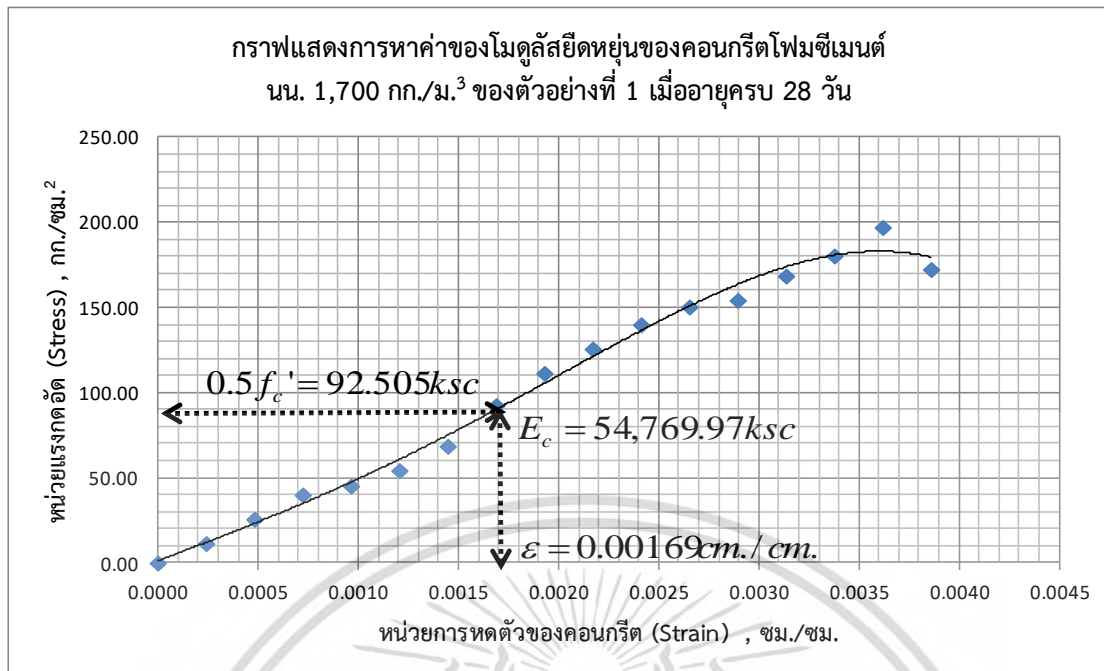
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 185.01$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.40 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน้ำน้หนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	172.50	0.00	0.00000
19.36	1,973.14	172.50	11.44	0.00024
43.53	4,436.95	172.50	25.72	0.00048
67.71	6,901.78	172.50	40.01	0.00072
76.53	7,801.57	172.50	45.23	0.00097
91.89	9,366.62	172.50	54.30	0.00121
116.07	11,831.45	172.50	68.59	0.00145
156.54	15,957.11	172.50	92.51	0.00169
188.60	19,224.92	172.50	111.45	0.00193
212.78	21,689.76	172.50	125.74	0.00217
236.95	24,153.57	172.50	140.02	0.00241
254.60	25,953.14	172.50	150.45	0.00266
261.13	26,618.40	172.50	154.31	0.00290
285.31	29,083.23	172.50	168.60	0.00314
305.33	31,124.18	172.50	180.43	0.00338
333.66	34,011.88	172.50	197.17	0.00362
291.84	29,749.35	172.50	172.46	0.00386

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.31 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

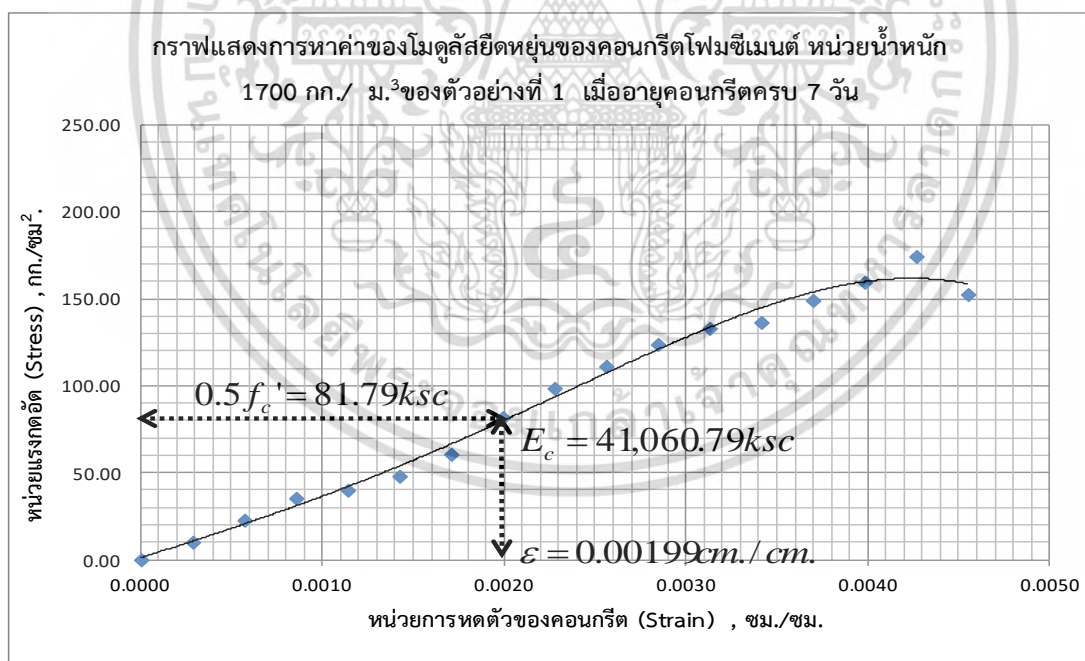
Initial Tangent Modulus Elastic = 54,769.97 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.41 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	172.50	0.00	0.00000
17.12	1,744.69	172.50	10.11	0.00028
38.49	3,923.25	172.50	22.74	0.00057
59.87	6,102.71	172.50	35.38	0.00085
67.67	6,898.32	172.50	39.99	0.00114
81.25	8,282.17	172.50	48.01	0.00142
102.63	10,461.63	172.50	60.65	0.00171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
138.42	14,109.64	172.50	81.79	0.00199
166.76	16,999.11	172.50	98.55	0.00227
188.14	19,178.57	172.50	111.18	0.00256
209.51	21,357.13	172.50	123.81	0.00284
225.12	22,948.35	172.50	133.03	0.00313
230.89	23,536.59	172.50	136.44	0.00341
252.27	25,716.05	172.50	149.08	0.00370
269.98	27,520.70	172.50	159.54	0.00398
295.03	30,074.07	172.50	174.34	0.00426
258.05	26,305.04	172.50	152.49	0.00455



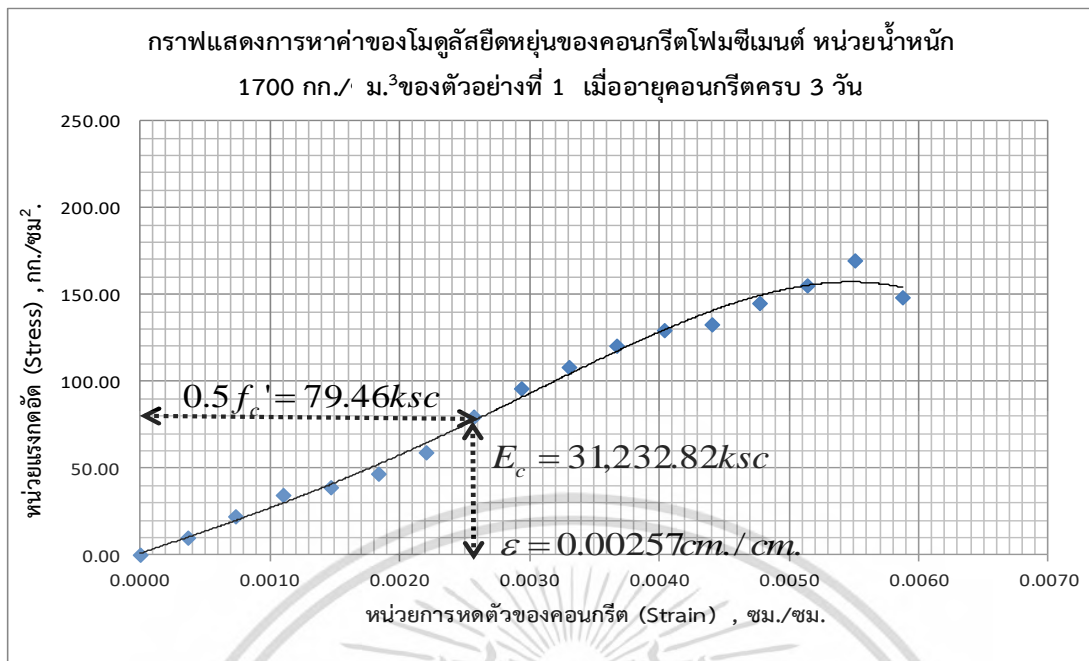
รูปที่ ข.32 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.42 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	172.50	0.00	0.00000
16.63	1,694.89	172.50	9.83	0.00037
37.39	3,811.26	172.50	22.09	0.00073
58.16	5,928.50	172.50	34.37	0.00110
65.74	6,701.40	172.50	38.85	0.00147
78.93	8,045.74	172.50	46.64	0.00184
99.70	10,162.98	172.50	58.92	0.00220
134.46	13,706.85	172.50	79.46	0.00257
162.00	16,513.84	172.50	95.73	0.00294
182.77	18,631.08	172.50	108.01	0.00330
203.53	20,747.45	172.50	120.28	0.00367
218.70	22,293.25	172.50	129.24	0.00404
224.30	22,864.69	172.50	132.55	0.00441
245.07	24,981.93	172.50	144.82	0.00477
262.27	26,735.06	172.50	154.99	0.00514
286.60	29,215.54	172.50	169.37	0.00551
250.69	25,554.11	172.50	148.14	0.00587

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.33 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 1

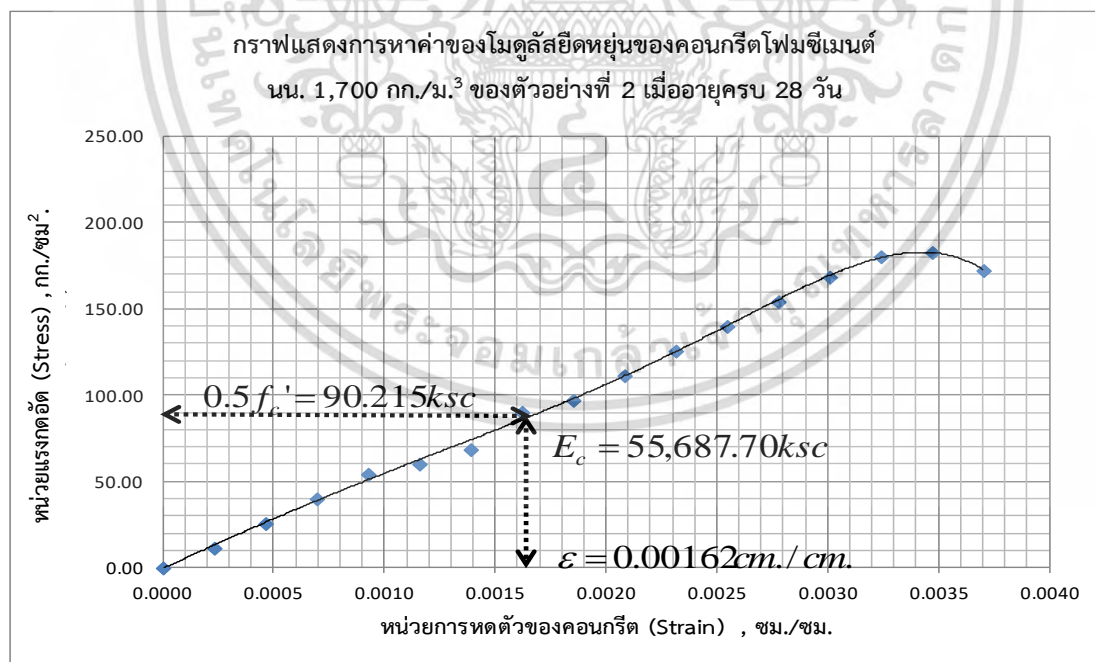
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 180.43$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.43 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	173.66	0.00	0.00000
19.48	1,986.11	173.66	11.44	0.00023
43.82	4,467.25	173.66	25.72	0.00046
68.17	6,949.41	173.66	40.02	0.00069
92.51	9,430.55	173.66	54.30	0.00093
102.58	10,456.94	173.66	60.22	0.00116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
116.85	11,911.69	173.66	68.59	0.00139
153.69	15,666.74	173.66	90.22	0.00162
165.53	16,873.98	173.66	97.17	0.00185
189.87	19,355.12	173.66	111.45	0.00208
214.21	21,836.26	173.66	125.74	0.00231
238.55	24,317.40	173.66	140.03	0.00255
262.89	26,798.55	173.66	154.32	0.00278
287.23	29,279.69	173.66	168.60	0.00301
307.38	31,333.47	173.66	180.43	0.00324
311.57	31,760.83	173.66	182.89	0.00347
293.74	29,942.46	173.66	172.42	0.00370



รูปที่ ข.34 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

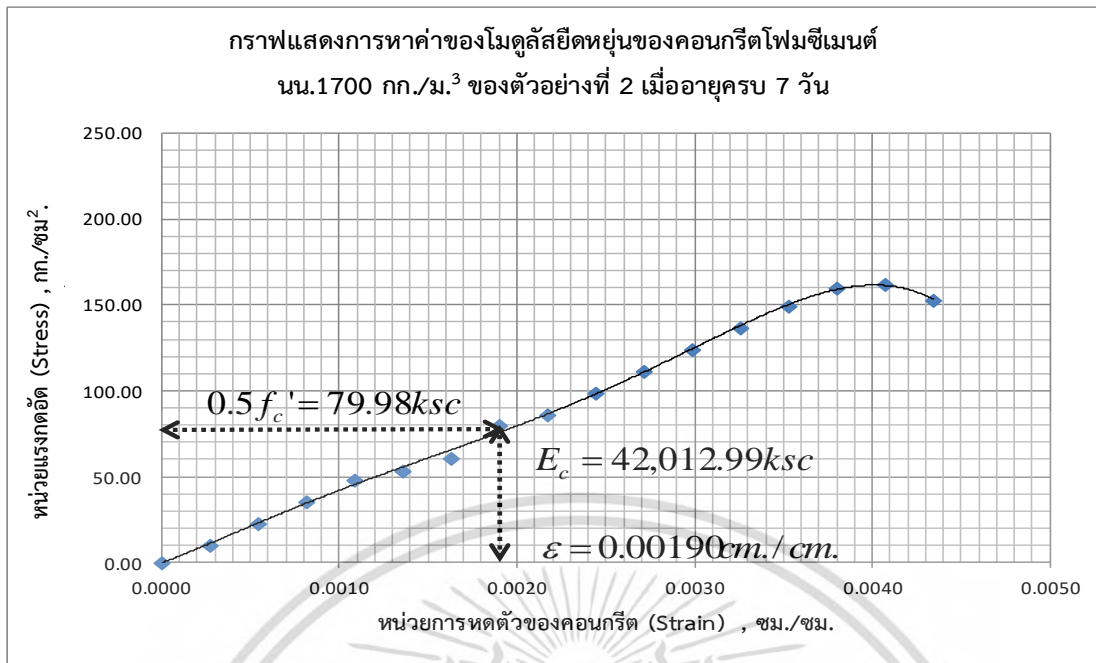
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 55,687.70 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.44 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	173.66	0.00	0.00000
17.27	1,760.78	173.66	10.14	0.00027
38.85	3,960.44	173.66	22.81	0.00054
60.44	6,160.99	173.66	35.48	0.00081
82.02	8,360.65	173.66	48.14	0.00109
90.94	9,270.58	173.66	53.38	0.00136
103.60	10,560.30	173.66	60.81	0.00163
136.25	13,889.33	173.66	79.98	0.00190
146.75	14,959.61	173.66	86.14	0.00217
168.33	17,159.26	173.66	98.81	0.00244
189.91	19,358.91	173.66	111.48	0.00271
211.49	21,558.56	173.66	124.14	0.00299
233.07	23,758.22	173.66	136.81	0.00326
254.65	25,957.87	173.66	149.48	0.00353
272.51	27,778.65	173.66	159.96	0.00380
276.23	28,157.52	173.66	162.14	0.00407
260.41	26,545.45	173.66	152.86	0.00434

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



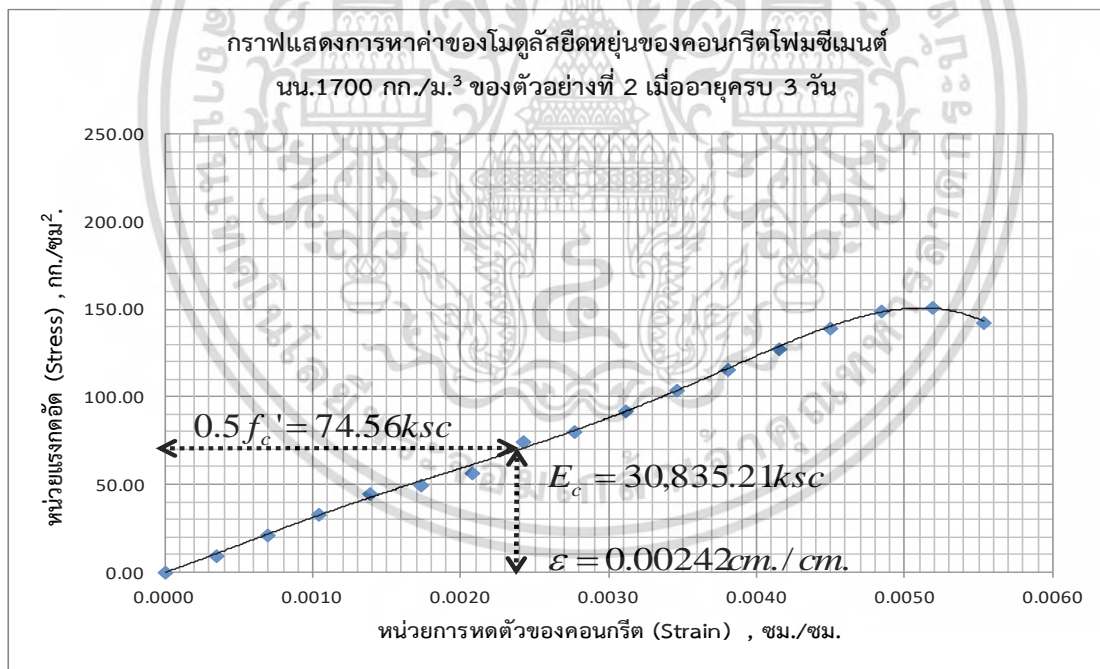
รูปที่ ข.35 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข.45 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	173.66	0.00	0.00000
16.10	1,641.46	173.66	9.45	0.00035
36.22	3,692.05	173.66	21.26	0.00069
56.34	5,743.48	173.66	33.07	0.00104
76.46	7,794.07	173.66	44.88	0.00138
84.78	8,642.35	173.66	49.77	0.00173
96.58	9,844.66	173.66	56.69	0.00207
127.02	12,948.09	173.66	74.56	0.00242

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
136.81	13,945.84	173.66	80.31	0.00277
156.92	15,996.43	173.66	92.11	0.00311
177.04	18,047.02	173.66	103.92	0.00346
197.16	20,097.61	173.66	115.73	0.00380
217.27	22,148.20	173.66	127.54	0.00415
237.39	24,198.79	173.66	139.35	0.00449
254.04	25,896.18	173.66	149.12	0.00484
257.51	26,249.38	173.66	151.15	0.00519
242.76	24,746.55	173.66	142.50	0.00553



รูปที่ ข.36 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 2

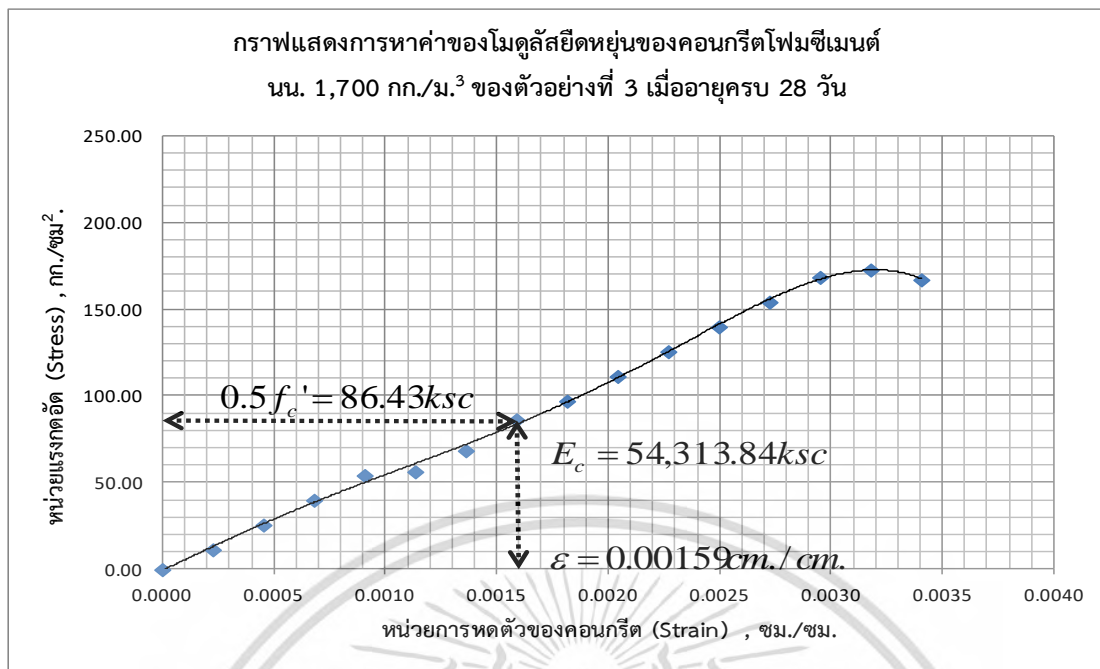
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($fc' \approx 172.86$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.46 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
19.93	2,021.25	176.71	11.44	0.00023
44.84	4,546.23	176.71	25.73	0.00045
69.74	7,071.20	176.71	40.02	0.00068
94.64	9,596.18	176.71	54.30	0.00091
98.34	9,971.75	176.71	56.43	0.00114
119.53	12,120.13	176.71	68.59	0.00136
150.63	15,273.05	176.71	86.43	0.00159
169.34	17,170.08	176.71	97.17	0.00182
194.24	19,695.06	176.71	111.45	0.00204
219.14	22,220.03	176.71	125.74	0.00227
244.04	24,745.00	176.71	140.03	0.00250
268.93	27,268.96	176.71	154.31	0.00273
293.83	29,793.93	176.71	168.60	0.00295
301.25	30,546.09	176.71	172.86	0.00318
291.35	29,542.38	176.71	167.18	0.00341

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.37 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

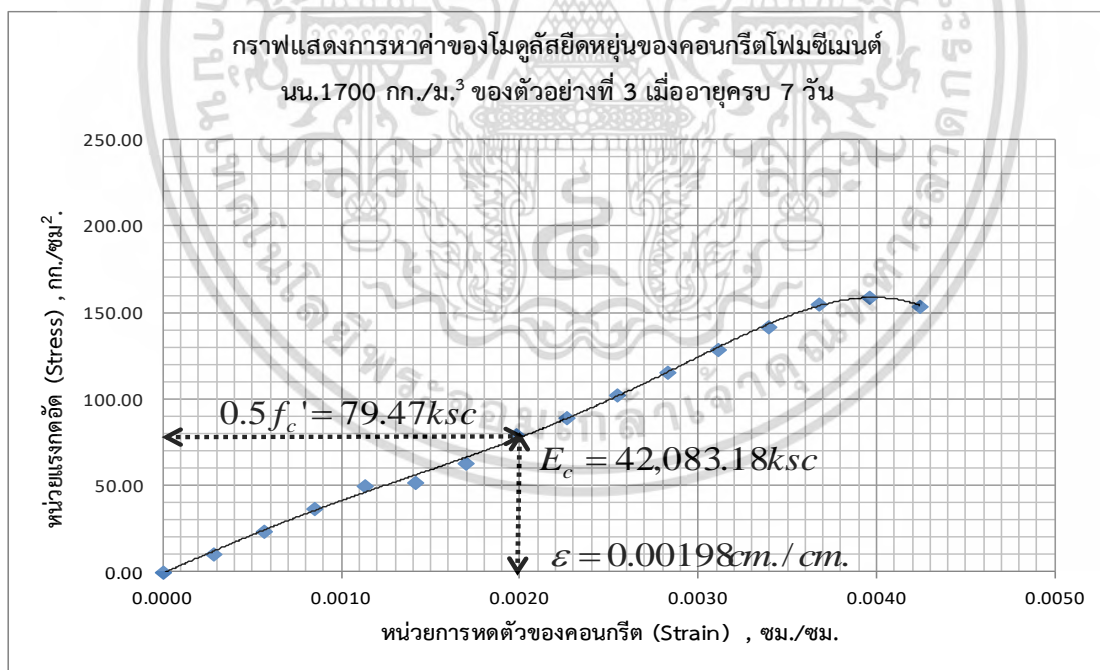
Initial Tangent Modulus Elastic = 54,313.84 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.47 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
18.23	1,858.49	176.71	10.52	0.00028
41.01	4,180.13	176.71	23.66	0.00057
63.78	6,501.78	176.71	36.79	0.00085
86.56	8,823.42	176.71	49.93	0.00113
89.95	9,168.74	176.71	51.89	0.00141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
109.32	11,144.13	176.71	63.06	0.00170
137.76	14,043.14	176.71	79.47	0.00198
154.87	15,787.42	176.71	89.34	0.00226
177.65	18,109.06	176.71	102.48	0.00255
200.43	20,430.70	176.71	115.62	0.00283
223.20	22,752.35	176.71	128.76	0.00311
245.97	25,073.06	176.71	141.89	0.00339
268.74	27,394.70	176.71	155.03	0.00368
275.53	28,086.29	176.71	158.94	0.00396
266.47	27,163.40	176.71	153.72	0.00424

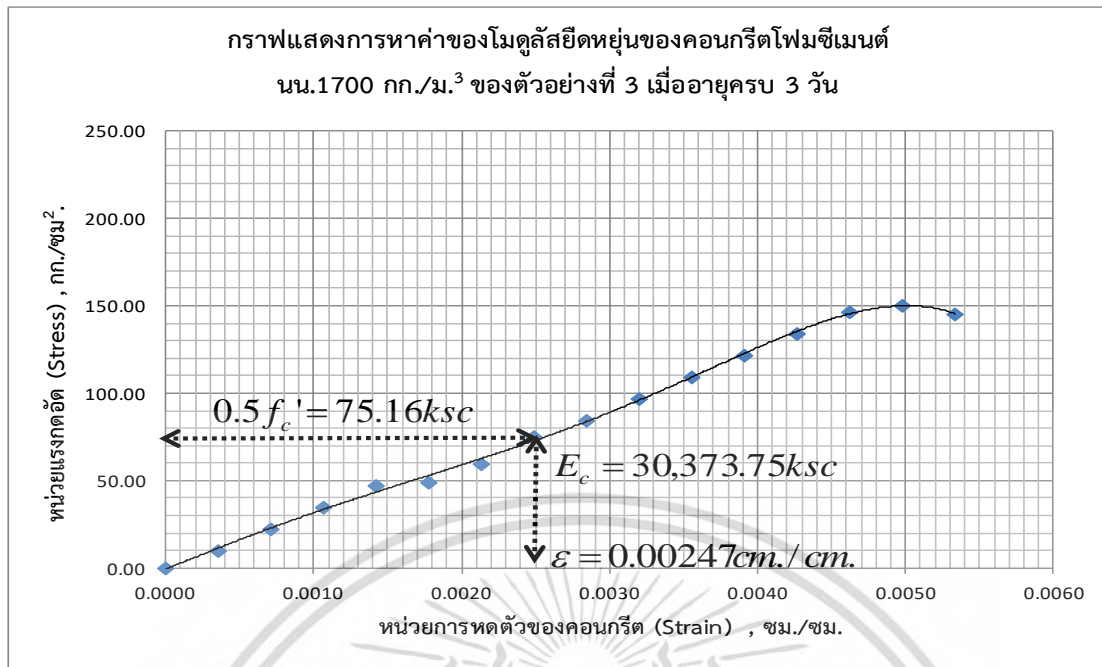


รูปที่ ข.38 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ ข.48 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
17.24	1,757.58	176.71	9.95	0.00036
38.78	3,953.16	176.71	22.37	0.00071
60.32	6,148.75	176.71	34.80	0.00107
81.86	8,344.33	176.71	47.22	0.00142
85.06	8,670.91	176.71	49.07	0.00178
103.39	10,539.03	176.71	59.64	0.00213
130.28	13,280.64	176.71	75.16	0.00249
146.47	14,930.20	176.71	84.49	0.00284
168.00	17,125.79	176.71	96.91	0.00320
189.54	19,321.37	176.71	109.34	0.00356
211.08	21,516.96	176.71	121.76	0.00391
232.61	23,711.66	176.71	134.18	0.00427
254.15	25,907.24	176.71	146.61	0.00462
260.57	26,561.28	176.71	150.31	0.00498
252.00	25,688.50	176.71	145.37	0.00533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.39 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 3

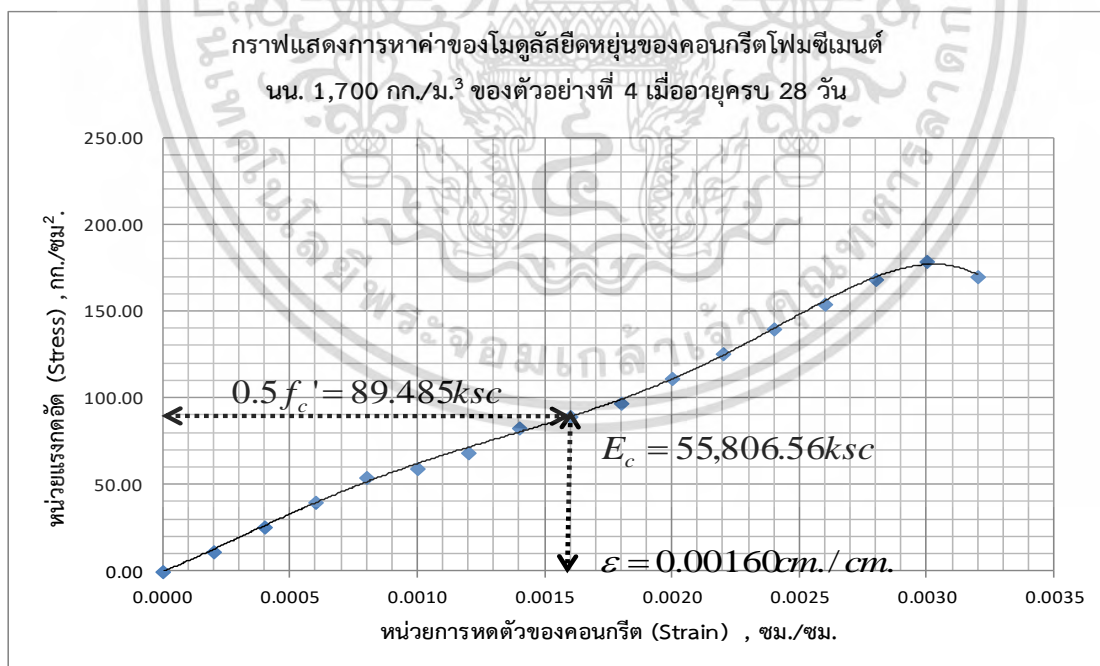
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 178.97$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.49 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	181.46	0.00	0.00000
20.36	2,075.70	181.46	11.44	0.00020
45.79	4,667.96	181.46	25.72	0.00040
71.22	7,260.21	181.46	40.01	0.00060
96.66	9,853.48	181.46	54.30	0.00080
105.89	10,794.15	181.46	59.49	0.00100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
122.09	12,445.73	181.46	68.59	0.00120
147.52	15,037.99	181.46	82.87	0.00140
159.29	16,237.95	181.46	89.49	0.00160
172.95	17,630.24	181.46	97.16	0.00180
198.39	20,223.51	181.46	111.45	0.00200
223.82	22,815.76	181.46	125.73	0.00220
249.25	25,408.02	181.46	140.02	0.00240
274.69	28,001.29	181.46	154.31	0.00260
300.12	30,593.54	181.46	168.60	0.00280
318.59	32,475.90	181.46	178.97	0.00300
302.92	30,879.05	181.46	170.17	0.00320



รูปที่ ข.40 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 $1,700 \text{ กก./ม.}^3$ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

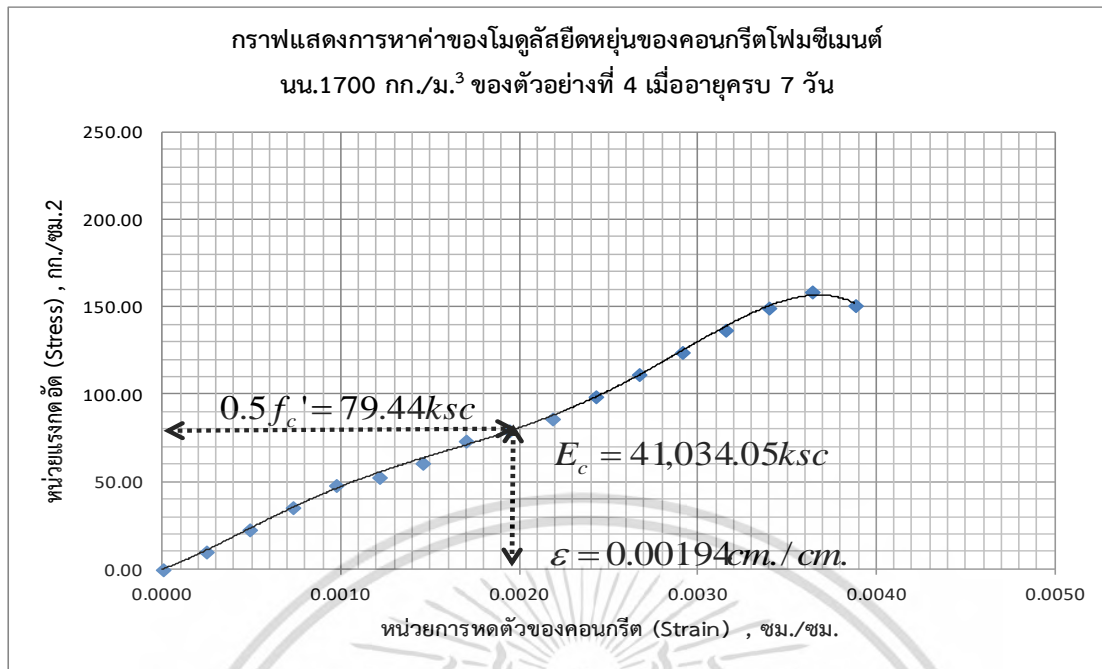
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 55,806.56 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.50 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	181.46	0.00	0.00000
18.08	1,842.70	181.46	10.15	0.00024
40.65	4,143.96	181.46	22.84	0.00049
63.23	6,445.23	181.46	35.52	0.00073
85.81	8,747.39	181.46	48.21	0.00097
94.00	9,582.47	181.46	52.81	0.00121
108.39	11,048.66	181.46	60.89	0.00146
130.96	13,349.92	181.46	73.57	0.00170
141.41	14,415.18	181.46	79.44	0.00194
153.54	15,651.18	181.46	86.25	0.00218
176.12	17,953.35	181.46	98.94	0.00243
198.70	20,254.62	181.46	111.62	0.00267
221.27	22,555.88	181.46	124.30	0.00291
243.86	24,858.05	181.46	136.99	0.00315
266.43	27,159.31	181.46	149.67	0.00340
282.83	28,830.36	181.46	158.88	0.00364
268.92	27,412.77	181.46	151.07	0.00388

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



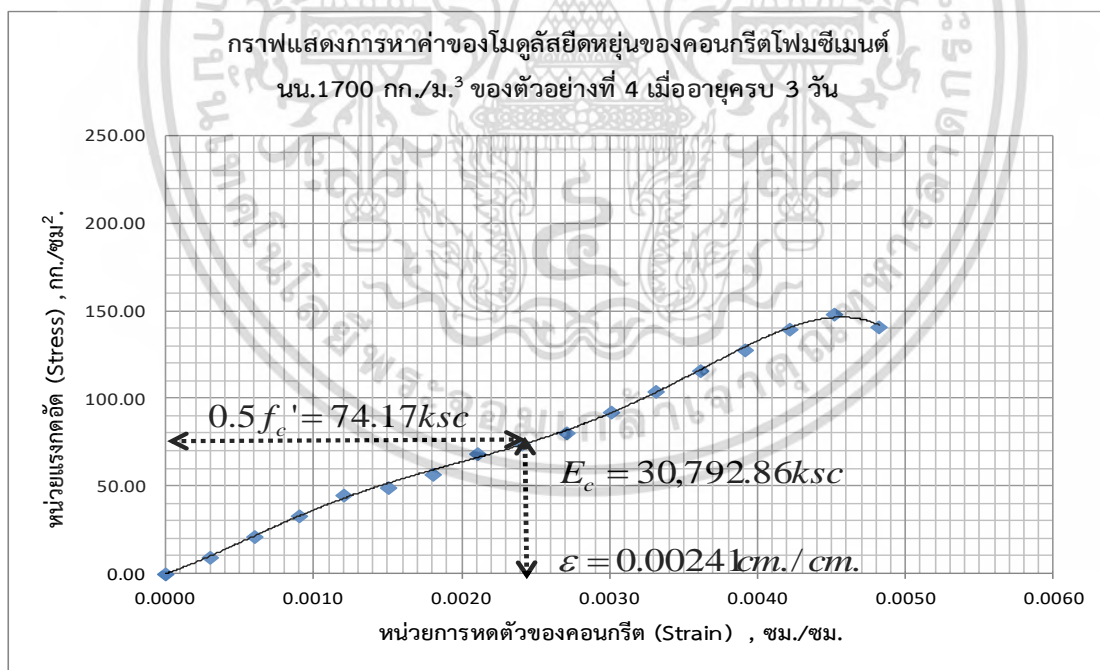
รูปที่ ข.41 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ข.51 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	181.46	0.00	0.00000
16.88	1,720.34	181.46	9.48	0.00030
37.95	3,868.80	181.46	21.32	0.00060
59.03	6,017.26	181.46	33.16	0.00090
80.11	8,166.56	181.46	45.00	0.00121
87.76	8,946.18	181.46	49.30	0.00151
101.19	10,315.02	181.46	56.84	0.00181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
122.27	12,463.48	181.46	68.68	0.00211
132.02	13,458.00	181.46	74.17	0.00241
143.34	14,611.93	181.46	80.52	0.00271
164.43	16,761.24	181.46	92.37	0.00301
185.50	18,909.69	181.46	104.21	0.00331
206.58	21,058.15	181.46	116.05	0.00362
227.66	23,207.46	181.46	127.89	0.00392
248.74	25,355.91	181.46	139.73	0.00422
264.05	26,916.01	181.46	148.33	0.00452
251.06	25,592.54	181.46	141.04	0.00482



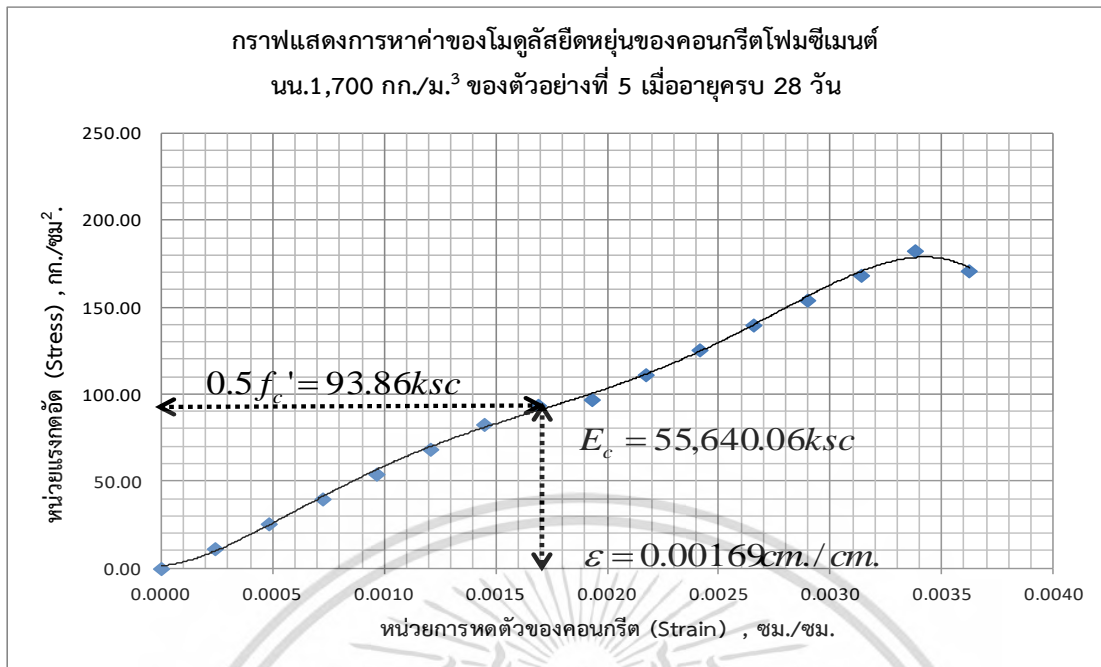
รูปที่ ข.42 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 4

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 182.72$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.52 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	173.43	0.00	0.00000
83.00	1,983.60	173.43	11.44	0.00024
110.00	4,461.68	173.43	25.73	0.00048
111.00	6,939.77	173.43	40.01	0.00072
162.00	9,416.83	173.43	54.30	0.00097
192.00	11,894.91	173.43	68.59	0.00121
219.00	14,373.00	173.43	82.87	0.00145
159.69	16,278.14	173.43	93.86	0.00169
247.00	16,851.08	173.43	97.16	0.00193
248.00	19,329.16	173.43	111.45	0.00217
282.00	21,806.23	173.43	125.74	0.00241
312.00	24,284.31	173.43	140.02	0.00266
262.54	26,762.40	173.43	154.31	0.00290
286.85	29,240.48	173.43	168.60	0.00314
310.87	31,689.13	173.43	182.72	0.00338
291.24	29,687.75	173.43	171.18	0.00362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.43 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

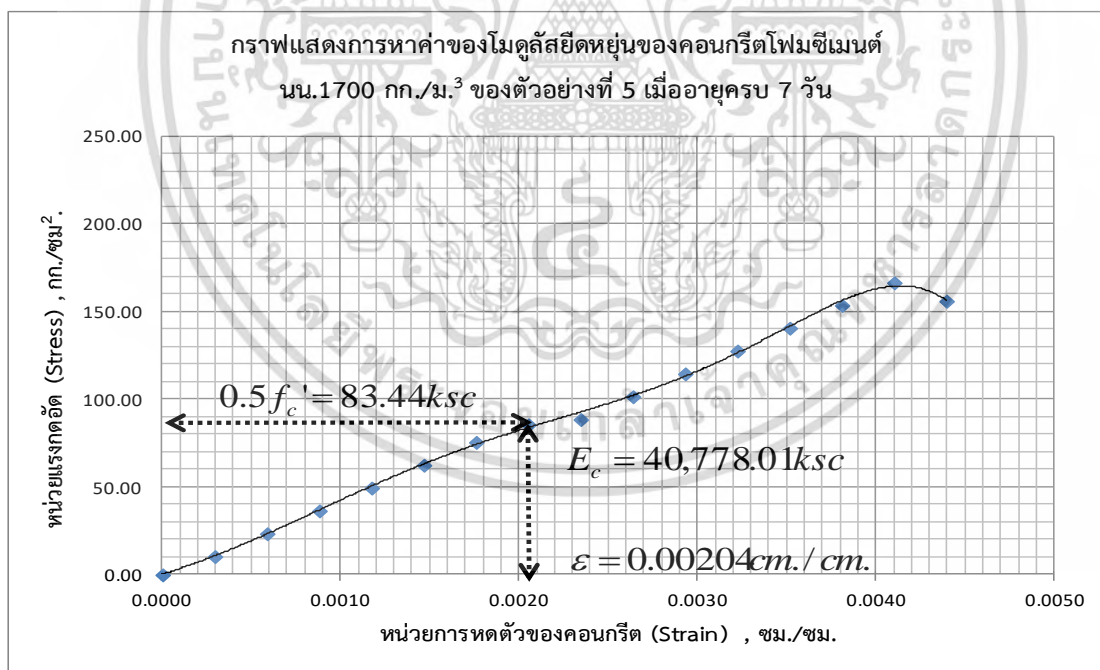
Initial Tangent Modulus Elastic = 55,640.06 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.53 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	173.43	0.00	0.00000
17.75	1,809.47	173.43	10.43	0.00029
39.93	4,070.02	173.43	23.47	0.00059
62.10	6,330.56	173.43	36.50	0.00088
84.27	8,590.18	173.43	49.53	0.00117
106.45	10,850.72	173.43	62.57	0.00146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
128.62	13,111.27	173.43	75.60	0.00176
145.67	14,849.17	173.43	85.62	0.00205
150.80	15,371.82	173.43	88.63	0.00234
172.97	17,632.36	173.43	101.67	0.00264
195.14	19,891.98	173.43	114.70	0.00293
217.32	22,152.52	173.43	127.73	0.00322
239.49	24,413.07	173.43	140.77	0.00351
261.67	26,673.62	173.43	153.80	0.00381
283.58	28,907.31	173.43	166.68	0.00410
265.67	27,081.62	173.43	156.15	0.00439

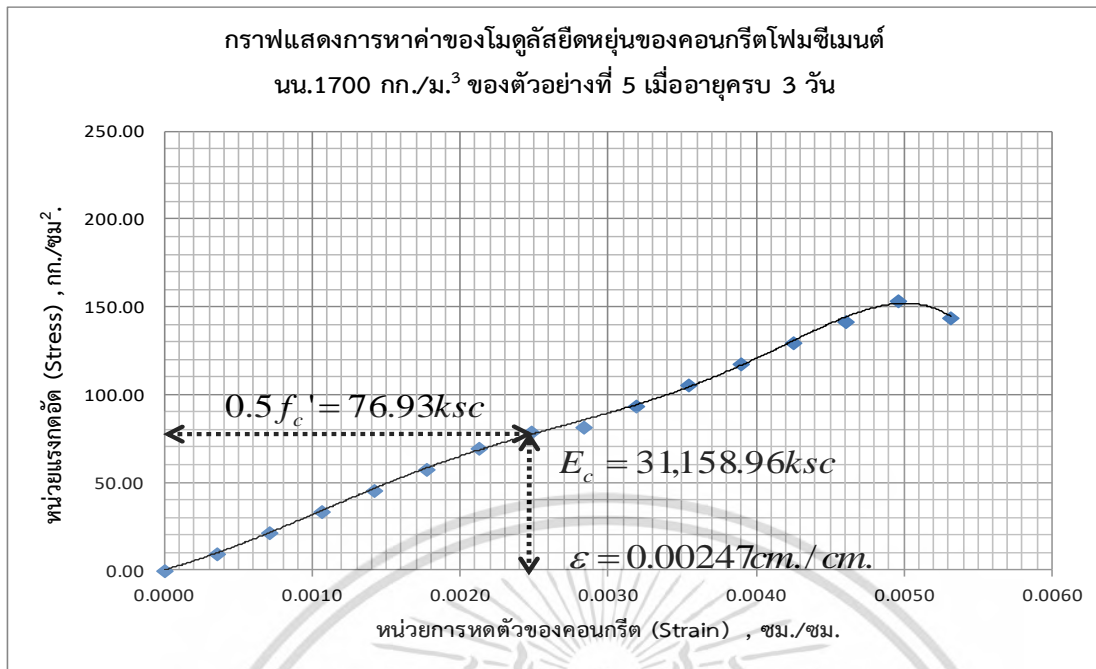


รูปที่ ข.44 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ ข.54 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,700 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	173.43	0.00	0.00000
16.39	1,670.30	173.43	9.63	0.00035
36.86	3,756.97	173.43	21.66	0.00071
57.33	5,843.65	173.43	33.69	0.00106
77.79	7,929.47	173.43	45.72	0.00142
98.26	10,016.15	173.43	57.75	0.00177
118.73	12,102.83	173.43	69.79	0.00213
134.47	13,707.06	173.43	79.04	0.00248
139.20	14,189.51	173.43	81.82	0.00283
159.67	16,276.19	173.43	93.85	0.00319
180.13	18,362.01	173.43	105.88	0.00354
200.60	20,448.69	173.43	117.91	0.00390
221.07	22,535.37	173.43	129.94	0.00425
241.54	24,622.05	173.43	141.97	0.00461
261.77	26,683.94	173.43	153.86	0.00496
245.24	24,998.67	173.43	144.14	0.00531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.45 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,700 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 5

- คอนกรีตโพมซีเมนต์ หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³

ตารางที่ ข.55 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพมซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย
น้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.07	30.10	178.37	9.95	39,166.65	186.22	72,199.00	1,854.02
2	15.19	30.10	181.22	10.08	38,779.85	181.15	71,883.45	1,848.31
3	15.17	30.40	180.74	10.07	38,973.26	183.68	71,767.78	1,832.71
4	14.96	29.80	175.77	9.81	39,125.90	185.68	72,476.24	1,871.88
5	15.06	30.00	178.13	9.99	39,014.39	184.22	72,074.27	1,868.47
เฉลี่ย						184.19	72,080.15	1,855.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.56 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.04	29.70	177.66	9.81	37,493.12	164.27	41,126.00	1,859.01
2	15.09	29.80	178.84	9.98	37,245.02	161.02	42,054.59	1,872.60
3	14.97	30.00	176.01	9.77	37,165.72	159.98	40,701.24	1,850.48
4	14.95	30.00	175.54	9.71	37,415.76	163.26	41,409.90	1,843.09
5	15.01	30.20	176.95	9.89	37,382.47	162.82	40,860.55	1,850.15
เฉลี่ย						162.27	41,230.46	1,855.07

ตารางที่ ข.57 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	14.88	30.00	173.90	9.82	37,007.50	157.90	31,282.41	1,882.71
2	15.11	30.00	179.32	9.98	36,873.71	156.15	30,865.75	1,855.20
3	15.08	30.20	178.60	10.11	37,038.52	158.31	30,842.09	1,873.61
4	15.06	30.00	178.13	9.91	37,325.33	162.07	31,074.91	1,853.69
5	15.09	29.80	178.84	9.99	36,965.60	157.36	31,222.04	1,873.92
เฉลี่ย						158.36	31,057.44	1,867.83

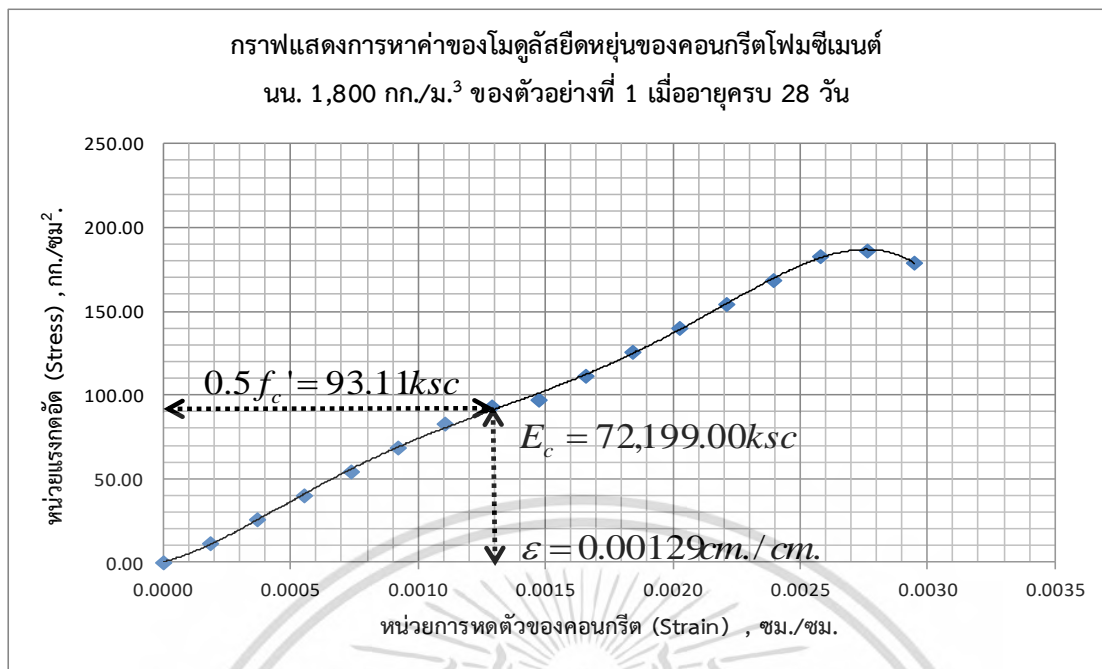
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 186.22$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.58 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.37	0.00	0.00000
20.01	2,039.90	178.37	11.44	0.00018
45.01	4,588.32	178.37	25.72	0.00037
70.01	7,136.74	178.37	40.01	0.00055
95.01	9,685.16	178.37	54.30	0.00074
120.01	12,233.58	178.37	68.59	0.00092
145.01	14,782.00	178.37	82.87	0.00111
162.92	16,608.03	178.37	93.11	0.00129
170.01	17,330.42	178.37	97.16	0.00147
195.01	19,878.84	178.37	111.45	0.00166
220.01	22,427.26	178.37	125.73	0.00184
245.01	24,975.68	178.37	140.02	0.00203
270.01	27,524.10	178.37	154.31	0.00221
295.01	30,072.52	178.37	168.60	0.00239
320.01	32,620.94	178.37	182.88	0.00258
325.85	33,216.06	178.37	186.22	0.00276
313.22	31,928.23	178.37	179.00	0.00295

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.46 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 72,199.00 กก./ซม.²

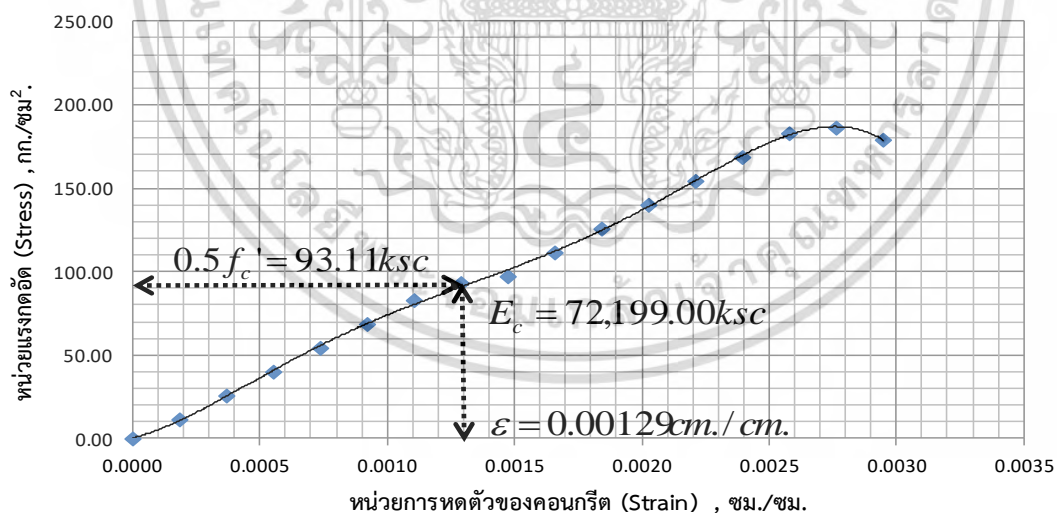
ตารางที่ ข.59 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.37	0.00	0.00000
17.65	1,799.45	178.37	10.09	0.00029
39.71	4,047.49	178.37	22.69	0.00057
61.76	6,295.52	178.37	35.29	0.00086
83.81	8,543.56	178.37	47.90	0.00114
105.87	10,791.59	178.37	60.50	0.00143
127.92	13,039.63	178.37	73.10	0.00171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
143.72	14,650.42	178.37	82.13	0.00200
149.97	15,287.66	178.37	85.71	0.00229
172.02	17,535.69	178.37	98.31	0.00257
194.08	19,783.73	178.37	110.91	0.00286
216.13	22,031.76	178.37	123.52	0.00314
238.18	24,279.80	178.37	136.12	0.00343
260.24	26,527.83	178.37	148.72	0.00371
282.29	28,775.87	178.37	161.33	0.00400
287.44	29,300.84	178.37	164.27	0.00429
276.30	28,164.81	178.37	157.90	0.00457

กราฟแสดงการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์
นน. 1,800 กก./ม.³ ของตัวอย่างที่ 1 เมื่ออายุครบ 28 วัน



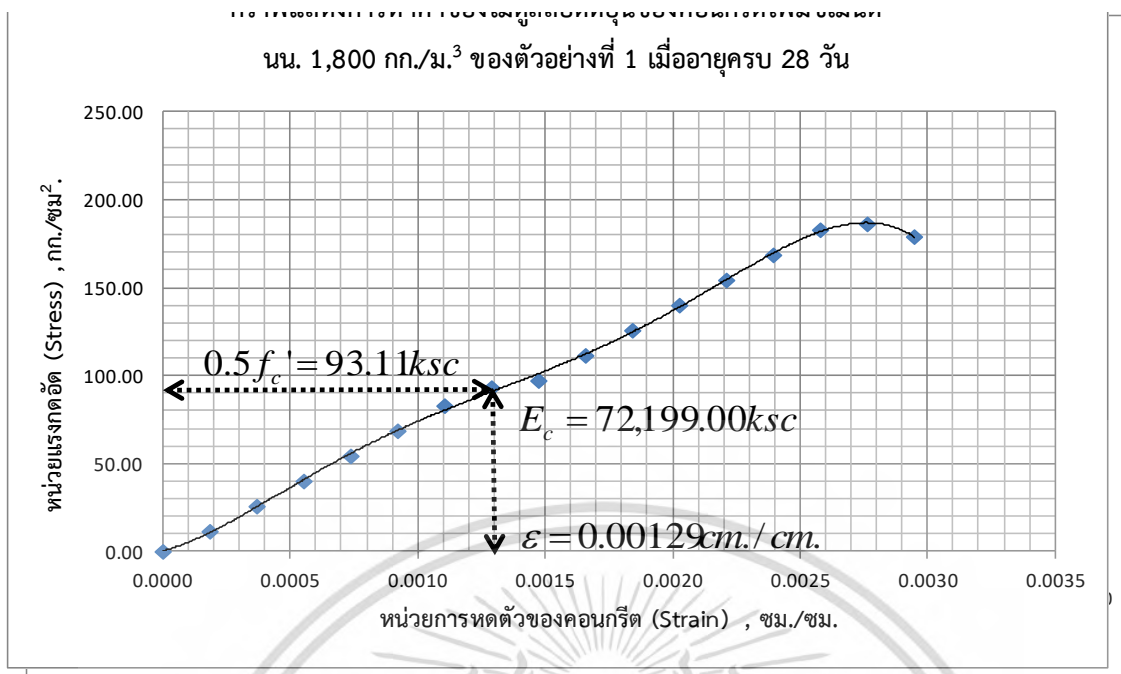
รูปที่ ข.47 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.60 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.37	0.00	0.00000
16.97	1,729.68	178.37	9.70	0.00036
38.17	3,890.54	178.37	21.81	0.00072
59.36	6,051.40	178.37	33.93	0.00108
80.56	8,212.26	178.37	46.04	0.00144
101.76	10,373.12	178.37	58.16	0.00180
122.96	12,533.98	178.37	70.27	0.00216
138.15	14,082.31	178.37	78.95	0.00252
144.16	14,694.84	178.37	82.38	0.00288
165.35	16,855.70	178.37	94.50	0.00324
186.55	19,016.56	178.37	106.61	0.00360
207.75	21,177.42	178.37	118.73	0.00396
228.95	23,338.28	178.37	130.84	0.00432
250.15	25,499.15	178.37	142.96	0.00468
271.34	27,660.01	178.37	155.07	0.00504
276.29	28,164.62	178.37	157.90	0.00540
265.58	27,072.64	178.37	151.78	0.00576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



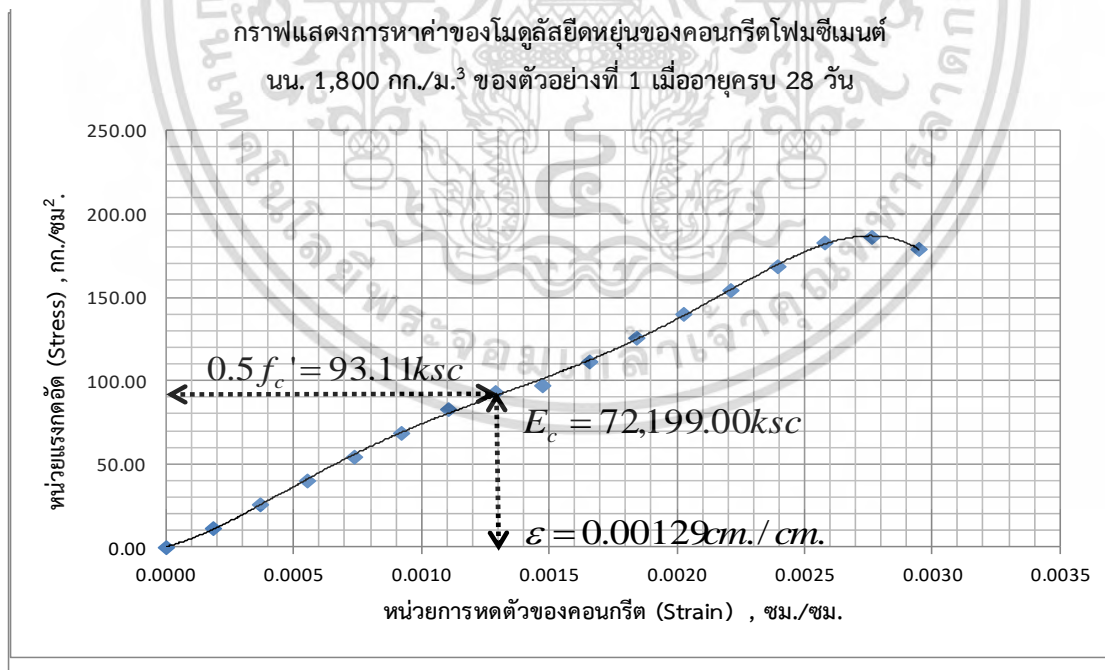
รูปที่ ข.48 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 1

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 181.15$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.61 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	181.22	0.00	0.00000
20.33	2,072.77	181.22	11.44	0.00018
45.73	4,661.97	181.22	25.73	0.00036
71.13	7,251.16	181.22	40.01	0.00054
96.53	9,840.36	181.22	54.30	0.00072
121.93	12,429.55	181.22	68.59	0.00090

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมีซีเมนต์ อายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
147.33	15,018.75	181.22	82.88	0.00108
161.02	16,414.00	181.22	90.58	0.00126
172.73	17,607.94	181.22	97.16	0.00144
198.13	20,197.14	181.22	111.45	0.00162
223.53	22,786.33	181.22	125.74	0.00180
248.93	25,375.53	181.22	140.03	0.00198
274.33	27,964.72	181.22	154.31	0.00216
299.73	30,553.92	181.22	168.60	0.00234
322.04	32,828.00	181.22	181.15	0.00252
325.12	33,142.09	181.22	182.88	0.00270
306.52	31,245.95	181.22	172.42	0.00288



รูปที่ ข.49 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

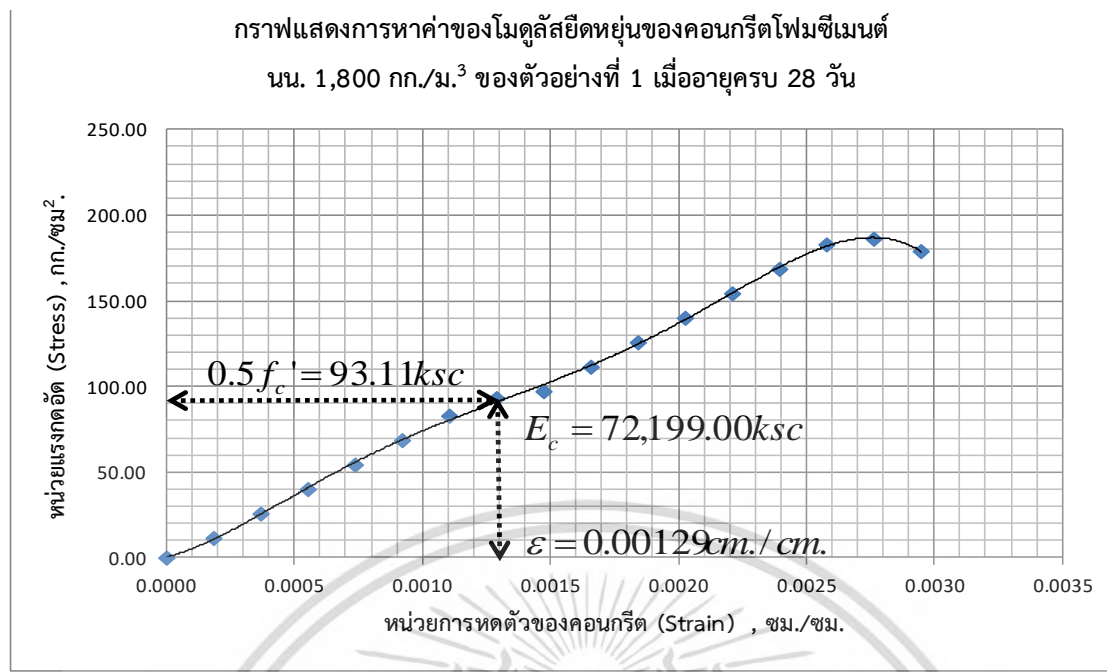
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 71,883.45 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.62 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	181.22	0.00	0.00000
18.07	1,842.44	181.22	10.17	0.00027
40.65	4,143.91	181.22	22.87	0.00055
63.23	6,445.39	181.22	35.57	0.00082
85.81	8,746.86	181.22	48.27	0.00109
108.38	11,048.34	181.22	60.97	0.00136
130.96	13,349.81	181.22	73.67	0.00164
143.13	14,590.02	181.22	80.51	0.00191
153.54	15,651.29	181.22	86.37	0.00218
176.12	17,952.76	181.22	99.07	0.00246
198.69	20,254.24	181.22	111.77	0.00273
221.27	22,555.71	181.22	124.47	0.00300
243.85	24,857.19	181.22	137.17	0.00327
266.43	27,158.66	181.22	149.87	0.00355
286.26	29,180.04	181.22	161.02	0.00382
288.99	29,459.23	181.22	162.56	0.00409
272.46	27,773.80	181.22	153.26	0.00437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



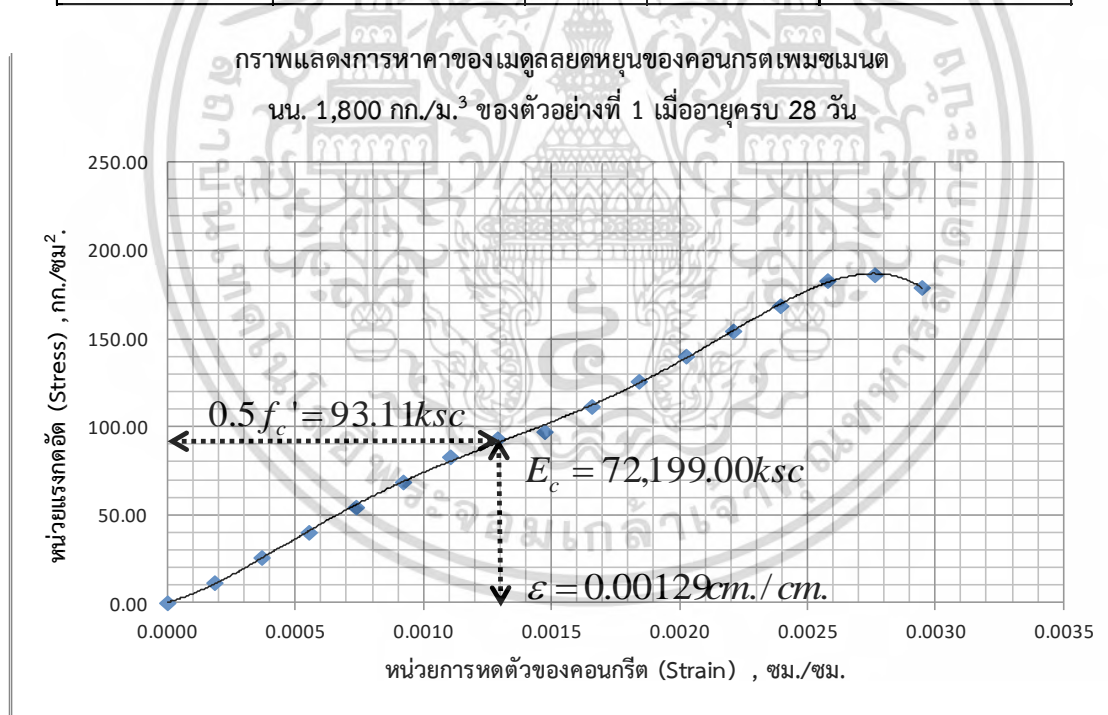
รูปที่ ข.50 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข.63 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	181.22	0.00	0.00000
17.53	1,786.72	181.22	9.86	0.00036
39.42	4,018.58	181.22	22.18	0.00072
61.32	6,250.45	181.22	34.49	0.00108
83.21	8,482.32	181.22	46.81	0.00145
105.11	10,714.19	181.22	59.12	0.00181
127.00	12,946.05	181.22	71.44	0.00217
138.80	14,148.75	181.22	78.07	0.00253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
148.90	15,177.92	181.22	83.75	0.00289
170.79	17,409.79	181.22	96.07	0.00325
192.68	19,641.65	181.22	108.39	0.00361
214.58	21,873.52	181.22	120.70	0.00398
236.47	24,105.39	181.22	133.02	0.00434
258.37	26,337.26	181.22	145.33	0.00470
277.60	28,297.50	181.22	156.15	0.00506
280.25	28,568.24	181.22	157.64	0.00542
264.22	26,933.79	181.22	148.62	0.00578

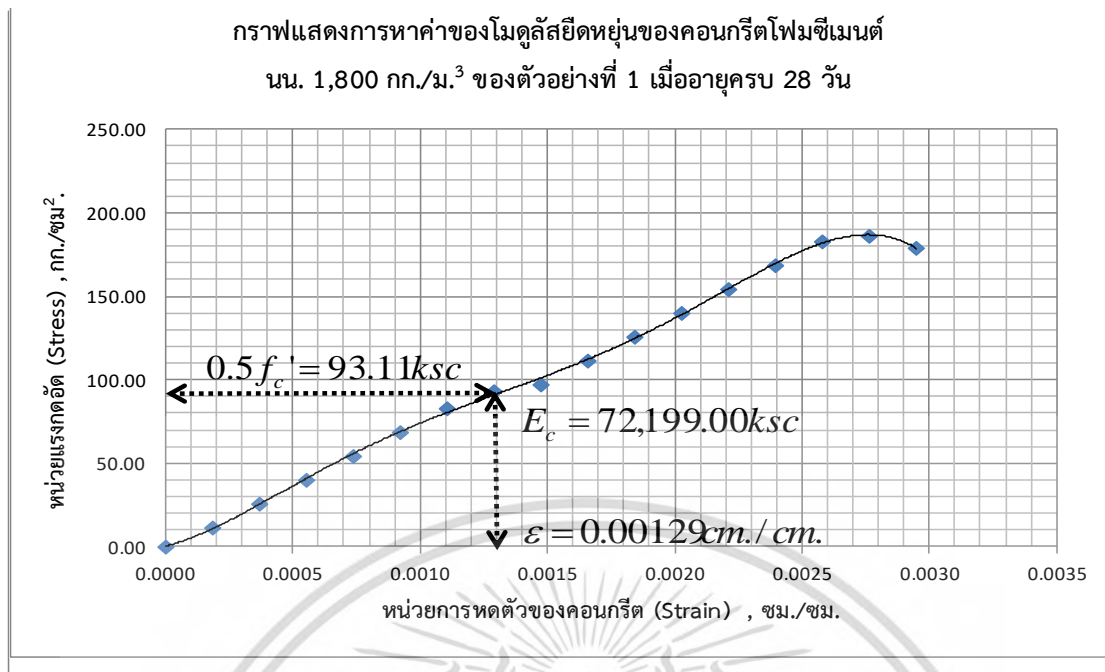


รูปที่ ข.51 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 2

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($fc' \approx 183.68$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.64 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	180.74	0.00	0.00000
20.38	2,066.92	180.74	11.44	0.00018
45.86	4,649.99	180.74	25.73	0.00037
71.32	7,232.05	180.74	40.01	0.00055
96.79	9,814.11	180.74	54.30	0.00073
122.26	12,397.19	180.74	68.59	0.00091
147.73	14,979.25	180.74	82.88	0.00110
163.70	16,599.16	180.74	91.84	0.00128
173.19	17,561.31	180.74	97.16	0.00146
198.66	20,143.37	180.74	111.45	0.00165
224.13	22,726.45	180.74	125.74	0.00183
249.60	25,308.51	180.74	140.03	0.00201
275.06	27,890.56	180.74	154.31	0.00219
300.54	30,473.64	180.74	168.60	0.00238
326.00	33,055.70	180.74	182.89	0.00256
327.41	33,198.32	180.74	183.68	0.00274
319.37	32,383.19	180.74	179.17	0.00293



รูปที่ ข.52 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

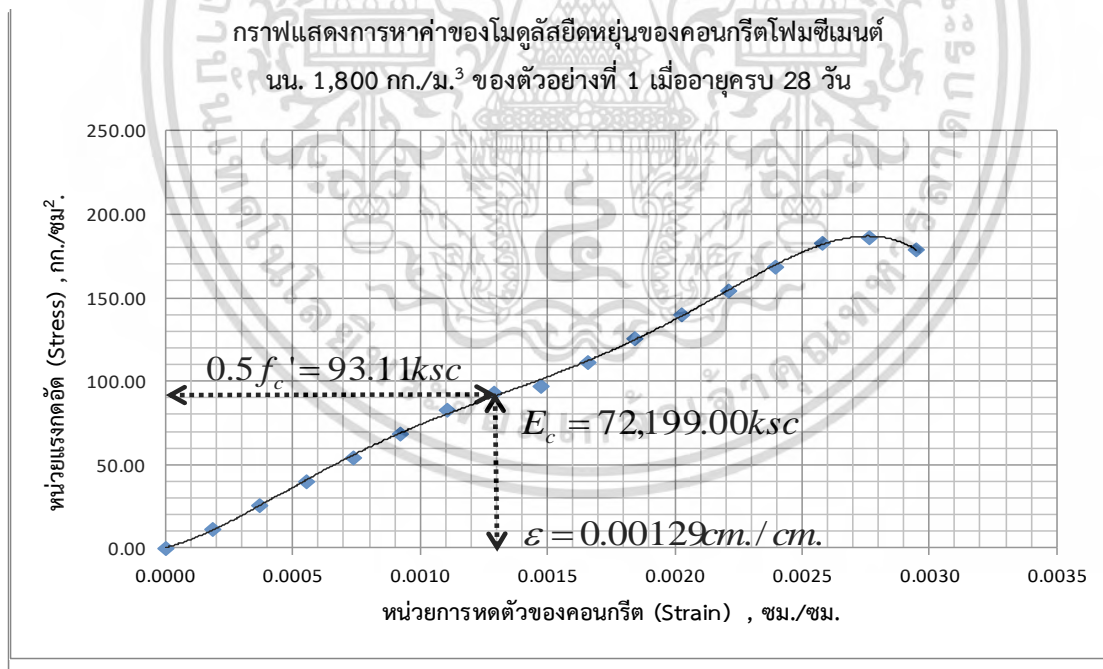
Initial Tangent Modulus Elastic = 71,767.78 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.65 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	180.74	0.00	0.00000
17.66	1,800.22	180.74	9.96	0.00028
39.73	4,050.01	180.74	22.41	0.00057
61.79	6,298.91	180.74	34.85	0.00085
83.85	8,547.81	180.74	47.29	0.00113
105.92	10,797.60	180.74	59.74	0.00141
127.99	13,046.50	180.74	72.18	0.00170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
141.83	14,457.39	180.74	79.99	0.00198
150.05	15,295.40	180.74	84.63	0.00226
172.11	17,544.29	180.74	97.07	0.00255
194.18	19,794.08	180.74	109.52	0.00283
216.24	22,042.98	180.74	121.96	0.00311
238.30	24,291.88	180.74	134.40	0.00339
260.37	26,541.67	180.74	146.85	0.00368
282.44	28,790.57	180.74	159.29	0.00396
283.65	28,914.79	180.74	159.98	0.00424
276.69	28,204.82	180.74	156.05	0.00453

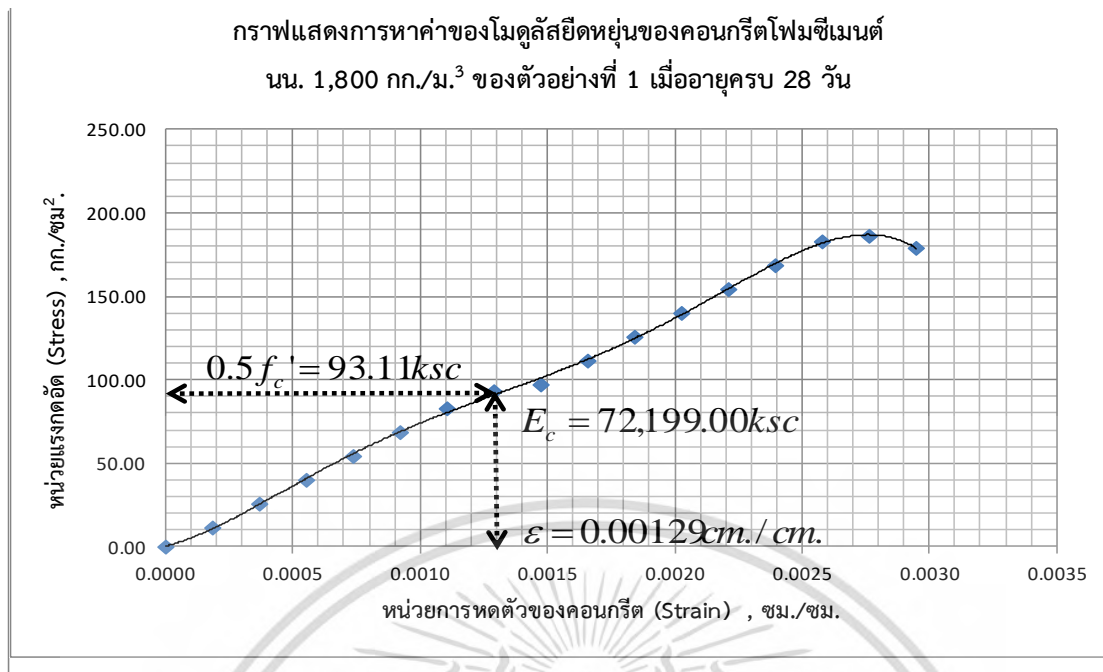


รูปที่ ข.53 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ ข.66 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	180.74	0.00	0.00000
17.48	1,781.43	180.74	9.86	0.00037
39.32	4,007.73	180.74	22.17	0.00073
61.15	6,233.16	180.74	34.49	0.00110
82.98	8,458.58	180.74	46.80	0.00147
104.82	10,684.88	180.74	59.12	0.00184
126.65	12,910.31	180.74	71.43	0.00220
140.35	14,306.47	180.74	79.15	0.00257
148.48	15,135.73	180.74	83.74	0.00294
170.31	17,361.15	180.74	96.06	0.00330
192.15	19,587.45	180.74	108.37	0.00367
213.98	21,812.88	180.74	120.69	0.00404
235.82	24,038.30	180.74	133.00	0.00441
257.66	26,264.60	180.74	145.32	0.00477
279.49	28,490.03	180.74	157.63	0.00514
280.69	28,612.95	180.74	158.31	0.00551
273.80	27,910.40	180.74	154.42	0.00587

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.54 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 3

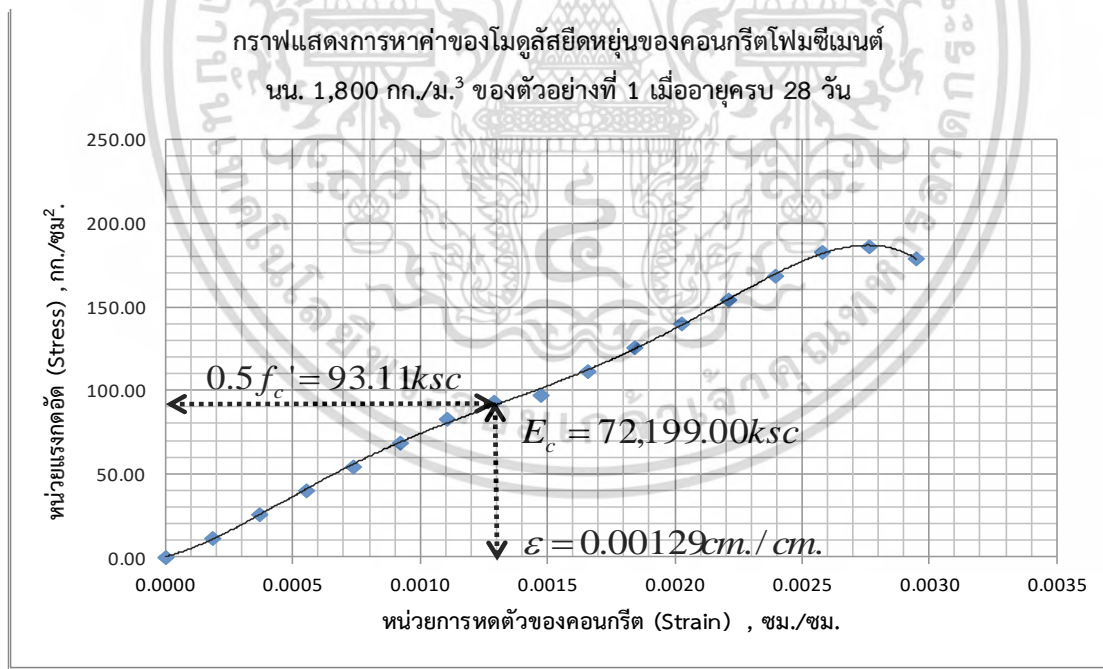
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 185.68$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.67 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.77	0.00	0.00000
19.83	2,010.38	175.77	11.44	0.00018
44.60	4,522.10	175.77	25.73	0.00037
69.36	7,032.80	175.77	40.01	0.00055
94.13	9,544.52	175.77	54.30	0.00073
118.90	12,056.25	175.77	68.59	0.00091
143.66	14,566.95	175.77	82.88	0.00110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
160.94	16,318.49	175.77	92.84	0.00128
168.43	17,078.67	175.77	97.16	0.00146
193.21	19,590.40	175.77	111.45	0.00165
217.97	22,101.10	175.77	125.74	0.00183
242.74	24,612.82	175.77	140.03	0.00201
267.51	27,124.54	175.77	154.32	0.00219
292.27	29,635.25	175.77	168.60	0.00238
317.04	32,146.97	175.77	182.89	0.00256
321.87	32,636.97	175.77	185.68	0.00274
312.32	31,668.48	175.77	180.17	0.00293



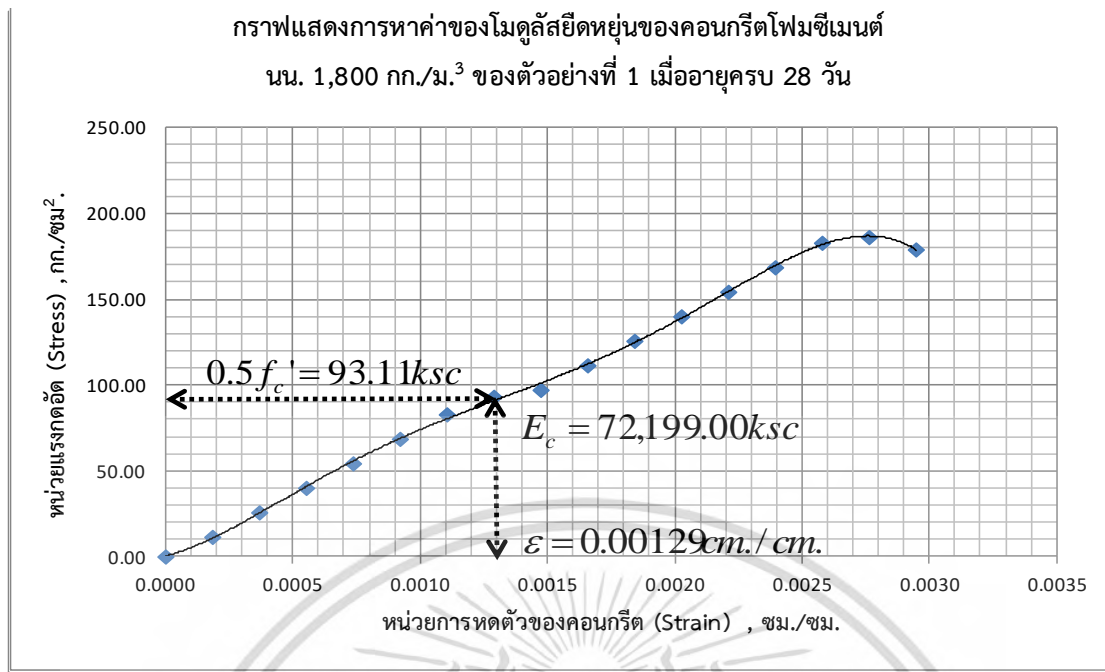
รูปที่ ข.55 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโม่ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.68 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.77	0.00	0.00000
17.34	1,767.63	175.77	10.06	0.00028
39.01	3,976.08	175.77	22.62	0.00056
60.66	6,183.62	175.77	35.18	0.00084
82.33	8,392.07	175.77	47.74	0.00113
103.99	10,600.51	175.77	60.31	0.00141
125.65	12,808.06	175.77	72.87	0.00169
140.75	14,348.11	175.77	81.63	0.00197
147.31	15,016.50	175.77	85.43	0.00225
168.98	17,224.95	175.77	98.00	0.00253
190.63	19,432.49	175.77	110.56	0.00281
212.30	21,640.94	175.77	123.12	0.00310
233.96	23,849.38	175.77	135.69	0.00338
255.62	26,056.93	175.77	148.24	0.00366
277.28	28,265.37	175.77	160.81	0.00394
281.51	28,696.21	175.77	163.26	0.00422
273.16	27,844.66	175.77	158.42	0.00450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



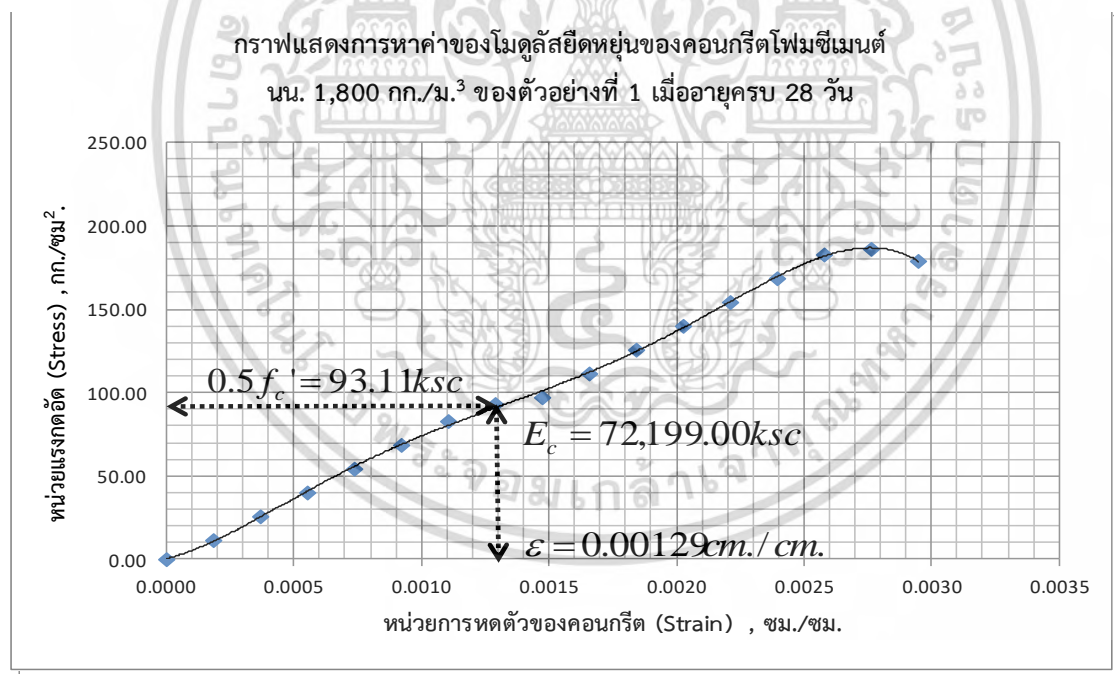
รูปที่ ข.56 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ข.69 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.77	0.00	0.00000
17.21	1,754.75	175.77	9.98	0.00037
38.72	3,947.09	175.77	22.46	0.00075
60.22	6,138.55	175.77	34.92	0.00112
81.73	8,330.90	175.77	47.40	0.00149
103.23	10,523.24	175.77	59.87	0.00186
124.73	12,714.70	175.77	72.34	0.00224
139.73	14,243.52	175.77	81.03	0.00261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
146.24	14,907.05	175.77	84.81	0.00298
167.74	17,099.39	175.77	97.28	0.00336
189.24	19,290.85	175.77	109.75	0.00373
210.75	21,483.20	175.77	122.22	0.00410
232.26	23,675.54	175.77	134.70	0.00447
253.76	25,867.00	175.77	147.16	0.00485
275.26	28,059.35	175.77	159.64	0.00522
279.46	28,487.04	175.77	162.07	0.00559
271.16	27,641.70	175.77	157.26	0.00597

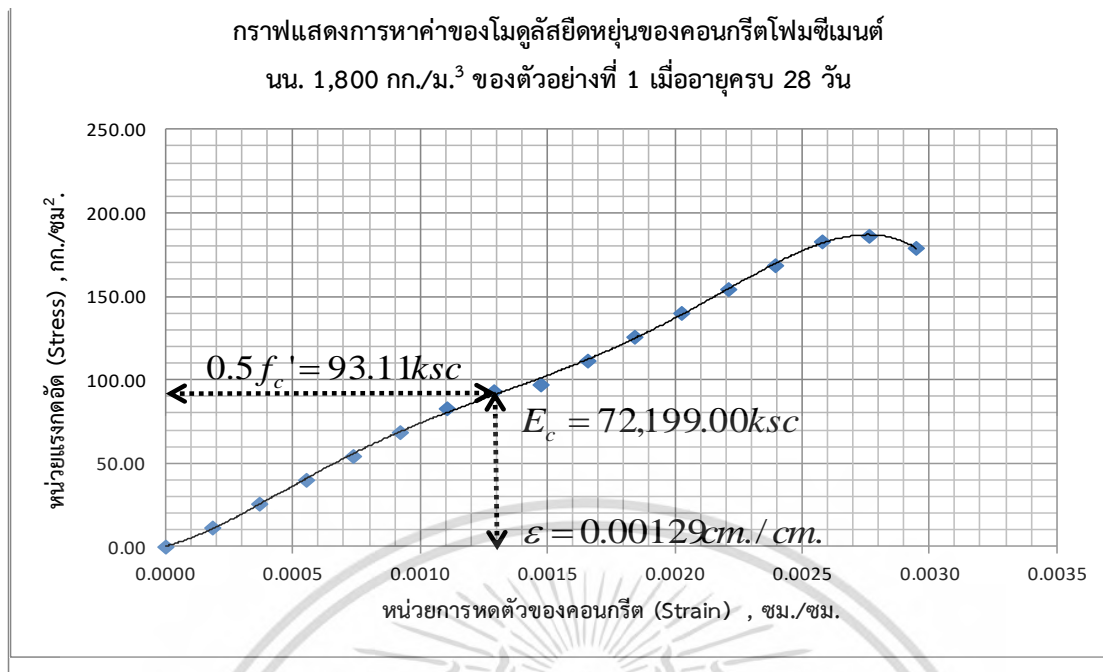


รูปที่ ข.57 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 4

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 184.22$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.70 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.13	0.00	0.00000
19.98	2,036.97	178.13	11.44	0.00018
44.95	4,582.33	178.13	25.72	0.00037
69.92	7,127.69	178.13	40.01	0.00055
94.88	9,672.04	178.13	54.30	0.00073
119.85	12,217.40	178.13	68.59	0.00091
144.82	14,762.76	178.13	82.88	0.00110
160.96	16,407.55	178.13	92.11	0.00128
169.78	17,307.10	178.13	97.16	0.00146
194.75	19,852.47	178.13	111.45	0.00165
219.72	22,397.83	178.13	125.74	0.00183
244.69	24,943.19	178.13	140.03	0.00201
269.65	27,487.53	178.13	154.31	0.00219
294.62	30,032.89	178.13	168.60	0.00238
319.59	32,578.26	178.13	182.89	0.00256
321.92	32,815.11	178.13	184.22	0.00274
309.58	31,557.51	178.13	177.16	0.00293



รูปที่ ข.58 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

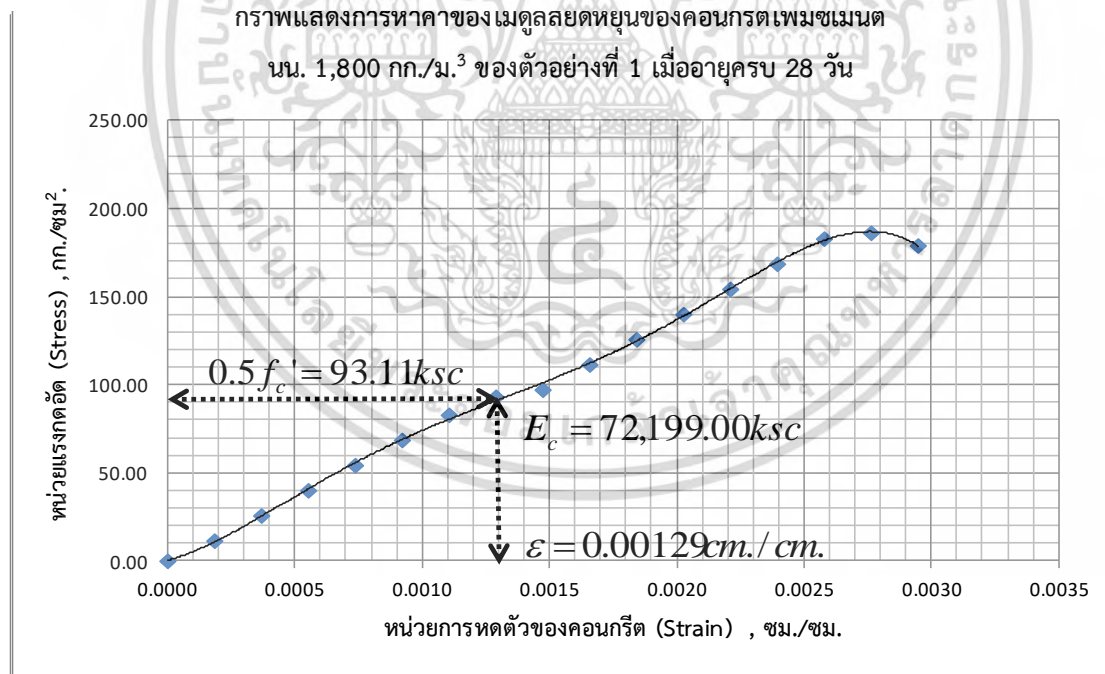
Initial Tangent Modulus Elastic = 72,074.27 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.71 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.13	0.00	0.00000
17.66	1,800.35	178.13	10.11	0.00028
39.73	4,050.02	178.13	22.74	0.00057
61.80	6,299.70	178.13	35.37	0.00085
83.86	8,548.48	178.13	47.99	0.00114
105.93	10,798.16	178.13	60.62	0.00142
128.00	13,047.84	178.13	73.25	0.00171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
142.26	14,501.56	178.13	81.41	0.00199
150.06	15,296.62	178.13	85.87	0.00227
172.13	17,546.29	178.13	98.50	0.00256
194.20	19,795.97	178.13	111.13	0.00284
216.27	22,045.65	178.13	123.76	0.00313
238.33	24,294.43	178.13	136.39	0.00341
260.40	26,544.11	178.13	149.02	0.00370
282.47	28,793.79	178.13	161.64	0.00398
284.52	29,003.13	178.13	162.82	0.00426
273.62	27,891.62	178.13	156.58	0.00455

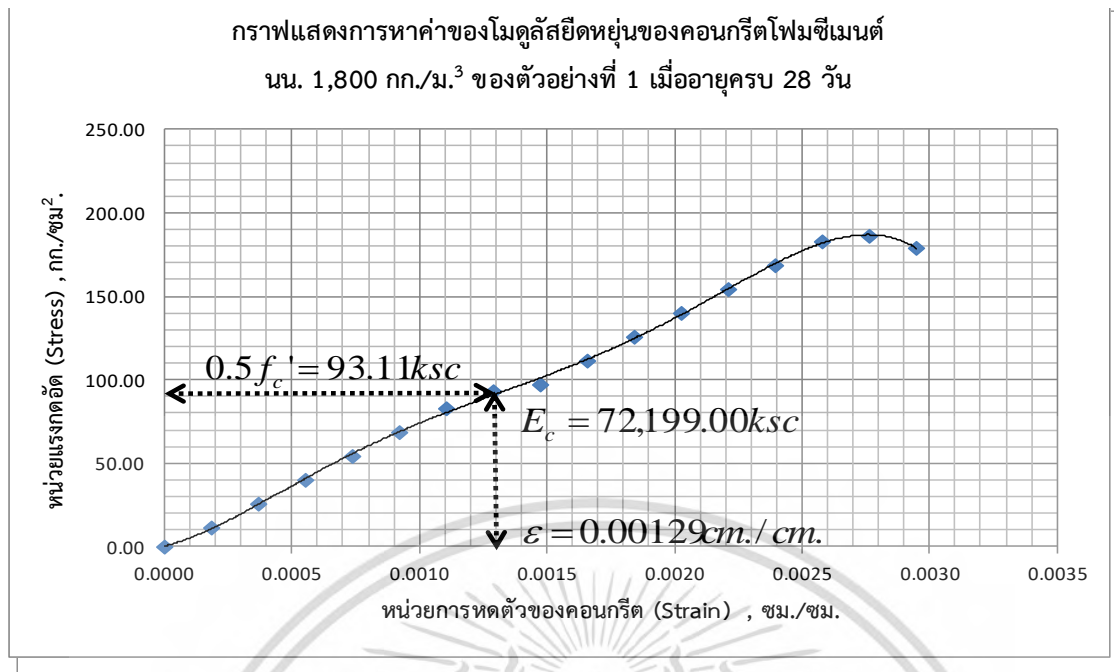


รูปที่ ข.59 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,800กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ ข.72 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีโพรพิลีนซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,800 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.13	0.00	0.00000
17.07	1,739.97	178.13	9.77	0.00036
38.40	3,914.21	178.13	21.97	0.00072
59.73	6,088.45	178.13	34.18	0.00108
81.05	8,261.82	178.13	46.38	0.00144
102.38	10,436.05	178.13	58.59	0.00180
123.71	12,610.29	178.13	70.79	0.00216
137.49	14,015.27	178.13	78.68	0.00252
145.03	14,783.66	178.13	82.99	0.00288
166.36	16,957.90	178.13	95.20	0.00324
187.69	19,132.14	178.13	107.41	0.00360
209.02	21,306.37	178.13	119.61	0.00396
230.34	23,479.74	178.13	131.81	0.00432
251.67	25,653.98	178.13	144.02	0.00468
272.99	27,828.22	178.13	156.22	0.00504
274.98	28,030.54	178.13	157.36	0.00540
264.44	26,956.30	178.13	151.33	0.00576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.60 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,800 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 5

- คอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³

ตารางที่ ข.73 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย
 น้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.05	29.00	177.89	10.15	35,258.38	195.85	92,824.58	1,967.65
2	15.08	30.00	178.60	10.44	36,447.07	202.84	95,064.79	1,947.88
3	15.12	30.10	179.55	10.59	33,688.65	186.61	92,473.97	1,958.72
4	14.95	30.10	175.54	10.26	35,840.26	199.27	94,661.18	1,942.58
5	15.02	29.50	177.19	10.15	32,593.27	180.17	92,017.19	1,942.61
เฉลี่ย						192.95	93,408.34	1,951.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.74 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ผสมซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.02	30.00	177.19	10.45	30,721.69	169.16	75,714.28	1,966.67
2	15.13	30.20	179.79	10.47	30,127.36	165.67	76,982.53	1,927.92
3	14.90	29.80	174.37	10.26	29,120.06	159.74	74,926.93	1,973.98
4	15.00	30.00	176.71	10.31	29,526.30	162.13	75,355.49	1,944.00
5	15.03	29.70	177.42	10.23	29,108.76	159.68	74,302.86	1,941.76
เฉลี่ย						163.28	75,456.42	1,950.87

ตารางที่ ข.75 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ผสมซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	14.98	30.00	176.24	10.25	29,017.54	159.14	67,267.66	1,937.66
2	15.06	29.60	178.13	10.22	29,588.49	162.50	68,094.02	1,937.91
3	14.95	30.00	175.54	10.27	28,675.18	157.12	65,403.19	1,949.62
4	15.00	30.00	176.71	10.29	29,027.00	159.19	67,403.33	1,940.23
5	15.03	29.50	177.42	10.22	27,667.12	151.20	66,073.11	1,953.40
เฉลี่ย						157.83	66,848.26	1,943.76

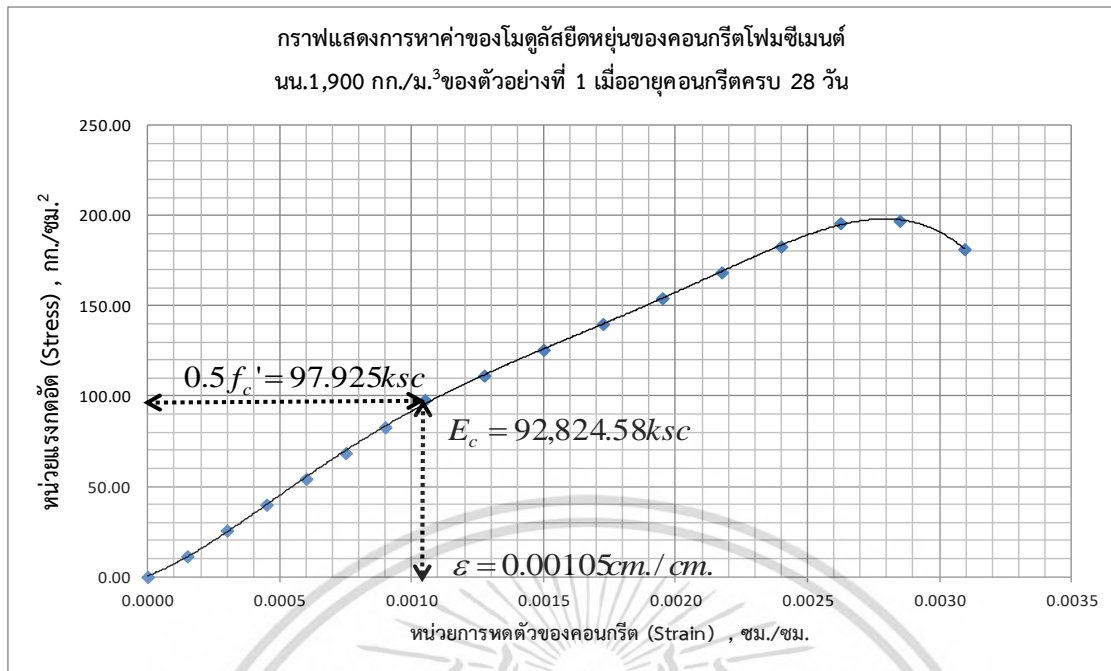
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 195.85$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.76 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
19.96	2,035.06	177.89	11.44	0.00015
44.89	4,576.35	177.89	25.73	0.00030
69.83	7,118.65	177.89	40.02	0.00045
94.76	9,659.93	177.89	54.30	0.00060
119.69	12,201.22	177.89	68.59	0.00075
144.63	14,743.52	177.89	82.88	0.00090
170.89	17,419.88	177.89	97.93	0.00105
194.49	19,826.09	177.89	111.45	0.00128
219.43	22,368.39	177.89	125.74	0.00150
244.36	24,909.68	177.89	140.03	0.00173
269.29	27,450.96	177.89	154.31	0.00195
294.23	29,993.27	177.89	168.61	0.00218
319.16	32,534.55	177.89	182.89	0.00240
341.78	34,839.76	177.89	195.85	0.00263
344.10	35,076.86	177.89	197.18	0.00285
316.67	32,279.92	177.89	181.46	0.00310

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.61 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

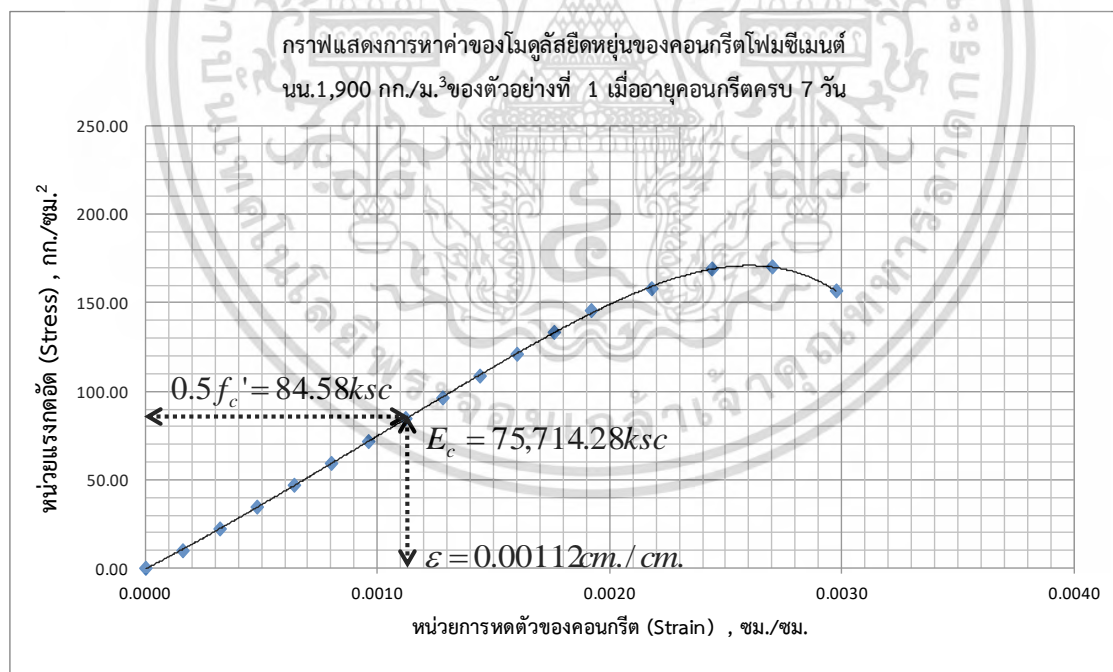
Initial Tangent Modulus Elastic = 92,824.58 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.77 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
17.24	1,757.73	177.89	9.88	0.00016
38.78	3,952.69	177.89	22.22	0.00032
60.32	6,148.54	177.89	34.56	0.00048
81.85	8,343.50	177.89	46.90	0.00064
103.38	10,538.46	177.89	59.24	0.00080
124.92	12,734.31	177.89	71.59	0.00096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
147.60	15,045.94	177.89	84.58	0.00112
167.99	17,124.24	177.89	96.26	0.00128
189.53	19,320.08	177.89	108.61	0.00144
211.06	21,515.04	177.89	120.95	0.00160
232.59	23,710.01	177.89	133.28	0.00176
254.14	25,905.85	177.89	145.63	0.00192
275.67	28,100.82	177.89	157.97	0.00218
295.20	30,091.87	177.89	169.16	0.00244
297.21	30,296.66	177.89	170.31	0.00270
273.51	27,880.88	177.89	156.73	0.00298



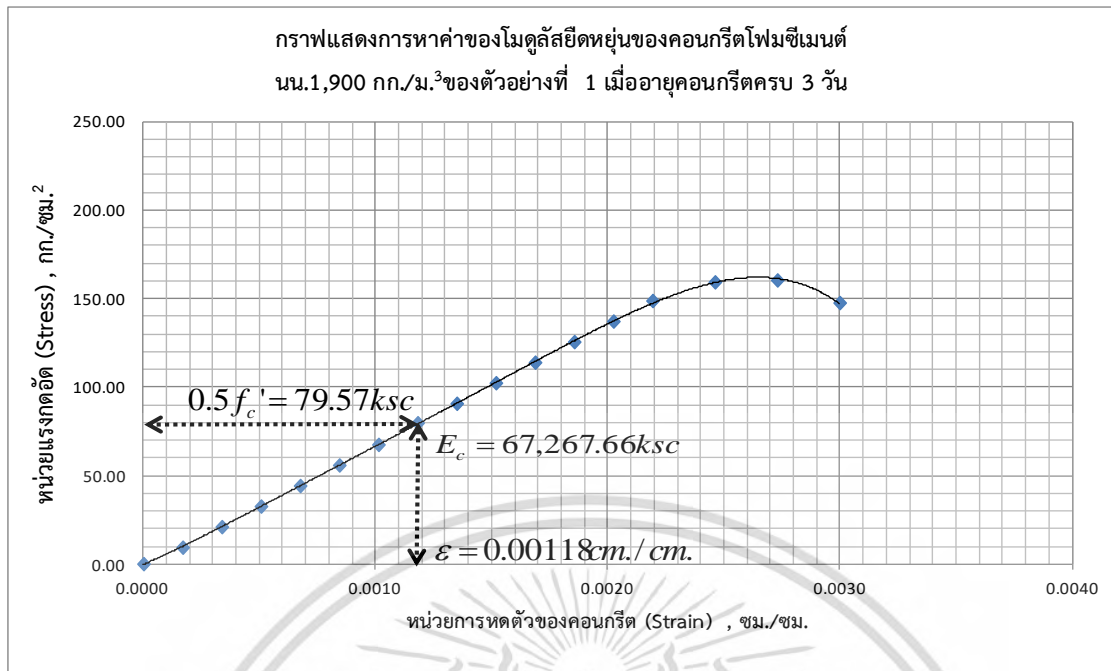
รูปที่ ข.62 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ชนิดหน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.78 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
16.22	1,653.61	177.89	9.30	0.00017
36.48	3,718.56	177.89	20.90	0.00034
56.74	5,784.33	177.89	32.52	0.00051
77.00	7,849.28	177.89	44.12	0.00067
97.26	9,914.23	177.89	55.73	0.00084
117.52	11,980.01	177.89	67.35	0.00101
138.86	14,154.71	177.89	79.57	0.00118
158.04	16,109.90	177.89	90.56	0.00135
178.30	18,175.68	177.89	102.17	0.00152
198.56	20,240.62	177.89	113.78	0.00169
218.82	22,305.57	177.89	125.39	0.00185
239.08	24,371.35	177.89	137.00	0.00202
259.34	26,436.30	177.89	148.61	0.00219
277.72	28,309.41	177.89	159.14	0.00246
279.61	28,502.07	177.89	160.22	0.00273
257.31	26,229.39	177.89	147.45	0.00300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.63 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโฟมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 1

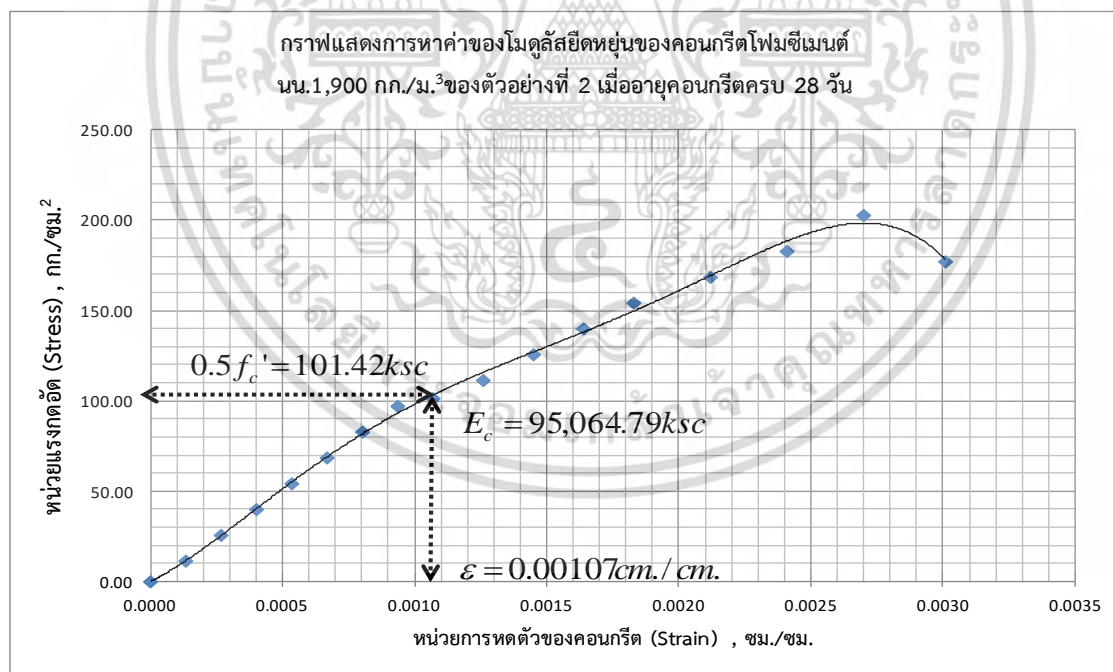
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 202.84$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.79 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.60	0.00	0.00000
20.05	2,043.43	178.60	11.44	0.00013
45.08	4,594.91	178.60	25.73	0.00027
70.11	7,146.39	178.60	40.01	0.00040
95.15	9,698.88	178.60	54.31	0.00054
120.18	12,250.36	178.60	68.59	0.00067
145.21	14,801.84	178.60	82.88	0.00080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
170.24	17,353.32	178.60	97.16	0.00094
177.69	18,113.61	178.60	101.42	0.00107
195.28	19,905.81	178.60	111.45	0.00126
220.31	22,457.29	178.60	125.74	0.00145
245.34	25,008.77	178.60	140.03	0.00164
270.38	27,561.27	178.60	154.32	0.00183
295.41	30,112.75	178.60	168.60	0.00212
320.44	32,664.22	178.60	182.89	0.00241
355.39	36,227.22	178.60	202.84	0.00270
310.43	31,644.35	178.60	177.18	0.00301



รูปที่ ข.64 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

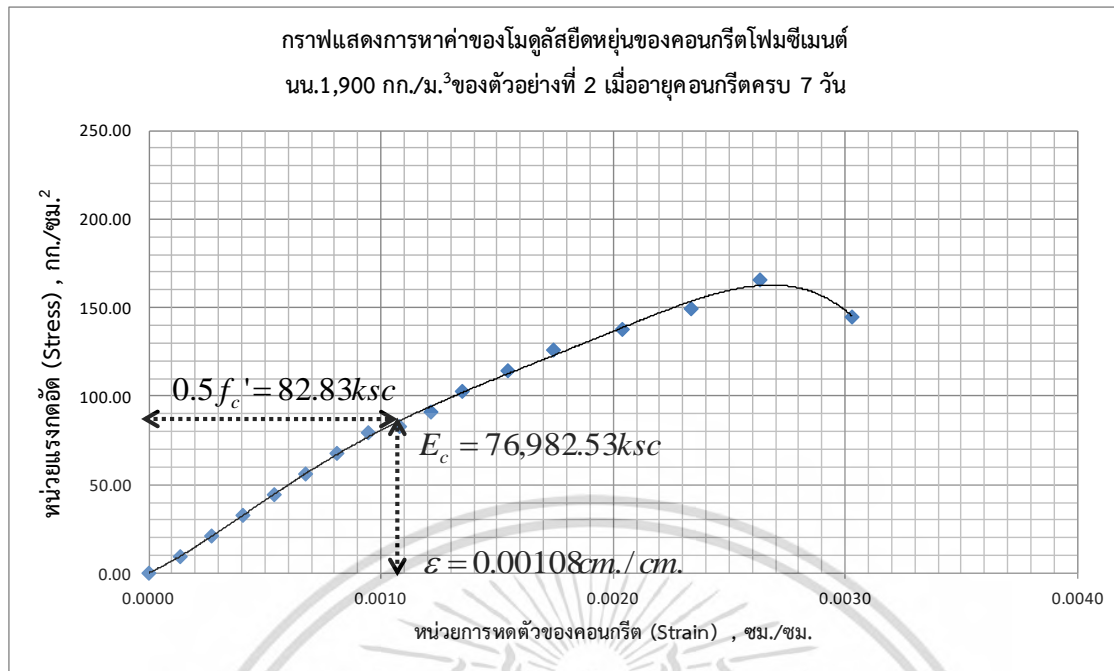
$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 95,064.79 \text{ กก./ซม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.80 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.60	0.00	0.00000
16.61	1,693.46	181.22	9.34	0.00014
37.36	3,807.95	181.22	21.01	0.00027
58.10	5,922.45	181.22	32.68	0.00041
78.85	8,037.79	181.22	44.35	0.00054
99.59	10,152.29	181.22	56.02	0.00068
120.34	12,266.78	181.22	67.69	0.00081
141.08	14,381.28	181.22	79.36	0.00095
147.26	15,011.36	181.22	82.83	0.00108
161.83	16,496.62	181.22	91.03	0.00122
182.57	18,611.11	181.22	102.70	0.00135
203.32	20,725.61	181.22	114.37	0.00155
224.07	22,840.95	181.22	126.04	0.00174
244.81	24,955.44	181.22	137.71	0.00204
265.56	27,069.94	181.22	149.38	0.00234
294.52	30,022.72	181.22	165.67	0.00263
257.26	26,224.73	181.22	144.71	0.00303

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



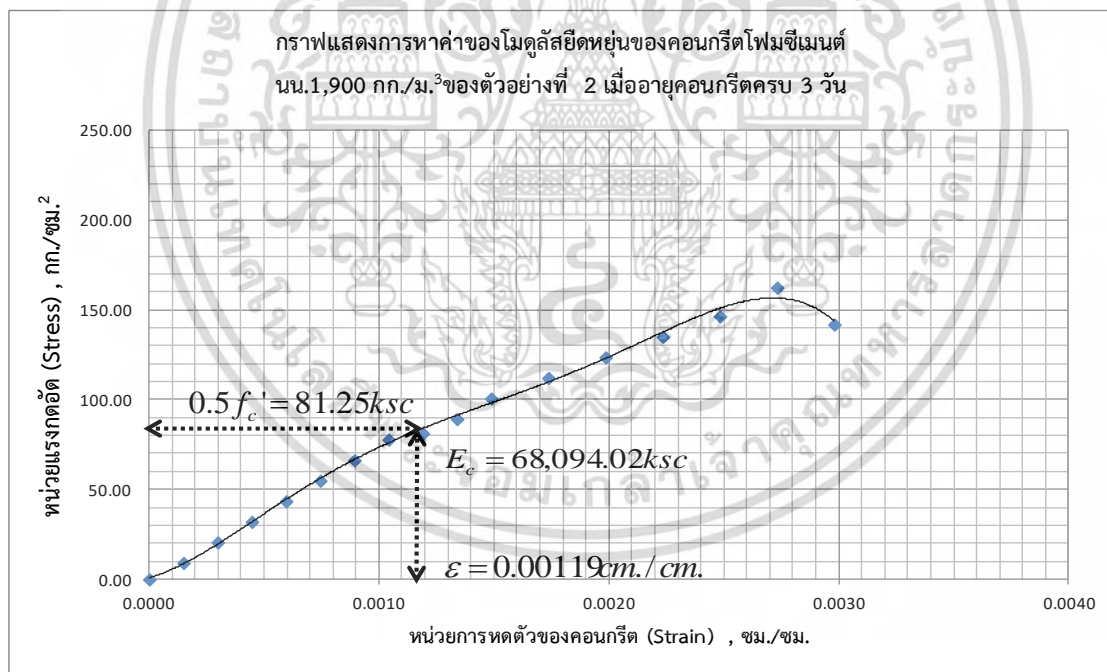
รูปที่ ข.65 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข.81 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	181.22	0.00	0.00000
16.29	1,661.06	181.22	9.17	0.00015
36.64	3,735.09	181.22	20.61	0.00030
56.99	5,809.13	181.22	32.06	0.00045
77.34	7,883.99	181.22	43.51	0.00060
97.69	9,958.03	181.22	54.95	0.00074
118.03	12,032.06	181.22	66.39	0.00089
138.38	14,106.10	181.22	77.84	0.00104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
144.44	14,724.12	181.22	81.25	0.00119
158.74	16,180.96	181.22	89.29	0.00134
179.08	18,255.00	181.22	100.73	0.00149
199.43	20,329.04	181.22	112.18	0.00174
219.78	22,403.90	181.22	123.63	0.00199
240.13	24,477.94	181.22	135.07	0.00223
260.47	26,551.97	181.22	146.52	0.00248
288.89	29,448.25	181.22	162.50	0.00273
252.34	25,722.94	181.22	141.94	0.00298



รูปที่ ข.66 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 2

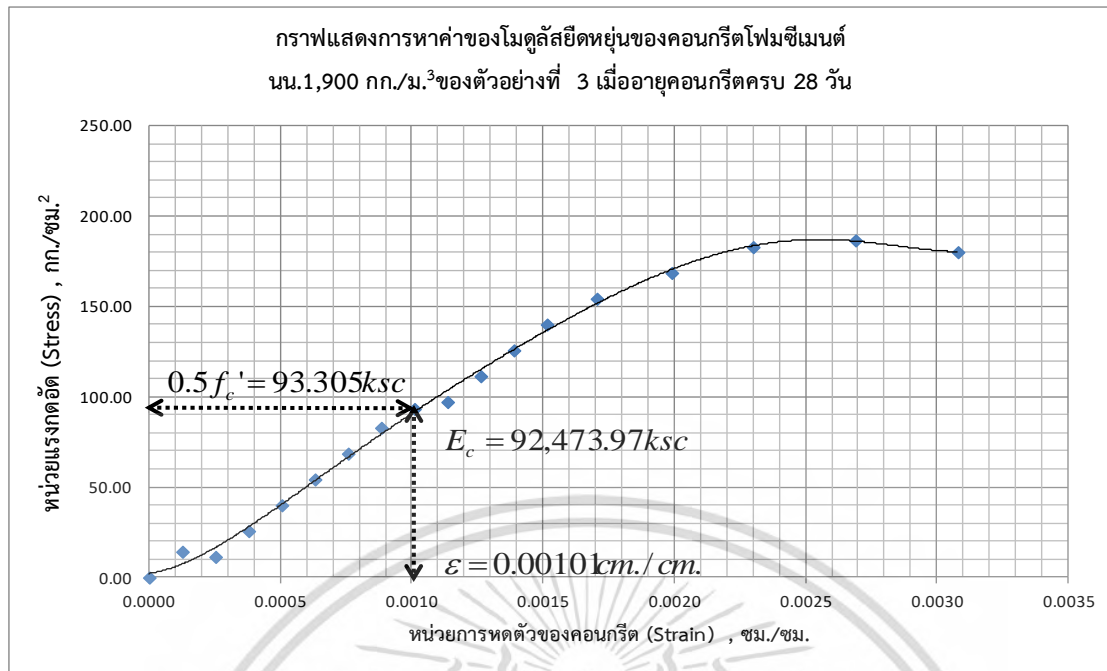
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 186.61$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.82 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.55	0.00	0.00000
25.30	2,565.75	179.55	14.29	0.00013
20.25	2,053.71	179.55	11.44	0.00025
45.56	4,619.46	179.55	25.73	0.00038
70.85	7,184.19	179.55	40.01	0.00051
96.16	9,749.94	179.55	54.30	0.00063
121.46	12,315.69	179.55	68.59	0.00076
146.75	14,880.42	179.55	82.88	0.00088
165.22	16,752.91	179.55	93.31	0.00101
172.06	17,446.16	179.55	97.17	0.00114
197.35	20,010.89	179.55	111.45	0.00126
222.66	22,576.64	179.55	125.74	0.00139
247.96	25,142.39	179.55	140.03	0.00152
273.25	27,707.12	179.55	154.31	0.00171
298.56	30,272.87	179.55	168.60	0.00199
323.85	32,837.60	179.55	182.89	0.00230
330.44	33,505.83	179.55	186.61	0.00269
318.93	32,338.75	179.55	180.11	0.00308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.67 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

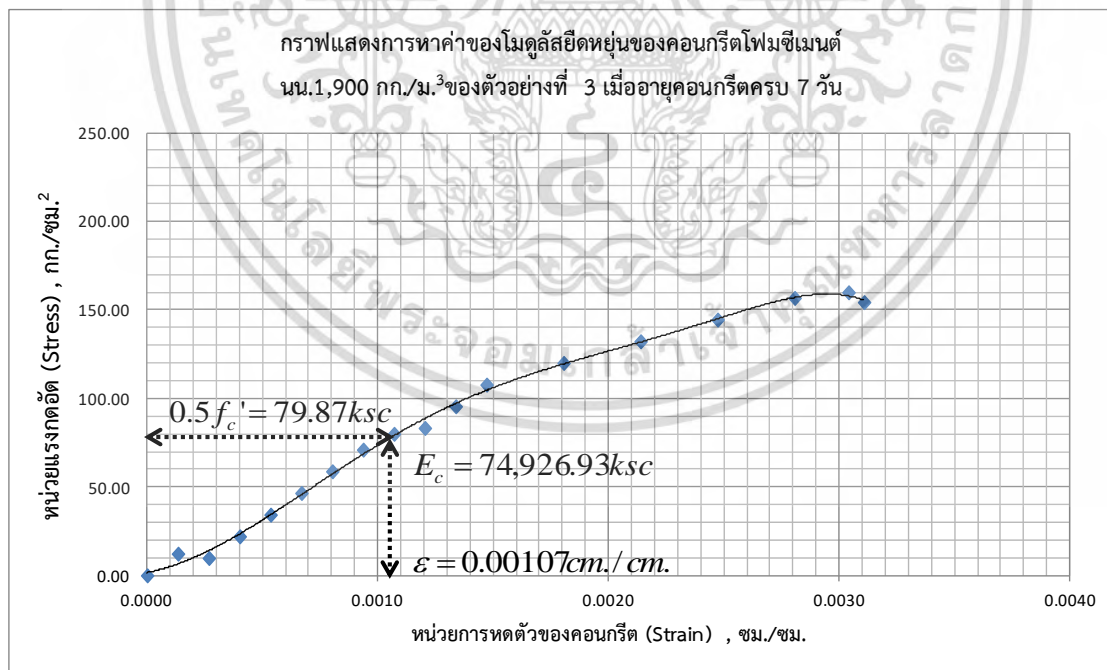
Initial Tangent Modulus Elastic = 92,473.97 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.83 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.55	0.00	0.00000
21.55	2,196.31	179.55	12.23	0.00013
17.25	1,757.99	179.55	9.79	0.00027
38.79	3,954.30	179.55	22.02	0.00040
60.33	6,149.73	179.55	34.25	0.00054
81.87	8,346.04	179.55	46.48	0.00067
103.42	10,542.35	179.55	58.72	0.00080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
124.96	12,737.78	179.55	70.94	0.00094
140.68	14,340.66	179.55	79.87	0.00107
146.50	14,934.09	179.55	83.18	0.00120
168.04	17,129.52	179.55	95.40	0.00134
189.59	19,325.83	179.55	107.63	0.00147
211.13	21,522.14	179.55	119.87	0.00181
232.67	23,717.57	179.55	132.09	0.00214
254.21	25,913.88	179.55	144.33	0.00247
275.75	28,109.31	179.55	156.55	0.00281
281.36	28,681.32	179.55	159.74	0.00304
271.56	27,682.29	179.55	154.18	0.00311



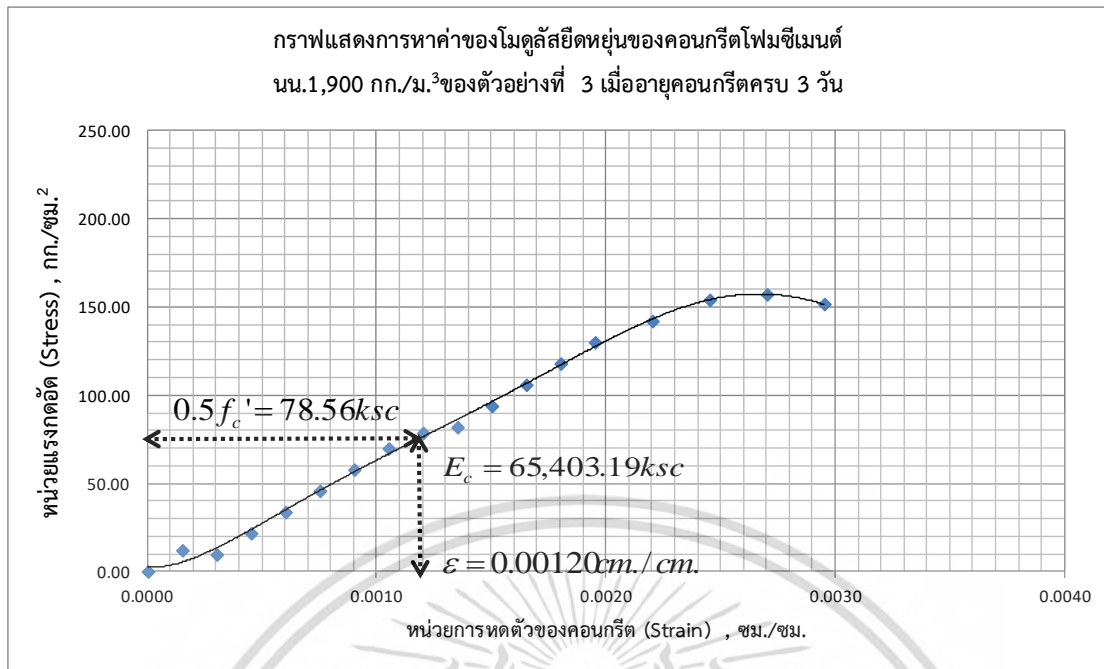
รูปที่ ข.68 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.84 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.55	0.00	0.00000
21.19	2,160.28	179.55	12.03	0.00015
16.96	1,729.16	179.55	9.63	0.00030
38.16	3,889.44	179.55	21.66	0.00045
59.34	6,048.87	179.55	33.69	0.00060
80.53	8,209.15	179.55	45.72	0.00075
101.72	10,369.44	179.55	57.75	0.00090
122.91	12,528.86	179.55	69.78	0.00105
138.37	14,105.45	179.55	78.56	0.00120
144.10	14,689.14	179.55	81.81	0.00135
165.28	16,848.57	179.55	93.84	0.00150
186.48	19,008.85	179.55	105.87	0.00165
207.67	21,169.14	179.55	117.90	0.00180
228.85	23,328.56	179.55	129.93	0.00195
250.05	25,488.85	179.55	141.96	0.00220
271.23	27,648.27	179.55	153.99	0.00245
276.75	28,210.90	179.55	157.12	0.00270
267.11	27,228.25	179.55	151.65	0.00295

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.69 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 3

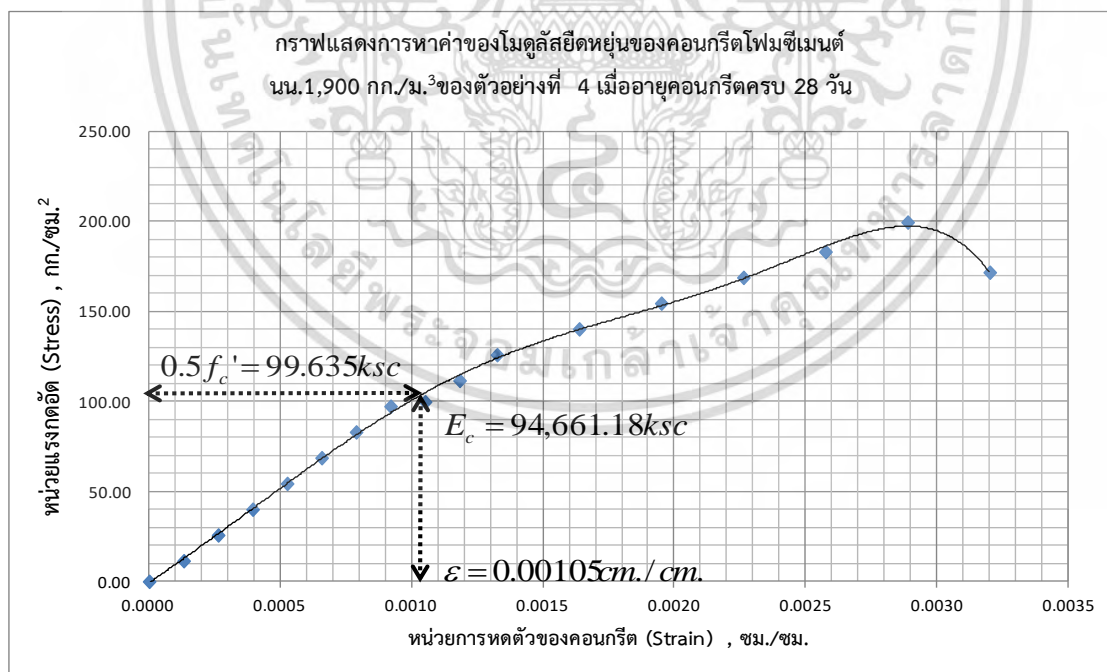
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 199.27$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.85 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.54	0.00	0.00000
19.70	2,007.87	175.54	11.44	0.00013
44.30	4,515.51	175.54	25.72	0.00026
68.90	7,023.16	175.54	40.01	0.00039
93.51	9,531.82	175.54	54.30	0.00053
118.11	12,039.47	175.54	68.59	0.00066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
142.71	14,547.11	175.54	82.87	0.00079
167.32	17,055.78	175.54	97.16	0.00092
171.58	17,489.93	175.54	99.64	0.00105
191.92	19,563.42	175.54	111.45	0.00118
216.52	22,071.07	175.54	125.73	0.00132
241.13	24,579.73	175.54	140.02	0.00164
265.73	27,087.38	175.54	154.31	0.00195
290.33	29,595.02	175.54	168.59	0.00226
314.94	32,103.69	175.54	182.89	0.00257
343.15	34,979.86	175.54	199.27	0.00289
295.26	30,098.09	175.54	171.46	0.00320



รูปที่ ข.70 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

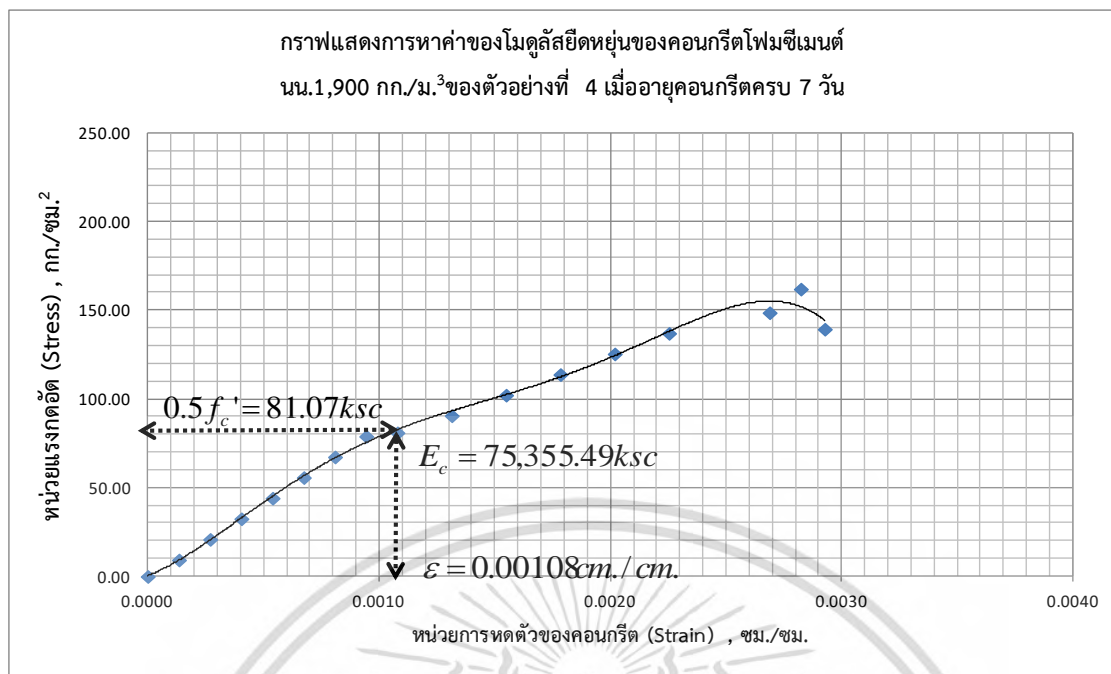
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 94,661.18 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.86 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	175.54	0.00	0.00000
16.03	1,633.64	175.54	9.31	0.00014
36.04	3,673.91	175.54	20.93	0.00027
56.06	5,714.18	175.54	32.55	0.00041
76.08	7,755.28	175.54	44.18	0.00054
96.09	9,795.55	175.54	55.80	0.00068
116.11	11,835.82	175.54	67.43	0.00081
136.13	13,876.92	175.54	79.05	0.00095
139.60	14,230.15	175.54	81.07	0.00108
156.15	15,917.18	175.54	90.68	0.00132
176.16	17,957.45	175.54	102.30	0.00155
196.19	19,998.55	175.54	113.93	0.00179
216.20	22,038.82	175.54	125.55	0.00202
236.22	24,079.09	175.54	137.17	0.00226
256.24	26,120.19	175.54	148.80	0.00269
279.20	28,460.30	175.54	162.13	0.00283
240.23	24,488.40	175.54	139.50	0.00293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



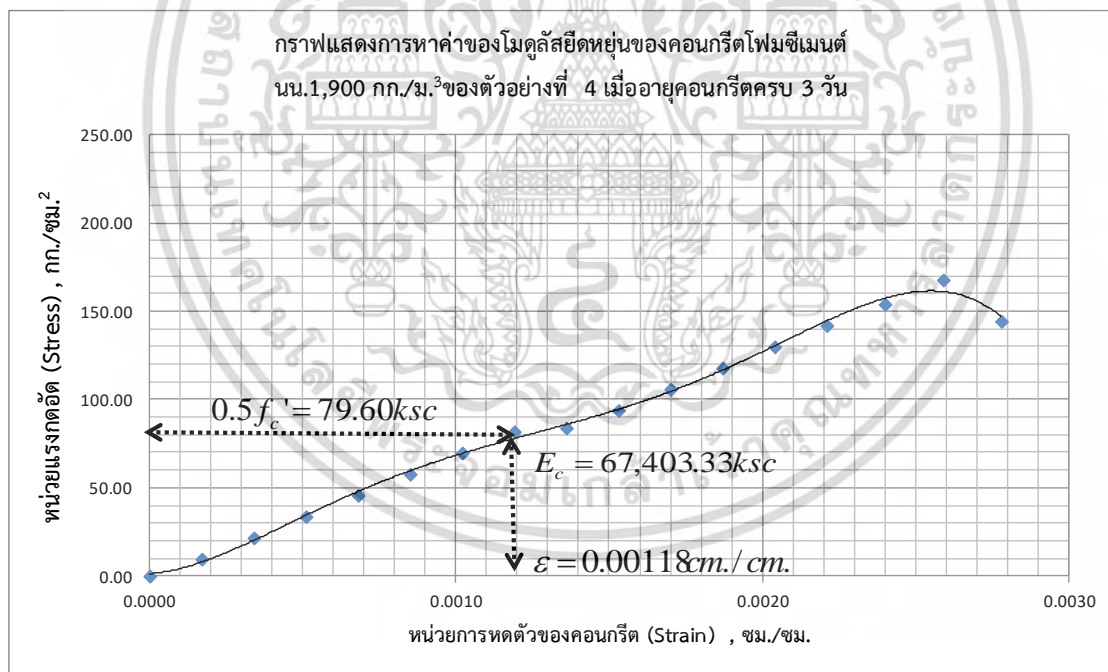
รูปที่ ข.71 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ข.87 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	175.54	0.00	0.00000
16.58	1,690.56	175.54	9.63	0.00017
37.30	3,801.92	175.54	21.66	0.00034
58.01	5,913.29	175.54	33.69	0.00051
78.73	8,025.51	175.54	45.72	0.00068
99.44	10,136.87	175.54	57.75	0.00085
120.16	12,248.23	175.54	69.77	0.00102
140.88	14,360.45	175.54	81.81	0.00119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
144.46	14,725.99	175.54	83.89	0.00136
161.59	16,471.81	175.54	93.84	0.00153
182.30	18,583.17	175.54	105.86	0.00170
203.02	20,695.39	175.54	117.90	0.00187
223.73	22,806.75	175.54	129.92	0.00204
244.45	24,918.12	175.54	141.95	0.00221
265.17	27,030.34	175.54	153.98	0.00240
288.92	29,451.99	175.54	167.78	0.00259
248.60	25,341.68	175.54	144.36	0.00278



รูปที่ ข.72 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโม่ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 4

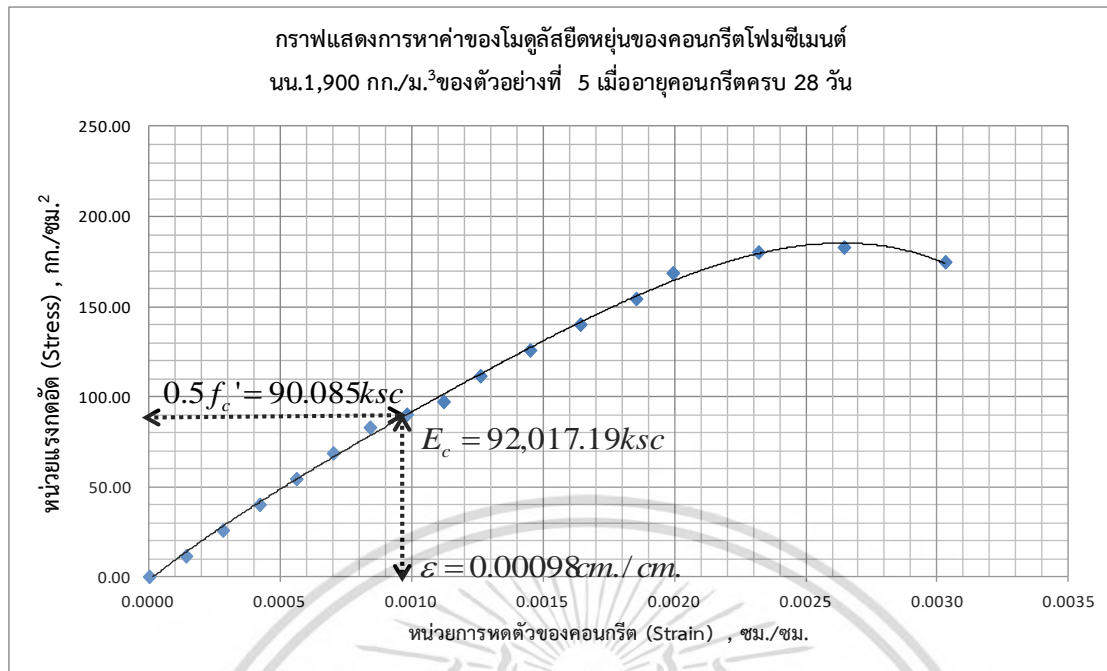
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 180.17$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.88 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.19	0.00	0.00000
83.00	2,026.09	177.19	11.43	0.00014
110.00	4,558.20	177.19	25.72	0.00028
111.00	7,089.29	177.19	40.01	0.00042
162.00	9,620.38	177.19	54.29	0.00056
192.00	12,152.49	177.19	68.58	0.00070
219.00	14,683.58	177.19	82.87	0.00084
219.00	15,962.16	177.19	90.09	0.00098
247.00	17,215.70	177.19	97.16	0.00112
248.00	19,746.79	177.19	111.44	0.00126
282.00	22,278.90	177.19	125.73	0.00145
312.00	24,809.99	177.19	140.02	0.00164
268.23	27,342.10	177.19	154.31	0.00185
293.06	29,873.19	177.19	168.59	0.00199
313.18	31,924.32	177.19	180.17	0.00232
317.89	32,404.28	177.19	182.88	0.00264
303.69	30,956.86	177.19	174.71	0.00303

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.73 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

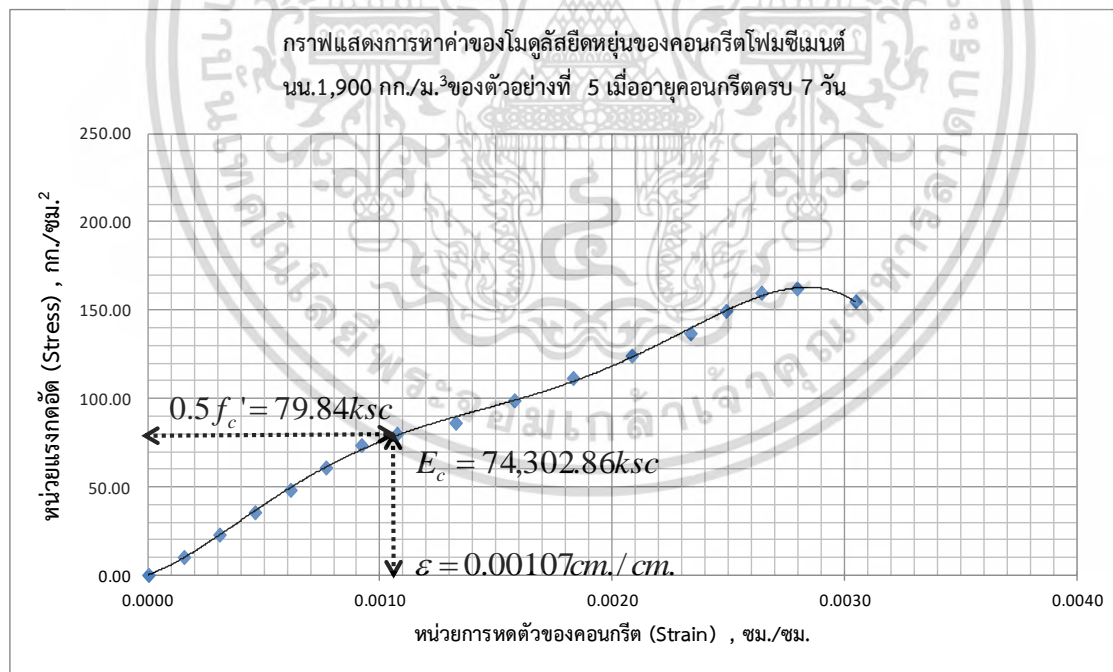
Initial Tangent Modulus Elastic = 92,017.19 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.89 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.19	0.00	0.00000
17.62	1,795.67	177.19	10.13	0.00015
39.63	4,039.82	177.19	22.80	0.00031
61.64	6,283.06	177.19	35.46	0.00046
83.64	8,526.30	177.19	48.12	0.00061
105.66	10,770.44	177.19	60.78	0.00076
127.66	13,013.68	177.19	73.44	0.00092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
138.78	14,146.85	177.19	79.84	0.00107
149.68	15,257.82	177.19	86.11	0.00132
171.69	17,501.06	177.19	98.77	0.00158
193.70	19,745.21	177.19	111.44	0.00183
215.71	21,988.45	177.19	124.10	0.00208
237.72	24,232.59	177.19	136.76	0.00233
259.73	26,475.83	177.19	149.42	0.00249
277.56	28,293.70	177.19	159.68	0.00264
281.73	28,719.07	177.19	162.08	0.00279
269.15	27,436.27	177.19	154.84	0.00305

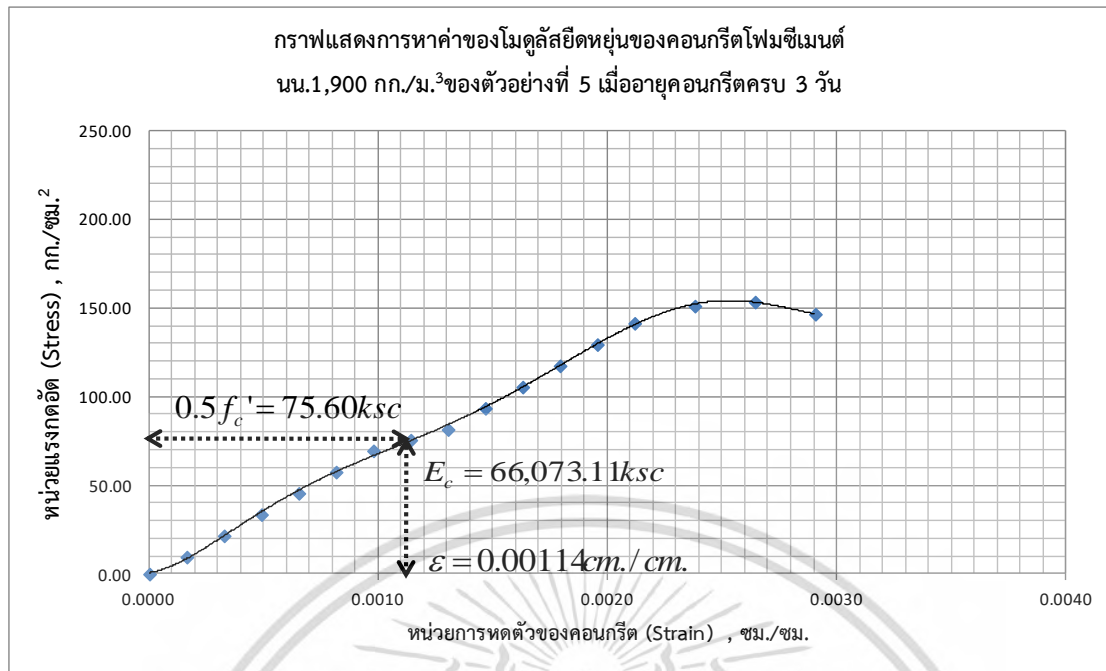


รูปที่ ข.74 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโม่ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ ข.90 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,900 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.19	0.00	0.00000
16.68	1,700.31	177.19	9.60	0.00016
37.53	3,825.28	177.19	21.59	0.00033
58.36	5,949.39	177.19	33.58	0.00049
79.20	8,073.50	177.19	45.56	0.00065
100.05	10,198.46	177.19	57.56	0.00081
120.88	12,322.57	177.19	69.54	0.00098
131.41	13,395.56	177.19	75.60	0.00114
141.73	14,447.54	177.19	81.54	0.00130
162.57	16,571.65	177.19	93.52	0.00147
183.41	18,696.61	177.19	105.52	0.00163
204.25	20,820.72	177.19	117.51	0.00179
225.10	22,945.69	177.19	129.50	0.00195
245.93	25,069.80	177.19	141.49	0.00212
262.82	26,791.13	177.19	151.20	0.00238
266.77	27,193.91	177.19	153.47	0.00264
254.86	25,979.23	177.19	146.62	0.00291

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.75 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,900 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 5

- คอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³

ตารางที่ ข.91 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย
น้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.10	29.30	179.08	10.95	40,793.35	202.01	134,675.61	2,086.14
2	14.99	30.00	176.48	10.97	41,721.25	210.12	132,319.69	2,072.39
3	15.05	30.20	177.89	11.11	42,735.25	218.99	132,077.27	2,068.53
4	15.18	29.80	180.98	11.25	43,145.60	222.57	130,353.07	2,085.57
5	15.06	28.90	178.13	10.81	42,285.20	215.05	138,053.46	2,099.46
เฉลี่ย						213.75	133,495.82	2,082.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.92 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพนซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.05	30.00	177.89	11.17	36,635.95	165.68	116,584.20	2,093.00
2	15.23	28.90	182.18	11.09	36,107.16	161.05	115,170.44	2,105.66
3	15.05	29.80	177.89	10.99	36,711.38	166.33	117,588.79	2,072.34
4	15.10	30.00	179.08	11.20	36,575.61	165.15	118,993.42	2,084.37
5	15.06	30.20	178.13	10.09	37,101.07	169.74	117,742.56	1,875.25
เฉลี่ย						165.59	117,215.88	2,046.12

ตารางที่ ข.93 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพนซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วย น้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.15	30.00	180.27	11.17	35,449.70	155.31	99,501.90	2,065.46
2	15.24	28.90	182.41	10.98	35,835.45	158.68	101,227.58	2,082.22
3	15.05	29.80	177.89	10.99	36,617.63	165.52	101,078.55	2,072.34
4	15.10	30.00	179.08	11.20	36,315.27	162.87	101,610.36	2,084.37
5	15.06	30.20	178.13	11.17	36,007.87	160.19	100,593.84	2,075.63
เฉลี่ย						160.51	100,802.44	2,076.00

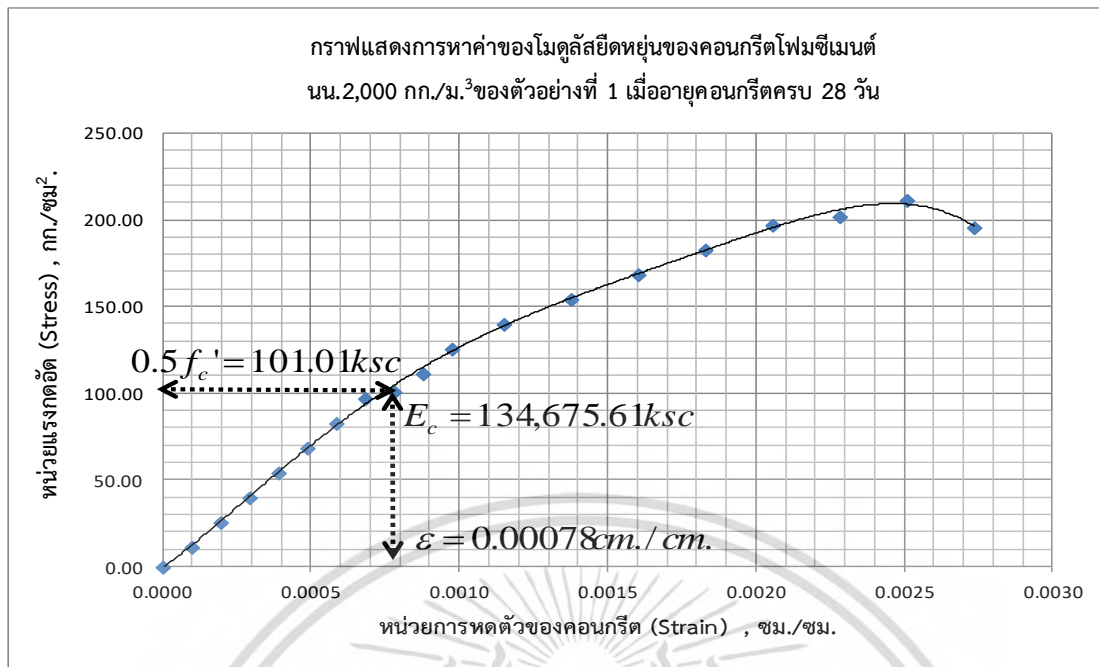
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 202.01$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.94 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ใช้น้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.08	0.00	0.00000
20.09	2,048.27	179.08	11.44	0.00010
45.19	4,606.88	179.08	25.73	0.00020
70.29	7,165.50	179.08	40.01	0.00029
95.39	9,724.11	179.08	54.30	0.00039
120.49	12,282.72	179.08	68.59	0.00049
145.59	14,841.34	179.08	82.88	0.00059
170.69	17,399.95	179.08	97.16	0.00068
177.45	18,088.87	179.08	101.01	0.00078
195.79	19,958.56	179.08	111.45	0.00088
220.88	22,516.16	179.08	125.73	0.00098
245.98	25,074.77	179.08	140.02	0.00115
271.08	27,633.39	179.08	154.31	0.00138
296.18	30,192.00	179.08	168.60	0.00160
321.28	32,750.61	179.08	182.88	0.00183
346.38	35,309.23	179.08	197.17	0.00206
354.89	36,175.95	179.08	202.01	0.00228
371.48	37,867.84	179.08	211.46	0.00251
343.89	35,054.91	179.08	195.75	0.00274

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.76 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

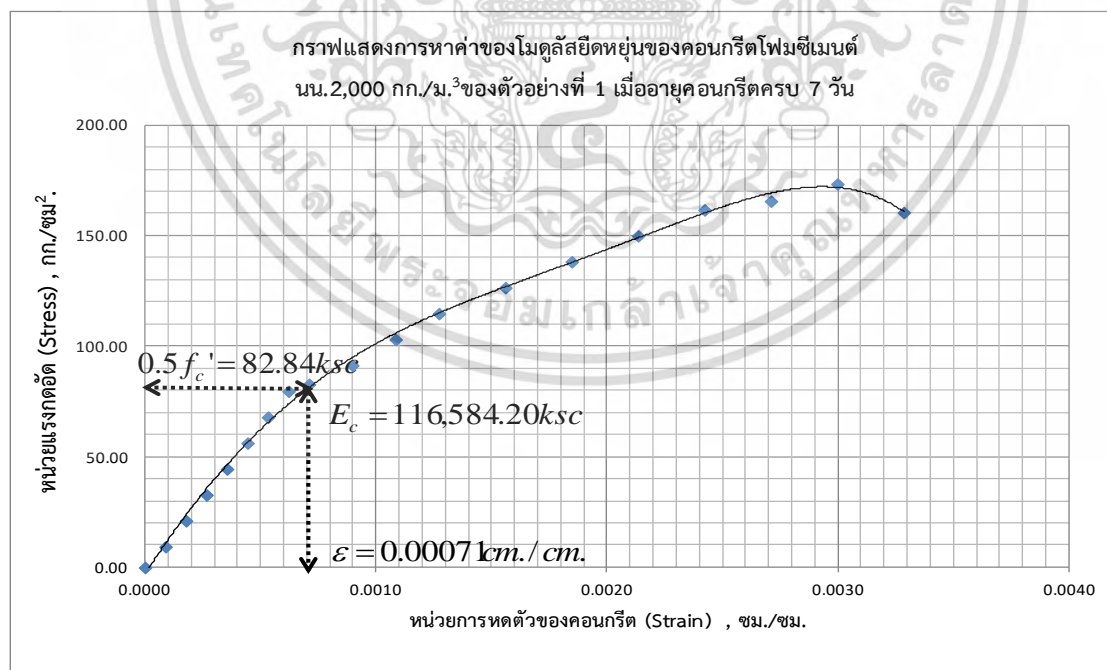
Initial Tangent Modulus Elastic = 134,675.61 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.95 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.08	0.00	0.00000
16.48	1,679.90	179.08	9.38	0.00009
37.07	3,778.37	179.08	21.10	0.00018
57.65	5,876.83	179.08	32.82	0.00027
78.24	7,975.30	179.08	44.53	0.00036
98.82	10,073.77	179.08	56.25	0.00044
119.41	12,172.23	179.08	67.97	0.00053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
140.00	14,270.70	179.08	79.69	0.00062
145.54	14,835.72	179.08	82.84	0.00071
160.58	16,369.16	179.08	91.41	0.00090
181.16	18,466.79	179.08	103.12	0.00109
201.75	20,565.26	179.08	114.84	0.00127
222.33	22,663.73	179.08	126.56	0.00156
242.92	24,762.19	179.08	138.27	0.00185
263.50	26,860.66	179.08	149.99	0.00214
284.09	28,959.12	179.08	161.71	0.00242
291.06	29,669.97	179.08	165.68	0.00271
304.67	31,057.59	179.08	173.43	0.00300
282.04	28,750.54	179.08	160.55	0.00329



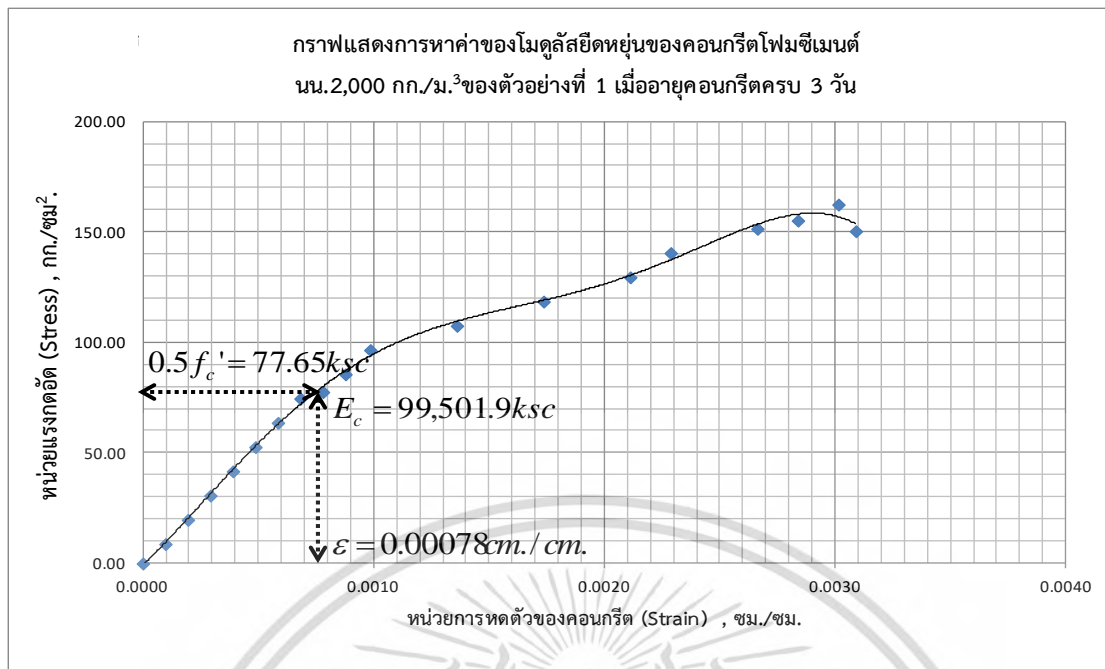
รูปที่ ข.77 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.96 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.08	0.00	0.00000
15.45	1,574.76	179.08	8.79	0.00010
34.75	3,541.88	179.08	19.78	0.00020
54.04	5,509.00	179.08	30.76	0.00029
73.34	7,476.12	179.08	41.75	0.00039
92.64	9,443.24	179.08	52.73	0.00049
111.94	11,410.37	179.08	63.72	0.00059
131.23	13,377.49	179.08	74.70	0.00068
136.43	13,907.15	179.08	77.66	0.00078
150.53	15,344.61	179.08	85.69	0.00088
169.82	17,310.95	179.08	96.67	0.00099
189.12	19,278.07	179.08	107.65	0.00136
208.42	21,245.19	179.08	118.64	0.00174
227.71	23,212.31	179.08	129.62	0.00211
247.01	25,179.44	179.08	140.60	0.00229
266.31	27,146.56	179.08	151.59	0.00266
272.84	27,812.91	179.08	155.31	0.00284
285.60	29,113.68	179.08	162.57	0.00301
264.39	26,951.03	179.08	150.50	0.00309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.78 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 1

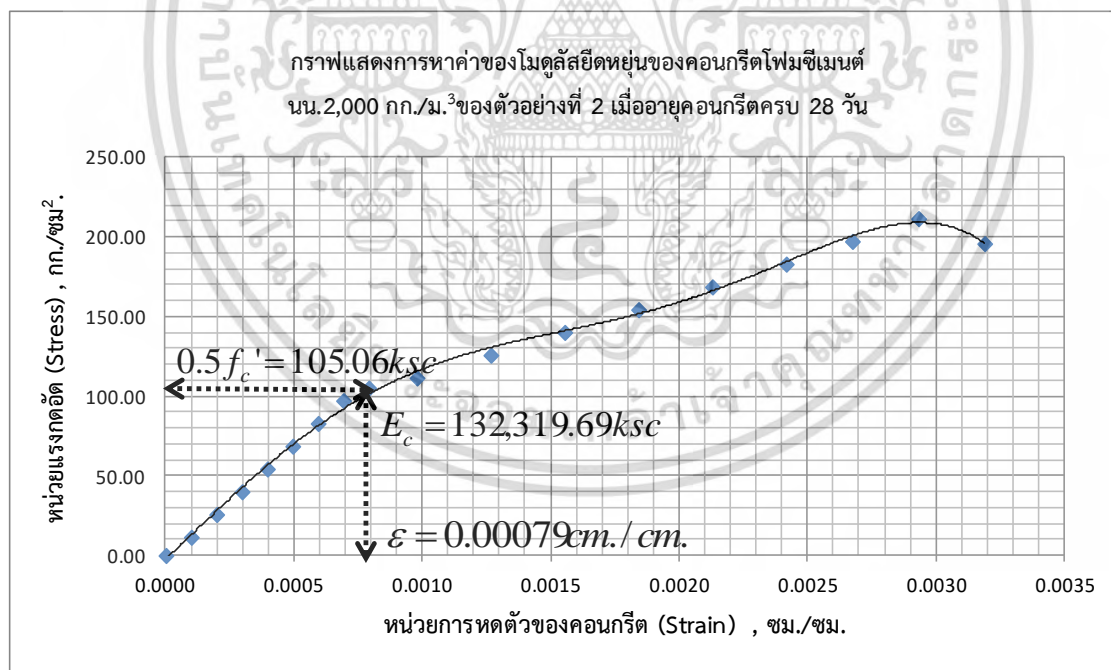
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 210.12$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.97 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.48	0.00	0.00000
19.80	2,018.74	176.48	11.44	0.00010
44.53	4,539.64	176.48	25.72	0.00020
69.27	7,061.56	176.48	40.01	0.00030
94.00	9,582.45	176.48	54.30	0.00040
118.74	12,104.37	176.48	68.59	0.00049
143.47	14,625.27	176.48	82.87	0.00059
168.21	17,147.18	176.48	97.16	0.00069

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกราย 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
181.89	18,540.99	176.48	105.06	0.00079
192.94	19,668.08	176.48	111.45	0.00098
217.68	22,190.00	176.48	125.74	0.00127
242.41	24,710.89	176.48	140.02	0.00155
267.15	27,232.81	176.48	154.31	0.00184
291.88	29,753.71	176.48	168.60	0.00213
316.62	32,275.62	176.48	182.89	0.00242
341.35	34,796.52	176.48	197.17	0.00267
366.09	37,318.44	176.48	211.46	0.00293
338.90	34,545.96	176.48	195.75	0.00319



รูปที่ ข.79 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

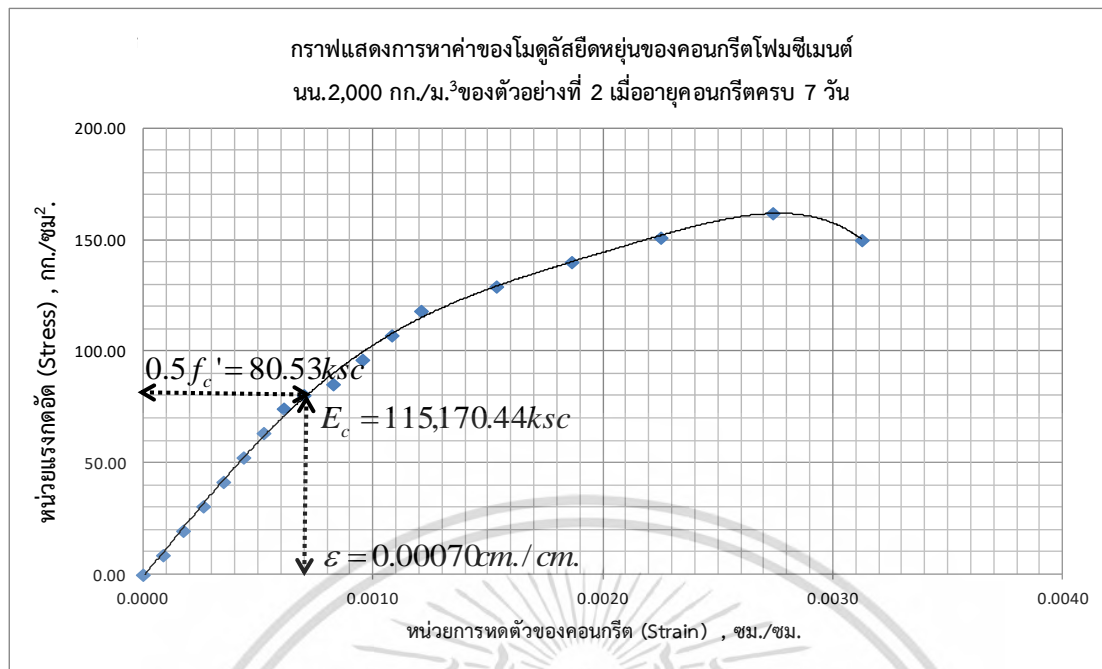
$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 132,319.69 \text{ กก./ซม.}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.98 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.48	0.00	0.00000
15.18	1,547.30	176.48	8.77	0.00009
34.13	3,479.48	176.48	19.72	0.00018
53.10	5,412.45	176.48	30.67	0.00026
72.05	7,344.63	176.48	41.62	0.00035
91.01	9,277.60	176.48	52.57	0.00044
109.97	11,209.78	176.48	63.52	0.00053
128.93	13,142.75	176.48	74.47	0.00061
139.41	14,211.05	176.48	80.53	0.00070
147.88	15,074.93	176.48	85.42	0.00083
166.85	17,007.90	176.48	96.37	0.00096
185.80	18,940.08	176.48	107.32	0.00108
204.76	20,873.04	176.48	118.27	0.00121
223.72	22,805.23	176.48	129.22	0.00154
242.68	24,738.19	176.48	140.18	0.00187
261.64	26,670.38	176.48	151.12	0.00225
280.60	28,603.34	176.48	162.08	0.00274
259.75	26,478.33	176.48	150.04	0.00313

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



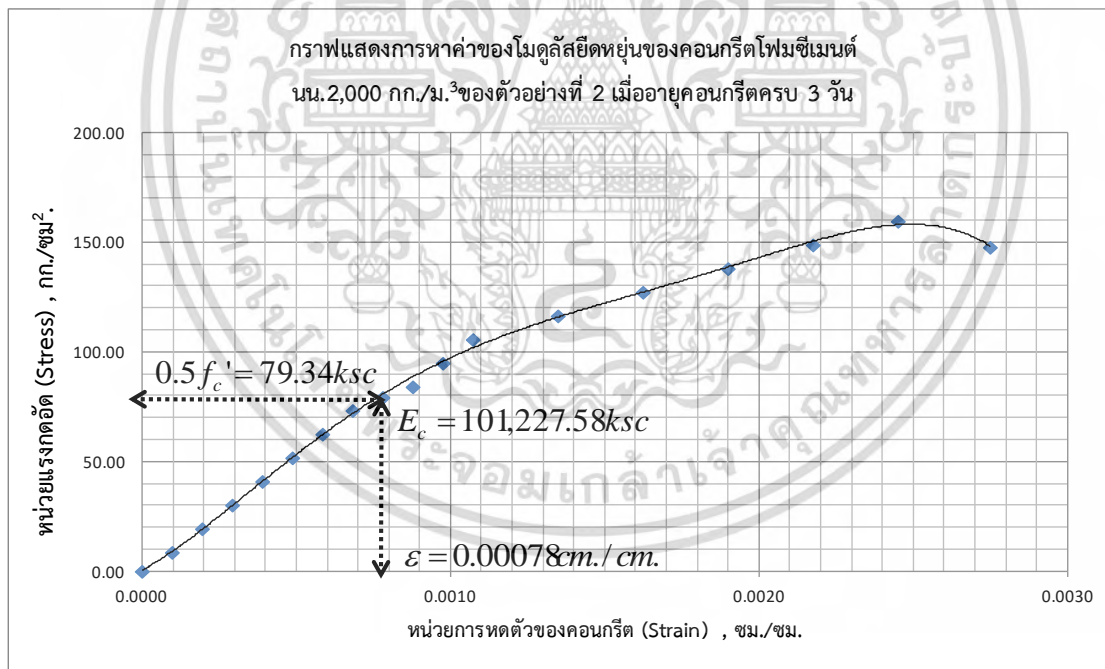
รูปที่ ข.80 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข.99 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซ.ม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซ.ม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซ.ม./ซ.ม.)
0.00	0.00	176.48	0.00	0.00000
14.96	1,524.53	176.48	8.64	0.00010
33.63	3,428.28	176.48	19.43	0.00020
52.31	5,332.80	176.48	30.22	0.00029
70.99	7,236.55	176.48	41.00	0.00039
89.67	9,141.07	176.48	51.80	0.00049
108.35	11,044.82	176.48	62.58	0.00059
127.03	12,949.34	176.48	73.38	0.00068
137.36	14,001.92	176.48	79.34	0.00078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
145.71	14,853.09	176.48	84.16	0.00088
164.39	16,757.61	176.48	94.95	0.00098
183.07	18,661.36	176.48	105.74	0.00107
201.75	20,565.88	176.48	116.53	0.00135
220.43	22,469.63	176.48	127.32	0.00162
239.11	24,374.15	176.48	138.11	0.00190
257.79	26,277.90	176.48	148.90	0.00218
276.47	28,182.42	176.48	159.69	0.00245
255.93	26,088.68	176.48	147.83	0.00275



รูปที่ ข.81 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 2

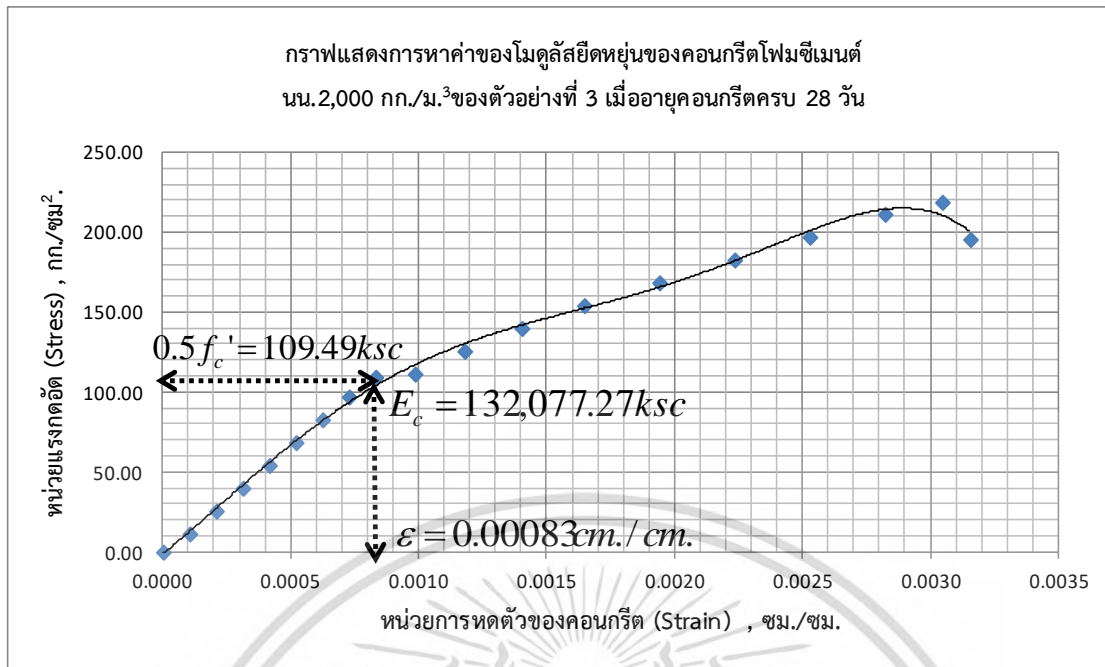
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 186.61$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.100 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
20.07	2,035.06	177.89	11.44	0.00010
45.13	4,576.35	177.89	25.73	0.00021
70.21	7,118.65	177.89	40.02	0.00031
95.27	9,659.93	177.89	54.30	0.00042
120.33	12,201.22	177.89	68.59	0.00052
145.40	14,743.52	177.89	82.88	0.00062
170.47	17,284.81	177.89	97.17	0.00073
192.09	19,477.18	177.89	109.49	0.00083
195.53	19,826.09	177.89	111.45	0.00098
220.60	22,368.39	177.89	125.74	0.00118
245.67	24,909.68	177.89	140.03	0.00140
270.73	27,450.96	177.89	154.31	0.00165
295.80	29,993.27	177.89	168.61	0.00194
320.86	32,534.55	177.89	182.89	0.00223
345.94	35,076.86	177.89	197.18	0.00253
371.00	37,618.14	177.89	211.47	0.00282
384.16	38,952.57	177.89	218.97	0.00304
343.42	34,821.97	177.89	195.75	0.00315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.82 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโฟมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

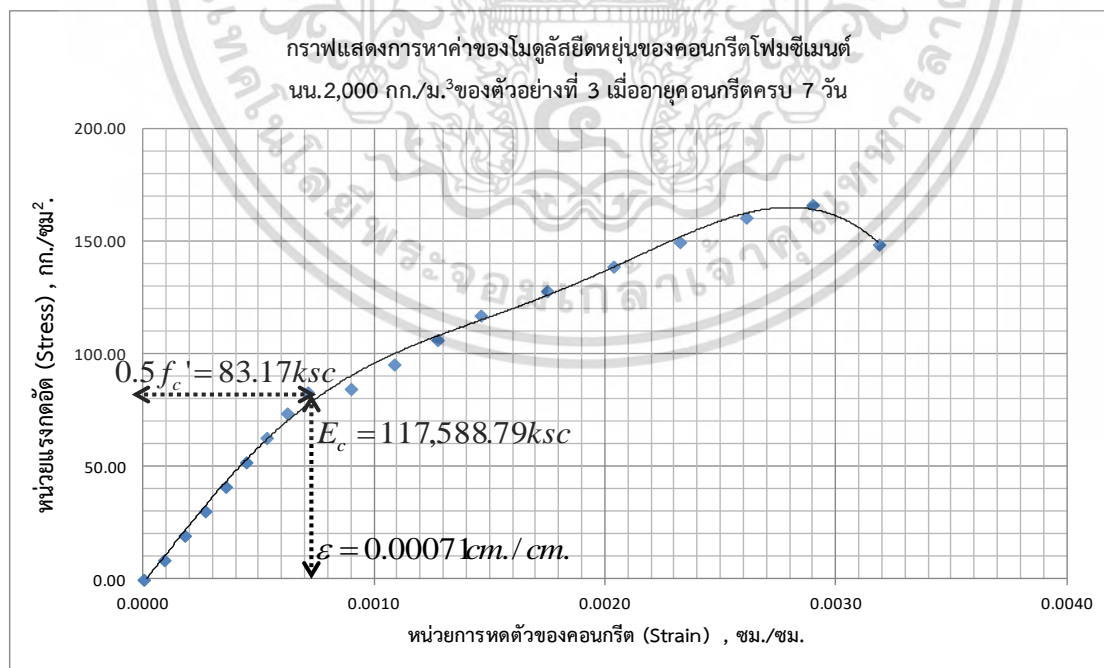
Initial Tangent Modulus Elastic = 132,077.27 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.101 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
15.16	1,545.69	177.89	8.69	0.00009
34.10	3,475.88	177.89	19.54	0.00018
53.04	5,406.84	177.89	30.39	0.00027
71.98	7,337.03	177.89	41.24	0.00036
90.91	9,267.22	177.89	52.10	0.00044
109.85	11,198.18	177.89	62.95	0.00053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
128.79	13,128.37	177.89	73.80	0.00062
145.12	14,793.55	177.89	83.16	0.00071
147.72	15,058.56	177.89	84.65	0.00090
166.67	16,989.52	177.89	95.51	0.00109
185.60	18,919.71	177.89	106.36	0.00127
204.54	20,849.90	177.89	117.21	0.00146
223.48	22,780.86	177.89	128.06	0.00175
242.42	24,711.05	177.89	138.91	0.00204
261.36	26,642.01	177.89	149.77	0.00232
280.29	28,572.20	177.89	160.62	0.00261
290.24	29,585.74	177.89	166.31	0.00290
259.46	26,448.41	177.89	148.68	0.00319



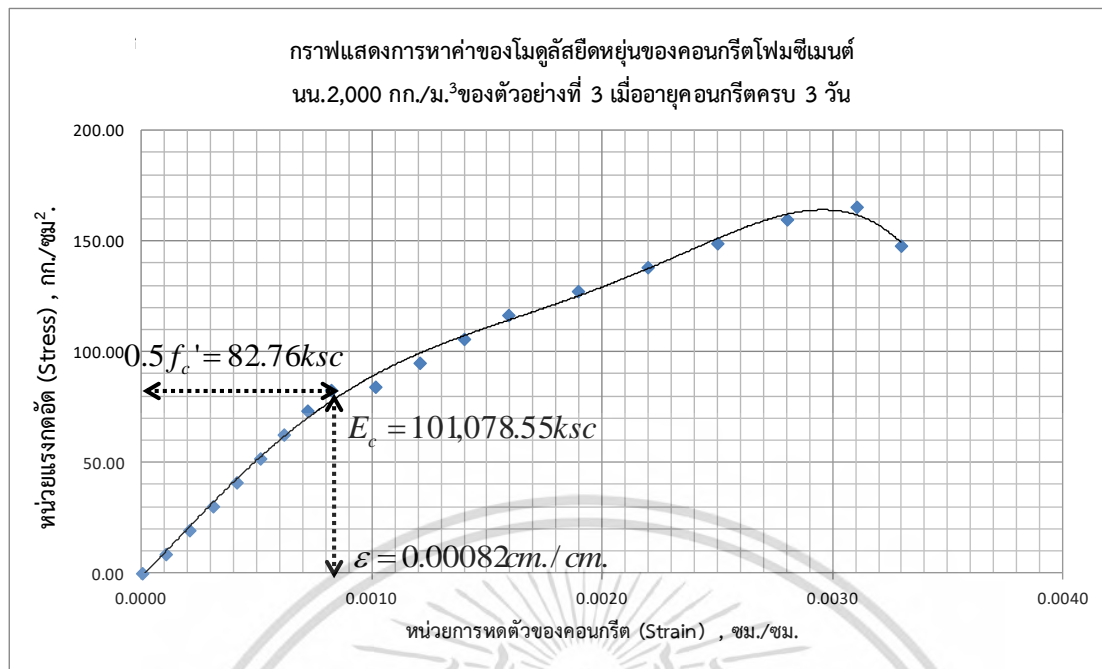
รูปที่ ข.83 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.102 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
15.09	1,538.17	177.89	8.65	0.00010
33.93	3,458.96	177.89	19.44	0.00021
52.78	5,380.51	177.89	30.25	0.00031
71.63	7,301.30	177.89	41.04	0.00041
90.47	9,222.09	177.89	51.84	0.00051
109.32	11,143.65	177.89	62.64	0.00062
128.16	13,064.44	177.89	73.44	0.00072
144.42	14,721.50	177.89	82.76	0.00082
147.00	14,985.23	177.89	84.24	0.00101
165.86	16,906.78	177.89	95.04	0.00121
184.70	18,827.57	177.89	105.84	0.00140
203.54	20,748.36	177.89	116.64	0.00159
222.39	22,669.92	177.89	127.44	0.00189
241.23	24,590.71	177.89	138.24	0.00220
260.09	26,512.27	177.89	149.04	0.00250
278.93	28,433.05	177.89	159.84	0.00280
288.82	29,441.66	177.89	165.50	0.00310
258.20	26,319.61	177.89	147.95	0.00330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.84 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 3

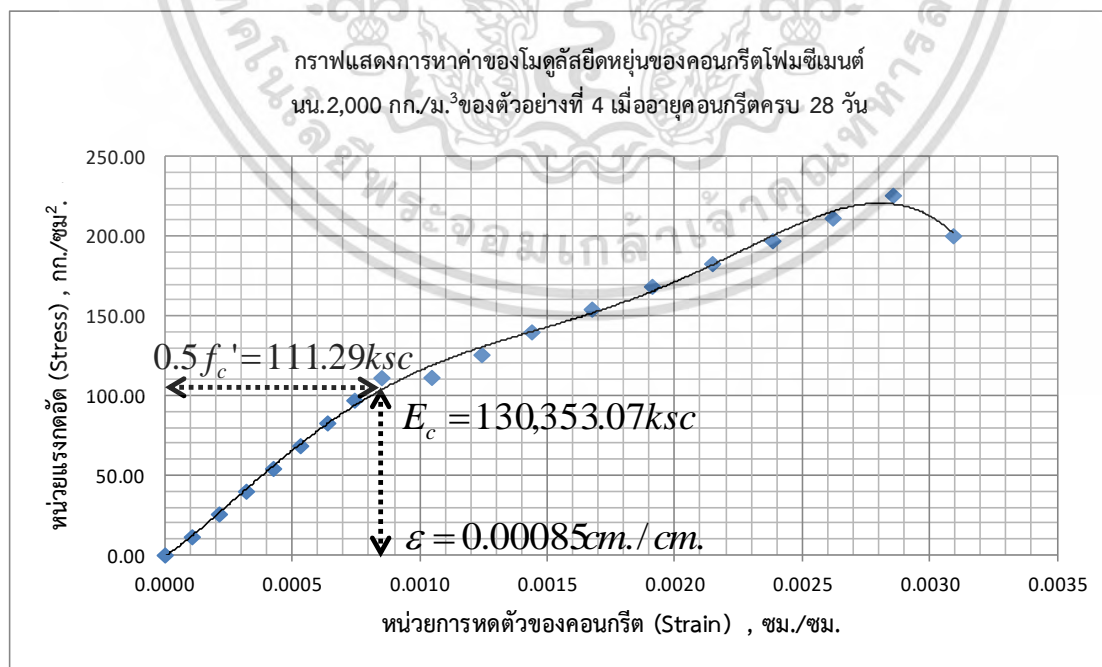
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 199.27$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.103 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	180.98	0.00	0.00000
121.00	2,069.84	180.98	11.44	0.00011
151.00	4,655.98	180.98	25.73	0.00021
152.00	7,241.10	180.98	40.01	0.00032
176.00	9,827.23	180.98	54.30	0.00043
204.00	12,413.37	180.98	68.59	0.00053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
231.00	14,998.49	180.98	82.87	0.00064
256.00	17,584.63	180.98	97.16	0.00074
257.00	20,141.26	180.98	111.29	0.00085
286.00	20,170.76	180.98	111.45	0.00105
287.00	22,755.88	180.98	125.74	0.00124
316.00	25,342.02	180.98	140.03	0.00144
317.00	27,927.13	180.98	154.31	0.00168
318.00	30,513.27	180.98	168.60	0.00191
319.00	33,099.41	180.98	182.89	0.00215
320.00	35,694.72	180.98	197.23	0.00238
321.00	38,270.66	180.98	211.46	0.00262
322.00	40,856.80	180.98	225.75	0.00286
323.00	36,257.53	180.98	200.34	0.00309



รูปที่ ข.85 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก

2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

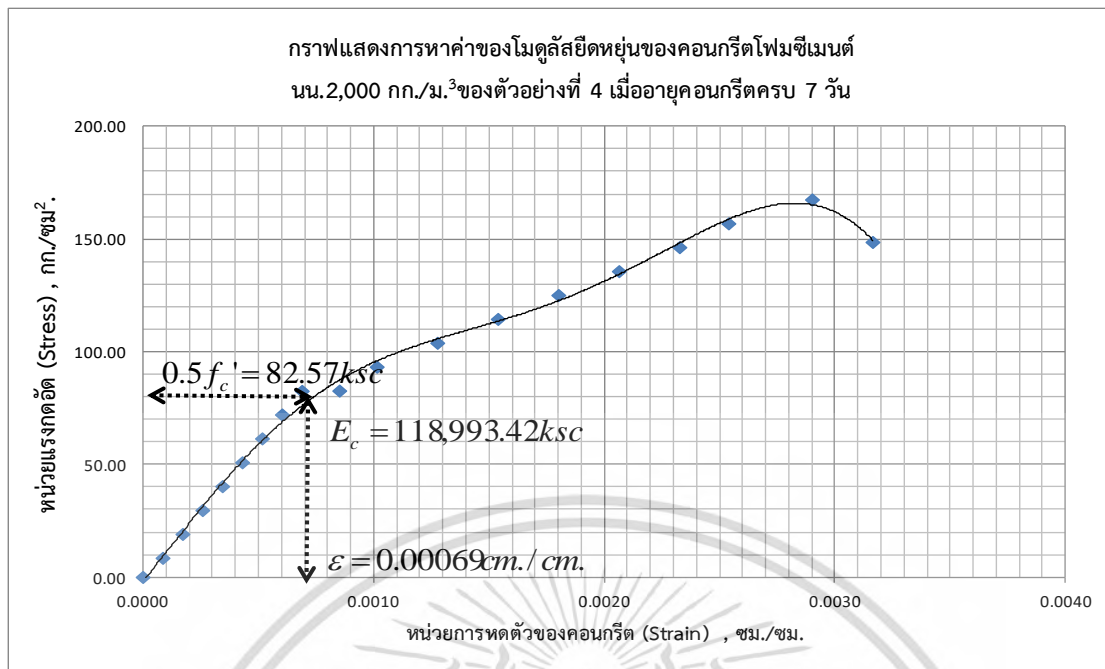
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 130,353.07 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.104 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	180.98	0.00	0.00000
15.07	1,535.85	180.98	8.49	0.00009
33.89	3,454.80	180.98	19.09	0.00017
52.71	5,372.99	180.98	29.69	0.00026
71.53	7,291.94	180.98	40.29	0.00035
90.36	9,210.89	180.98	50.89	0.00043
109.18	11,129.08	180.98	61.49	0.00052
128.00	13,048.03	180.98	72.10	0.00060
146.61	14,945.09	180.98	82.58	0.00069
146.83	14,966.98	180.98	82.70	0.00085
165.64	16,885.18	180.98	93.30	0.00102
184.47	18,804.12	180.98	103.90	0.00128
203.29	20,722.32	180.98	114.50	0.00154
222.11	22,641.27	180.98	125.10	0.00180
240.94	24,560.21	180.98	135.71	0.00207
259.83	26,485.97	180.98	146.35	0.00233
278.58	28,397.36	180.98	156.91	0.00254
297.40	30,316.30	180.98	167.51	0.00290
263.92	26,903.59	180.98	148.66	0.00317

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



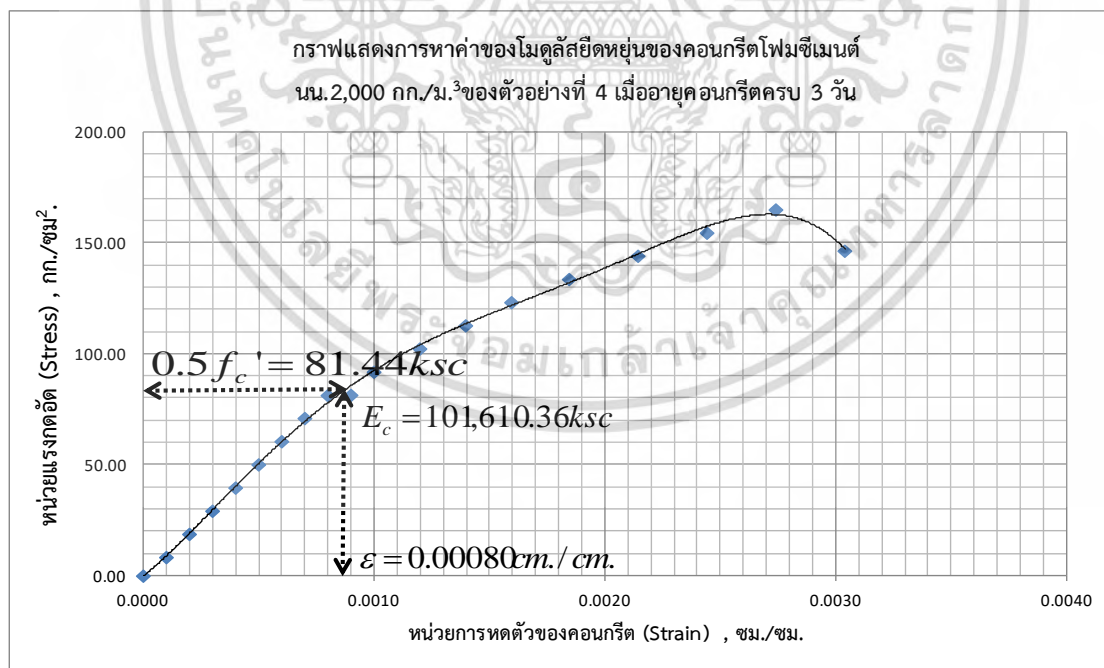
รูปที่ ข.86 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ข.105 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	180.98	0.00	0.00000
14.86	1,514.65	180.98	8.37	0.00010
33.42	3,407.11	180.98	18.83	0.00020
51.98	5,298.82	180.98	29.28	0.00030
70.55	7,191.27	180.98	39.74	0.00040
89.11	9,083.73	180.98	50.19	0.00050
107.67	10,975.44	180.98	60.64	0.00060
126.23	12,867.90	180.98	71.10	0.00070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
144.59	14,738.77	180.98	81.44	0.00080
144.80	14,760.35	180.98	81.56	0.00090
163.36	16,652.06	180.98	92.01	0.00100
181.92	18,544.52	180.98	102.47	0.00120
200.48	20,436.23	180.98	112.92	0.00140
219.04	22,328.69	180.98	123.38	0.00160
237.61	24,221.15	180.98	133.83	0.00185
256.24	26,120.32	180.98	144.33	0.00214
274.73	28,005.31	180.98	154.74	0.00244
293.30	29,897.77	180.98	165.20	0.00274
260.28	26,532.17	180.98	146.60	0.00304



รูปที่ ข.87 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพรมีซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 4

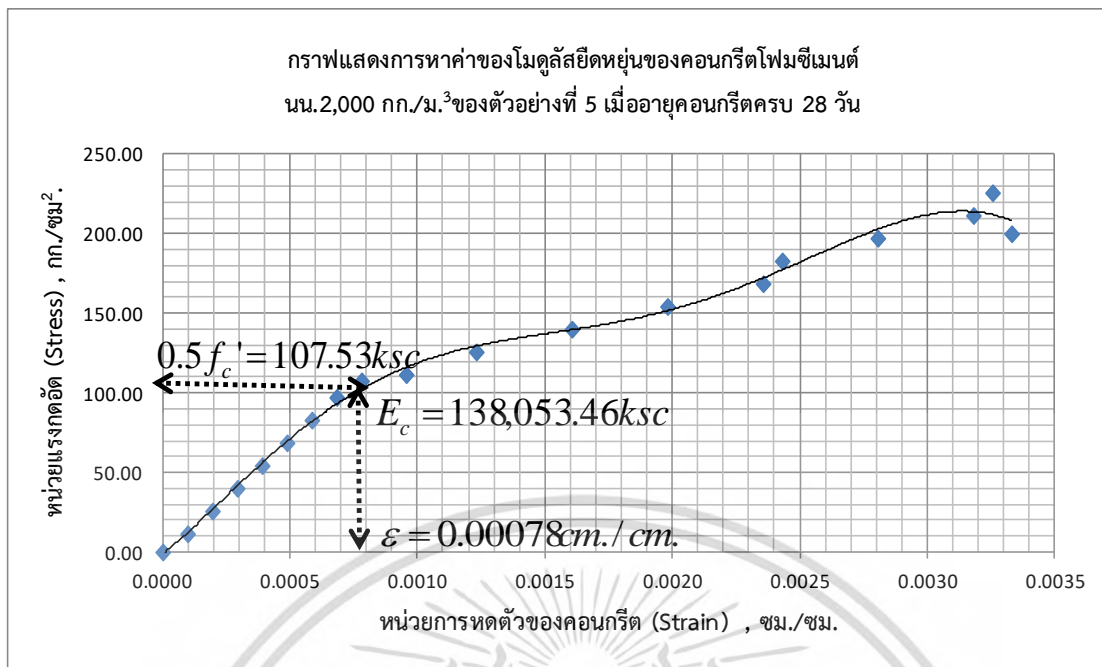
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 180.17$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.106 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.13	0.00	0.00000
83.00	2,036.97	178.13	11.44	0.00010
110.00	4,582.33	178.13	25.72	0.00020
111.00	7,127.69	178.13	40.01	0.00029
162.00	9,672.04	178.13	54.30	0.00039
192.00	12,217.40	178.13	68.59	0.00049
219.00	14,762.76	178.13	82.88	0.00059
247.00	17,307.10	178.13	97.16	0.00068
248.00	19,154.32	178.13	107.53	0.00078
248.00	19,852.47	178.13	111.45	0.00096
282.00	22,397.83	178.13	125.74	0.00123
312.00	24,943.19	178.13	140.03	0.00161
269.65	27,487.53	178.13	154.31	0.00198
294.62	30,032.89	178.13	168.60	0.00236
319.59	32,578.26	178.13	182.89	0.00243
344.55	35,122.60	178.13	197.17	0.00281
369.52	37,667.96	178.13	211.46	0.00318
394.49	40,213.32	178.13	225.75	0.00326
349.51	35,627.78	178.13	200.01	0.00333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.88 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

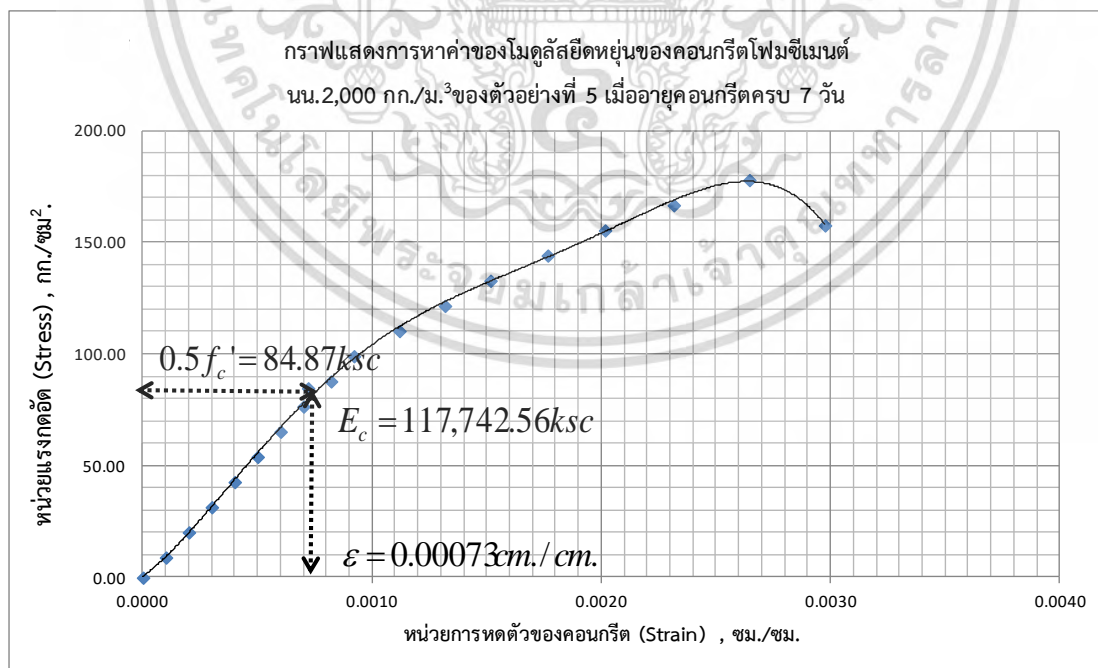
Initial Tangent Modulus Elastic = 138,053.46 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.107 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 7 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.13	0.00	0.00000
15.77	1,607.79	178.13	9.03	0.00010
35.48	3,616.86	178.13	20.30	0.00020
55.19	5,625.92	178.13	31.58	0.00030
74.89	7,634.19	178.13	42.86	0.00040
94.60	9,643.25	178.13	54.14	0.00050
114.31	11,652.32	178.13	65.41	0.00060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 7 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
134.01	13,660.58	178.13	76.69	0.00070
148.31	15,118.60	178.13	84.87	0.00072
153.72	15,669.65	178.13	87.97	0.00082
173.43	17,678.71	178.13	99.25	0.00092
193.14	19,687.78	178.13	110.52	0.00112
212.84	21,696.04	178.13	121.80	0.00132
232.55	23,705.11	178.13	133.08	0.00152
252.26	25,714.17	178.13	144.36	0.00177
271.96	27,722.44	178.13	155.63	0.00202
291.67	29,731.50	178.13	166.91	0.00232
311.37	31,740.57	178.13	178.19	0.00265
275.87	28,121.18	178.13	157.87	0.00297



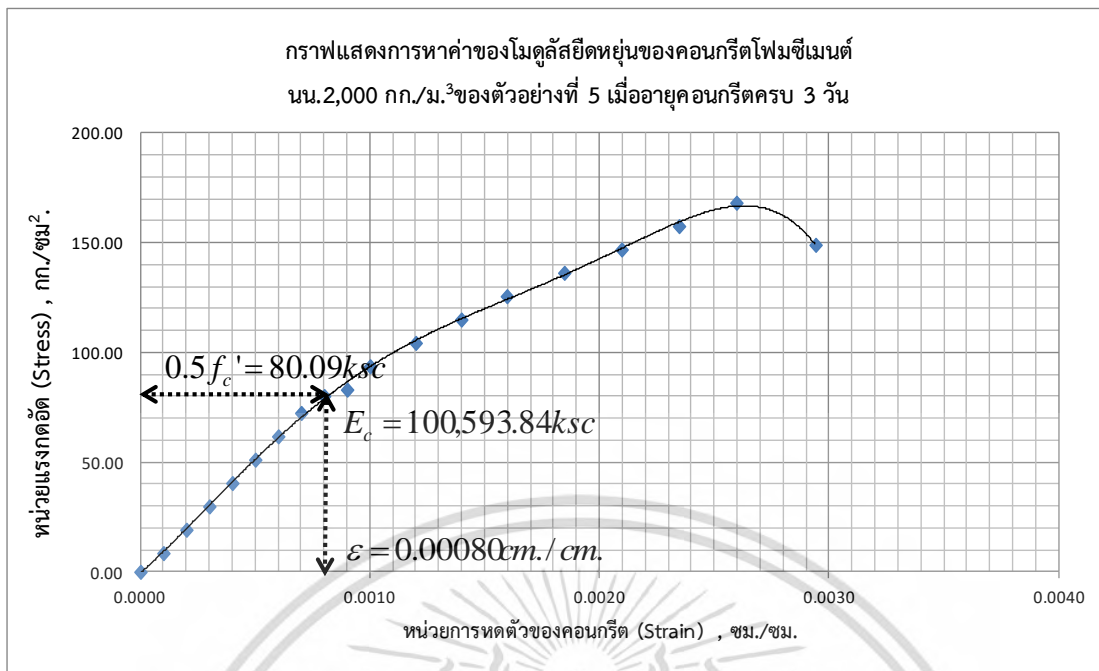
รูปที่ ข.89 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 7 วันของตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.108 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 3 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,000 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 3 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	178.13	0.00	0.00000
14.89	1,517.33	178.13	8.52	0.00010
33.49	3,413.36	178.13	19.16	0.00020
52.09	5,309.39	178.13	29.81	0.00030
70.68	7,204.67	178.13	40.45	0.00040
89.28	9,100.70	178.13	51.09	0.00050
107.88	10,996.73	178.13	61.73	0.00060
126.47	12,892.00	178.13	72.37	0.00070
139.97	14,267.99	178.13	80.10	0.00080
145.07	14,788.03	178.13	83.02	0.00090
163.67	16,684.06	178.13	93.66	0.00100
182.27	18,580.10	178.13	104.31	0.00120
200.86	20,475.37	178.13	114.95	0.00140
219.46	22,371.40	178.13	125.59	0.00160
238.06	24,267.43	178.13	136.23	0.00185
256.66	26,162.70	178.13	146.87	0.00210
275.26	28,058.73	178.13	157.52	0.00235
293.86	29,954.76	178.13	168.16	0.00260
260.35	26,539.01	178.13	148.99	0.00294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.90 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 2,000 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วันของตัวอย่างที่ 5

ข-3 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐานของแผ่นพื้น

- คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา $f'_c \approx 180$ กก./ซม.²

ตารางที่ ข.109 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.00	30.15	176.71	12.59	32,583.46	190.93	211,533.68	2,363.76
2	14.96	30.13	176.24	12.61	29,896.12	177.14	204,495.17	2,375.09
3	14.98	30.15	176.71	12.51	32,021.40	188.04	208,921.89	2,348.81
4	15.00	30.18	176.27	12.56	30,897.27	182.28	206,550.10	2,361.73
5	15.03	30.13	176.77	12.45	30,335.02	179.39	203,356.35	2,338.12
เฉลี่ย						183.55	206,971.44	2,357.50

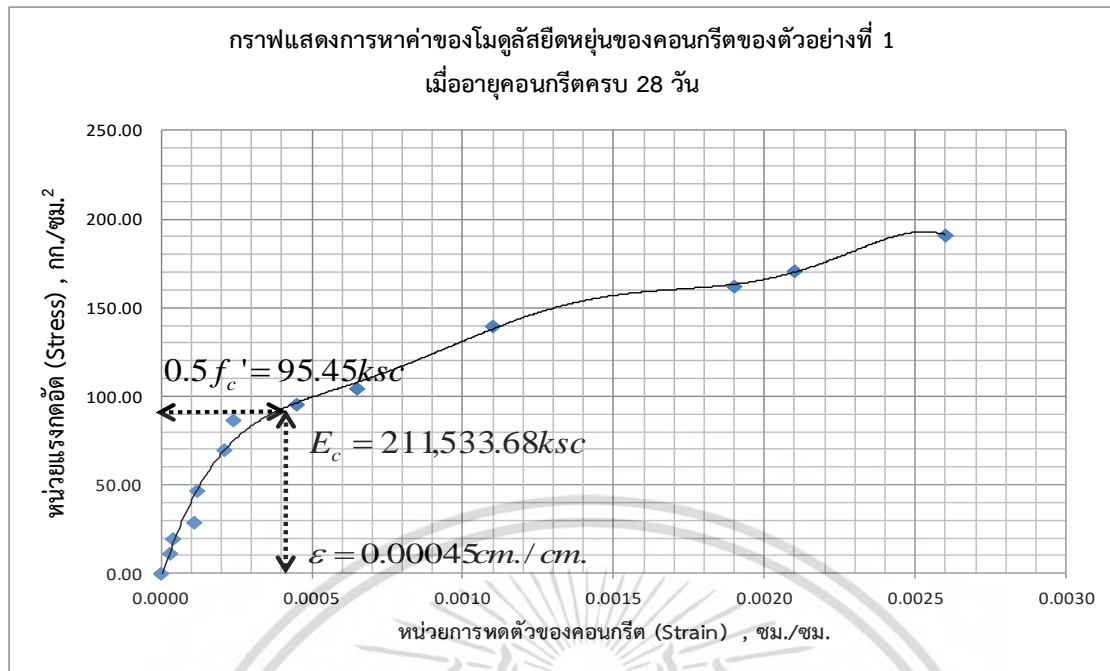
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 190.93$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.110 ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.000
19.61	1,998.59	176.71	11.31	0.000
34.00	3,464.68	176.71	19.61	0.000
50.00	5,095.67	176.71	28.84	0.000
90.00	8,255.71	176.71	46.72	0.000
121.00	12,333.18	176.71	69.79	0.000
150.00	15,289.35	176.71	86.52	0.000
166.37	16,869.62	176.71	95.47	0.000
181.00	18,449.39	176.71	104.40	0.001
242.00	24,667.53	176.71	139.59	0.001
281.00	28,643.07	176.71	162.09	0.002
296.00	30,172.12	176.71	170.74	0.002
331.00	33,739.91	176.71	190.93	0.003
126.00	12,842.86	176.71	72.68	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.91 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 211,533.83 กก./ซม.²

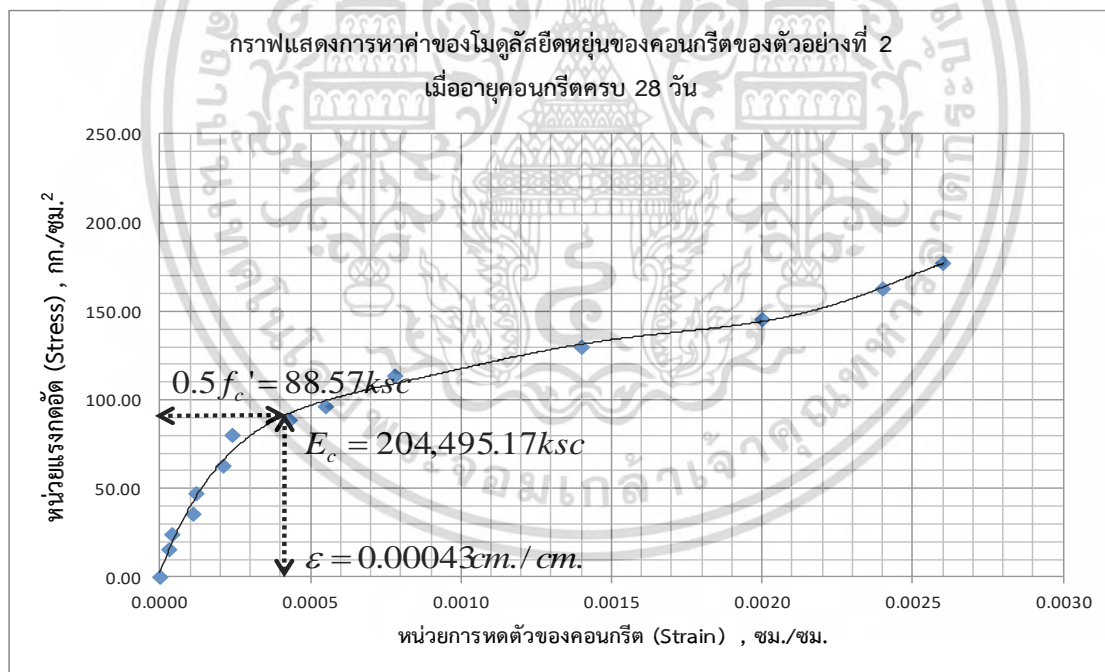
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 177.14$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.111 ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.000
27.00	2,747.58	176.24	15.53	0.000
42.00	4,245.96	176.24	24.01	0.000
62.00	6,290.15	176.24	35.56	0.000
82.00	8,334.33	176.24	47.12	0.000
109.00	11,093.99	176.24	62.72	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
139.00	14,160.27	176.24	80.06	0.000
154.50	15,665.97	176.24	88.57	0.000
167.00	17,022.13	176.24	96.24	0.001
197.00	20,088.41	176.24	113.58	0.001
225.00	22,950.27	176.24	129.76	0.001
252.00	25,709.93	176.24	145.36	0.002
282.00	28,776.21	176.24	162.70	0.002
307.00	31,331.44	176.24	177.15	0.003
107.00	10,889.57	176.24	61.57	0.003



รูปที่ ข.92 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

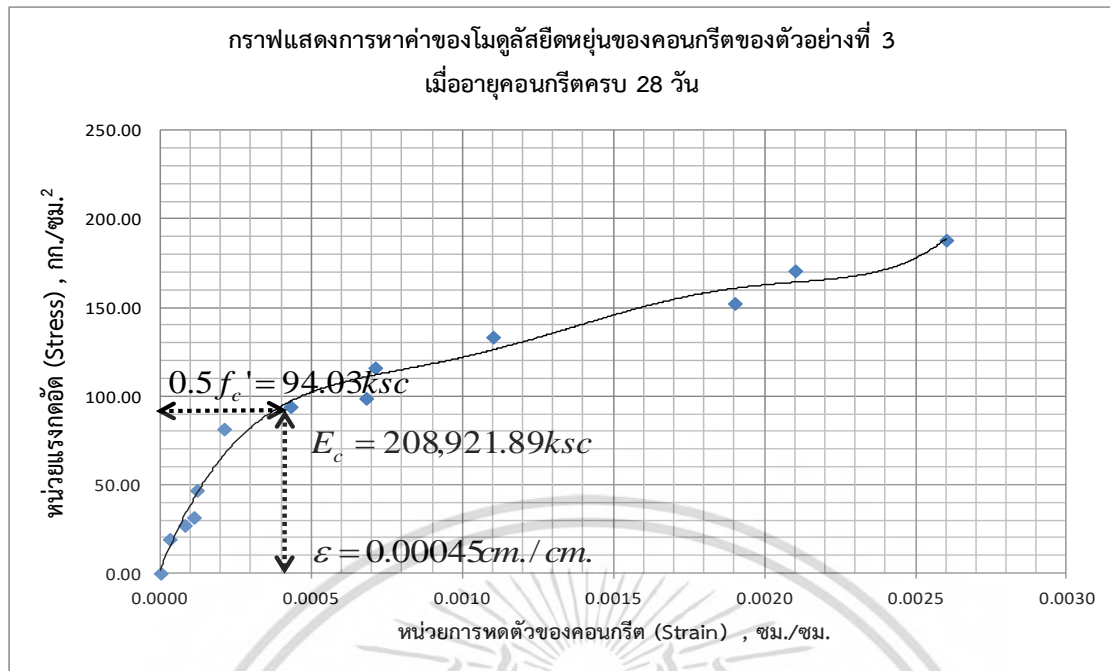
Initial Tangent Modulus Elastic = $204,495.17 \text{ กก./ซม.}^2$

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 188.04$) กก./ซม.²
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.112 ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.24	0.00	0.000
33.00	3,399.67	176.24	19.22	0.000
47.00	4,777.87	176.24	27.01	0.000
55.00	5,574.47	176.24	31.52	0.000
81.00	8,283.91	176.24	46.84	0.000
141.00	14,400.12	176.24	81.42	0.000
164.01	16,630.01	176.24	94.03	0.000
171.00	17,458.22	176.24	98.71	0.001
201.00	20,516.32	176.24	116.00	0.001
231.00	23,574.43	176.24	133.29	0.001
264.00	26,938.34	176.24	152.31	0.002
296.00	30,200.32	176.24	170.75	0.002
326.00	33,258.42	176.24	188.04	0.003
129.00	12,905.39	176.71	72.77	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.93 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 208,921.89 กก./ซม.²

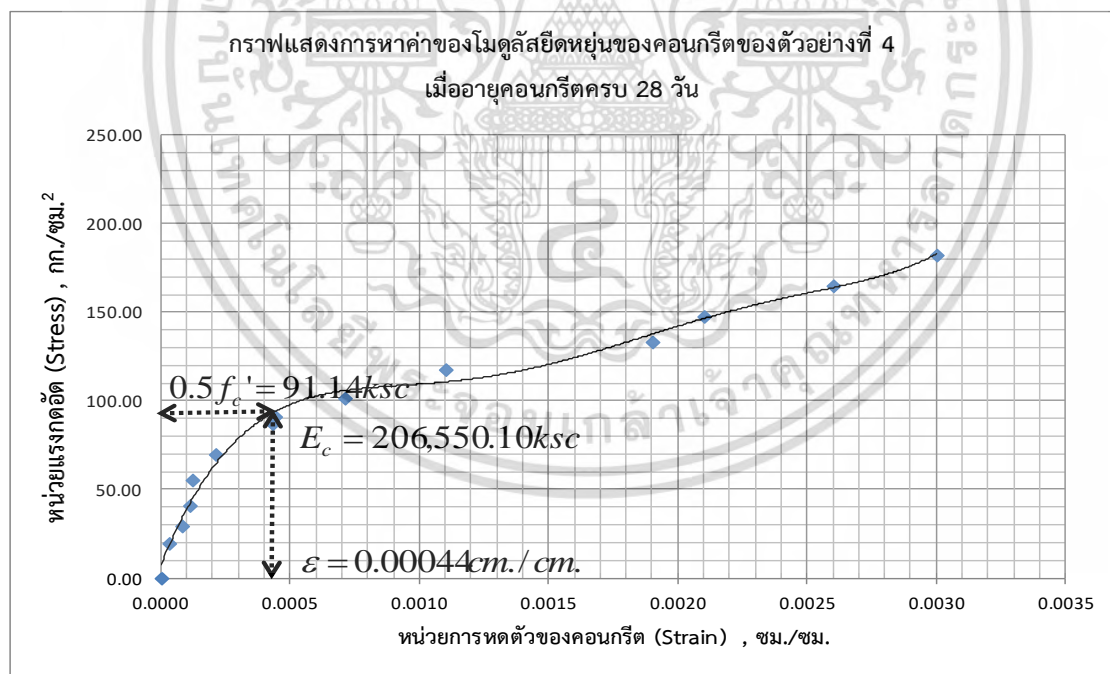
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 182.28$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.113 ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.000
34.00	3,464.68	176.71	19.61	0.000
51.00	5,197.60	176.71	29.41	0.000
71.00	7,236.34	176.71	40.95	0.000
96.00	9,784.76	176.71	55.37	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
121.00	12,333.18	176.71	69.79	0.000
151.00	15,391.28	176.71	87.10	0.000
158.83	16,105.35	176.71	91.14	0.000
176.00	17,939.70	176.71	101.52	0.001
204.00	20,793.93	176.71	117.67	0.001
231.00	23,546.23	176.71	133.25	0.002
256.00	26,094.65	176.71	147.67	0.002
286.00	29,152.75	176.71	164.97	0.003
316.00	32,210.86	176.71	182.28	0.003
156.00	15,900.97	176.71	89.98	0.004



รูปที่ ข.94 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 206,550.10 \text{ กก./ซม.}^2$$

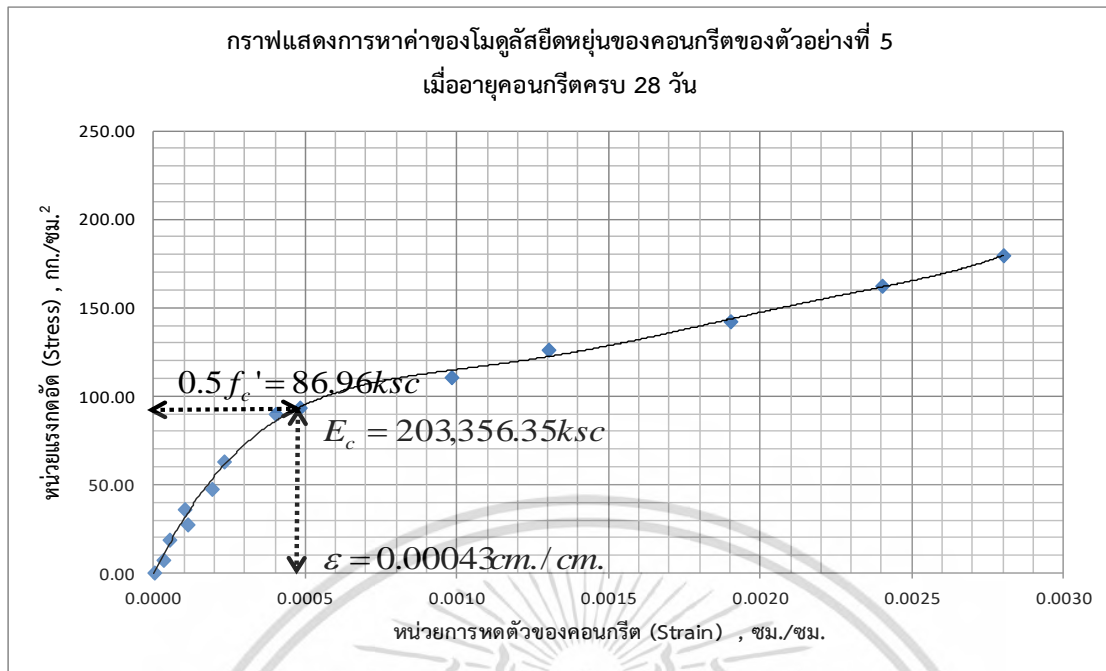
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 179.39$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.114 ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.000
8.00	1,274.64	174.37	7.18	0.000
33.00	3,299.27	174.37	18.59	0.000
44.00	4,828.32	174.37	27.20	0.000
63.00	6,357.37	174.37	35.82	0.000
83.00	8,396.11	174.37	47.30	0.000
110.00	11,148.40	174.37	62.81	0.000
157.06	15,920.85	174.37	89.69	0.000
162.00	16,551.05	174.37	93.25	0.000
192.00	19,609.16	174.37	110.47	0.001
219.00	22,361.45	174.37	125.98	0.001
247.00	25,215.68	174.37	142.06	0.002
282.00	28,783.47	174.37	162.16	0.002
312.00	31,841.57	174.37	179.39	0.003
117.00	11,963.90	174.37	67.40	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.95 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหน่วยน้ำหนักธรรมดา
ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 203,356.35 กก./ซม.²

ข-4 ข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโพมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน

- คอนกรีตโพมซีเมนต์ หน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³

ตารางที่ ข.115 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพมซีเมนต์ ทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.02	30.00	177.19	10.45	35,004.54	194.35	92,116.95	1,952.65
2	15.13	30.20	179.79	10.47	36,181.50	201.27	94,332.72	1,932.88
3	14.90	29.80	174.37	10.26	33,445.68	185.18	91,765.80	1,943.72
4	15.00	30.00	176.71	10.31	35,578.65	197.73	93,930.23	1,927.58
5	15.03	29.70	177.42	10.23	32,356.74	178.78	91,306.68	1,927.61
เฉลี่ย						191.46	92,690.48	1,936.89

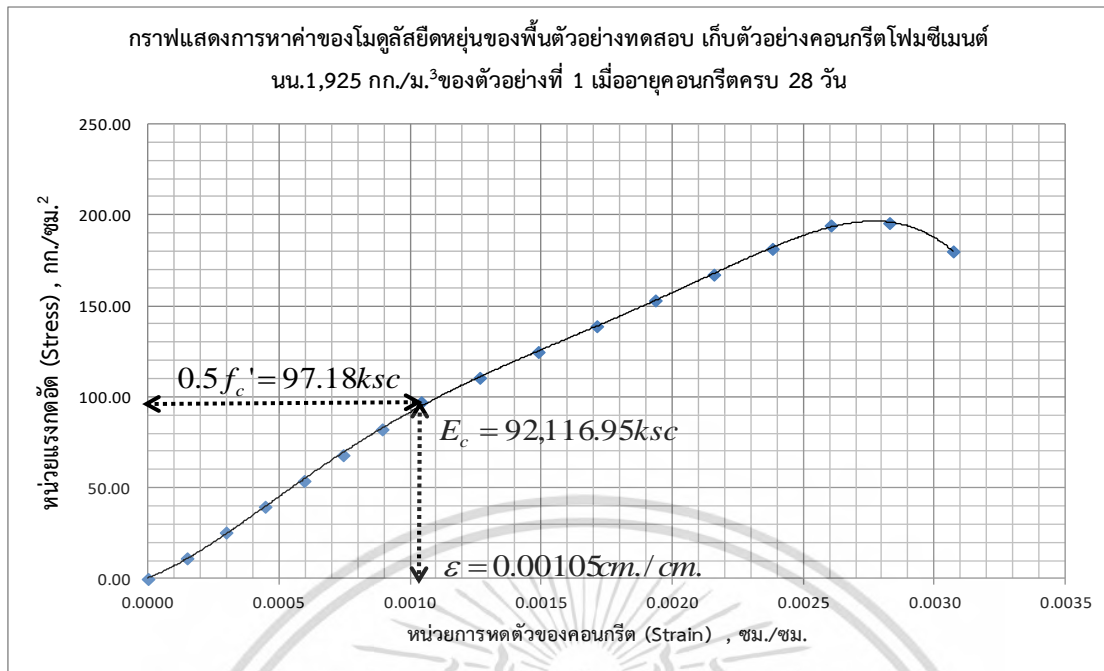
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 194.35$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.116 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรพอร์ชันซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.19	0.00	0.00000
19.73	2,011.52	177.19	11.35	0.00015
44.37	4,523.42	177.19	25.53	0.00030
69.03	7,036.32	177.19	39.71	0.00045
93.67	9,548.21	177.19	53.89	0.00060
118.31	12,060.10	177.19	68.06	0.00074
142.96	14,573.00	177.19	82.25	0.00089
168.91	17,218.40	177.19	97.17	0.00104
192.24	19,596.79	177.19	110.60	0.00127
216.90	22,109.69	177.19	124.78	0.00149
241.54	24,621.58	177.19	138.96	0.00171
266.18	27,133.47	177.19	153.13	0.00194
290.83	29,646.37	177.19	167.31	0.00216
315.47	32,158.27	177.19	181.49	0.00238
337.82	34,436.81	177.19	194.35	0.00261
340.12	34,671.17	177.19	195.67	0.00283
313.00	31,906.58	177.19	180.07	0.00307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.96 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 1,925 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 92,116.95 กก./ซม.²

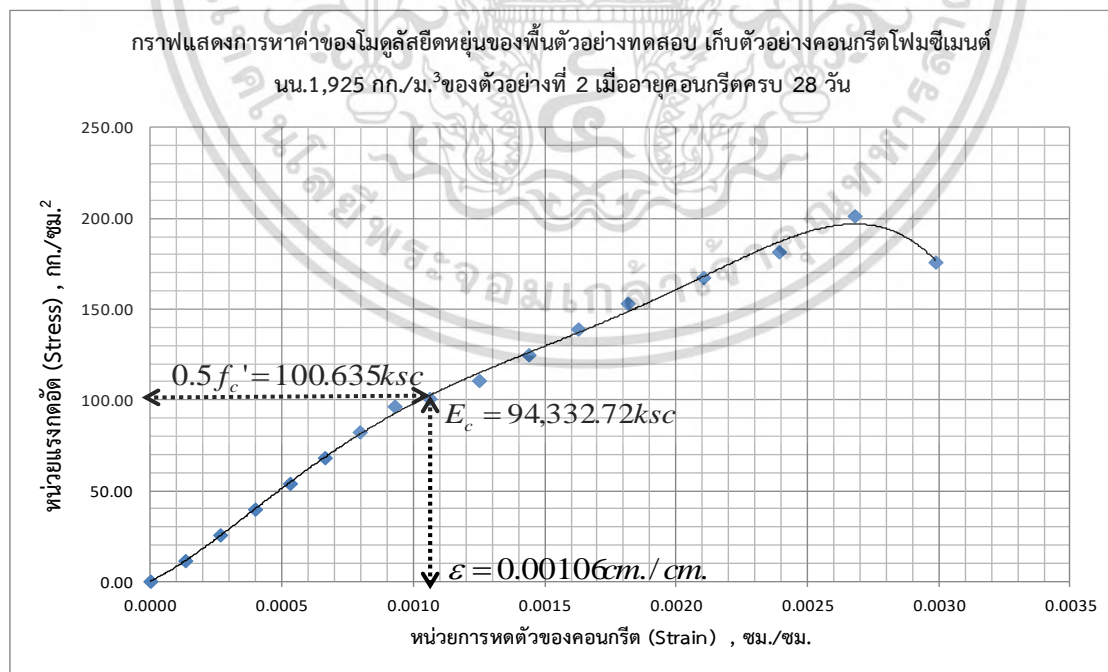
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 201.27$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.117 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	179.79	0.00	0.00000
20.02	2,041.12	179.79	11.35	0.00013
45.03	4,589.72	179.79	25.53	0.00027
70.03	7,138.32	179.79	39.70	0.00040
95.04	9,687.94	179.79	53.88	0.00053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
120.04	12,236.54	179.79	68.06	0.00066
145.04	14,785.14	179.79	82.24	0.00080
170.04	17,333.74	179.79	96.41	0.00093
177.49	18,093.18	179.79	100.64	0.00106
195.06	19,883.36	179.79	110.59	0.00125
220.06	22,431.96	179.79	124.77	0.00144
245.06	24,980.55	179.79	138.94	0.00163
270.07	27,530.17	179.79	153.12	0.00182
295.07	30,078.77	179.79	167.30	0.00210
320.07	32,627.37	179.79	181.47	0.00239
354.99	36,186.35	179.79	201.27	0.00268
310.08	31,608.64	179.79	175.81	0.00299



รูปที่ ข.97 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,925 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

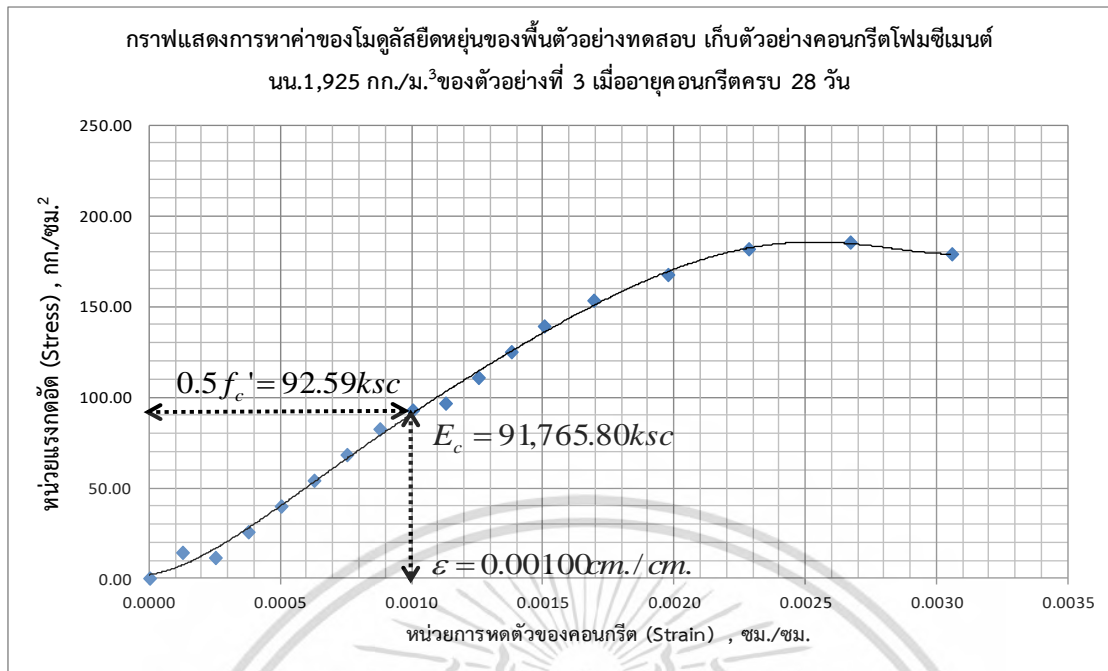
Initial Tangent Modulus Elastic = 94,332.72 กก./ซม.²

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c \approx 185.18$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.118 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรพอร์ชันซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน้ำน้หนัก 1,925 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	174.37	0.00	0.00000
24.39	2,472.64	174.37	14.18	0.00013
19.52	1,979.18	174.37	11.35	0.00025
43.90	4,451.82	174.37	25.53	0.00038
68.28	6,923.47	174.37	39.71	0.00050
92.67	9,396.11	174.37	53.89	0.00063
117.05	11,868.75	174.37	68.07	0.00075
141.43	14,340.41	174.37	82.24	0.00088
159.23	16,144.95	174.37	92.59	0.00100
165.81	16,813.05	174.37	96.42	0.00113
190.19	19,284.70	174.37	110.60	0.00125
214.58	21,757.34	174.37	124.78	0.00138
238.96	24,229.98	174.37	138.96	0.00150
263.34	26,701.64	174.37	153.13	0.00169
287.72	29,174.28	174.37	167.31	0.00197
312.10	31,645.93	174.37	181.49	0.00228
318.45	32,289.91	174.37	185.18	0.00267
307.36	31,165.19	174.37	178.73	0.00306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.98 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,925 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 91,765.80 กก./ซม.²

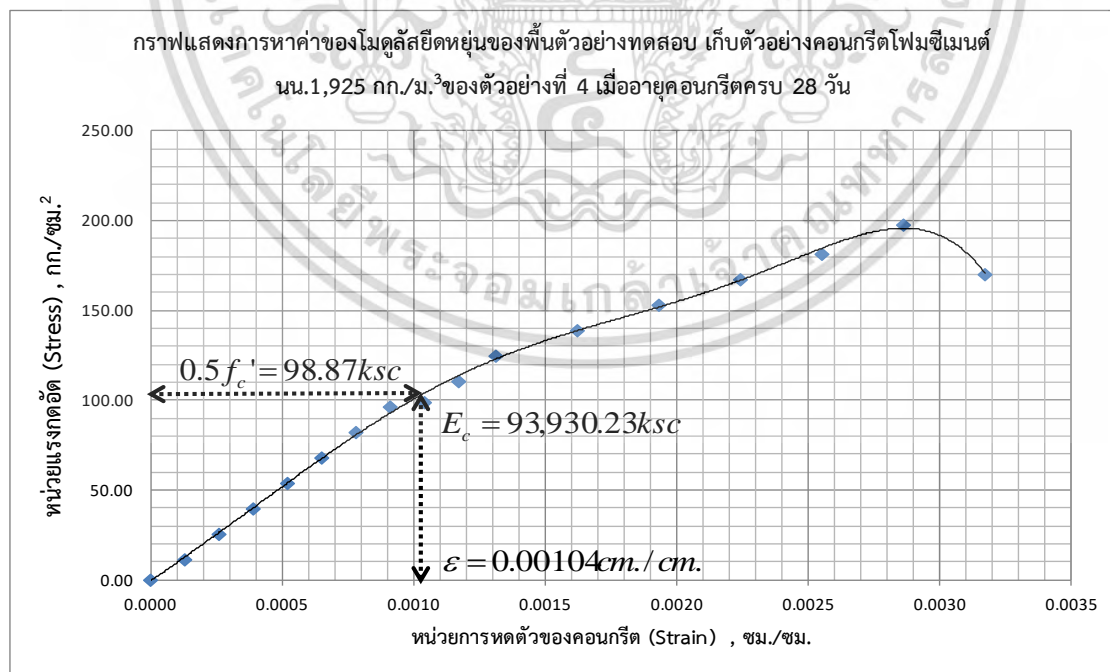
- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f'_c \approx 197.73$) กก./ซม.²

ตารางที่ ข.119 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
19.68	2,005.64	176.71	11.35	0.00013
44.25	4,510.52	176.71	25.52	0.00026
68.82	7,015.39	176.71	39.70	0.00039
93.40	9,521.28	176.71	53.88	0.00052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
117.98	12,026.15	176.71	68.06	0.00065
142.55	14,531.02	176.71	82.23	0.00078
167.13	17,036.91	176.71	96.41	0.00091
171.39	17,470.58	176.71	98.87	0.00104
191.70	19,541.78	176.71	110.59	0.00117
216.28	22,046.65	176.71	124.76	0.00131
240.86	24,552.54	176.71	138.94	0.00162
265.43	27,057.41	176.71	153.12	0.00193
290.01	29,562.28	176.71	167.29	0.00224
314.59	32,068.17	176.71	181.47	0.00255
342.77	34,941.16	176.71	197.73	0.00286
294.94	30,064.79	176.71	170.14	0.00317



รูปที่ ข.99 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
1,925 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

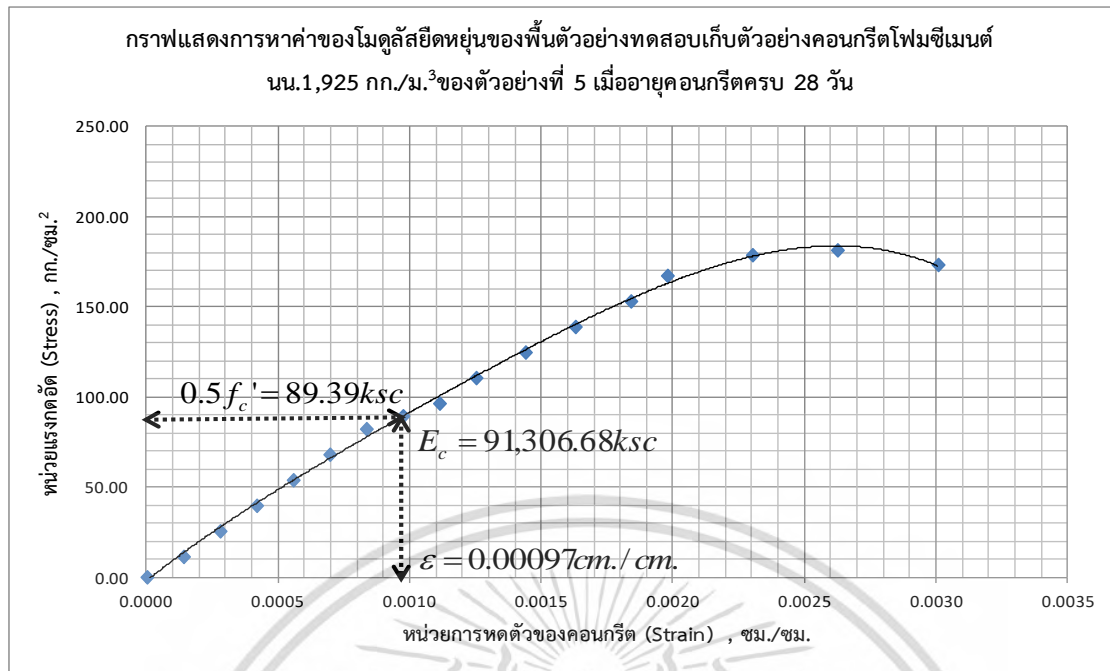
Initial Tangent Modulus Elastic = 93,930.23 กก./ชม.²

- ที่กำลังรับแรงอัดประลัย ($f_c' \approx 178.78$) กก./ชม.²

ตารางที่ ข.120 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	177.42	0.00	0.00000
83.00	2,013.06	177.42	11.35	0.00014
110.00	4,528.88	177.42	25.53	0.00028
111.00	7,043.70	177.42	39.70	0.00042
162.00	9,558.51	177.42	53.88	0.00056
192.00	12,074.33	177.42	68.06	0.00069
219.00	14,589.14	177.42	82.23	0.00083
219.00	15,859.49	177.42	89.39	0.00097
247.00	17,104.97	177.42	96.41	0.00111
248.00	19,619.78	177.42	110.58	0.00125
282.00	22,135.60	177.42	124.76	0.00144
312.00	24,650.41	177.42	138.94	0.00163
266.50	27,166.23	177.42	153.12	0.00184
291.17	29,681.05	177.42	167.29	0.00198
311.16	31,718.99	177.42	178.78	0.00230
315.84	32,195.86	177.42	181.47	0.00262
301.73	30,757.75	177.42	173.36	0.00301

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.100 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์หน่วยน้ำหนัก
 1,925 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 91,306.68 กก./ซม.²

- คอนกรีตโพลีเมอร์ หน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³

ตารางที่ ข.121 แสดงข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโพลีเมอร์ ทรงกระบอก หน่วย
 น้ำหนัก 2,080 กก./ม.³ ทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

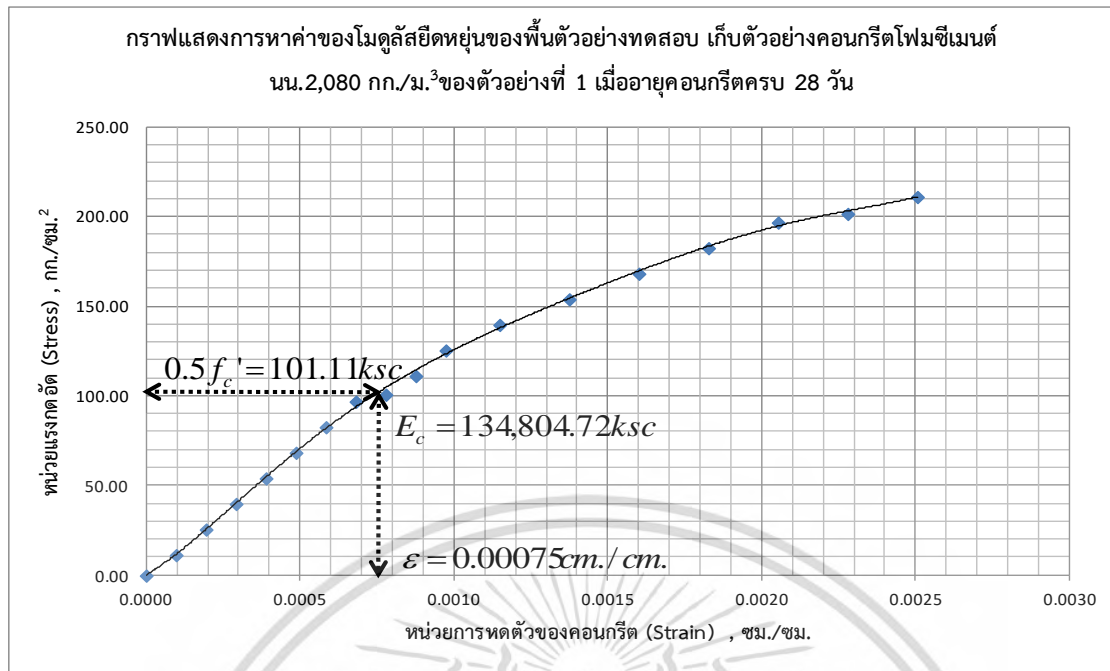
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)						
1	15.02	30.00	177.19	10.36	40,815.51	202.21	134,804.72	2,088.14
2	15.05	30.00	177.89	10.42	41,744.45	210.33	132,447.39	2,074.39
3	15.00	30.00	176.71	10.35	42,759.48	219.20	132,204.97	2,070.53
4	15.23	28.90	182.18	11.09	43,170.02	222.79	130,478.08	2,087.57
5	15.00	30.00	176.71	10.33	42,308.64	215.26	138,184.98	2,101.46
เฉลี่ย						213.96	133,624.03	2,084.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.122 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพรมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 1				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.19	0.00	0.00000
19.86	2,024.71	177.19	11.43	0.00010
44.67	4,553.89	177.19	25.70	0.00019
69.48	7,083.07	177.19	39.97	0.00029
94.30	9,612.25	177.19	54.25	0.00039
119.11	12,141.42	177.19	68.52	0.00049
143.92	14,670.60	177.19	82.80	0.00058
168.73	17,199.78	177.19	97.07	0.00068
175.41	17,880.78	177.19	100.91	0.00078
193.54	19,728.96	177.19	111.34	0.00088
218.34	22,257.14	177.19	125.61	0.00097
243.15	24,786.32	177.19	139.89	0.00115
267.96	27,315.50	177.19	154.16	0.00138
292.78	29,844.68	177.19	168.43	0.00160
317.59	32,373.86	177.19	182.71	0.00183
342.40	34,903.04	177.19	196.98	0.00205
350.80	35,759.79	177.19	201.82	0.00228
367.21	37,432.22	177.19	211.25	0.00251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.101 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
 2,080 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 1

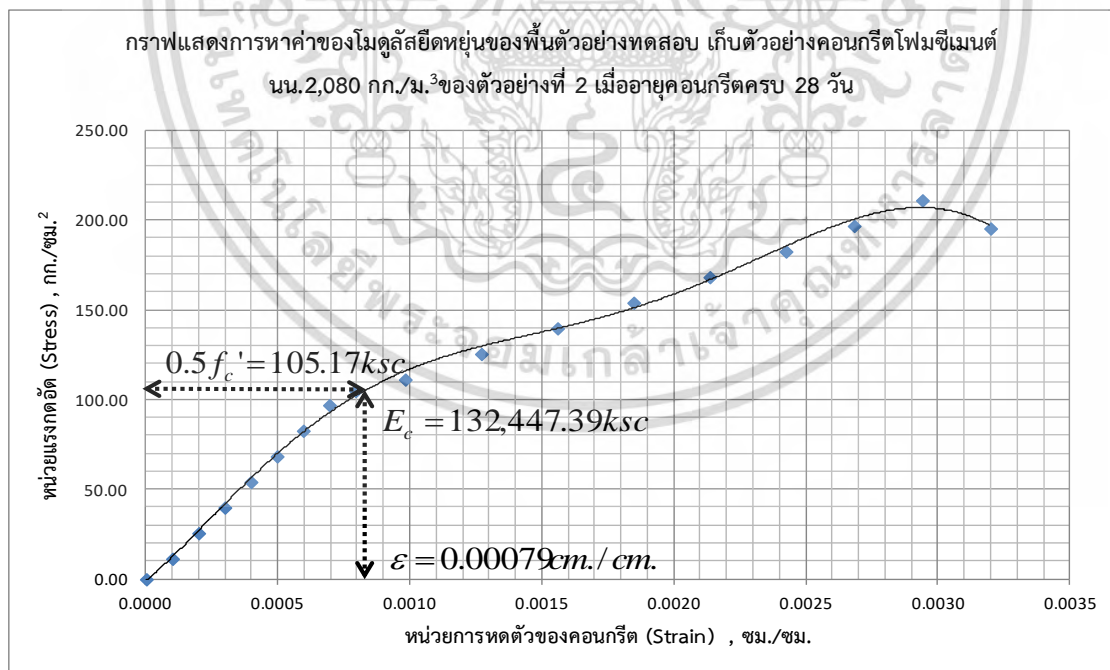
Initial Tangent Modulus Elastic = 134,804.72 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.123 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
 หน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	177.89	0.00	0.00000
19.94	2,032.84	177.89	11.43	0.00010
44.84	4,571.33	177.89	25.70	0.00020
69.76	7,110.86	177.89	39.97	0.00030
94.66	9,649.35	177.89	54.24	0.00040
119.57	12,188.88	177.89	68.52	0.00050
144.48	14,727.38	177.89	82.79	0.00059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 2				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
169.39	17,266.90	177.89	97.07	0.00069
183.16	18,670.43	177.89	104.95	0.00079
194.29	19,805.40	177.89	111.34	0.00098
219.20	22,344.92	177.89	125.61	0.00127
244.11	24,883.42	177.89	139.88	0.00156
269.02	27,422.94	177.89	154.16	0.00185
293.92	29,961.44	177.89	168.43	0.00213
318.83	32,500.96	177.89	182.70	0.00242
343.74	35,039.46	177.89	196.97	0.00268
368.65	37,578.98	177.89	211.25	0.00294
341.26	34,787.15	177.89	195.55	0.00320



รูปที่ ข.102 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,080 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 2

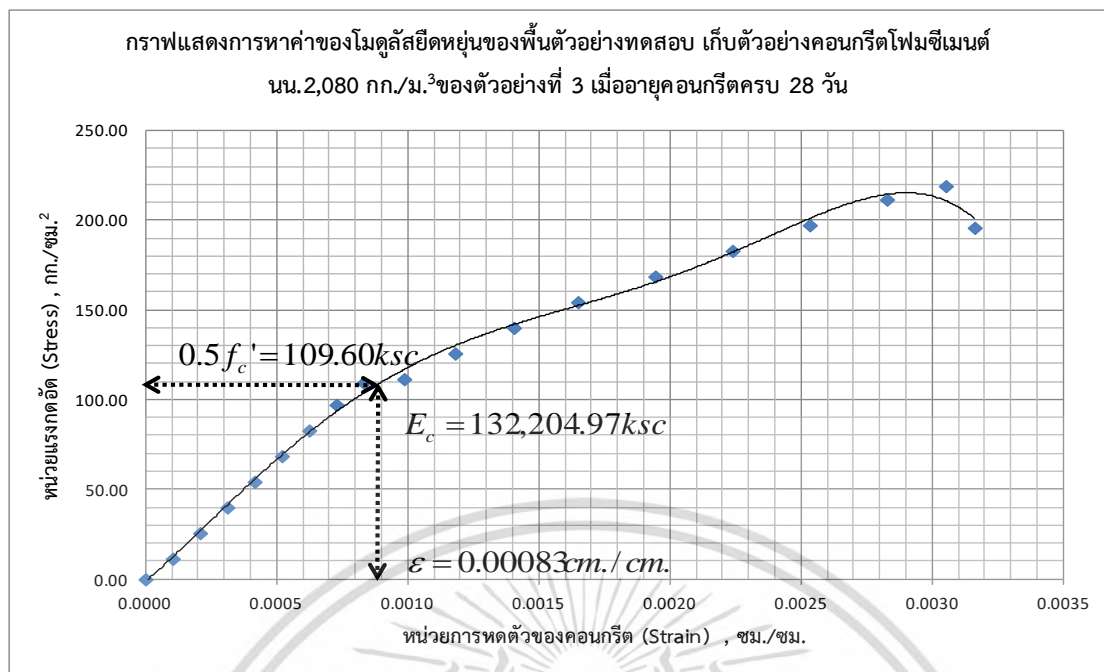
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Initial Tangent Modulus Elastic} = 132,447.39 \text{ กก./ชม.}^2$$

ตารางที่ ข.124 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 3				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	176.61	0.00	0.00000
19.94	2,022.36	176.61	11.45	0.00010
44.85	4,547.78	176.61	25.75	0.00021
69.77	7,074.22	176.61	40.06	0.00031
94.67	9,599.64	176.61	54.36	0.00042
119.58	12,125.06	176.61	68.65	0.00052
144.50	14,651.50	176.61	82.96	0.00062
169.40	17,176.92	176.61	97.26	0.00073
190.89	19,355.61	176.61	109.60	0.00083
194.31	19,702.35	176.61	111.56	0.00099
219.23	22,228.78	176.61	125.86	0.00118
244.13	24,754.21	176.61	140.16	0.00141
269.04	27,279.63	176.61	154.46	0.00165
293.95	29,806.07	176.61	168.77	0.00194
318.86	32,331.49	176.61	183.07	0.00224
343.78	34,857.92	176.61	197.37	0.00253
368.68	37,383.35	176.61	211.67	0.00283
381.76	38,709.45	176.61	219.18	0.00305
341.28	34,604.63	176.61	195.94	0.00316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.103 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,080 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 3

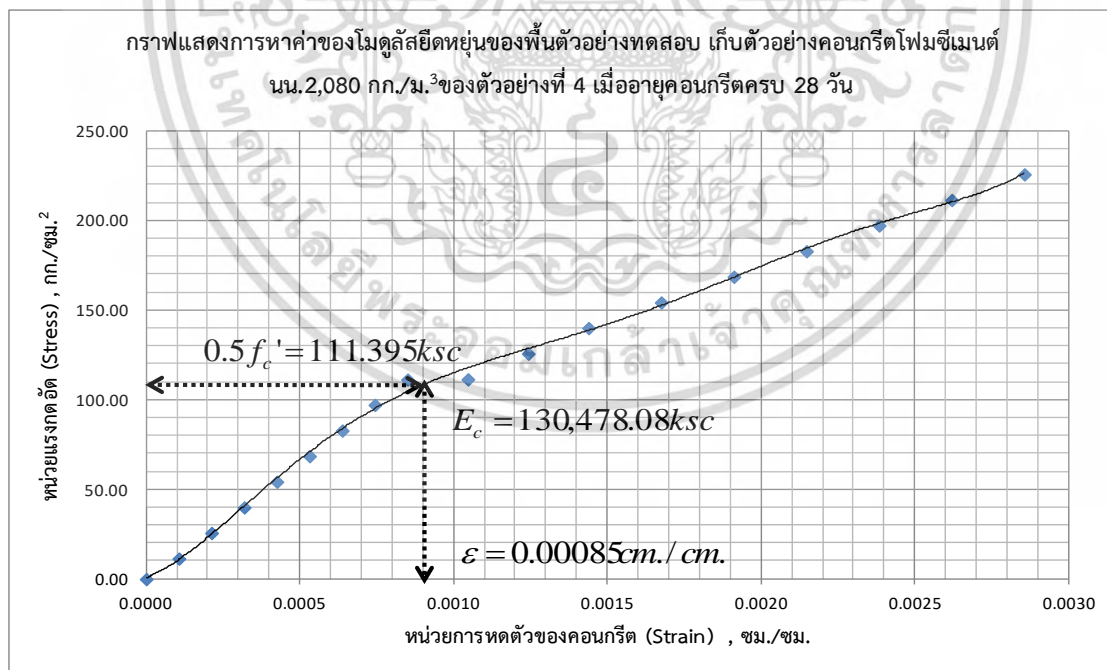
Initial Tangent Modulus Elastic = 132,204.97 กก./ซม.²

ตารางที่ ข.125 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพมซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน
หน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 4

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
0.00	0.00	182.18	0.00	0.00000
121.00	2,085.63	182.18	11.45	0.00011
151.00	4,691.50	182.18	25.75	0.00021
152.00	7,296.33	182.18	40.05	0.00032
176.00	9,902.20	182.18	54.35	0.00043
204.00	12,508.06	182.18	68.66	0.00053
231.00	15,112.90	182.18	82.96	0.00064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 4				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ซม.^2)	หน่วยแรงอัด (กก./ซม.^2)	หน่วยการยืดหดตัว (ซม./ซม.)
256.00	17,718.76	182.18	97.26	0.00074
257.00	20,294.90	182.18	111.40	0.00085
286.00	20,324.63	182.18	111.56	0.00105
287.00	22,929.46	182.18	125.86	0.00124
316.00	25,535.33	182.18	140.17	0.00144
317.00	28,140.16	182.18	154.46	0.00168
318.00	30,746.03	182.18	168.77	0.00191
319.00	33,351.89	182.18	183.07	0.00215
320.00	35,967.00	182.18	197.43	0.00238
321.00	38,562.59	182.18	211.67	0.00262
322.00	41,168.46	182.18	225.98	0.00286



รูปที่ ข.104 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก
2,080 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 4

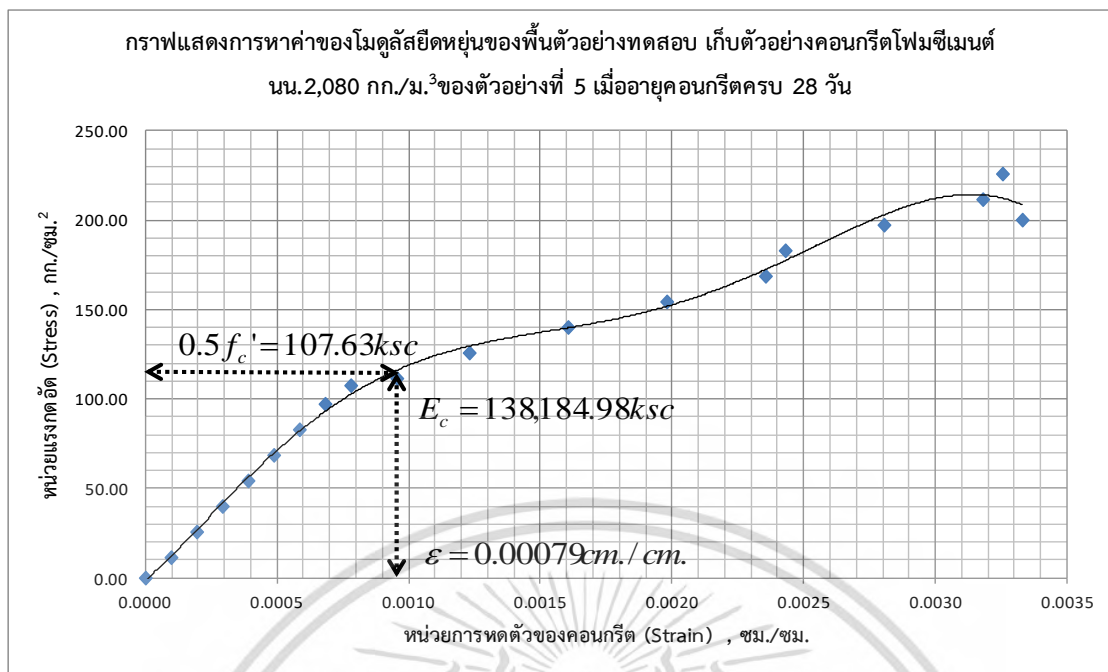
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Initial Tangent Modulus Elastic = 130,478.08 กก./ชม.²

ตารางที่ ข.126 แสดงข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตโพลีเมอร์ซีเมนต์ทรงกระบอก อายุ 28 วัน หน่วยน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³ ตัวอย่างที่ 5

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน เก็บตัวอย่างที่ 5				
น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	พื้นที่ (ชม. ²)	หน่วยแรงอัด (กก./ชม. ²)	หน่วยการยืดหดตัว (ชม./ชม.)
0.00	0.00	176.71	0.00	0.00000
83.00	2,022.71	176.71	11.45	0.00010
110.00	4,550.26	176.71	25.75	0.00020
111.00	7,077.81	176.71	40.05	0.00029
162.00	9,604.35	176.71	54.35	0.00039
192.00	12,131.89	176.71	68.65	0.00049
219.00	14,659.44	176.71	82.96	0.00059
247.00	17,185.98	176.71	97.26	0.00068
248.00	19,020.27	176.71	107.64	0.00078
248.00	19,713.53	176.71	111.56	0.00096
282.00	22,241.07	176.71	125.86	0.00123
312.00	24,768.62	176.71	140.17	0.00161
267.77	27,295.16	176.71	154.46	0.00198
292.56	29,822.71	176.71	168.77	0.00236
317.36	32,350.25	176.71	183.07	0.00243
342.14	34,876.79	176.71	197.37	0.00281
366.94	37,404.34	176.71	211.67	0.00318
391.73	39,931.89	176.71	225.97	0.00326
347.06	35,378.44	176.71	200.21	0.00333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.105 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโพลีเมอร์หน่วยน้ำหนัก
 2,080 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วันของตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 138,184.98 กก./ซม.²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ฉนรุจ โสภาสพร้อม , รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ , “การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ” , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23 , กรกฎาคม 2561 , หน้า 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23**

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๓
Proceeding of the 23rd National Convention on Civil Engineering

NCCE-23



ภายใต้หัวข้อการประชุม
วิศวกรรมโยธายุคใหม่กับการรับใช้สังคม
SMART Civil Engineering and Social Enterprise

18-20 กรกฎาคม 2561
ณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

จัดโดย
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์
กองวิชาวิศวกรรมโยธา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ
A STUDY FOR PREDICTING DEFLECTIONS OF MODEL DUE TO CREEP OF REINFORCED
CONCRETE SLAB BY REDUCING MODULUS OF CONCRETE SLAB

ชนรอง โอภาสพร้อม¹ และ สุวิทย์ ภิรตเสรมย์²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร
^{*}Corresponding author, E-mail address: 59601196@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยส่วนมากเป็นโครงสร้างที่ทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งโครงสร้างอาคารบางแห่งมีการใช้งานมาเป็นเวลานาน ส่งผลให้กระทบต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างเนื่องมาจากการคืบของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักคงค้างกระทำกับโครงสร้างเป็นเวลานานๆ และยังส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ลดลงไปตามกาลเวลา ดังนั้นการที่จะทราบถึงพฤติกรรมการลดลงของโมดูลัสยืดหยุ่นต้องอาศัยระยะเวลาค่อนข้างนาน งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการลดระยะเวลาการทดสอบ โดยการคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะเวลา 1 ปีจากมาตรฐาน ACI209R-92 เพื่อเป็นแนวทางในการทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุทดแทน ในที่นี้คือคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (คอนกรีตมวลเบา) เนื่องจากคอนกรีตโฟมซีเมนต์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่น้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา โดยเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของพื้นคอนกรีตที่มีน้ำหนักคงค้างกระทำเป็นเวลานาน เมื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีการคืบประกอบกับวิธีการคำนวณการแอ่นตัวของพื้นคอนกรีต ที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงจะสามารถทำนายกำลังรับน้ำหนักและการแอ่นตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้

คำสำคัญ: การแอ่นตัวระยะยาว, การคืบ, พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก, พื้นสองทาง, การเสียรูป, โมดูลัสอีลาสติค

Abstract

Building structure in Thailand mostly are reinforced concrete. When some buildings have been used for a long time, carrying load capacity of the buildings will be affected. This because the creep of the concrete are increased significantly if load are sustained over a long period of time, results in the decreasing of the elastic modulus. It takes time to obtain the behavior of the elastic modulus reduction. This research aims to investigate, to

find an alternative method reducing the time of determination using by approach according to ACI209R-92 Code, due to the prediction of elastic modulus in lightweight concrete (CLC Foaming Agent). Because lightweight concrete (CLC Foaming Agent) has lower elastic modulus than normal weight concrete but has been load are sustained for period of time. When analyzing by the creep theory consist deflection calculation, to effect of change in modulus elastic, the load capacity and deflection of reinforced concrete slab can be predicted.

Keywords: Long-term Deflection, Creep, RC Slab, Two-way Slab, Deformation, Modulus Elastic

1. คำนำ

ในปัจจุบันการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้มีการใช้คอนกรีต และเหล็กเสริมที่มีกำลังสูง เช่น การออกแบบคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้มีหน้าตัดที่ได้รับการออกแบบมีความลึกที่น้อยลง และยังเป็นการลดปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด แต่ในการออกแบบคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กยังไม่สมบูรณ์จนกว่าจะผ่านสองหลักเกณฑ์คือการตรวจสอบกำลัง และความสามารในการใช้งานที่ประกอบด้วยการตรวจกำลังรับโมเมนต์ดัด แรงเฉือนรวมถึงกำลังรับโมเมนต์บิด ส่วนการตรวจสอบความสามารถในการใช้งานคือการแอ่นตัว การแตกร้าว การสนั่นสะเทือนและอื่นๆ โดยส่วนมากการตรวจสอบความสามารถในการใช้งานมีความสำคัญที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการแอ่นตัว เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เมื่อคานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นเวลานาน จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ เช่น น้ำหนักคาน พื้น เสา และผนัง หรือน้ำหนักบรรทุกจรถาวรคอนกรีตส่วนที่อยู่เหนือถนนสะเทิน ซึ่งรับหน่วยแรงอัดจะเกิดการคืบและเกิดการหดตัวของไฟเบอร์ต่างๆซึ่งมีผลทำให้ความโค้งของชิ้นส่วนที่คานหรือพื้นเพิ่มขึ้น และคานหรือพื้นเกิดการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นจากการแอ่นตัวทันที เมื่อคานหรือพื้นมีแรงปฏิกิริยาการแอ่นตัวทันที รวม

กับการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการคืบในคอนกรีต เรียกว่าการแอ่นตัวระยะยาว ผลของการคืบทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง ซึ่งค่าโมดูลัสยืดหยุ่นนี้มีค่าน้อยกว่าที่ใช้ในการออกแบบ ถึงแม้ว่าการคืบที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานทั่วไป จะไม่ลดกำลังขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีผลต่อพฤติกรรม เนื่องจากการคืบขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้นการแอ่นตัวสุดท้ายของคานหรือพื้น อาจจะมากกว่าการแอ่นตัวทันทีสองถึงสามเท่า ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงการแอ่นตัวสุดท้ายนี้ไม่ว่าจะเป็นในคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรง จะต้องตรวจสอบโครงสร้างยังคงใช้งานได้และการแอ่นตัวสุดท้ายต้องน้อยกว่าค่าที่ยอมให้

จากการวิจัยที่ผ่านมา โดยส่วนใหญ่ได้ทำการทดสอบและทำการวิเคราะห์คานหรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้คาน้ำหนักบรรทุกคงค้างในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ และน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด พบว่าระยะแอ่นตัวที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับระยะแอ่นตัวที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกันดี จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตต้องใช้เวลาก่อนการทดลองระยะยาว แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ลดระยะเวลาการทดสอบให้น้อยลง เพื่อศึกษาผลการคืบและการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น โดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพรซิมเมนต์ เนื่องจากคอนกรีตโพรซิมเมนต์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่กำลัลดเท่ากัน โดยเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาที่รับน้ำหนักกระทำมาเป็นเวลานาน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ผล โดยใช้ทฤษฎีการคืบและการวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวของคอนกรีต เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงและสามารถทำนายการแอ่นตัวของคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการหาสัดส่วน ส่วนผสมในคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโพรซิมเมนต์ได้อย่างถูกต้อง

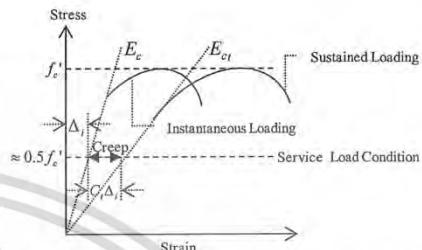
2. ทฤษฎีการวิเคราะห์

โดยส่วนใหญ่แล้วคอนกรีตในสภาพใช้งานอาจมีการเสีรูปร่างตามกาลเวลา โดยมีสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1.) การเสีรูปร่างขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก (Load Dependent Deformation) ซึ่งได้แก่การคืบ (Creep) 2.) การเสีรูปร่างที่ไม่ขึ้นกับน้ำหนักบรรทุก (Load Independent Deformation) ซึ่งได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการเสีรูปร่างตามกาลเวลาเนื่องจากการคืบเท่านั้น

2.1 การคืบของคอนกรีต

การคืบของคอนกรีต คือ การเสีรูปร่างของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกดบรรทุกที่คงค้างกระทำไว้เป็นเวลานาน โดยมีข้อสันนิษฐานว่าการคืบของคอนกรีตเกิดจากการหดตัวของช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต การไหลของซีเมนต์เฟลส การไหลของมลิกในวัสดุผสม และการซึมของน้ำจากซีเมนต์เจล คือเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกหรือแรงภายนอกกระทำต่อคอนกรีต การเสีรูปร่างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นทันที และการเสีรูปร่างที่ขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นทันทีแต่ต่อเนื่องด้วยอัตราที่ลดลงตลอดเวลาที่คอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุก โดยการเสีรูปร่างทั้งหมดจะมีค่าประมาณ 1.5 ถึง 4 เท่า ของการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นทันที อนึ่ง เมื่อน้ำหนักบรรทุกหรือแรงอัดที่กระทำซึ่งจะทำให้

หน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าไม่เกิน $0.5f_c'$ การคืบของคอนกรีตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของน้ำหนักบรรทุกหรือแรงอัดที่กระทำ ดังภาพที่ 1 การคืบของคอนกรีตจะลดลงเมื่อคอนกรีตกำลังต้านทานแรงอัดสูงขึ้น



ภาพที่ 1 ผลการคืบต่อความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตที่สภาวะน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

การคืบแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1.) การคืบพื้นฐาน (Basic Creep) คือการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นภายใต้กำลัลดที่คงที่ ซึ่งปราศจากการสูญเสียความชื้น 2.) การคืบแห้ง (Drying Creep) ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการสูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและขนาดรูปร่างของชิ้นส่วน

ปัจจัยที่มีผลต่อการคืบของคอนกรีต, ขนาดของแรง, อายุและกำลังคอนกรีตเมื่อได้รับแรง, รวมถึงระยะเวลาที่คอนกรีตรับแรง ซึ่งการคืบยังมีผลมาจากปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของคอนกรีตและสภาวะที่ได้รับ เช่น ประเภทปริมาณและขนาดที่ใหญ่สุดของมวลรวม, ชนิดของซีเมนต์, ปริมาณซีเมนต์เฟลส, ขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนคอนกรีต, อัตราส่วนระหว่างปริมาณต่อพื้นที่ผิวของชิ้นส่วนคอนกรีต, ปริมาณเหล็กเสริม, สภาพการบ่ม, อุณหภูมิและความชื้น

2.2 การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการคืบของคอนกรีต

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต เป็นตัวบ่งบอกหรือแสดงถึงความต้านทานการเสีรูปร่าง (Deformation) ของคอนกรีตเมื่อน้ำหนักหรือแรงกดอัดมากระทำ พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าแปรเปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เวลาต่างๆ จะใช้สมการซึ่งเป็นสมการอ้างอิงที่ได้จากมาตรฐาน ACI 209R-82

$$E_{\infty}(t) = \frac{E_a}{1 + \phi(t)} \quad (1)$$

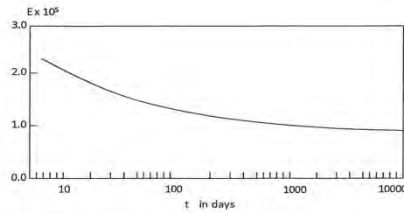
E_{∞} = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ณ เวลา t

E_a = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำ

ปกติที่ใช้ในการปม 28 วัน

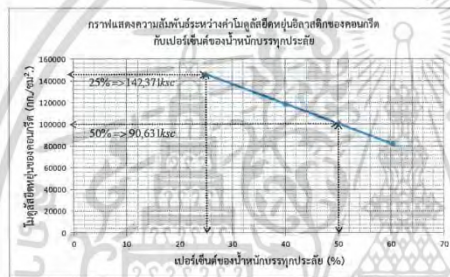
$\phi(t)$ = สัมประสิทธิ์การคืบ

ในการที่จะทำนายกำลังรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเวลาผ่านไปนั้น จะใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงของคอนกรีตทรงระบอบหน่วยแรงอัด 180 ksc ที่คำนวณได้จากสมการ (1) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ณ เวลาต่างๆ

งานวิจัยที่ผ่านมา (เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน, 2548) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกคงค้างที่ 40% และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักบรรทุกประลัย ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย

จากการจะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 25% (E_2) และ 50% (E_1) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 142,371 กก./ซม.² และ 90,631 กก./ซม.² ตามลำดับ และจากการทดสอบแห่งทรงกระบอกมาตรฐานของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (CLC) ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของโฟมซีเมนต์เท่ากับ 2,080 กก./ม.³ และ 1,925 กก./ม.³ ตามลำดับ

2.3 การแอนตัวกันที่พื้นใด

มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. ให้พิจารณาหาการแอนตัวกันที่มากที่สุดโดยใช้ทฤษฎีออสโลติก ของการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับส่วนโครงสร้างที่เสริมเหล็กทางเดียวและรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานดังนี้

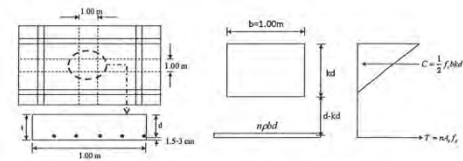
$$\text{ระยะแอนตัวกันที่ } \Delta_i = K \frac{M_o L^2}{E_c I_e} \quad (2)$$

K = ค่าสัมประสิทธิ์ของการโก่งตัวที่มากที่สุด ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำหนักที่กระทำสภาพของจตุรกรรับ

M_o = โมเมนต์ดัดมากที่สุดที่กระทำอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน กก.-ซม.

L = ความยาวช่วง

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักบรรวมปกติ



ภาพที่ 4 การคำนวณค่าโมเมนต์อินเนอร์ซีเรียลของหน้าตัด

$$I_e = \text{โมเมนต์อินเนอร์ซีเรียลของหน้าตัด} \quad (3)$$

$$= (M_{cr} / M_o)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_o)^3] I_{cr} \leq I_g$$

$$M_{cr} = \text{โมเมนต์ดัดแตกกร้าว} = f_r I_g / y_{bi}$$

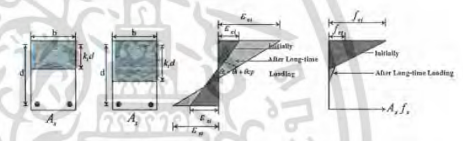
(ค่าโมดูลัสแตกกร้าว $f_r = 2.0 \sqrt{f'_c}$ กก./ซม.²)

I_g = โมเมนต์อินเนอร์ซีเรียลของหน้าตัดทั้งหมด

$$I_{cr} = \text{โมเมนต์อินเนอร์ซีเรียลของหน้าตัดปลั่งกร้าว} = b(kd)^3 / 3 + nA_s(d - kd)^2$$

สำหรับส่วนโครงสร้าง คสล.รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวย $k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n$

2.4 การแอนตัวที่เพิ่มขึ้นตามเวลา



ภาพที่ 5 หน้าตัดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนและหลังเกิดการคืบ

การแจกแจงของความเครียดและหน่วยแรงอัดในหน้าตัดคสล.รูปเหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว เนื่องจากโมเมนต์ดัดมีค่าคงที่ การคืบทำให้เกิดการเปลี่ยนของการแจกแจงความเครียดและหน่วยแรงอัดในหน้าตัด กล่าวคือแกนสะเทินเลื่อนต่ำลง ความโค้ง ϕ มีค่ามากกว่า ϕ' และหน่วยแรงอัดที่ผิวบนลดลงจาก f_{c1} เป็น f_{c2}

การพิจารณาหาการแอนตัวที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลาเนื่องจากการคืบของคอนกรีตในทางปฏิบัติ มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. ให้พิจารณาจากการคูณการแอนตัวทันทีที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกค้าง ($\Delta_{i,im}$) ด้วยตัวประกอบเนื่องจากการคืบ (Creep Factor : λ)

$$\text{ระยะโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นตามกาลเวลา } \Delta_o = \lambda \Delta_{i,im} \quad (4)$$

$$\text{ตัวคูณประกอบเนื่องจากการคืบ } \lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'}$$

ρ' = อัตราส่วน A_s' / bd โดยให้พิจารณาที่กึ่งกลางช่วงสำหรับ

กานช่วงเดียวหรือ คานต่อเนื่อง และที่ฐานรองรับสำหรับคานยื่น

ξ = ตัวประกอบตามกาลเวลาที่มีน้ำหนักบรรทุกค้าง มีค่าดังนี้เมื่อ

เมื่อบรรทุกค้างนาน 5 ปี หรือมากกว่า $\xi=2.0$

เมื่อบรรทุกค้างนาน 1 ปี หรือมากกว่า $\xi=1.4$

เมื่อบรรทุกค้างนาน 6 เดือน หรือมากกว่า $\xi=1.2$

เมื่อบรรทุกค้างนาน 3 เดือน หรือมากกว่า $\xi=1.0$

$$\text{ดังนั้นระยะโก่งตัวทั้งหมด } \Delta_t = \Delta_i + \Delta_o \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อบรรทุกค้ำงาน 3 เดือน หรือมากกว่า $\xi = 1.0$
 ดังนั้นระยะโก่งตัวทั้งหมด $\Delta_t = \Delta_i + \Delta_o$ (5)

3. ตัวอย่างสำหรับการทดสอบและวิธีการทดสอบ

3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยได้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกตามมาตรฐาน มอก. 409-2525. และการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นกลมมาตรฐานมอก.20-2543

ตารางที่ 1. แสดงผลทดสอบของแท่งตัวอย่างคอนกรีตน้ำหนักธรรมดารูปทรงกระบอกมาตรฐาน ระหว่างหน่วยน้ำหนัก, ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีลาสติก และกำลังอัดประลัย

หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตปกติ (กก./ซม. ²)
2,365.25	190.93	211,533.83

ตารางที่ 2. แสดงผลทดสอบของแท่งตัวอย่างคอนกรีตโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกมาตรฐาน ระหว่างหน่วยน้ำหนัก, ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีลาสติก และกำลังอัดประลัย

หน่วยน้ำหนัก (กก./ม. ³)	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (กก./ซม. ²)
1,622.07	173.13	41,736.41
1,757.02	180.00	55,243.63
1,855.03	184.19	72,080.15
1,951.89	192.95	93,408.34
2,082.42	213.75	133,495.82

ตารางที่ 3. แสดงผลทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ

เหล็กเส้นกลมเส้นผ่าศ.ก. 9 มม.	แรงกระทำ (กก.)	ระยะยืด (มม.)	ความเค้น (กก./ซม. ²)	ความเครียด (มม./มม.)
จุดคราก	2,342.00	8.723	3,034.87	19.387×10^{-4}
จุดกำลังดึงประลัย	2,858.05	56.667	4,563.19	125.933×10^{-4}
จุดวิบัติ	1,982.57	74.68	3,165.41	165.957×10^{-4}

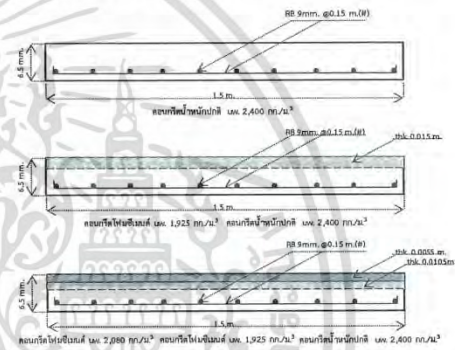
3.2 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดลองเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวนทั้งหมด 3 ตัวอย่างโดยมีลักษณะดังนี้

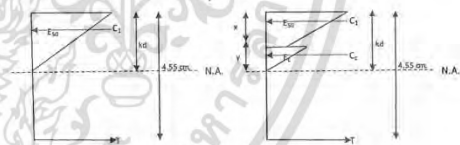
- 1.) พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาเสริมเหล็ก RB ϕ 9mm.@0.15m. กำลังรับแรงอัดประลัย 180 กก./ซม.². ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 207,997 กก./ซม.²
- 2.) พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ เป็นพื้นลูกผสม 2 ชั้น เสริมเหล็ก RB ϕ 9mm.@0.15m. โดยมีชั้นล่างสุดของพื้นเป็นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา กำลังรับแรงอัดประลัย 180 กก./ซม.². ชั้นบนเป็นคอนกรีตโฟมซีเมนต์ที่มีค่าน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³. ค่า

โมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 50% (E_{ci}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 90,631 กก./ซม.²

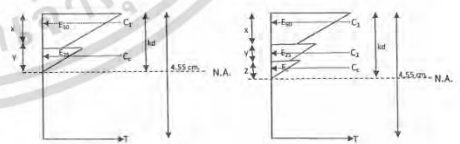
3.) พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ เป็นพื้นลูกผสม 3 ชั้น เสริมเหล็ก RB ϕ 9mm.@0.15m. โดยมีชั้นล่างสุดของพื้นเป็นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา กำลังรับแรงอัดประลัย 180 กก./ซม.². ชั้นกลางเป็นคอนกรีตโฟมซีเมนต์ที่มีค่าน้ำหนัก 2,080 กก./ม.³. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 25% (E_{ci}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 142,371 กก./ซม.². ชั้นบนเป็นคอนกรีตโฟมซีเมนต์ที่มีค่าน้ำหนัก 1,925 กก./ม.³. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ 50% (E_{ci}) ซึ่งออกแบบไว้เท่ากับ 90,631 กก./ซม.² ตัวอย่างพื้นทดสอบออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงงาน (ว.ส.ท. 1007-34) ซึ่งใช้เหล็กเส้นกลม RB ϕ 9mm.-SR24 สานเป็นตะแกรง มีระยะห่างระหว่างเหล็กเส้นเท่ากับ 15 ซม. ทำหน้าให้เป็นเหล็กเสริมรับแรงดึงในพื้นที่ทดสอบ



ภาพที่ 6 แสดงรายละเอียดและการเสริมเหล็กของพื้นสำหรับการทดสอบ



(ก.) การกระจายหน่วยแรงของพื้นตัวอย่างลูกผสม 2 ชั้น



(ข.) การกระจายหน่วยแรงของพื้นตัวอย่างลูกผสม 3 ชั้น

ภาพที่ 7 การกระจายหน่วยแรงของพื้นตัวอย่างสำหรับทดสอบรูปแบบต่างๆ

สำหรับการออกแบบหน้าตัดพื้น จะใช้วิธีคิดสมดุลของแรงภายในที่แรงของ Compression (C)=Tension (T) เพื่อหาตำแหน่งของแนวแกนสะเทินที่ทำให้แรงบนหน้าตัดมีค่าใกล้เคียงกัน

$$\text{เมื่อ } C = \frac{1}{2} f_c' b k d$$

$$T = A_s f_s$$

$$\frac{\epsilon_s}{d - k d} = \frac{\epsilon_c}{d}$$

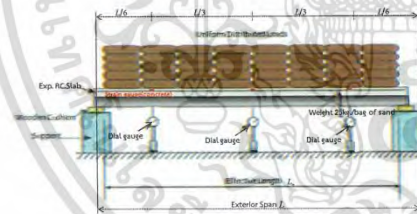
$$\text{โดยที่ } C = 0.5 f_c' = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_1 = 0.5 f_c' = 90 \text{ kg/cm}^2$$

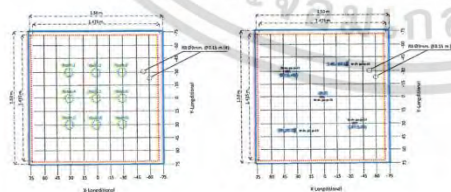
$$C_2 = 0.25 f_c' = 45 \text{ kg/cm}^2$$

3.3 วิธีการทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างพื้นคสล. มีดังนี้ 1.) ทำการติดตั้งตัวอย่างพื้นที่จะทำการทดสอบบนจุดรองรับ (Bearing Support) ดังรูปภาพที่ 7 โดยจุดรองรับมีสภาพเหมือนเป็น simple support ของโครงสร้าง 2.) ติดตั้งเครื่องมือวัดการแอ่นตัว (Dial Gauge) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางพื้นและที่ระยะเท่ากับ L/3 ถัดจาก Dial Gauge ตัวกึ่งกลางไปทางซ้ายและขวา (ทั้งฝั่งด้านสั้นและด้านยาวของพื้นที่ทดสอบ) 3.) ติดตั้ง Data-Logger เข้ากับ Strain Gauge Indicator 4.) ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกแบบน้ำหนักแผ่กระจาย (Distributed Load Test) โดยจะค้ำน้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชั่วโมงในแต่ละชั้น จากนั้นทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection) 5.) ที่น้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสูงสุด (Maximum Test Load) จะค้ำน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าการแอ่นตัว (Deflection) 6.) ค่าการแอ่นตัวที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Test Load) และค้ำน้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าการแอ่นตัวสูงสุด (Maximum Deflection) ตามมาตรฐาน ACI 318-89



(ก.) แผนภาพแสดงการติดตั้งตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

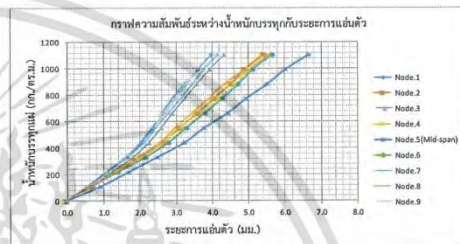


(ข.) แผนภาพแสดงที่กักการติดตั้ง Dial Gauge และ Strain Gauge

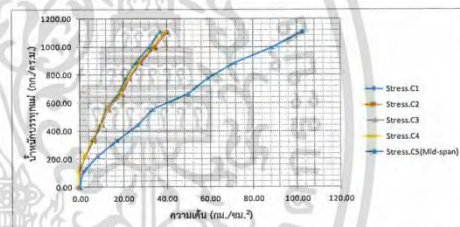


(ค.) ภาพตัวอย่างการทดสอบ

ภาพที่ 8 รายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือและพื้นตัวอย่างทดสอบ

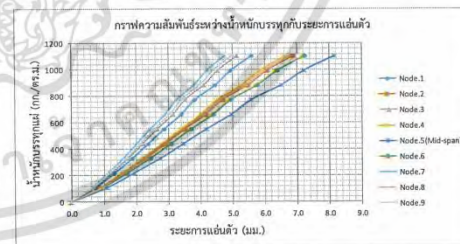


(ก.) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวของพื้นที่ทดสอบ



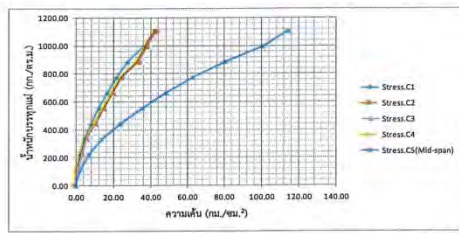
(ข.) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นคอนกรีต

ภาพที่ 9 ผลทดสอบของตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักบรรทุกตาม



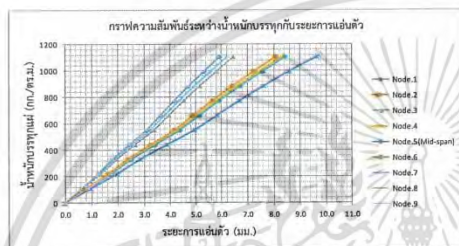
(ก.) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวของพื้นที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

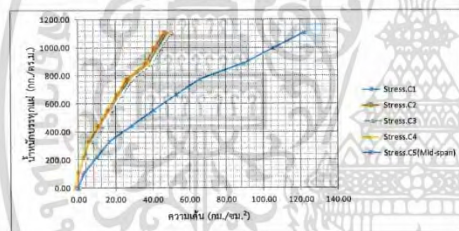


(ข.) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นคอนกรีต

ภาพที่ 10 ผลทดสอบของตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (พื้นลูกผสม 2 ชั้น)



(ก.) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการแอ่นตัวของพื้นทดสอบ



(ข.) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเค้นคอนกรีต

ภาพที่ 11 ผลทดสอบของตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (พื้นลูกผสม 3 ชั้น)

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

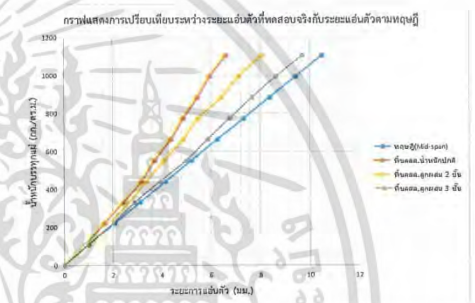
1.) จากผลการทดสอบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กน้ำหนักธรรมดาพบว่าค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้น (mid-span) มีค่าเท่ากับ 6.70 มม. ซึ่งจากทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 5.74 มม. ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 16.73% เนื่องจากความเค้น(Mid-span) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดสอบมีค่า 103.06 กก./ซม.² ค่าที่ได้มากกว่าค่าที่ได้จากทางทฤษฎี ดังนั้นจึงมีการแอ่นตัวที่มากขึ้น

2.) พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (พื้นลูกผสม 2 ชั้น) ค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้น (mid-span) ที่ได้จาก การทดสอบ มีค่าเท่ากับ 8.19 มม. ซึ่งจากทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 9.86 มม. ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 16.94% เนื่องจากความเค้น(Mid-span) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดสอบมีค่า

114.79 กก./ซม.² ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าที่ได้จากทางทฤษฎี ดังนั้นจึงมีการแอ่นตัวที่น้อยลง

3.) พื้นคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ (พื้นลูกผสม 3 ชั้น) ค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางพื้น (mid-span) ที่ได้จาก การทดสอบ มีค่าเท่ากับ 9.68 มม. ซึ่งจากทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 11.51 มม. ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 15.89% เนื่องจากความเค้น(Mid-span) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดสอบมีค่า 122.73 กก./ซม.² ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าที่ได้จากทางทฤษฎี ดังนั้นจึงมีการแอ่นตัวที่น้อยลง

4.) จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบพื้นลูกผสม 3 ชั้น มีการแอ่นตัวที่มากกว่า พื้นลูกผสม 2 ชั้น เนื่องจาก ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดสอบลูกผสม 3 ชั้นมีมากกว่าพื้นลูกผสม 2 ชั้น และจากค่า Strain gauge indicator หน่วยความเครียด-ความเค้น ที่วัดได้ในพื้นที่ลูกผสม 2 ชั้นมีค่าน้อยกว่า พื้นลูกผสม 3 ชั้น



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางจากการทดสอบกับระยะการแอ่นตัวระยะยาวตามทฤษฎีที่ mid-span

5. บทสรุป

1.) จากการทดสอบการรับแรงอัดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่จำลองให้มีสภาพเหมือนกับพื้นคอนกรีตมีน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้ผ่านไป แล้ว 1 ปี เพื่อลดระยะเวลาการทดสอบให้สั้นลง จากผลการทดสอบพบว่ามามีค่าน้อยกว่าทฤษฎีอยู่ เพราะคอนกรีตมีความเค้นอัด น้อยกว่าค่าที่ได้จากทฤษฎีไว้ ดังนั้นจึงมีการแอ่นตัวที่น้อยลง

2.) ระยะแอ่นตัวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กลูกผสม 2 ชั้น และ 3 ชั้น ที่กำหนดในแบบจำลองพื้นคอนกรีตแต่ละชั้นนั้น คำนวณได้จากสมการ (1) เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเนื่องจากการคืบ พบว่ามีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลง จึงใช้คอนกรีตโฟมซีเมนต์เป็นวัสดุทดแทน เนื่องจากคอนกรีตโฟมซีเมนต์ มีโมดูลัสยืดหยุ่นที่น้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาเมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่เท่ากัน

3.) จากการติดตามวัดความเครียด (Strain gauge indicator) ทำให้ทราบถึงหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นและลดลง ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า การที่พื้นแอ่นตัวน้อยลงหรือเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผันแปรของหน่วยแรงที่วัดได้

4.) การคำนวณการแอ่นตัวระยะยาวเนื่องจากเวลาจากสมการที่ (5) จะใช้ค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีที่ทันใดจากสมการ (2) รวมกับการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นตามเวลาจากสมการ (4) โดยวิธีของโมเมนต์อินเนอร์เซีย

ประสิทธิภาพ (I_p) ที่เสนอโดย ACI จะคำนึงถึงพฤติกรรมการโก่งตัวในช่วงที่เหล็กมีพฤติกรรมเป็นเส้นตรง

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างทดสอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กกลมผสม โดยจำลองความถี่ของจำนวนชั้นจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลงของหน่วยน้ำหนักต่างๆในแบบจำลอง เนื่องจากจะทำให้มีความแม่นยำในการทำนายมากขึ้น และเพิ่มตัวอย่างทดสอบของพื้นคอนกรีตที่ทำภารกิจน้ำหนักบรรทุกคงค้างไว้แล้ว 1 ปี เพื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับค่าระยะการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นจริง นอกเหนือจากผลที่ได้จากทางทฤษฎีเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ท่าน รศ. สุวัฒน์ ภิระเศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ต่างๆ อันมีค่าอย่างยิ่ง และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจ จนการทำวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] G.W.Washa, and P.G. Fluck, "Effect of Compressive Reinforcement on the Plastic Flow of Reinforced Concrete Beams," ACI Journal, Vol. 49(2) pp. 89-108, Oct 1952.
- [2] Wei-Wen Yu, and George Winter, "Instantaneous and Long-Time Deflections of Reinforced Concrete Beams under Working Load," ACI Journal, Vol. 57(1), pp. 29-50, July 1960
- [3] William G. Corley, and Mete A. Sozen, "Time-Dependent Deflections of Reinforced Concrete Beams," ACI Journal, Vol. 63, pp. 373-386, March 1966.
- [4] Dan E. Branson, and ACI Committee 435, "Deflections of Reinforced Concrete Flexural Members," ACI Journal, Vol. 63, pp. 637-673, June 1966.
- [5] Pieter C. Pretorius, "Deflections of Reinforced Concrete Members: A Simple Approach," ACI Journal, Vol. 82, pp. 805-812, June 1985.
- [6] G. Clarke, H Scholz, and M. Alexander, "New Method to Predict the Creep Deflection of Cracked Reinforced Concrete Flexural Members," ACI Materials Journal, Vol. 85, pp. 95-101, March-April 1988.
- [7] Raed M. Samra, "Predicting Deflections of Reinforced Concrete Beams Analytically" Journal of Structural Engineering, Vol. 115(5), pp. 1158-1168, Oct 1989.
- [8] Raed M. Samra, "Time-Dependent of Reinforced Concrete Beams Revisited" Journal of Structural Engineering, Vol. 123(6), pp. 823-830, Jun 1997.
- [9] วินิต ช่อวีเชียร, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[10] วินิต ช่อวีเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[11] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์. มาตรฐานการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. มาตรฐาน ว.ส.ท. 1000.38 กรุงเทพฯ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544.

[12] เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน. "การศึกษาการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลายภายใต้น้ำหนักคงค้าง." วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมโยธาบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชนรจ โอภาสพร้อม
วัน เดือน ปีเกิด	9 พฤษภาคม 2536 ที่ชลบุรี
ที่อยู่	314/503 หมู่บ้านมินบุรีการ์เด็นโฮมส์ ถ.ราษฎร์อุทิศ แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510 โทร.095-485-1119
ประวัติการศึกษา	2554 มัธยมศึกษา โรงเรียนเศรษฐบุตรบำเพ็ญ กรุงเทพมหานคร 2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 2.) การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็ก 3.) การควบคุมงานและบริหารการก่อสร้างในงานขนาดใหญ่
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2558-2560	ตำแหน่งวิศวกรสนาม บริษัท พุกษา เร็ลเอสเตท จำกัด (มหาชน) - ผลงานการควบคุมงานก่อสร้าง คอนโดมิเนียม : อาคารสำเร็จรูป 38 ชั้น - ผลงานการออกแบบงานบริหารก่อสร้างโดยใช้เทคโนโลยี BIM
พ.ศ.2560-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรโครงสร้าง(เทคนิคเฉพาะ) บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) - ผลงานการควบคุมงานก่อสร้าง โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ตะวันออก) สัญญาที่ 4 : งานโยธายกระดับ ช่วงสถานีบ้านม้า – สถานีสุวินทวงศ์
พ.ศ.2561	-ผลงานทางวิชาการ “การศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายการแอ่นตัวระยะยาวของพื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีการลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเนื่องจากการคืบ”