สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลกระทบจากการคืบของคอนกรีต เพื่อทำนาย การแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

STUDY IN LONG-TERM EFFECT OF CREEP IN CONCRETE TO PREDICTED DEFLECTION IN REINFORCE CONCRETE BEAM

T104359

โดย

นางสาวมนสนันท์ ฐิตาปุณญาพัฒน์

นางสาวระวิวรรณ สหัสธรรมรังษี

นายสมชาย ศรีบัวงาม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104359
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY IN LONG-TERM EFFECT OF CREEP IN CONCRETE

TO PREDICTED DEFLECTION IN REINFORCE CONCRETE BEAM

MISS MANASANAN TITAPUNYAPAT

MISS RAWIWAN SAHATTHAMARANGSRI

MR. SOMCHAI SRIBUANGAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาผลกระทบจากการคืบของคอนกรีต เพื่อทำนายการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	
นักศึกษา	นางสาวมนสนันท์ ฐิตาปุณญาพัฒน์	รหัสนักศึกษา 48010644
	นางสาวระวิวรรณ สหัสธรรมรังษี	รหัสนักศึกษา 48010726
	นายสมชาย ศรีบัวงาม	รหัสนักศึกษา 48010932
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สิริวัฒน์ ไชยชนะ	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
ผศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาผลกระทบจากการคืบของคอนกรีต เพื่อทำนายการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก STUDY IN LONG-TERM EFFECT OF CREEP IN CONCRETE TO PREDICTED DEFLECTION IN REINFORCE CONCRETE BEAM
นักศึกษา	นางสาวมนสนันท์ ฐิตาปุณญาพัฒน์ รหัสนักศึกษา 48010644
	นางสาวระวิวรรณ สหัสธรรมรังษี รหัสนักศึกษา 48010726
	นายสมชาย ศรีบัวงาม รหัสนักศึกษา 48010932
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยล้วนแล้วแต่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งอาคารบางแห่งมีการใช้งานระยะเวลานานย่อมส่งผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างเนื่องมาจากการล้าของคอนกรีตและส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ลดลงตามมาด้วย การจะทราบถึงพฤติกรรมการลดลงของโมดูลัสยืดหยุ่นจะต้องใช้เวลานาน ในการศึกษาได้หาวิธีการทดสอบให้น้อยลงโดยใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาและคอนกรีตโฟมซีเมนต์ เนื่องจากคอนกรีตโฟมซีเมนต์ มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา โดยเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตธรรมดาที่รับน้ำหนักกระทำมาเป็นเวลานาน เมื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีการล้าและทฤษฎีการแอ่นตัวของคอนกรีตที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงจะสามารถทำนายกำลังรับน้ำหนักและการแอ่นของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDY IN LONG-TERM EFFECT OF CREEP IN CONCRETE TO PREDICTED DEFLECTION IN REINFORCE CONCRETE BEAM
Name	:	MISS MANASANAN TITAPUNYAPAT
		MISS RAWIWAN SAHATTHAMARANGSRI
		MR. SOMCHAI SRIBUANGAM
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF.SUWAT TEERASET

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 effected. This is because the creep of the concrete and results in the decreasing of the elastic modulus. It takes time to obtain the behavior of the elastic modulus reduction. In this study, to find an alternative method reducing the time of determination by applying normal weight concrete and lightweight concrete. Because lightweight concrete has lower elastic modulus than normal weight concrete but has been carried loads for period of time. When analyzing by the creep theory and deflection theory, to effect of change in elastic, the load capacity and deflection of reinforced concrete beam can be predicted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษฉบับนี้ ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำช่วยเหลือตลอดจนตักเตือนและสั่งสอนถึงสิ่งที่มีและไม่มีในตำราเรียน อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการดำเนินการโครงงานพิเศษและสำหรับชีวิตวิศวกร ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุด ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

และขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้แรงกายแรงใจช่วยเหลือการวิจัยในโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ในที่สุด

ท้ายสุดนี้ขอกล่าวขอบพระคุณสำหรับอาจารย์และบุคคลากรทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทั้งวิทยาการและประสบการณ์แก่ผู้ประพันธ์ตลอดระยะเวลาการศึกษาในสถาบันแห่งนี้

นางสาวมนสนันท์ จิตาปุณญาพัฒน์
นางสาวระวิวรรณ สหัสธรรมรังษี
นายสมชาย ศรีบัวงาม
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ด
	คำอธิบายสัญลักษณ์	ผ
1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1
	1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 กล่าวนำ	5
	2.2 ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	
	2.2.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	5
	2.2.2 การคืบ (Creep) และการแอ่นตัว (Deflection) ของคอนกรีต	7
	2.2.3 คอนกรีตมวลเบา	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**หลักการและทฤษฎีที่ใช้**	
	3.1 โมดูลัสยืดหยุ่น	
	3.1.1 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	12
	3.1.2 การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการดีบของคอนกรีต	13
	3.2 ความเค้น – ความเครียดของคอนกรีต	18
	3.3 คานคอนกรีตเสริมเหล็ก	
	3.3.1 นิยาม	19
	3.3.2 พฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัด	20
	3.3.3 การแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	22
	3.4 คอนกรีตมวลเบา	29
	3.5 กระบวนการทดสอบ	
	3.4.1 การทำคอนกรีต	30
	3.4.2 การบ่ม	31
4	**วิธีการศึกษา**	
	4.1 การทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก	
	4.1.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ	33
	4.1.2 วิธีการทดสอบ	34
	4.1.3 ผลการทดลอง	39
	4.2 การทดสอบคาน	
	4.2.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ	48
	4.2.2 วิธีการทดสอบ	49
	4.2.3 ผลการทดลอง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	**วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ**	
	5.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อใช้ทำนายการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	69
	5.2 สรุปผลการทดสอบ	82
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก ก.	
	ก. วิธีการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต	ผก 1
	ข. ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา	ผก 4
	ค. การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	ผก 4
	ง. การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	ผก 6
	จ. การคำนวณหาค่าน้ำหนักกระทำ	ผก 8
	ฉ. การคำนวณหาระยะแอ่นตัวของคาน	ผก 9
	ภาคผนวก ข.	
	ก. ข้อมูลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก	ผข 1
	ข. ข้อมูลการทดสอบคาน	ผข 78
	ค. การคำนวณโดยใช้โปรแกรม Visual C++	ผข 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1	แสดงตัวประกอบการหาผลจากการคืบที่ขึ้นกับเวลา	27
3.2	แสดงค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นตัวที่คำนวณ	28
3.3	แสดงลักษณะการใช้งานกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา	29
5.1	แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่วันต่างๆ	69
5.2	แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของโฟมซีเมนต์ทรงกระบอกกับหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดประลัย	70
5.3	แสดงระยะ NA.ของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	77
5.4	แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	78
5.5	แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	79
5.6	แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย	80
5.7	แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย	81
ผก.1	แสดงค่าส่วนเผื่อกำลังอัด	ผก2
ผข 1	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน	ผข1
ผข 2	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข1
ผข 3	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข3
ผข 4	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3	ผข4
ผข 5	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข6
ผข 6	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5	ผข7
ผข 7	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผข 8	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 7 วัน	ผข9
ผข 9	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 3 วัน	ผข10
ผข 10	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข10
ผข 11	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข12
ผข 12	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3	ผข13
ผข 13	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข15
ผข 14	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5	ผข16
ผข 15	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข18
ผข 16	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 7 วัน	ผข18
ผข 17	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 3 วัน	ผข19
ผข 18	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข19
ผข 19	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผข 20	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3	ผข22
ผข 21	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข24
ผข 22	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5	ผข25
ผข 23	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข27
ผข 24	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 7 วัน	ผข27
ผข 25	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 3 วัน	ผข28
ผข 26	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข28
ผข 27	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข30
ผข 28	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3	ผข31
ผข 29	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข33
ผข 30	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5	ผข34
ผข 31	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผข 32	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 7 วัน	ผข36
ผข 33	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 3 วัน	ผข37
ผข 34	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข37
ผข 35	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข39
ผข 36	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3	ผข40
ผข 37	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข42
ผข 38	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5	ผข43
ผข 39	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข45
ผข 40	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 7 วัน	ผข45
ผข 41	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 3 วัน	ผข46
ผข 42	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข46
ผข 43	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผข 44	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3	ผข49
ผข 45	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข51
ผข 46	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5	ผข52
ผข 47	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน	ผข54
ผข 48	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1	ผข54
ผข 49	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2	ผข56
ผข 50	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3	ผข57
ผข 51	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4	ผข59
ผข 52	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5	ผข60
ผข 53	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข62
ผข 54	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 1	ผข62
ผข 55	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 2	ผข64
ผข 56	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3	ผข65
ผข 57	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 4	ผข67
ผข 58	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5	ผข68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผข 59	ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน	ผข70
ผข 60	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 1	ผข70
ผข 61	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 2	ผข72
ผข 62	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3	ผข73
ผข 63	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 4	ผข75
ผข 64	ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5	ผข76
ผข 65	แสดงการแอ่นตัวของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	ผข78
ผข 66	แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	ผข78
ผข 67	แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ทดสอบไม่ประลัย เสริมเหล็กปลอก	ผข79
ผข 68	แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ทดสอบประลัย เสริมเหล็กปลอก	ผข79
ผข 69	แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ทดสอบประลัยไม่เสริมเหล็กปลอก	ผข79
ผก 70	แสดงการหาค่า Neutral Axis ของคาน 3 ชั้น	ผข87
ผข 71	แสดงการหาค่า ระยะ 3 ชั้นที่โมดูลัสยืดหยุ่นต่างกัน	ผข95
ผก 72	แสดงการหาค่า Neutral Axis ของคาน 2 ชั้น	ผข101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผก 73	แสดงการหาค่า ระยะ 2 ชั้นที่โมดูลัสยืดหยุ่นต่างกัน	ผข108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของคอนกรีต	6
2.2	Secant Modulus ของ หน้าตัด ACM-plate	9
2.3	(a) Secant Modulus ของ หน้าตัดคอนกรีต (b) Secant Modulus ของเหล็ก (c) Secant Modulus ของ หน้าตัด ACM-plate	9
3.1	แสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	13
3.2	การเปลี่ยนแปลงของหน่วยการยืดหด t_0 เป็นเวลาที่น้ำหนักเริ่มกระทำ	13
3.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่บรรทุกน้ำหนัก	14
3.4	สัมประสิทธิ์ความคืบมาตรฐาน	15
3.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเวลา	16
3.6	เส้นโค้งความเค้น–ความเครียดในอุดมคติ สำหรับคอนกรีตรับแรงอัดแกนเดียว	18
3.7	เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดสำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอกให้แรงกระทำตามแนวแกนที่มีหน่วยแรงอัดต่างๆกัน	19
3.8	พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก	21
3.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับเวลา	23
3.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	23
3.11	แสดงผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มชื้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต	25
3.12	การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบตามกาลเวลา	27
3.13	แสดงผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มชื้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต	32
4.1	เครื่องมือวัดการหดตัวของคอนกรีต	34
4.2	แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก	34
4.3	แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ต่อ)	35
4.4	แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	35
4.5	แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ทดสอบแล้ว	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.6	การผสมคอนกรีตโฟมซีเมนต์	37
4.7	การหล่อแท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ รูปทรงกระบอก	37
4.8	แท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ที่ทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	38
4.9	แท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกที่ทดสอบแล้ว	38
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับระยะเวลาที่ได้จากการค้างแรงกระทำไว้ 50 % ของน้ำหนักบรรทุกประลัย	40
4.11	แบบไม้หล่อคานคอนกรีต	49
4.12	แบบหล่อคานคอนกรีต (ต่อ)	49
4.13	การผูกเหล็กปลอก	50
4.14	ทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Slump Test)	51
4.15	หล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	51
4.16	ผสมโฟมซีเมนต์ตามหน่วยน้ำหนัก	52
4.17	หล่อคานลูกผสม	52
4.18	เก็บตัวอย่างลูกปูน	53
4.19	ถอดแบบคานตัวอย่าง	53
4.20	บ่มคานตัวอย่าง 28 วัน	54
4.21	เคลื่อนย้ายคานไปทดสอบ	54
4.22	การทดสอบคาน	55
4.23	รอยร้าวที่เกิดจากการทดสอบ	55
4.24	ตัวอย่างลูกปูนที่ทดสอบ	56
4.25	การทดสอบตัวอย่างลูกปูน	56
4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคานคอนคอนกรีตธรรมดาไม่เสริมเหล็กปลอก	60
4.27	กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวที่ทดสอบจริงกับน้ำหนักบรรทุกของคานคอนคอนกรีตธรรมดาไม่เสริมเหล็กปลอก	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	62
4.29	กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก	62
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคาน 3 ชั้น ไม่เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย	64
4.31	กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย	64
4.32	กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย	66
4.33	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย	66
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคาน 3 ชั้น เสริมเหล็กปลอกทดสอบไม่ประลัย	68
4.35	กราฟเปรียบเทียบระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย	68
5.1	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตกับเวลา	70
5.2	กราฟโมดูลัสยืดหยุ่นของโฟมซีเมนต์กับหน่วยน้ำหนัก	71
5.3	กราฟกำลังอัดประลัยของโฟมซีเมนต์กับหน่วยน้ำหนัก	71
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตกับน้ำหนักบรรทุก 40 %กับเวลา	72
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตกับน้ำหนักบรรทุก 60 % กับเวลา	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย	74
5.7	รูปแนวระดับของคานลูกผสม 3 ชั้น	74
5.8	รูปแนวระดับของคานลูกผสม 2 ชั้น	75
5.9	กราฟเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวของคานแต่ละประเภท	75
5.10	กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวที่ทดสอบจริงกับระยะแอ่นตัวตามทฤษฎี	76
ผก 1	ภาพแสดง stress และ strain ในคาน	ผก5
ผก2	แสดง Shear force Diagrams และ Bending Moment Diagrams	ผก8
ผก3	แสดงระยะลง Load และ Bending Moment Diagrams	ผก9
ผก4	ภาพโครงสร้างประกอบของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	ผก10
ผข 1	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข2
ผข 2	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข4
ผข 3	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข5
ผข 4	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข7
ผข 5	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข8
ผข 6	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข11
ผข 7	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข13
ผข 8	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข14
ผข 9	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข16
ผข 10	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผข 11	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข20
ผข 12	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข22
ผข 13	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข23
ผข 14	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข25
ผข 15	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข26
ผข 16	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข29
ผข 17	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข31
ผข 18	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข32
ผข 19	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข34
ผข 20	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข35
ผข 21	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข38
ผข 22	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผข 23	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข41
ผข 24	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข43
ผข 25	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข44
ผข 26	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข47
ผข 27	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข49
ผข 28	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข50
ผข 29	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข52
ผข 30	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข53
ผข 31	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข55
ผข 32	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข57
ผข 33	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข58
ผข 34	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผข 35	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข61
ผข 36	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข63
ผข 37	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข65
ผข 38	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข66
ผข 39	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข68
ผข 40	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข69
ผข 41	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1	ผข71
ผข 42	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2	ผข73
ผข 43	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3	ผข74
ผข 44	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4	ผข76
ผข 45	กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^{3}ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5	ผข77
ผข 46	ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 3 ชั้น	ผข80
ผข 47	ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ Neutral Axis ในคาน 3 ชั้น	ผข82
ผข 48	ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 3 ชั้น	ผข88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป **หน้า**

ผข 49 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ 2 ชั้น ในคาน ผข90

ผข 50 ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 2 ชั้น ผข97

ผข 51 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ Neutral Axis ในคาน 2 ชั้น ผข98

ผข 52 ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 2 ชั้นเมื่อมีค่าที่ fc =24 kg/cm^2 ผข102

ผข 53 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ 3 ชั้น ในคาน ผข104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
ω	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต
t	เวลา
E_C	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
E_{25}	โมดูลัสยืดหยุ่นที่มีน้ำหนักคงค้าง 25% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย
E_{50}	โมดูลัสยืดหยุ่นที่มีน้ำหนักคงค้าง 50% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย
E_1	โมดูลัสยืดหยุ่นที่มีน้ำหนักคงค้าง 50% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย
E_2	โมดูลัสยืดหยุ่นที่มีน้ำหนักคงค้าง 25% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย
N.A.	แกนสะเทิน
kd	ระยะแกนสะเทินจากผิวบน
λ	ตัวคูณประกอบจากการล้า
Δ_T	ระยะการแอ่นตัวทั้งหมด
Δ_i	ระยะการแอ่นตัวทันทีทันใด
δ	ตัวประกอบตามกาลเวลาที่มีน้ำหนักบรรทุกค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Problem Identification)

คานคอนกรีตเสริมเหล็กจะถูกแรงกระทำโดยน้ำหนักของพื้นและผนัง น้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำบรรทุกจรกระทำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กลดลง จึงทำให้เกิดการแอ่นตัวของคานมากขึ้น การตระหนักถึงผลกระทบของน้ำหนักที่กระทำต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ที่มีต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแรงที่กระทำอย่างต่อเนื่อง ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นค่าหนึ่ง แต่เมื่อคานเริ่มรับน้ำหนักค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มเปลี่ยนแปลงไปจะเกิดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีกหลายค่าตามระยะเวลาการรับน้ำหนัก ซึ่งค่าเหล่านั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ออกแบบ จึงส่งผลกระทบต่อความสามารถการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้คานเกิดการแอ่นตัว จึงควรที่จะกระทำการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการทำนายระยะการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาผลจากการคืบ (Creep) ที่ทำให้เกิดการแอ่นตัวของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร กระทำอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลานาน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตเพื่อทำนายระยะการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยนำค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ 3 ชนิด คือ คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมดา และ คอนกรีตมวลเบาผสมโฟมซีเมนต์ 2 ชนิดที่หน่วยน้ำหนักต่างกัน มาทำการทดสอบลักษณะการทดสอบโดยให้ แรงกระทำแบบ Middle Third เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ กับตัวอย่างการทดสอบดังนี้

1. คานคอนกรีตธรรมดา
   - คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 15 x 30 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร กำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. จำนวณ 1 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 28 วัน
   - รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม.สูง 30 ซ.ม. กำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. จำนวน 5 ตัวอย่าง 28 วัน
2. คอนกรีตมวลเบาผสมโฟมซีเมนต์
   - คานลูกผสม 2 ชั้น(ชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นบนเป็นโฟมซีเมนต์) ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 28 วัน
   - คานลูกผสม 3 ชั้น (ชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. ชั้นกลางและชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์) ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 28 วัน
   - รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. จำนวน 15 ตัวอย่างของแต่ละหน่วยน้ำหนัก โดยมีหน่วยน้ำหนักที่ 1,800 1,900 และ 2,000 2,100 kg/m^3 โดยประมาณ ทดสอบที่อายุ 28 วัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้ง พฤติกรรมการดีบของคอนกรีต
2. คำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดประลัย fc'=240 ksc. แล้วทำการหล่อแท่งคอนกรีตทรงกระบอก ทำการบ่มที่ 28 วัน จำนวน 5 ตัวอย่าง
3. นำ Strain gage ติดที่แท่งทรงกระบอกคอนกรีต ขณะทำการกดอัดเพื่อนำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Ec)
4. ศึกษากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Ec) กับระยะเวลา ที่ทำการค้างแรงกระทำไว้ที่ 25% และ 50 %ของน้ำหนักบรรทุกประลัย เพื่อนำค่า Ec มาเปรียบเทียบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_1, E_2) ที่ระยะเวลา 1 ปี
5. หล่อแท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ทรงกระบอก 2 ชนิดที่มีหน่วยน้ำหนักต่างกัน ให้ได้ fc'=240 ksc. โดยประมาณ ทำการบ่ม 28 วัน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a) หน่วยน้ำหนักที่ 1 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E_1 ที่ 50% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย

b) หน่วยน้ำหนักที่ 2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E_2 ที่ 25% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย

- ทำการหล่อแท่งคอนกรีตโฟมซีเมนต์ทรงกระบอกหลายตัวอย่าง แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเขียนกราฟเพื่อหาส่วนผสมและหน่วยน้ำหนักที่เหมาะสมโดยจะได้ค่า fc' และค่า E_1, E_2 ใหม่

6. หล่อคาน ขนาด 15x 30 ซม. ยาว 3 ม.
   - คานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 กำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน
   - คานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นบนเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน
   - คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นถัดมาเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_1 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 50 %) 95,220 kg/cm^2 เสริมเหล็กปลอก RB 6 @ 12.50 cm. เว้นระยะ L/3 ช่วงกึ่งกลางคาน จำนวน 2 คาน
   - คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นถัดมาเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์ ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_1 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 50 %) 95,220 kg/cm^2 ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน
7. ทดสอบการรับแรงกดของคาน โดยติด Strain gage บนผิวคานที่ระยะจุดศูนย์ถ่วงของคานสำหรับคานธรรมดา และสำหรับคานลูกผสมติด Strain gage ที่ระยะจุดศูนย์ถ่วงของโฟมซีเมนต์แต่ละชั้น ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง และ Dial gage จำนวน 3 ตัว แล้ว เพื่อหาค่าการแอ่นตัว
8. วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับทฤษฎี
9. ทำนาย การแอ่นตัวและการรับน้ำหนักบรรทุกของคานจำลองที่รับแรงกระทำผ่านมาแล้ว 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รู้ถึงสภาวะการรับน้ำหนักที่แท้จริงเมื่อเวลาผ่านไป
2. เข้าใจถึงการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. ได้รู้เกี่ยวกับค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อคานรับน้ำหนักเป็นระยะเวลานานๆ
4. สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประกอบในการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. ทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้
6. เพื่อเป็นแนวทางในการทำนายระยะการแอ่นตัวของพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น, การคืบของคอนกรีต, การแอ่นตัวของคาน คอนกรีตเสริมเหล็ก และ คอนกรีตมวลเบา ที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ซึ่งเป็นแนวทางในการศึกษาโครงงานพิเศษนี้

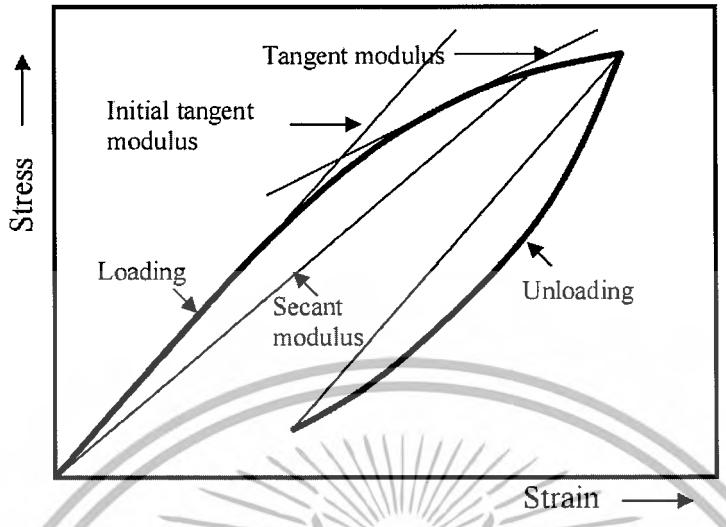
2.2 ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือ ค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) มีหน่วยเป็น ksc. หรือ ksi. โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าเฉลี่ยคงที่ เป็นที่ตัวบ่งบอกถึงความต้านทานการเสียรูปของวัสดุเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก โดยหาจากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการยืดหดตัวซึ่งเกิดจาการกระทำของหน่วยแรงนั้น นั้นคือโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีค่าสูงวัสดุจะเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้น้อย แต่ถ้าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำวัสดุก็จะเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้มาก

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วเส้นสัมพันธ์จะไม่เป็นเส้นตรงแต่มีลักษณะเป็นโค้งพาลาโบล่า ในการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจากเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีต เมื่อทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ทรงกระบอกขนาด 15×30 ซม. รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของคอนกรีตในขณะมีน้ำหนักกระทำและขณะไม่มีน้ำหนักกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของคอนกรีต (A.M.Neville, 1996)

Paolo Gardonil. Kamran M. Nemati. และ Takafumi Noguchi (1997) (1) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus elastic of Concrete) ที่หาได้ Florida LRFD Guidelines (2002) กับแบบจำลอง Bayesian Statistical Framework ที่สร้างใช้ในการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จาก Bayesian Statistical Framework ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกับที่ทดลอง โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้ Florida LRFD Guidelines (2002)

สมการที่อ้างอิงโดย ACI 209

$$E_c = 4{,}270 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \qquad (2.1)$$

โดยที่ E_c = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (kg/cm^2)

w_c = หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (T/m^3)

f_c' = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (kg/cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การคืบ (Creep) และการแอ่นตัว (Deflection) ของคอนกรีต

การคืบของคอนกรีต **วินิต ช่อวิเชียร (2)**ได้กล่าวว่าการคืบของคอนกรีตคือการเปลี่ยนรูปของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักหรือแรงกดที่บรรทุกค้างไว้เป็นเวลานานโดยมีข้อสันนิฐานว่าการคืบของคอนกรีตเกิดจากการหดตัวของช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต การไหลของซีเมนต์เพสต์ (Viscous Flow) การไหลของผลึก (Crystalline Flow) ในวัสดุผสม และจากการซึมของน้ำจากเจล (Gel) เมื่อมีน้ำหนักภายนอกกระทำต่อคอนกรีต

การแอ่นตัว **ชูชัย สุจิวรกุล (3)** ได้กล่าวว่าการแอ่นตัว หมายถึง การเคลื่อนตัวจากตำแหน่ง หนึ่งในโครงสร้างก่อนการรับแรง/น้ำหนัก ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งหลังการรับแรง/น้ำหนัก ในคานช่วงเดียวที่มีน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอกระทำ การแอ่นตัวสูงสุดของคานจะเกิดขึ้นที่กึ่งกลางคานโดยมีทิศทางลงล่าง แต่ถ้าคานช่วงเดียวนี้ทำการอัดแรงด้วยลวดอัดแรงจะทำให้เกิดการแอ่นตัวทิศทางขึ้นสวนทางกลับการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก สัญลักษณ์ที่ใช้ให้เครื่องหมายบวก (+) สำหรับการแอ่นตัวลงและ เครื่องหมายลบ (-) สำหรับการแอ่นตัวขึ้น ที่เวลาใด ๆ (t) การแอ่นตัวสามารถถูกแยก เป็นสองส่วน คือ การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีในระยะสั้น(instantaneous short-term deflection) และการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา (additional time-dependent deflection) การ แอ่นตัวในส่วนที่สองเป็นการแอ่นตัวระยะยาว

เฉลิม เพ็ชรสูงเนิน (4) ศึกษาการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีและ การแอ่นตัว ระยะยาวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้มวลรวมหยาบ จากคอนกรีตที่ถูกทำลายภายใต้น้ำหนักคงค้าง มวลรวมหยาบ จากคอนกรีตที่ถูกทำลายได้มาจากนำเอาคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200±10% กก./ซม.^{2} และ 400±10% กก./ซม.^{2} มาย่อยให้เล็กลง จากนั้นนำเข้าเครื่องแยกขนาดคละเพื่อเลือกส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 3/8 และ1/2 นิ้ว ขนาดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทดสอบการแอ่นตัวมีขนาด 10x10x150 ซม. โดยคานคอนกรีตนี้เสริมด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. จำนวน 1 เส้น และถูกบ่มโดยการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน น้ำหนักคงค้างที่ใช้มี 2 ระดับคือ 40% และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด จากผลของการศึกษาพบว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลายมีค่าการแอ่นตัวทั้งที่เกิดขึ้นทันทีและการโก่งตัวระยะยาวมากกว่าคานคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากหินธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการโก่งตัวที่เกิดขึ้นทันทีจะมี ค่าความแตกต่างอย่างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากการลดลงของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลายและการเปลี่ยนแปลงของค่าการคืบของคอนกรีต

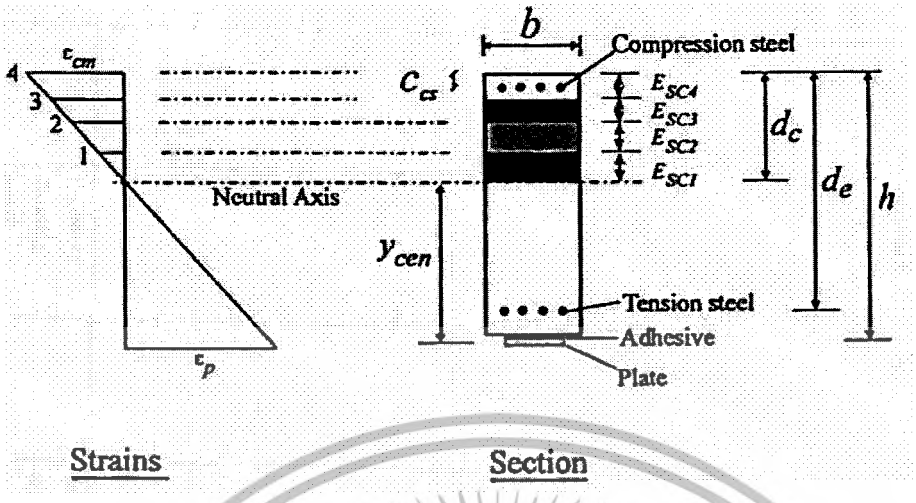
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จรงค์ฤทธิ์ โยมสิน ,รัฐกร แก้วผนึก และโสภณ มณีโชติ (5) เป็นการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีต เพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ 2 ชนิด คือ คอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตมวลเบามาทดสอบลักษณะการทดสอบโดยให้กำลังอัดตามแนวแกนเพิ่มอย่างช้าๆ เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา จึงเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตธรรมดาที่รับน้ำหนักกระทำมาเป็นเวลานานแล้ว ในการทดสอบจะใช้เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15×15×60 ซ.ม.กำลังอัดประลัย (f'_c) 180, 280 , 300 ksc. และเสาสั้นคอนกรีตโฟมเสริมเหล็ก ขนาด 15×15×60 ซ.ม. หน่วยน้ำหนัก 1600 ,1800 ,1900 kg/m^3 ทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักกระทำขึ้นไปครั้งละ 25% ทุกๆ 2 ชั่วโมงจนน้ำหนักครบ 100%

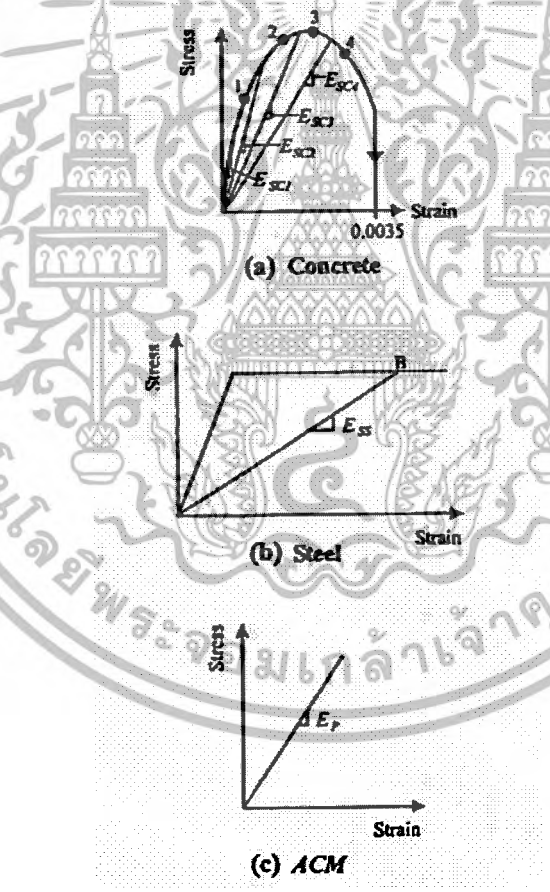
จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 ปีค่าการรับแรงตามแกนจากผลการทดสอบมีค่ามากกว่าทุกๆ หน่วยแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่ออกแบบ โดยใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. การรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก 187 ksc จะมีผลต่างของการรับน้ำหนักที่ 10 ปี กับ 60 วัน อยู่ที่ 4.830 ตัน และที่ค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก 362 ksc จะมีผลต่างของการรับน้ำหนักที่ 10 ปี กับ 60 วัน อยู่ที่ 15.249 ตัน อาจแสดงให้เห็นว่าเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการรับแรงอัดตามแกนมากจะเกิดการล้ามากกว่าเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กในกรณีที่มีการรับน้ำหนักตามแกนต่ำ

Wendel M. Sebastian (6) ได้ทำการศึกษา ACM-plate (Adhesive bonding of plates of advanced composite materials) โดยใช้หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างประกอบแบ่งเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เนื่องจากแต่ละชั้นมีวัสดุไม่เหมือนกัน และทำการวิเคราะห์ Neutral Axis ของ ACM-plate โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีหลายค่ามาวิเคราะห์ รวมทั้งวิเคราะห์ค่า Stress และ Strain ของโครงสร้างประกอบนี้ จากการวิจัยนี้พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกันก็ทำให้เกิดค่า Stress และ Strain ที่แตกต่างกันดังนั้นวัสดุที่หลากหลายจึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Secant Modulus ของ หน้าตัด ACM-plate



รูปที่ 2.3 (a) Secant Modulus ของ หน้าตัดคอนกรีต (b) Secant Modulus ของเหล็ก (c) Secant Modulus ของ หน้าตัด ACM-plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คอนกรีตมวลเบา

การทดสอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเสริมเหล็กต้องใช้ระยะเวลานานหลายปีจึงจะได้ผลการทดสอบที่สามารถสรุปถึงการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจึงมีการคิดค้นจะทำให้คอนกรีตมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากคอนกรีตปกติด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงนำเอาคอนกรีตที่เรียกว่า "คอนกรีตมวลเบา" มาใช้ในการทดสอบ แต่คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อจำกัดในด้านการผลิตที่จะทำให้น้ำหนักเบาลงกว่าคอนกรีตธรรมดา

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป

สมพงษ์ ชื่นประไพ, จีระศักดิ์ ไพราม, ศุภชัย ศิลาประจวบ (7) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้าง ซึ่งการพัฒนาคอนกรีตมวลเบามีความจำเป็นอย่างมากเพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติที่ดี ได้นำมอร์ต้ามาผสมกับโฟมทราย และน้ำในอัตราส่วนที่ต่างกันคือ 1 : 0.5 : 3 , 1 : 0.5 : 4 , 1 : 0.5 : 5 โดยปริมาตรและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 , 0.5 และ 0.6 ตามลำดับรวมไปถึงระยะเวลาที่ต่างกัน คือ 3 , 7 , 14 และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบ หากำลังต้านทาน แรงอัด, การดูดซึมน้ำ และความถ่วงจำเพาะ จากผลการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของซีเมนต์ : ทราย : โฟม : 1 : 0.5 : 4 และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ที่ระยะ เวลาการบ่ม 28 วัน คอนกรีตมวลเบาผสมโฟมสามารถรับแรงอัดสูงสุดได้ 3.24 เมกกะปาสคาล ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 11.97 ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. ความหนาแน่น 1,090.96 กก./ลบ.ม. และมีความถ่วงจำเพาะในอากาศ 1.12

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ fc' 180 ksc และ fc' 200 ksc คือ จากการทดสอบแท่งคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จากการออกแบบพบว่าคอนกรีตเบาที่ fc' 180 ksc จะรับกำลังอัดได้ 3.04 เมกกะปาสคาล และคอนกรีตเบาที่ fc' 200 ksc จะรับกำลังอัดได้ 5.04 เมกกะปาสคาล

จิรพจน์ คุระเอียด, มนตรี อโหสี, วรวิทย์ พัฒนแก้ว (8) ได้ทำการหาค่าการรับน้ำหนักแบกทาน ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ที่ได้จากการออกแบบ และทดสอบจริง ตลอดจนหน่วยน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโฟมซีเมนต์ โดยการนำโฟมมาประยุกต์ใช้เพื่อ เป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ลดมลภาวะ และได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบามั่นคงแข็งแรง โดยการนำปูนซีเมนต์ทราย และ โฟมปั่นละเอียด ในอัตราส่วนผสม 1:0.5:4 อัตราน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ปั่นขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมหยาบโฟมซีเมนต์ นำมาใช้แทนหินในการทำผสมคอนกรีต คอนกรีตที่ได้เรียกว่า คอนกรีตมวลเบาโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์ การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโฟมซีเมนต์ในงานวิจัยนี้ ทำการออกแบบโดยวิธี Strength Design Method (SDM) ตาม มาตรฐาน ACI 318-89 และทดสอบการรับน้ำหนักแบกทาน ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโฟมซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C78 ,ทดสอบ การรับแรงอัดประลัยตามมาตรฐาน ASTM C39 และทดสอบการรับแรงยืดเหนี่ยวตามมาตรฐาน ASTM A305 จากการทดสอบการรับน้ำหนักแบกทานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโฟมซีเมนต์ จำนวน 3 ตัวอย่าง สามารถรับน้ำหนักแบกทาน แบบเป็นจุดเฉลี่ยเท่ากับ 4,138 กก. การทดสอบค่าหน่วยแรงยืดเหนี่ยวของคอนกรีตมวลเบาโฟมซีเมนต์ จำนวน 3 ตัวอย่างโดยเฉลี่ยผลการทดสอบหน่วยแรงยืดเหนี่ยว เท่ากับ 60.138 กก./ซม.2 และจากการออกแบบได้หน่วยแรงยืดเหนี่ยวเท่ากับ 59.88 กก./ซม.^{2} ได้อัตราส่วน ความปลอดภัยเฉลี่ย 0.996

จากการทดสอบข้างต้นทำให้ทราบถึง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากการออกแบบเท่ากับ 1.56 และจากการทดสอบ 2.82 มีความแตกต่าง 44.44% และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาโฟมซีเมนต์ ได้หน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,880 กก./ซม^2 ซึ่งตรงตามมาตรฐาน ACI 631 A51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการและทฤษฎีที่ใช้

3.1. โมดูลัสยืดหยุ่น

3.1.1. การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตพิจารณาจากความสัมพันธ์ของเส้นโค้งพาราโบลาดีกรี 2 ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่แสดงใน รูป 3.1โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้สำหรับโครงงานวิจัยนี้จะใช้การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบ Initial Tangent Modulus เนื่องจากจะได้ค่าที่มีค่ามากที่สุด

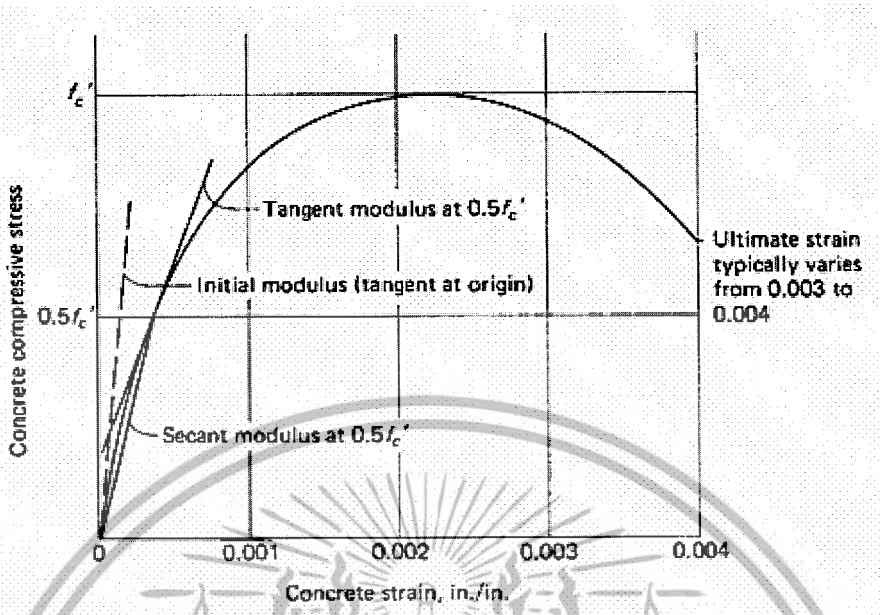
1. Initial Tangent Modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสซึ่งได้จากการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นให้สัมผัสกับเส้นความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว (Stress – Strain Curve) ที่จุดเริ่มต้นนั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าที่สมมุติว่าคอนกรีตเป็นเสมือนวัสดุยืดหยุ่นเช่นเดียวกับเหล็ก โดยคิดว่าไม่มีการเสียรูปอย่างถาวรเมื่อลดน้ำหนักหรือเอาแรงกระทำออก

2. Secant Modulus คำนวณจากความลาดเส้นเอียงของเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้น (Origin) ถึงจุดที่พิจารณา คือจุดที่มีหน่วยแรงอัดเท่ากับ 40 % ถึง 50 % ของหน่วยแรงอัดสูงสุด บนเส้นความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว (Stress – Strain Curve) มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. ถือว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แท้จริงของคอนกรีตในช่วงใช้งาน

3. Tangent Modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นที่ลากสัมผัสจุดใดๆ บนเส้นความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว (Stress – Strain Curve) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าที่แท้จริงของคอนกรีตทุกระดับของหน่วยแรงอัด

ในทางปฏิบัติถือว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่หาโดยวิธี Secant Modulus เป็นค่าแท้จริงที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งรับน้ำหนักในช่วงใช้งานเนื่องจากจะพิจารณาถึงหน่วยการหดตัวแบบพลาสติกเข้าไปด้วย จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเร่งอัตราการเพิ่มหน่วยแรงอัด หากทำการทดสอบกำลังต้านแรงอัดโดยวิธีมาตรฐาน พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะขึ้นอยู่กับกำลังต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีตและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

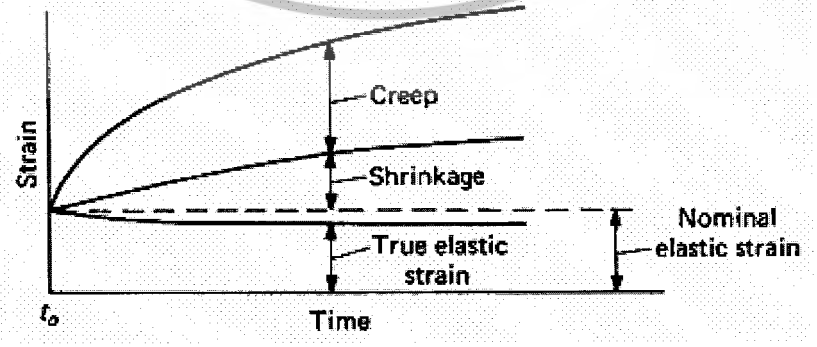
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1. แสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Mehta, 1986)

3.1.2. การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการคืบของคอนกรีต

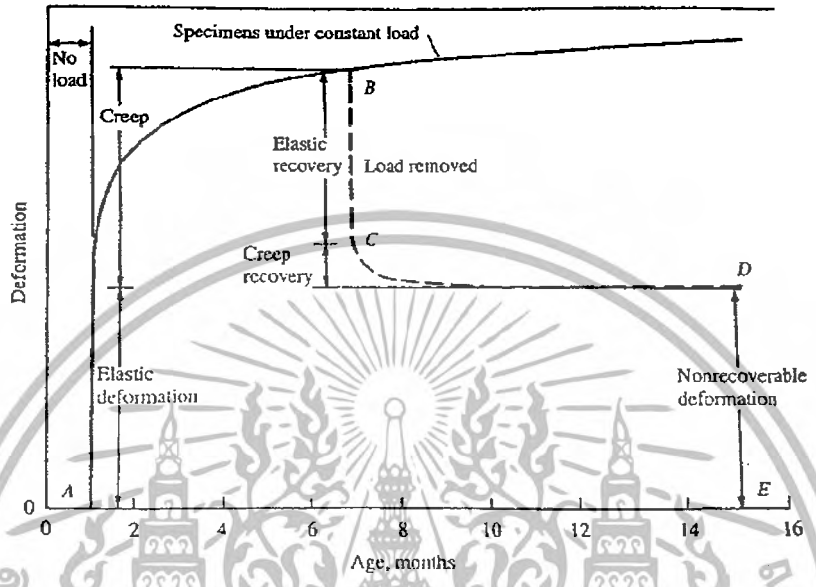
การคืบและการยืดหดตัวของคอนกรีต (Creep and Shrinkage of Concrete) การคืบเป็นคุณสมบัติหนึ่งของคอนกรีตที่ทำให้โครงสร้างเกิดการเสียรูป (Deformation) ซึ่งจะเพิ่มต่อไปในระยะเวลา สองถึงสามปีแต่อัตราการเพิ่มจะลดลง เช่น คานจะมีการแอนตัวมากขึ้น ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงที่ กระทำค้างไว้เป็นเวลานาน (นับเป็นเดือนหรือปี) เมื่อคอนกรีตส่วนบนรับแรงอัดคอนกรีตจะมีการหดตัวเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.2. การเปลี่ยนแปลงของหน่วยการยืดหด t_0 เป็นเวลาที่น้ำหนักเริ่มกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2. ความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างการเปลี่ยนรูปร่างกับเวลา ความเครียดจริงลดลงเนื่องจากโมดูลัสยืดหยุ่น Ec เป็นฟังก์ชั่นของกำลังคอนกรีต f'c ซึ่งเพิ่มขึ้นตามเวลา

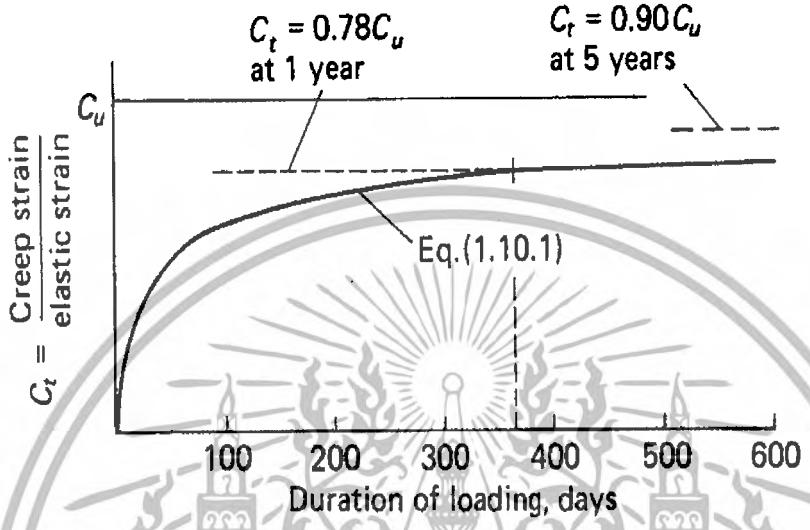


รูปที่ 3.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่บรรทุกน้ำหนัก

พฤติกรรมการคืบของคอนกรีต จะมีความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปหรือระยะการหดตัวของคอนกรีตกับระยะเวลาที่น้ำหนักบรรทุกคงที่กระทำค้างไว้ จาก รูปที่ 3.3 เมื่อคอนกรีตรับแรงอัดจะเกิดการเสียรูปหรือการหดตัวทันที (Instantaneous Deformation) และเมื่อน้ำหนักคงที่ กระทำค้างไว้เป็นระยะเวลานานๆ คอนกรีตจะหดตัวและเสียรูปมากขึ้นเนื่องจากการคืบโดยอัตราการคืบของคอนกรีตจะค่อย ๆ ช้าลง เมื่อระยะเวลาที่ รับน้ำหนักบรรทุกคงค้างเพิ่มมากขึ้นและพบว่า ภายในระยะเวลา 6 เดือน คอนกรีตจะเกิดการคืบขึ้นประมาณ 75% และภายในระยะเวลา 1 ปีคอนกรีตจะเกิดการคืบขึ้นประมาณ 90 % การคืบของคอนกรีตจะหยุดเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2-5 ปี ซึ่งขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ จะมีผลทำให้หน่วยการหดตัว ทั้งหมดของคอนกรีตที่เกิดจากการคืบมี ค่าประมาณ 1.5 ถึง 4 เท่าของหน่วยการหดตัวทันที และกำลังอัดของคอนกรีต การคืบของคอนกรีตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ และการคืบของคอนกรีตจะลดน้อยลง เมื่อคอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงอัดสูงขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุป อัตราการหดตัวของคอนกรีต จะลดน้อยลงตามระยะเวลาที่ เพิ่มขึ้นทั้งนี้ขึ้นกับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิความชื้น และชนิดของวัสดุผสม ที่ใช้ทำคอนกรีต สำหรับคอนกรีตทั่วไป หน่วยการยืดหดตัวมีค่าประมาณ 0.0002 ถึง 0.0006 มม./มม. และอาจมีค่าสูงถึง 0.0010มม./มม.

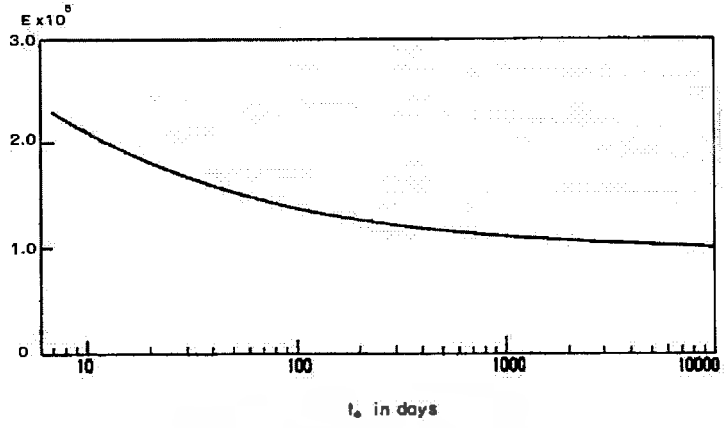


รูปที่ 3.4. สัมประสิทธิ์ความคืบมาตรฐาน

การคาดคะเนการคืบของคอนกรีตที่เวลาใด ๆ อาจพิจารณาได้จากสมการที่ 3.3 ซึ่ง เป็นสมการของ ค่าสัมประสิทธิ์การคืบที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Creep Coefficient) โดย Branson เสนอไว้สำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวไม่เกิน 10 ซม. ความชื้น สัมพัทธ์ 40% โดยได้รับ การบ่มชื้นและรับน้ำหนักหลังจากที่หล่อเสร็จแล้ว 7 วัน

มีค่าระหว่าง 1.30 ถึง 4.15 และในสภาวะมาตรฐาน Branson แนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 2.35 โดยจะต้องปรับแก้ ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ อายุของคอนกรีตเมื่อเริ่มรับน้ำหนัก ความหนาองค์ อาคารของโครง สร้างและค่าการยุบตัว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเวลา

การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เวลาต่างๆจะใช้สมการซึ่งเป็นสมการอ้างอิงที่ได้จากมาตรฐาน ACI 209R-82

$$E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\phi(t)} \tag{3.1}$$

E_{ce} = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ณ เวลา t

E_{ci} = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักกระทำปกติใช้ที่การบ่ม 28 วัน

$\phi(t)$ = สัมประสิทธิ์การคืบ

สมการที่อ้างอิงโดย ACI 209

$$E_c = 4{,}270 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \tag{3.2}$$

โดยที่ E_c = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (kg/cm^2)

w_c = หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (T/m^3)

f_c' = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (kg/cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมการที่อ้างอิงโดย ACI-209 (1992)

$$\phi(t) = \phi_{\infty}(t)\frac{(t-t_0)^{0.6}}{10+(t-t_0)^{0.6}} \qquad (3.3)$$

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 = สัมประสิทธิ์ด้านอายุเมื่อน้ำหนักกระทำ

$K_a = 1.25 t_i^{-0.118}$ สำหรับบ่มคอนกรีตด้วยความชื้น

$K_a = 1.13 t_i^{-0.0.92}$ สำหรับบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ

t_i = อายุของคอนกรีตเมื่อน้ำหนักกระทำครั้งแรก

(K_a = 1.00, 0.95, 0.83, และ 0.74 สำหรับบ่มด้วยความชื้นน้ำหนักกระทำ 7, 10, 30, และ 90 วันตามลำดับ 1.00, 0.95, 0.83, และ 0.74 สำหรับบ่มด้วยความชื้นน้ำหนักกระทำ 7, 10, 30, และ 90 วันตามลำดับ K_a = 1.00, 0.90, 0.82, และ 0.74 สำหรับบ่มด้วยไอน้ำน้ำหนักกระทำ 1 ถึง 3, 10 , 30, และ 90 วัน ตามลำดับ1.00, 0.90, 0.82, และ 0.74 สำหรับบ่มด้วยไอน้ำน้ำหนักกระทำ 1 ถึง 3, 10 , 30, และ 90 วัน ตามลำดับ)

K_h = สัมประสิทธิ์ด้านความชื้นสัมพัทธ์

$K_h = 1.27 - 030067H$ เมื่อ H > 40 % , H = 1

เมื่อ H คือความชื้นสัมพัทธ์ ในหน่วยเปอร์เซ็นต์

(K_h = 1.00, 0.87, 0.73, และ 0.60 สำหรับ $\leq$ 40, 60, 80 และ 100 % ความชื้นสัมพัทธ์)

K_{th} = สัมประสิทธิ์ความหนาน้อยที่สุดของชิ้นส่วน

K_{th} = 1.00 สำหรับ 6 นิ้วหรือน้อยกว่า และ 0.82 สำหรับ 12 นิ้ว

K_s = สัมประสิทธิ์การยุบตัว

$K_s = 0.82 + 0.00264 \cdot S_l$

เมื่อ S_l คือ ค่าการยุบตัวของคอนกรีตในหน่วย มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104359

(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 นิ้วของค่ายุบตัว)

K_f = สัมประสิทธิ์ความละเอียด

$K_f = 0.88 + 0.0024 \cdot \rho_a$

เมื่อ ρ_a คือ อัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบ

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

K_e = สัมประสิทธิ์ปริมาณอากาศ

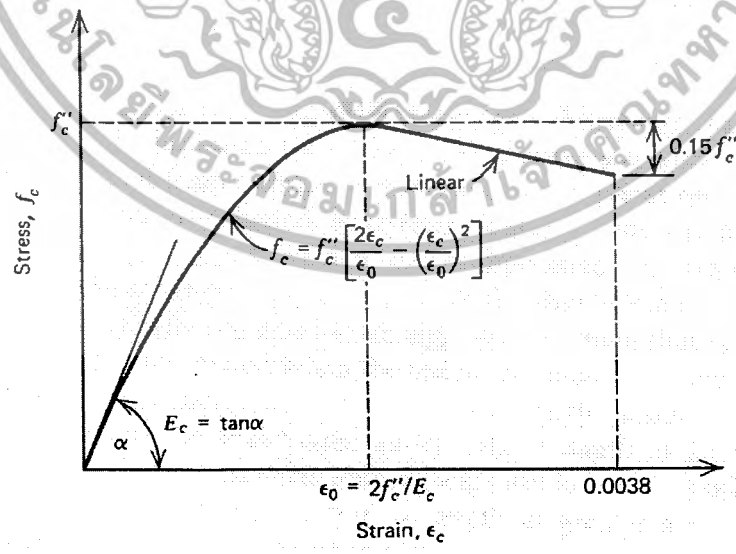
$K_e = 0.46 + 0.09a$

เมื่อ a คือเปอร์เซ็นต์ปริมาณอากาศ

(K_e = 1.00 สำหรับ 6 %, 1.09 สำหรับ 7 %, และ 1.17 สำหรับ 8 % ปริมาณอากาศ)

3.2. ความเค้น – ความเครียดของคอนกรีต

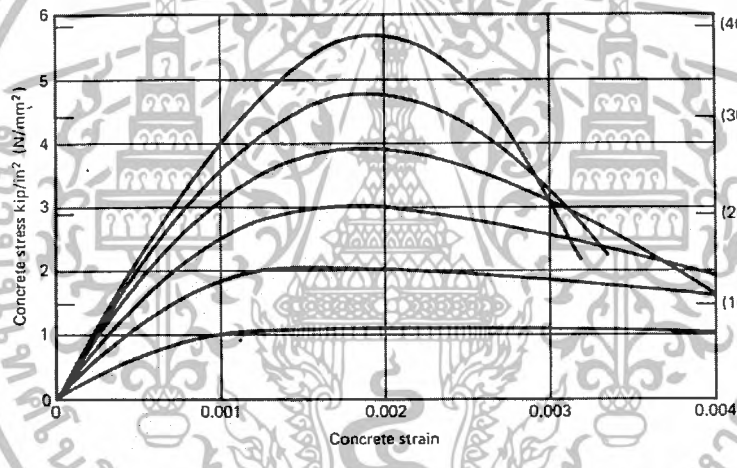
สภาวะคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบมีความเค้นในทิศทางเดียวเท่านั้น คือความเค้นมีแกนเดียว เพราะว่าสถานการณ์เกี่ยวกับโครงสร้างส่วนใหญ่ในคอนกรีตความเค้นมีทิศทางจำนวนมากมาย แต่ทว่าในสมมุติฐานของโครงงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้คอนกรีตมีสภาวะความเค้นแกนเดียวดังแสดงในรูป 3.6



รูปที่ 3.6. เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดในอุดมคติ
สำหรับคอนกรีตรับแรงอัดแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7. แสดงเส้นโค้งความเค้น – ความเครียดของคอนกรีตที่ให้แรงกระทำตามแนวแกนโดยทั่วไปที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่มีกำลังรับแรงกระทำตามแนวแกนไม่เท่ากัน การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะปฏิบัติอย่างละเอียด เส้นโค้งพาราโบลาดีกรี 2 อย่างกว้างที่ได้เกือบจะเป็นเส้นตรงจนถึงประมาณครึ่งของกำลังรับแรงอัดเส้นโค้งจะค่อยๆลดลง ยอดของเส้นโค้งของคอนกรีตกำลังสูงจะค่อนข้างแหลม แต่ถ้าคอนกรีตกำลังต่ำเส้นโค้งที่ได้จะมีลักษณะยอดแบน ความเครียดที่ค่าความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 0.002 หลังจากค่าความเค้นสูงสุดคอนกรีตยังสามารถทนทานอยู่ได้แม้ว่าจะเกิดรอยร้าวขนานกับทิศทางที่แรงกระทำกับคอนกรีตและคอนกรีตจะวิบัติที่ความเครียดประมาณ 0.003 - 0.004 การทดสอบคอนกรีตกับเครื่องทดสอบอาจล้มเหลวหากอัตราการเพิ่มแรงกระทำเร็วเกินไปจนเกิดการระเบิดขึ้นก่อน เพราะคอนกรีตไม่สามารถดูดซับพลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือทดสอบได้ทัน เพราะฉะนั้นการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจำเป็นต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการทดสอบ



รูปที่ 3.7. เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดสำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอกให้แรงกระทำตามแนวแกนที่มีหน่วยแรงอัดต่างๆกัน

3.3. คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3.1. นิยาม

คานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงอาคารที่อยู่ในแนวนอนโดยมีเหล็กเสริมเอก (Main reinforcement)เรียงไปตามแนวความยาวของคานเพื่อให้รับหรือต้านโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง เช่น น้ำหนักแผ่จากผนัง กำแพง น้ำหนักแผ่จากพื้นอาคาร หรือน้ำหนักที่กระทำแบบจุด เช่น จากคานซอย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเหล็กเสริมทางขวางในตัวคานเพื่อใช้ต้านทานแรงเฉือน

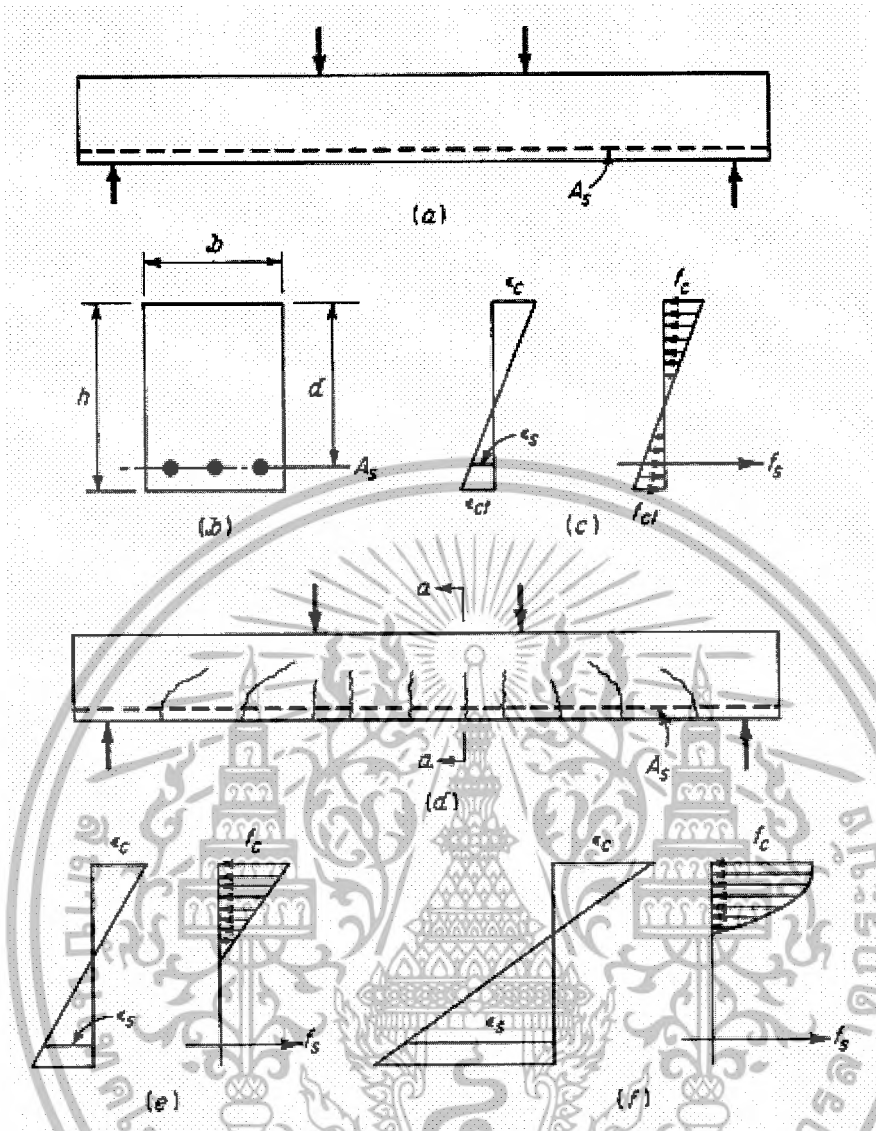
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเกินที่เกินกว่าคอนกรีตเองจะรับได้ทั้งนี้ เพราะน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดหรือแรงเฉือนด้วยเสมอ (Shear Center)เป็นผลให้เกิดหน่วยแรงภายในต่างๆ ในตัวคาน คือ หน่วยแรงดัด หน่วยแรงบิด และหน่วยแรงเฉือน ในการคำนวณออกแบบจะต้องเลือกใช้ขนาดรูปตัดของคอนกรีตและปริมาณเหล็กเสริมตลอดจนระยะเรียงเหล็กเสริมให้เหมาะสมเพียงพอให้คานนั้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการ โดยไม่เกิดการแอ่นหรือโก่งตัวมากเกินไปหรือมีรอยร้าวกว้างมากในสภาวะที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานปกติทั่วไปคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีรูปตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีความลึกของคานมากกว่าความกว้าง

3.3.2. พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คาน คอนกรีตล้วนไม่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดัดเนื่องจากกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตนั้นต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดมาก ดังนั้นคานคอนกรีตล้วนจะพังด้วยแรงดึงที่น้ำหนักบรรทุกต่ำมาก ทำให้กำลังรับ แรงอัดไม่ถูกใช้อย่างเต็มที่ ด้วยเหตุผลนี้เองจึงมีการใช้เหล็กเสริมกำลังบนด้านรับแรงดึงใกล้กับผิวนอก สุดของด้านรับแรงดึง โดยมีระยะหุ้มเพื่อป้องกันผลกระทบจากไฟไหม้และการกัดกร่อน ดังนั้นแรงดึงส่วนใหญ่ในคานคอนกรีตจึงถูกต้านทานโดยเหล็กเสริม ในขณะที่คอนกรีตจะถูกใช้ให้รับแต่แรงอัด การทำงานร่วมกันของวัสดุทั้งสองชนิดในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อไม่ มีการเลื่อนไถลระหว่างวัสดุทั้งสองโดยการใช้เหล็กข้ออ้อยที่ให้กำลังยึด เหนี่ยวสูง และถ้าจำเป็นก็จะใช้การงอขอที่ปลายเหล็กเสริม รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใต้การรับหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก

เมื่อน้ำหนักบรรทุกบนคานค่อยๆเพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึงระดับที่ทำให้คานพัง คานจะแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกันไปตามขนาดของน้ำหนักบรรทุก ที่น้ำหนักเบาซึ่งหน่วยแรงดึงในคอนกรีตยังไม่ถึงค่าโมดูลัสแตกหักหน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีตจะช่วยกันต้านทานโมเมนต์ ด้านหนึ่งจะรับแรงดึงและอีกด้านหนึ่งของแกนสะเทินจะรับแรงอัด นอกจากนั้นเหล็กเสริมซึ่งจะมีหน่วยแรงดึงเท่ากับคอนกรีตที่ห่อหุ้มอยู่ก็จะมีหน่วยแรงดึงด้วย ที่สภาวะนี้หน่วยแรงในคอนกรีตจะมีค่าน้อยและเป็นสัดส่วนกับความเครียด การกระจายของหน่วยแรงและความเครียดในคอนกรีตและในเหล็กเสริมตลอดทั้งความลึกของหน้าตัดเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.8*c*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจนหน่วยแรงดึงเพิ่มถึงกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ก็จะเกิดการแตกร้าวจากแรงดึงขึ้นและขยายตัวขึ้นด้านบนอย่างรวดเร็วถึงบริเวณแกนสะเทินซึ่งจะขยับขึ้นเนื่องจากรอยร้าวเช่นกัน รูปแบบการกระจายของรอยร้าวถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.8*d* ในคานที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดีความกว้างของรอยร้าวจะเล็กมาก(ขนาดเส้นผม)จนไม่มีปัญหาของการกัดกร่อนหรือความสวยงาม ในหน้าตัดที่เกิดการแตกร้าวเช่นหน้าตัด *a-a* ในรูปที่ 3.8*d* คอนกรีตจะไม่สามารถรับแรงดึงได้เลย ดังนั้นเหล็กจึงรับแรงดึงทั้งหมด ที่น้ำหนักบรรทุกไม่มากนักถ้าหน่วยแรงอัดในคอนกรีตไม่เกิน $f'_c/2$ หน่วยแรงและความเครียดจะยังเป็นสัดส่วนกันอยู่ การกระจายหน่วยแรงและความเครียดที่หน้าตัดแตกร้าวจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.8*e* เมื่อน้ำหนักยังคงเพิ่มขึ้นอีกหน่วยแรงและความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นสัดส่วนกันดังในรูปที่ 3.8*f*

จน ในที่สุดเมื่อถึงกำลังของคานการพังทลายจะเป็นในแบบใดแบบหนึ่งในสองแบบดังนี้ หนึ่งถ้าใช้เหล็กเสริมในปริมาณน้อยที่น้ำหนักบรรทุกค่าหนึ่งเหล็กจะเกิดการ ครากซึ่งจะยืดออกเป็นปริมาณมากและรอยร้าวจากแรงดึงในคอนกรีตจะแยกออกจนเห็น ได้อย่างชัดเจนและแผ่ขึ้นด้านบนพร้อมกับมีการแอ่นตัวของคาน เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นความเครียดในบริเวณรับแรงอัดที่เหลือก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับของกำลังบีบอัดในคอนกรีต การพังทลายจากแรงอัดครั้งที่สอง นั้นจะเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกมากกว่าที่ทำให้เหล็กครากเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการถึงจุดครากของเหล็กจะเป็นตัวกำหนดกำลังของคานที่มีเหล็กปริมาณน้อย การวิบัติจากการครากจะค่อยๆเกิดและถูกสังเกตเห็นได้ เช่นการที่รอยร้าวกว้างและยาวขึ้น และการแอ่นตัวมีมากขึ้น

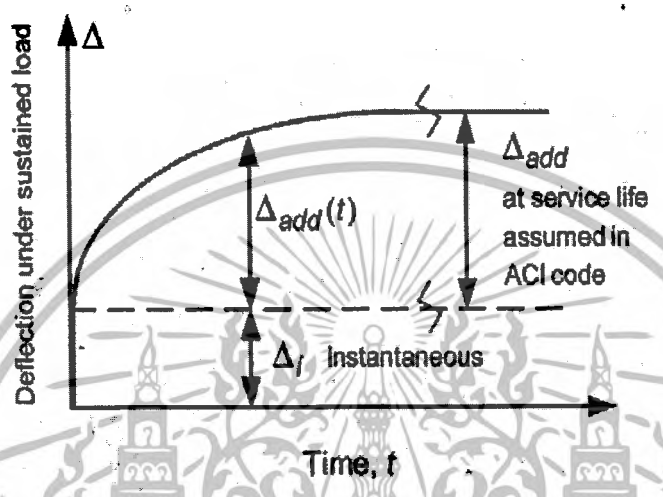
ในทางกลับกันถ้าเหล็กในคานมีปริมาณมากคอนกรีตอาจทนแรงอัดไม่ไหวก่อนที่เหล็กจะเริ่มคราก ทำให้คอนกรีตพังจากการบีบอัดเมื่อความเครียดมากขึ้นจนถึงประมาณ 0.003-0.004 ในหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า การวิบัติจากแรงอัดของคอนกรีตจะเกิดขึ้นทันทีทันใดโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า ด้วยเหตุนี้เองจึงควรกำหนดขนาดของคานเพื่อให้เมื่อต้องรับน้ำหนักเกินแล้ว การวิบัติจะเริ่มโดยการครากในเหล็กเสริม

3.3.3 การแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

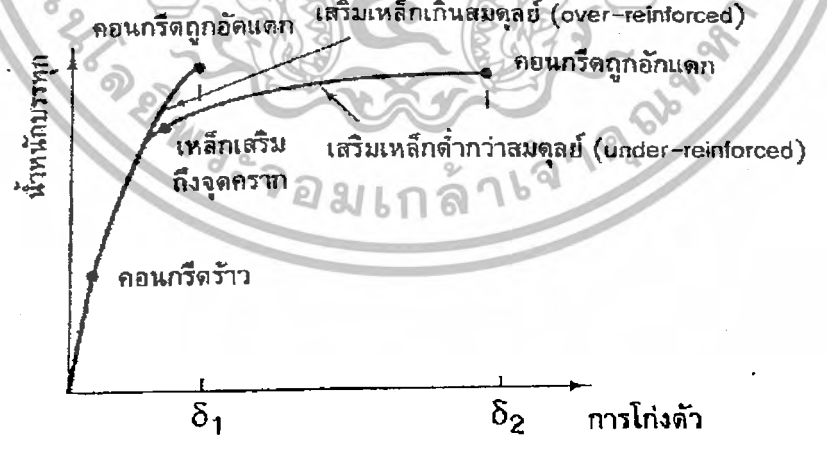
การแอ่นตัว หมายถึง การเคลื่อนตัวจากตำแหน่ง หนึ่งในโครงสร้างก่อนการรับแรง/น้ำหนัก ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งหลังการรับแรง/น้ำหนัก ในคานช่วงเดียวที่มีน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอกระทำ การแอ่นตัวสูงสุดของคานจะเกิดขึ้นที่กึ่งกลางคาน โดยมีทิศทางลงล่าง แต่ถ้าคาน ช่วงเดียวนี้ทำการอัดแรงด้วยลวดอัดแรงจะทำให้เกิดการแอ่นตัวทิศทางขึ้นสวนทางกลับการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก สัญลักษณ์ที่ใช้ให้เครื่องหมายบวก (+) สำหรับการแอ่นตัวลงและ เครื่องหมายลบ (-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแอ่นตัวขึ้น ที่เวลาใด ๆ (t) การแอ่นตัวสามารถถูกแยก เป็นสองส่วน คือ การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีในระยะสั้น(instantaneous short-term deflection) และการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา (additional time-dependent deflection) การแอ่นตัวในส่วนที่สองเป็น การแอ่นตัวระยะยาว ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับเวลา



รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับ
การโก่งตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแอ่นตัวระยะสั้น หรือทันที จากมาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท ให้พิจารณาหาระยะโก่งตัวทันทีที่มากที่สุดโดยใช้ทฤษฎีอิลาสติก ของการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับส่วนโครงสร้างที่เสริมเหล็กทางเดียวและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานดังนี้

$$\text{ระยะโก่งทันที } \Delta i = \frac{F\ (\text{น้ำหนัก,ช่วงความยาวคาน,ที่รองรับ})}{E_c I_e} \qquad (3.4)$$

ในที่นี้ Ec = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตน้ำหนักธรรมดาปกติ

$= 15100\sqrt{fc'}$ กก./ซม.^{2}

Ie = โมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของรูปตัด,ซม.^{4}

$= (Mcr/Ma)^3 Ig+[1-(Mcr/Ma)^3] Ig \leq Ig$ (3.5)

Mcr = โมเมนต์ดัดแตกร้าว $= frIg/yt$ กก.-ซม.

(ค่าโมดูลัสแตกร้าว $fr = 2.0\sqrt{fc'}$ กก./ซม.^{2})

Ma = โมเมนต์ดัดมากที่สุดที่กระทำอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน กก.-ซม.

Ig = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดทั้งหมด ซม.^{4}

Icr = โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลงร้าว ซม.^{4}

จากสมการ (3.4) จะเห็นว่าต้องทราบสูตรการคำนวณหาค่าระยะโก่งทันทีที่มากที่สุดสำหรับคานยื่น คานช่วงเดี่ยวธรรมดา และคานต่อเนื่อง (สำหรับคานต่อเนื่อง มักถือว่าระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเป็นค่าระยะโก่งที่มากที่สุด) ดังนั้น ถ้าให้ M เป็นโมเมนต์ดัดที่ขอบรอบรับของคานยื่น หรือเป็นโมเมนต์ที่กึ่งกลางคานของคานช่วงเดี่ยวธรรมดา และคานต่อเนื่อง โดยที่ L เป็นระยะช่วงความยาวของคาน หากคานเหล่านี้รับน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอ w ตลอดความยาวคาน จะเขียนสมการ (3.4) ให้เป็นสมการทั่วไปเพื่อหาค่าระยะโก่งที่มากที่สุดได้คือ

$$\Delta i = K\frac{(5ML^2)}{(48E_c I_e)} \qquad (3.6)$$

โดยที่ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการโก่งตัวที่มาที่สุด มีค่าต่างๆดังนี้

= 1 สำหรับคานช่วงเดี่ยวธรรมดา

= 2.40 สำหรับคานยื่น

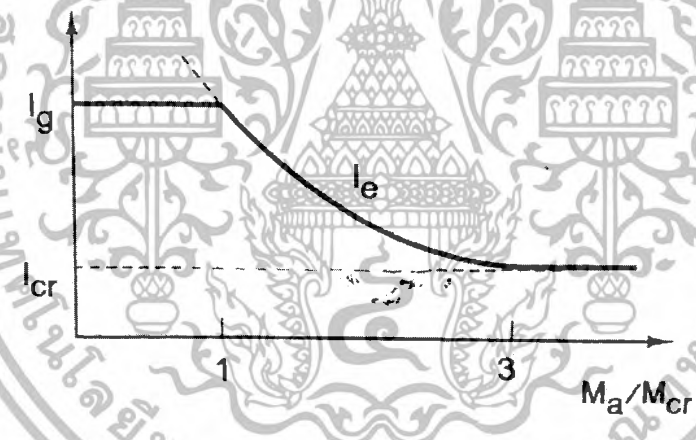
= 0.60 สำหรับคานช่วงเดี่ยวที่มีปลายยึดแน่นทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 0.74 สำหรับคานช่วงเดี่ยวที่มีปลายยึดแน่นข้างหนึ่งและยึดหมุนข้างหนึ่ง

= $1.20 - 0.20 \frac{M_0}{M_a}$ สำหรับคานต่อเนื่อง เมื่อ M_0 เป็นโมเมนต์ดัดบวกมากที่สุดของคานช่วงเดี่ยวธรรมดา และ Ma เป็นโมเมนต์ดัดบวกมากที่สุดของคานต่อเนื่องที่มีช่วงความยาวเดียวกัน

จากสมการ (3.5) จะเห็นว่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของรูปตัด Ig = $(Mcr/Ma)^3$ Ig+[1-$(Mcr/Ma)^3$] Ig $\leq$ Ig ซม^4 มีค่าขึ้นกับโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดทั้งหมด Ig โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลงร้าว Icr และค่า $(Mcr/Ma)^3$ ดังความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งสังเกตว่า เมื่ออัตราส่วน Ma/Mcr มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง (หรือ เมื่ออัตราส่วน Mcr/Ma มีค่าเกินกว่าหนึ่ง) ค่าค่าของโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิ Ie จะเท่ากับโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด Ig และเมื่ออัตราส่วน Ma/Mcr มีค่ามาก (ประมาณเท่ากับสาม) ค่าของโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผล Ie จะเท่ากับโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดแปลงร้าว Icr



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ie กับค่า Ma/Mcr

การหาค่าโมเมนต์อินเนอร์เชีย Ig และ Icr ตรงหน้าตัดที่รับโมเมนต์ดัด Ma วึ่งอาจเป็นโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบสูงสุด พิจารณาดังนี้ ให้หาค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดทั้งหมด Ig โดยประมาณว่าตรงหน้าตัดนั้นไม่มีเหล็กเสริมเลย ส่วนค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดแปลงร้าว Icr ให้พิจารณาที่แนวแกน สะเทิน kd ของหน้าตัดที่ได้จากการแปลงเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมให้เป็นเนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตด้วยอัตราส่วนโมดูลัส n = Es/Ec

สำหรับค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของคานต่อเนื่อง ปกติพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลตรงหน้าตัดที่รับโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบวิกฤต นั่นคือ

เอกสารนี้ ... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_e = 0.50I_{em} + 0.25(I_{e1} + I_{e2}) \quad (3.7)$$

โดยที่ Iem เป็นโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลที่กึ่งกลางคาน และ Ie1 และ Ie2 เป็นโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลที่ปลายแต่ละข้างตรงหน้าตัดที่รับโมเมนต์ลบ

อนึ่ง สำหรับคานต่อเนื่องที่มีหน้าตัดคงที่ตลอด (prismatic members) อาจพิจารณาใช้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลที่กึ่งกลางคานเพียงอย่างเดียว หรืออาจเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลต่อไปนี้ ซึ่งให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น คือ

ก. เมื่อต่อเนื่องสองด้าน: $I_e = 0.70I_{em} + 0.15(I_{e1} + I_{e2})$ (3.8)

ข. เมื่อต่อเนื่องด้านเดียว: $I_e = 0.85I_{em} + 0.15I_{e1}$ (3.9)

โดยที่ Ie1 เป็นโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผลของด้านที่ต่อเนื่อง

การแอ่นตัวระยะยาว หรือเพิ่มขึ้นตามกาลเวลา ที่เพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากการหดตัวและการคืบเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อเนื่อง(คงค้าง) $\Delta_{(cp+sh)}$ หาได้จากการคูณการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในทันทีทันใดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงค้าง $(\Delta_i)_{sus}$ ด้วยตัวประกอบ

$$\Delta_{(cp+sh)} = \lambda(\Delta_i)_{sus} \quad (3.10)$$

โดยที่

λ = ตัวคูณประกอบเนื่องจากการล้า = $\frac{\delta}{1+50\rho'}$

ρ' = อัตราส่วน As'/bdโดยพิจารณาที่กึ่งกลางคานสำหรับคานช่วงเดียวหรือคานต่อเนื่อง และที่ฐานรองรับสำหรับคานยื่น

As' = เนื้อที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัดที่มีในคาน (อาจเป็นเหล็กที่นำใช้เพื่อช่วยยึดเหล็กลูกตั้ง)

δ = ตัวประกอบตามกาลเวลาที่มีน้ำหนักบรรทุกคงค้างซึ่งมีค่าดังนี้

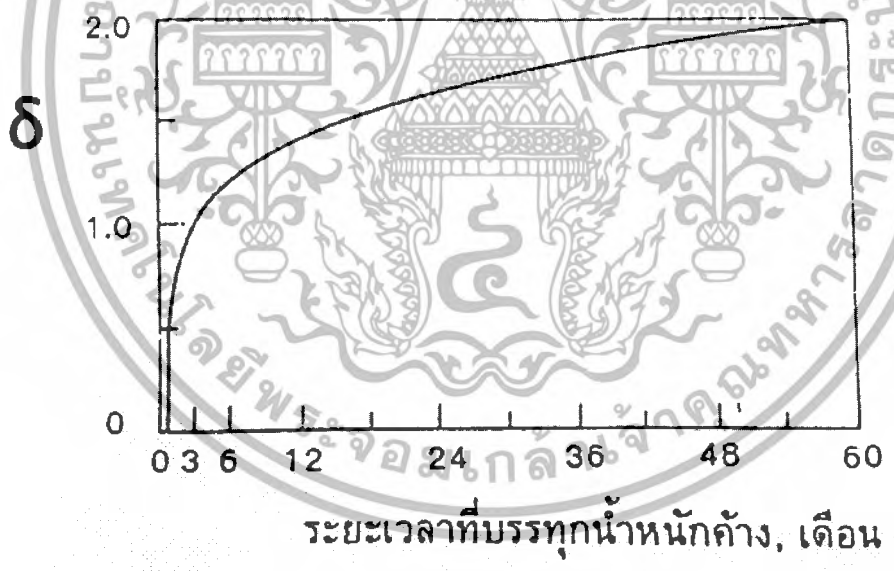
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1. ตัวประกอบที่ขึ้นกับเวลา

ระยะเวลาน้ำหนักคงค้าง	δ
5 ปี และมากกว่า	2.0
12 เดือน	1.4
6 เดือน	1.2
3 เดือน	1.0

ที่มา : หนังสือคอนกรีตเสริมเหล็ก (ศรีกริช หิรัญมาศ, 2544)

ถ้าระยะเวลาของการบรรทุกน้ำหนักค้างไม่ตรงตามที่กำหนดให้ ให้หาค่าตัวประกอบ δ โดยใช้ การเทียบส่วนแบบเชิงเส้น



รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบตามกาลเวลา

การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นจะต้องนำมาเปรียบเทียบกับการแอ่นตัวที่ยอมให้ในตารางที่ 3.2 ใน มาตรฐาน วสท. 1008-38 คำบรรยายให้ข้อมูลสำหรับปรับแต่งขีดจำกัดแล้วแต่กรณี รวมทั้งการพิจารณาการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นก่อนการติดตั้งผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2. ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นตัวที่คำนวณ

ชนิดขององค์อาคาร	ระยะแอ่นที่พิจารณา	พิกัดระยะแอ่น
หลังคาราบซึ่งไม่รองรับหรือไม่ยึดติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการแอ่นตัวมาก	ระยะแอ่นที่เกิดขึ้นทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร L	$\frac{l}{180}$ *
พื้นซึ่งไม่รองรับหรือไม่ยึดติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการแอ่นตัวมาก	ระยะแอ่นที่เกิดขึ้นทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร L	$\frac{l}{360}$
หลังคาหรือพื้นซึ่งไม่รองรับหรือไม่ยึดติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะ***เกิด***ความเสียหายเนื่องจากการแอ่นตัวมาก	ระยะแอ่นทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง(เป็นผลรวมของระยะแอ่นที่เพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกค้างทั้งหมด และระยะแอ่นตัวที่เกิดขึ้นทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรที่เพิ่มขึ้น)***	$\frac{l}{480}$ **
หลังคาหรือพื้นซึ่งไม่รองรับหรือไม่ยึดติดกับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างซึ่งคาดว่าจะ***ไม่เกิด***ความเสียหายเนื่องจากการแอ่นตัวมาก		$\frac{l}{240}$ ***

ที่มา : หนังสือคอนกรีตเสริมเหล็ก (ศรีกริช หิรัญมาศ, 2544)

* พิกัดนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลของการเกิดแอ่งน้ำเนื่องจากการแอ่นตัว ดังนั้นจึงควรตรวจสอบตรวจสอบการเกิดแอ่งน้ำเนื่องจากการแอ่นตัวด้วยวิธีการคำนวณที่เหมาะสม โดยให้รวมระยะแอ่นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำในแอ่ง ผลของน้ำหนักบรรทุกค้าง ระยะยกตัว รวมถึงความคลาดเคลื่อนในการก่อสร้างและข้อกำหนดสำหรับการระบายน้ำ

**พิกัดนี้อาจยอมให้เกินได้ ถ้ามีมาตรการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ยึดติดหรือรองรับโดยโครงสร้าง

***จะต้องหาระยะแอ่นที่เพิ่มขึ้นตามเวลาตามข้อกำหนดใน วสท. 4205(ข) 5 แต่อาจจะลดลงได้ด้วยระยะแอ่นตัวที่เกิดขึ้นก่อนการติดตั้ง ชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ซึ่งค่านี้จะต้องคำนวณบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานของข้อมูลทางวิศวกรรมที่ยอมรับ ซึ่งสัมพันธ์กับคุณลักษณะของการแอ่นตัวตามเวลาขององค์อาคารที่คล้ายคลึงกับองค์อาคารที่พิจารณา

****ต้องไม่มากกว่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง พิกัดนี้ยอมให้เกินได้ถ้ามีการเผื่อระยะยกตัว ทำให้ระยะแอ่นตัวทั้งหมดลบด้วยระยะยกตัวแล้วต้องไม่เกินค่าพิกัดในตาราง

3.4 คอนกรีตมวลเบา

การทดสอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเสริมเหล็กต้องใช้ระยะเวลานานหลายปีจึงจะได้ผลการทดสอบที่สามารถสรุปถึงการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจึงมีการคิดค้นจะทำให้คอนกรีตมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากคอนกรีตปกติด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงนำเอาคอนกรีตที่เรียกว่า "คอนกรีตมวลเบา" มาใช้ในการทดสอบ แต่คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อจำกัดในด้านการผลิตที่จะทำให้น้ำหนักเบาลงกว่าคอนกรีตธรรมดา

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป หากจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนักสามารถแบ่ง ดังนี้

ตารางที่ 3.3. ลักษณะการใช้งานกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

ลักษณะการใช้งาน	น้ำหนัก	ระยะเวลาบ่ม	กำลังต้านทานแรงอัด
งานโครงสร้าง	1,400 ถึง 1,800	28 วัน	ไม่ต่ำกว่า 170
งานกำแพงกั้นรั้วและใช้เป็นวัสดุทนไฟ	1,800 ถึง 2,050	28 วัน	ไม่ต่ำกว่า 120
งานฉนวนกันความร้อน	315 ถึง 1,100	28 วัน	7 ถึง 70

ที่มา : ปริญญานิพนธ์ พ.ศ. 2550

อย่างไรก็ตาม ถ้าจะแบ่งคอนกรีตเบาออกเป็นประเภท ตามวัสดุที่ใช้ในการผลิต ก็สามารถแบ่งได้เป็น3 ประเภท คือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา คอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต คอนกรีตไม่มีมวลรวมละเอียด สำหรับโครงงานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะ "คอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต เป็นคอนกรีตเบาอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งทำให้น้ำหนักเบาด้วยวิธีทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ได้จากการทำให้เกิดฟองอากาศ หรือที่เรียกว่า " โฟม" ขนาด 0.1 ถึง 1.0 mm. ในเนื้อคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตพรุนมีรูพรุนจากฟองอากาศและมีมวลแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา คือไม่ใช้มวลรวมหยาบในการผลิต บางครั้งจึงเรียกว่า Aerated Mortar ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะของคอนกรีต ใช้กันในอังกฤษและอเมริกาแต่ในประเทศในทวีปยุโรปจะเรียกตามกรรมวิธีการผลิต โดยจะเรียกว่า Form Concrete โดยทั่วไปองค์ประกอบของคอนกรีตพรุนนี้ผลิตโดยใช้ Autoclave Aerated Concrete

วิธีการผลิตคอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีตมี 2 วิธี

วิธีแรกเป็นวิธีทางเคมีโดยใช้ผลของการทำปฏิกิริยาเคมี-ทำให้เกิดฟองก๊าซในเนื้อคอนกรีต ในขณะที่ยังมีสภาพPlastic และ

วิธีที่สองเป็นการทำให้เกิดฟองอากาศ (Foaming Agent) แล้วผสมลงในส่วนผสมคอนกรีต ให้ฟองอากาศกระจายในส่วนผสมของซีเมนต์และทรายละเอียดที่ยังอยู่ในสภาพ Plastic จากนั้นก็ปล่อยให้แข็งตัวเนื่องจากคอนกรีตพรุนมีโพรงที่เกิดจากการแทรกตัวของฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง มีน้ำหนักเบาหน่วยน้ำหนักประมาณ 200 ถึง 300 kg/m^3

ข้อแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบากับคอนกรีตธรรมดา

1. คอนกรีตเบาดูดซึมน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
2. คอนกรีตมวลเบาหดตัวมากว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5-40 %
3. คอนกรีตมวลเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา
4. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ ½ ถึง ¾ เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีค่ากำลัง ต้านทาน แรงอัดประลัยเท่ากัน
5. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตมวลเบาประมาณ 7x106 ถึง 14x106 ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

3.5 กระบวนการทดสอบ

3.5.1 การทำคอนกรีต

1. อัตราส่วนผสมวัสดุ เมื่อใช้มวลรวมอย่างเดียวกัน คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนผสม ต่างกัน จะให้กำลังของคอนกรีตต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีที่ใช้ปริมาณน้ำผสม เพื่อเพิ่มความสามารถเทได้ เมื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ยิ่งมาก กำลังของคอนกรีตยิ่งลดลง ยืดหดตัวตัวมากและมีรูโพรงมากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง

2. การชั่งหรือตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่า การชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติ ของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้
3. การผสมคอนกรีต จะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุดเพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้น การผสมคอนกรีตหาก กระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้
4. การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท จะมีผลทำให้กำลังของ คอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ
5. การใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตมวลเบาจะต้องใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมโดยไม่เหลวเกินและไม่เหนียวเกินไป ซึ่งอัตราส่วนจะส่งผลต่อกำลังอัด ของคอนกรีต อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ w/c = 0.5
6. การผสมโฟมเพื่อทำคอนกรีตมวลเบาจะต้องผสมให้โฟมเข้ากับเนื้อคอนกรีตให้ดีและจะต้องใส่โฟมที่มีเม็ดละเอียดจริงเพื่อจะได้กำลังอัดที่ดีที่สุด

3.5.2 การบ่ม (Curing)

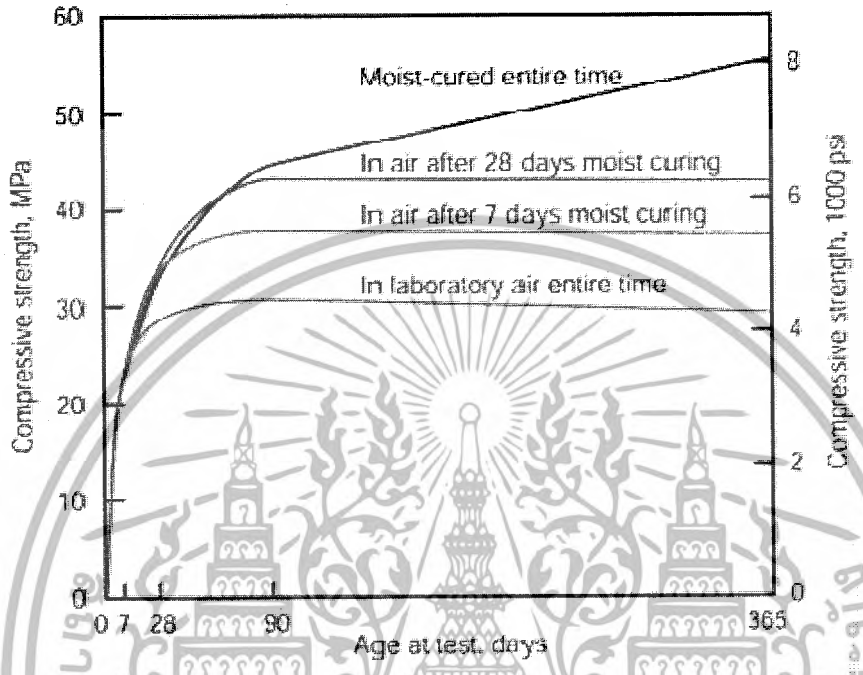
การบ่ม (Curing) คือ การรักษาความชื้นและอุณหภูมิของคอนกรีตในช่วงที่คอนกรีตยังมีอายุในช่วงเริ่มต้น เพื่อให้คอนกรีตมีโอกาสพัฒนาคุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการ เช่น กำลังความคงทน ความทึบน้ำ ความต้านต่อการสึกกร่อน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น คอนกรีตควรได้รับการบ่มทันทีหลังจากเทและตกแต่งผิวคอนกรีตเสร็จ

การบ่มคอนกรีตที่เพียงพอและเหมาะสมจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง มีความทึบน้ำ มีความต้านทานต่อความเค้นและการสึกกร่อนมากขึ้น การพัฒนากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกถ้าได้รับการบ่มที่ดีหลังจากนั้นกำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ดังรูปที่ 3.11 แสดงกำลังที่เพิ่มขึ้นสำหรับคอนกรีตที่มีช่วงเวลาการบ่มชื้นที่ต่างกัน

กรรมวิธีการบ่มขึ้นอยู่กับสภาพคอนกรีตและสภาพแวดล้อมสำหรับงานทั่วๆไปใช้การบ่มแบบธรรมดาก็เพียงพอแต่ในกรณีอากาศร้อนหรือเย็นต้องใช้กรรมวิธีการบ่มด้วยวิธีพิเศษ หากขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นกำลังของคอนกรีตจะยังคงเพิ่มขึ้นอีกระยะหนึ่งเพราะคอนกรีตยังคงมีความชื้นเหลืออยู่ภายในเนื้อคอนกรีตหลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์ของคอนกรีตตกลงมาเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ กำลังคอนกรีตจะไม่เพิ่มขึ้นอีกดังนั้นเราจึงควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดจนกว่าคอนกรีตมีคุณสมบัติตามต้องการ



รูปที่ 3.13 แสดงผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มชื้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการศึกษา

4.1. การทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก

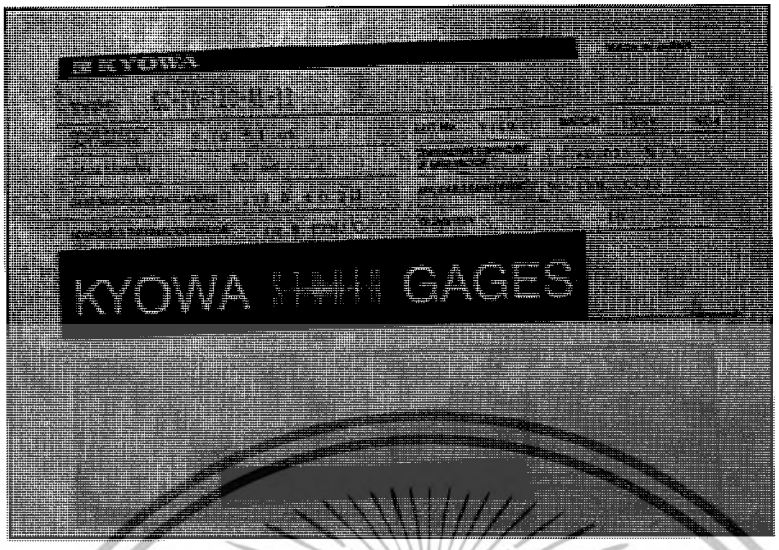
วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทรงกระบอกนำไปใช้เป็นความสัมพันธ์ในการคำนวณหาค่าการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กในอนาคต

4.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ส่วนผสมสำหรับ หล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. กำลังอัดประลัย (f'_c) 240 ksc. จำนวน 5 ตัวอย่าง ทำการบ่ม และทดสอบที่ 28 วัน
2. ส่วนผสมสำหรับ หล่อตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ (ไม่ผสมมวลรวมหยาบ) รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. จำนวน 15 ตัวอย่างของแต่ละหน่วยน้ำหนักรวม 45 ตัวอย่าง โดยมีหน่วยน้ำหนักที่ 1,600 1,700 1,800 1,900 และ 2,000 2,100 kg/m^3 โดยประมาณ ทำการบ่ม และทดสอบที่ 3 ,7 ,28 วัน
   ** ค่าหน่วยน้ำหนักที่นำมาทดสอบนั้นได้จากค่าแนวโน้มของแต่ละชนิดน้ำยาผสมโฟม โดยให้มีค่ากำลังอัดประลัย (f'_c) 240 ksc. โดยประมาณ
3. เครื่องมือวัดการหดตัวของคอนกรีต (Strain gage, Dial gauge)
4. เครื่อง UTM
5. แบบเหล็กรูปทรงกระบอก
6. เครื่องผสมคอนกรีต
7. เครื่องใส่โฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



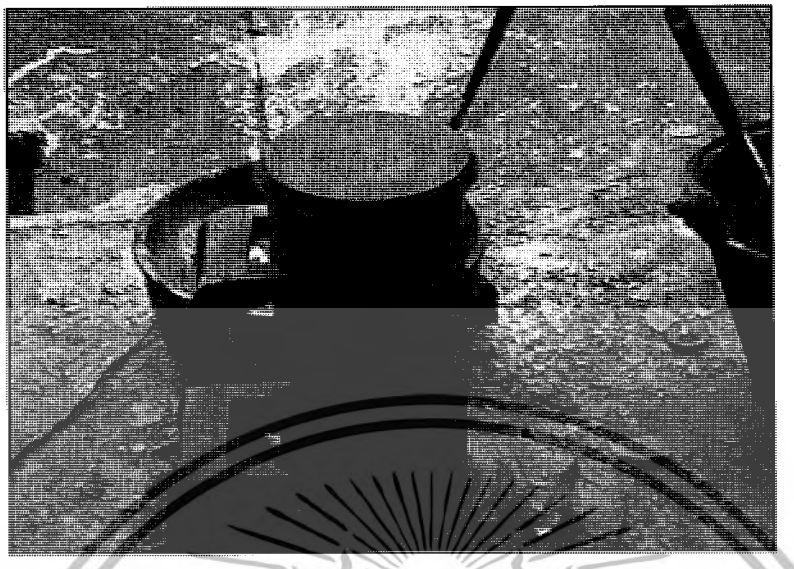
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดการหดตัวของคอนกรีต (Strain gage)

4.1.2 วิธีการทดสอบ

1. คำนวณส่วนผสมคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดประลัย fc'=240 ksc. แล้วทำการหล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำการบ่มที่ 28 วัน จำนวน 5 ตัวอย่าง

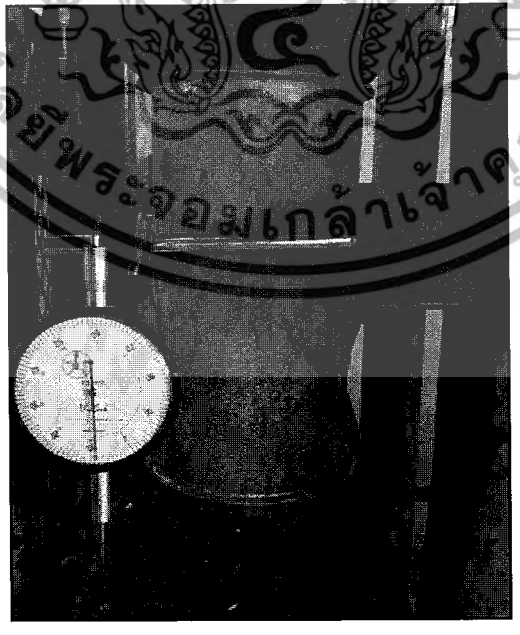
รูปที่ 4.2 แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ต่อ)

2. นำ (Strain gage, Dial gauge) ติดที่แท่งทรงกระบอกคอนกรีต ขณะทำการกดอัดเพื่อหาค่าการหดตัว แล้วนำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Ec) รวมทั้งเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัยที่ได้จากการทดสอบ กับที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 4.4 แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

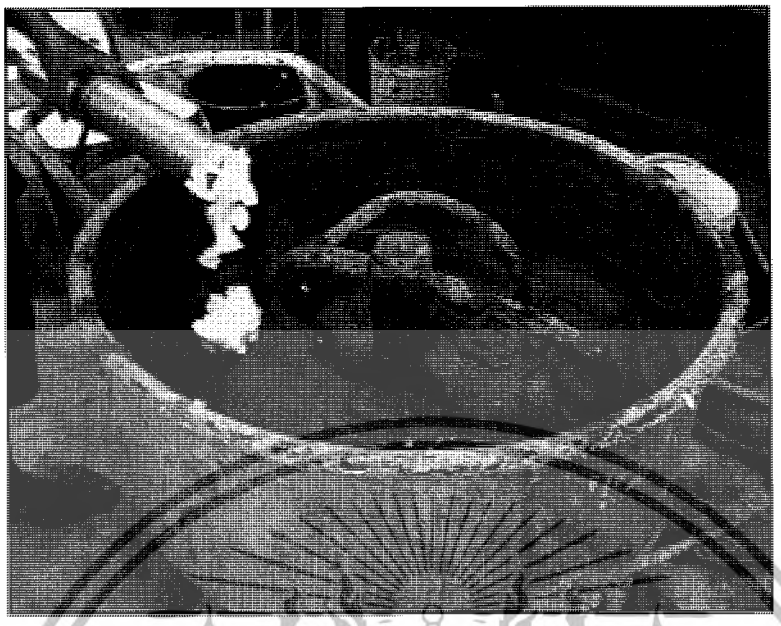
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ทดสอบแล้ว

3. ศึกษาและเปรียบเทียบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Ec) กับระยะเวลา ตามที่ทดสอบ กับทฤษฎี แล้วทำการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ที่ระยะเวลา 1 ปี โดย
   - ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นค่าแรก (E_1) เป็นค่าที่ได้จากการค้างแรงกระทำไว้ที่ 50% ของ น้ำหนักบรรทุกประลัย
   - ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นค่าที่สอง (E_2) เป็นค่าที่ได้จากการค้างแรงกระทำไว้ที่ 25 % ของ น้ำหนักบรรทุกประลัย

4. หล่อแท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ (ไม่ผสมมวลรวมหยาบ) รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. จำนวน หน่วยน้ำหนักละ 15 ตัวอย่าง โดยมีหน่วยน้ำหนักที่ 1,600 1,700 1,800 1,900 และ 2,000 kg/m^3 โดยประมาณ ทำการบ่ม และทดสอบที่ 3, 7, 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



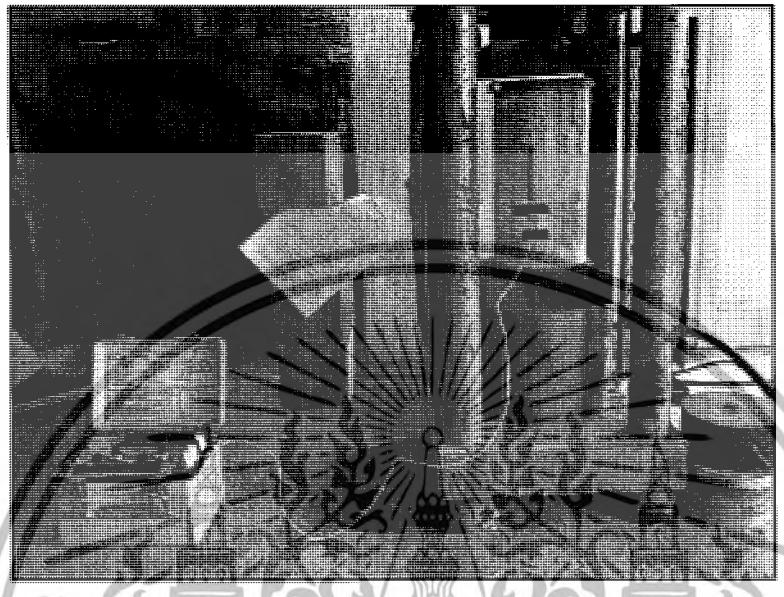
รูปที่ 4.6 การผสมคอนกรีตโฟมซีเมนต์

รูปที่ 4.7 การหล่อแท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ รูปทรงกระบอก

5. นำแท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ที่ได้ทำการบ่มไว้แล้วข้างต้น มาทำการทดสอบการกดอัด เพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและค่ากำลังอัดประลัย ของคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ในแต่ละหน่วยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยนำ Strain gage มาทำการติดที่แท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ และเชื่อมต่อกับเครื่องอ่านค่าการหดตัว จากนั้นจึงทำการกดอัด แล้วบันทึกค่าการหดตัวเป็นระยะๆ



รูปที่ 4.8 แท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ ที่ทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

รูปที่ 4.9 แท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์รูปทรงกระบอกที่ทดสอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยทำการเขียนกราฟระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโฟมซีเมนต์ ซึ่งจะนำค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ระยะเวลา 1 ปี (E_1, E_2) มาทำการหาค่าหน่วยน้ำหนักที่เหมาะสม โดยจะต้องให้ค่ากำลังอัดประลัย fc'มีค่าประมาณ 240 ksc. จะได้ 2 หน่วยน้ำหนัก เพื่อนำไปเป็นส่วนผสมของคานคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์ต่อไป

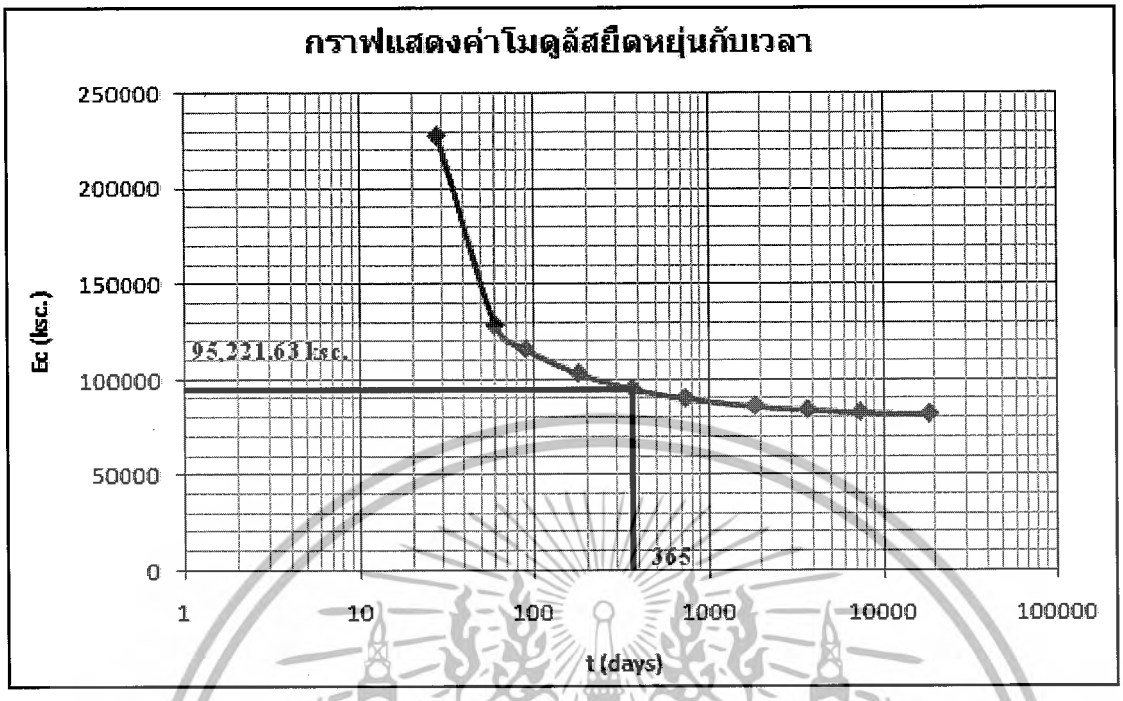
4.1.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบรับแรงกดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.00	29.50	176.71	12.594	44342.508	250.927	236717.000	2415.846
2	14.96	29.30	175.77	12.612	41794.088	237.773	228023.000	2448.856
3	14.98	29.80	176.24	12.514	43832.824	248.706	206697.000	2382.684
4	15.00	30.00	176.71	12.564	42813.456	242.275	288414.000	2369.923
5	14.90	29.60	174.37	12.453	42303.772	242.614	178645.000	2412.792
		เฉลี่ย	175.96	12.547	43017.330	244.459	227699.200	2408.151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับระยะเวลา ที่ได้จากการค้างแรงกระทำไว้ 50 % ของน้ำหนักบรรทุกประลัย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1600 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	30.30	177.66	8.569	40590.181	228.473	55707.862	1591.849
2	14.98	29.60	176.24	8.298	42019.776	238.419	54186.057	1590.626
3	15.05	29.80	177.89	8.578	42901.449	241.162	58141.053	1618.106
4	14.86	30.00	173.43	8.410	41099.966	236.981	56229.977	1616.394
5	15.20	28.80	181.46	8.504	40035.503	220.632	56843.366	1627.248
		เฉลี่ย	177.34	8.472	41329.375	233.133	56221.663	1608.845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.09	29.70	178.84	8.613	38801.815	216.962	39870.980	1621.547
2	14.89	30.00	174.13	8.415	38537.214	221.310	40013.677	1610.844
3	15.05	30.20	177.89	8.612	39343.516	221.162	39970.507	1603.002
4	15.09	30.30	178.84	8.564	39311.513	219.812	40156.781	1580.395
5	15.27	29.60	183.13	8.553	40035.562	218.614	39865.500	1577.825
		เฉลี่ย	178.57	8.551	39205.924	219.572	39975.489	1598.723

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.12	30.00	179.55	8.613	37482.117	208.752	30508.978	1598.968
2	14.90	30.00	174.37	8.501	34637.157	198.646	28960.546	1625.123
3	15.02	30.20	177.19	8.590	35079.312	197.980	30898.019	1605.301
4	15.09	30.10	178.84	8.611	37677.438	210.675	29862.032	1599.627
5	15.08	29.80	178.60	8.603	35880.408	200.893	30051.904	1616.371
		เฉลี่ย	177.71	8.584	36151.286	203.389	30056.296	1609.078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1750 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.82	29.60	172.50	9.062	42264.462	245.013	72531.960	1774.786
2	14.87	29.80	173.66	9.148	41753.910	240.428	74206.222	1767.657
3	15.00	30.10	176.71	9.269	41149.296	232.857	73166.554	1742.585
4	15.20	30.00	181.46	9.456	43363.410	238.972	74515.635	1737.037
5	14.86	30.20	173.43	9.284	42094.620	242.716	73911.016	1772.559
		เฉลี่ย	175.55	9.244	42125.140	239.997	73666.277	1758.925

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.08	30.20	178.60	9.453	38692.358	216.637	54376.876	1752.549
2	15.10	29.80	179.08	9.467	38172.402	213.160	55984.084	1773.995
3	14.96	30.30	175.77	9.334	37633.781	214.104	53996.334	1752.557
4	15.10	29.80	179.08	9.364	37990.995	212.147	54790.657	1754.694
5	14.90	30.10	174.37	9.353	38607.302	221.415	54168.604	1782.059
		เฉลี่ย	177.38	9.394	38219.368	215.493	54663.311	1763.171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.08	30.20	178.60	9.476	37587.867	210.453	41361.671	1756.813
2	15.10	30.00	179.08	9.390	35585.432	198.714	41089.223	1747.836
3	15.04	30.20	177.66	9.443	35973.323	202.486	40916.684	1760.020
4	15.15	29.70	180.27	9.414	35704.314	198.064	41116.125	1758.339
5	14.86	30.10	173.43	9.309	35446.758	204.385	41390.876	1783.237
		เฉลี่ย	177.81	9.406	36059.539	202.820	41174.916	1761.249

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1860 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.07	30.10	178.37	9.954	43917.453	246.219	95461.665	1854.021
2	15.19	30.10	181.22	10.082	43700.459	241.146	95692.969	1848.310
3	15.17	30.40	180.74	10.070	44043.854	243.682	95210.777	1832.715
4	14.96	29.80	175.77	9.805	43184.725	245.684	95895.442	1871.881
5	15.06	30.00	178.13	9.985	43503.511	244.222	95548.448	1868.474
		เฉลี่ย	178.85	9.979	43670.000	244.191	95561.860	1855.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	29.70	177.66	9.809	38587.743	217.202	79854.657	1859.014
2	15.09	29.80	178.84	9.980	38335.217	214.353	80065.582	1872.604
3	14.97	30.00	176.01	9.771	37355.502	212.237	78990.330	1850.479
4	14.95	30.00	175.54	9.706	37918.412	216.012	79424.544	1843.091
5	15.01	30.20	176.95	9.887	38195.073	215.852	79846.140	1850.147
		เฉลี่ย	177.00	9.831	38078.389	215.131	79636.251	1855.067

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.88	30.00	173.90	9.822	36306.869	208.782	70098.893	1882.708
2	15.11	30.00	179.32	9.980	37274.576	207.871	70126.332	1855.199
3	15.08	30.20	178.60	10.106	37511.246	210.024	70154.679	1873.613
4	15.06	30.00	178.13	9.906	38198.974	214.443	70043.063	1853.691
5	15.09	29.80	178.84	9.987	37307.236	208.605	69980.307	1873.917
		เฉลี่ย	177.76	9.960	37319.780	209.945	70080.655	1867.825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1940 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	29.00	177.89	10.151	45513.472	255.845	121262.747	1967.650
2	15.08	30.00	178.60	10.437	46943.807	262.837	123185.398	1947.879
3	15.12	30.10	179.55	10.586	44280.089	246.612	122206.376	1958.718
4	14.95	30.10	175.54	10.264	45511.414	259.267	123163.926	1942.575
5	15.02	29.50	177.19	10.154	42554.762	240.170	122660.681	1942.609
		เฉลี่ย	177.76	10.318	44960.709	252.946	122495.826	1951.886

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	30.00	177.19	10.454	39155.833	220.987	98910.456	1966.670
2	15.13	30.20	179.79	10.468	38595.895	214.671	99754.322	1927.920
3	14.90	29.80	174.37	10.257	36809.063	211.102	99017.578	1973.975
4	15.00	30.00	176.71	10.306	37277.765	210.949	98045.233	1944.001
5	15.03	29.70	177.42	10.232	37764.305	212.850	99047.135	1941.763
		เฉลี่ย	177.10	10.343	37920.572	214.112	98954.945	1950.866

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.98	30.00	176.24	10.245	36639.824	207.893	87876.087	1937.658
2	15.06	29.60	178.13	10.218	37508.003	210.564	88236.549	1937.913
3	14.95	30.00	175.54	10.267	36449.507	207.644	86431.755	1949.620
4	15.00	30.00	176.71	10.286	36602.539	207.128	87698.665	1940.228
5	15.03	29.50	177.42	10.224	35758.902	201.547	88076.716	1953.399
		เฉลี่ย	176.81	10.248	36591.755	206.955	87663.954	1943.764

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 2080 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.10	29.30	179.08	10.946	46921.004	262.013	174675.609	2086.143
2	14.99	30.00	176.48	10.972	47671.168	270.124	170103.069	2072.390
3	15.05	30.20	177.89	11.113	49630.218	278.987	168265.046	2068.528
4	15.18	29.80	180.98	11.248	51140.434	282.573	165492.899	2085.574
5	15.06	28.90	178.13	10.808	48995.479	275.053	176570.539	2099.460
		เฉลี่ย	178.51	11.017	48871.661	273.750	171021.432	2082.419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	30.00	177.89	11.170	38226.536	214.883	151210.871	2092.999
2	15.23	28.90	182.18	11.086	37717.955	207.042	148056.914	2105.656
3	15.05	29.80	177.89	10.986	37697.477	211.909	149806.870	2072.337
4	15.10	30.00	179.08	11.198	37547.059	209.668	151070.976	2084.373
5	15.06	30.20	178.13	6.000	38672.090	217.099	150592.865	1115.333
		เฉลี่ย	179.03	10.088	37972.223	212.120	150147.699	1894.140

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.15	30.00	180.27	11.170	36311.992	201.435	129054.963	2065.460
2	15.24	28.90	182.41	10.977	37210.591	203.989	130132.719	2082.217
3	15.05	29.80	177.89	10.986	37511.755	210.865	128772.998	2072.337
4	15.10	30.00	179.08	11.198	37029.701	206.779	129001.890	2084.373
5	15.06	30.20	178.13	11.166	36495.150	204.878	128659.634	2075.634
		เฉลี่ย	179.56	11.099	36911.838	205.589	129124.441	2076.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. การทดสอบคาน

วัตถุประสงค์

เพื่อหาระยะการแอ่นตัวของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลานาน

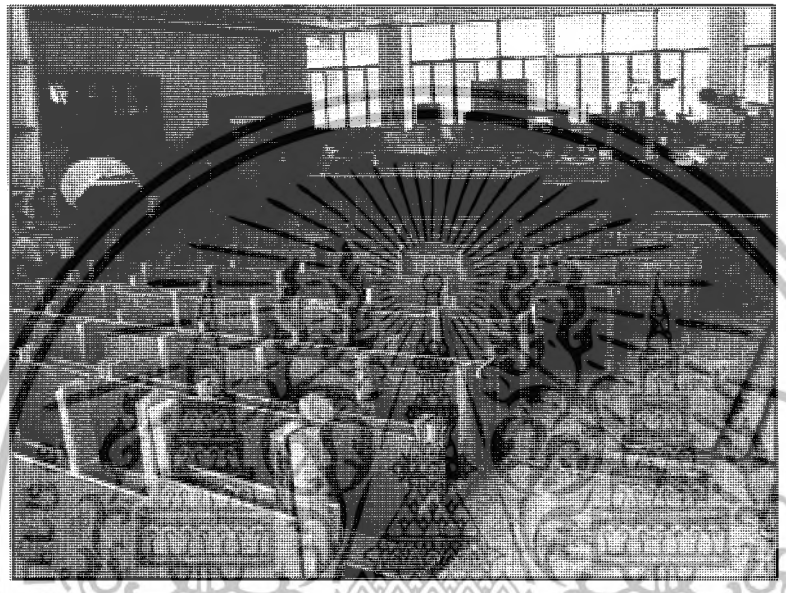
4.2.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ส่วนผสมสำหรับ หล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กล่าง ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร กำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. จำนวณ 4 ตัวอย่าง ทำการบ่ม 28 วัน
2. ส่วนผสมสำหรับ หล่อคานลูกผสมคอนกรีตเสริมเหล็กล่างโฟมซีเมนต์ ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 5 ตัวอย่าง ทำการบ่ม 28 วัน
   ** คานนี้จะแบ่งเป็น 3 ชั้น โดยชั้นล่างสุดเป็นคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก ชั้นกลางและชั้นบนเป็นโฟมซีเมนต์ แต่ค่าหน่วยน้ำหนักต่างกัน (ซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักแต่ละชั้นนั้นจะได้จากการทดสอบ แท่งคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์)
3. พลาสติก สำหรับบ่มคาน
4. แบบไม้ สำหรับหล่อคาน
5. เครื่องผสมคอนกรีตและโฟม
6. เครื่องใส่โฟม
7. เครื่องมือวัดการหดตัว (Strain gage) และเครื่องอ่าน
8. เครื่องมือวัดการแอ่นตัวของคอนกรีต (Dial gauge) จำนวน 3 ตัว
9. เฟรมเหล็กทดสอบคาน
10. Load Cell
11. เครื่องอ่านค่าน้ำหนักแบบดิจิตอล
12. คานถ่ายแรง (Transfer Beam)
13. Hydraulic Jack
14. โต๊ะล้อเลื่อน และรอกผ่อนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วิธีการทดสอบ

1. ประกอบแบบไม้ เพื่อเป็นแบบหล่อคาน ทั้ง 2 ประเภท ขนาด 15x 30 เซนติเมตร. ยาว 3 เมตร. จำนวนทั้งหมด 5 คาน

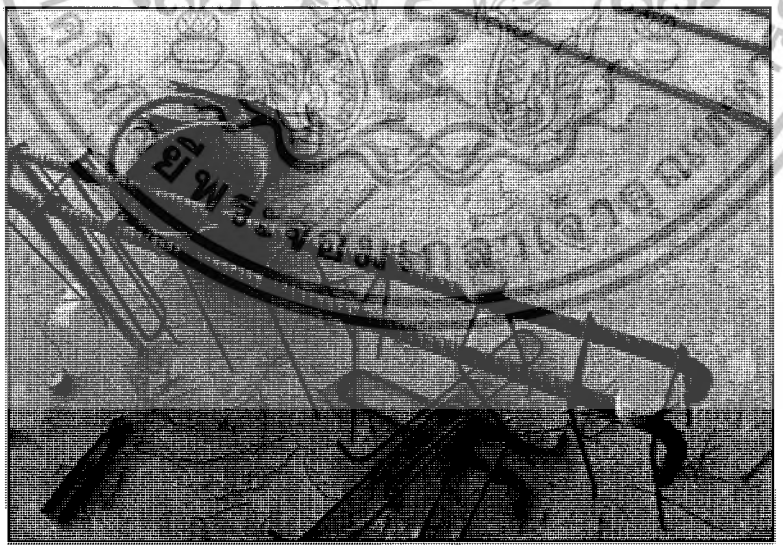


รูปที่ 4.11 แบบไม้หล่อคานคอนกรีต

รูปที่ 4.12 แบบหล่อคานคอนกรีต (ต่อ)

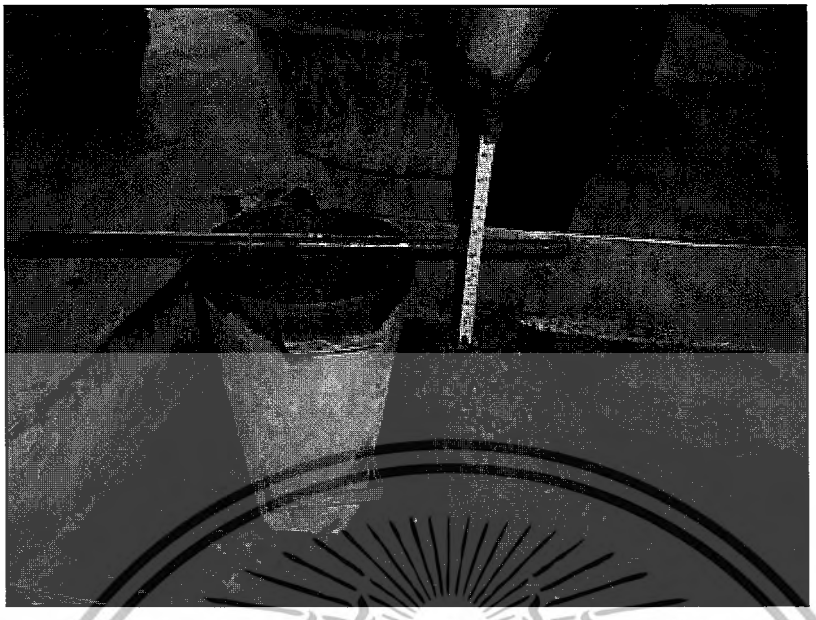
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หล่อคานทั้งหมด 5 ตัวอย่างโดยมีลักษณะดังนี้
   - คานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 กำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน
   - คานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นบนเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน
   - คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นถัดมาเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 50 %) 95,220 kg/cm^2 เสริมเหล็กปลอก RB 6 @ 12.50 cm. เว้นระยะ L/3 ช่วงกึ่งกลางคาน จำนวน 2 คาน
   - คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นถัดมาเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_2 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์ ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_1 ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 50 %) 95,220 kg/cm^2 ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน
3. หล่อคานทั้งหมด 5 ตัวอย่าง แล้วบ่มโดยพลาสติกเป็นเวลา 28 วัน

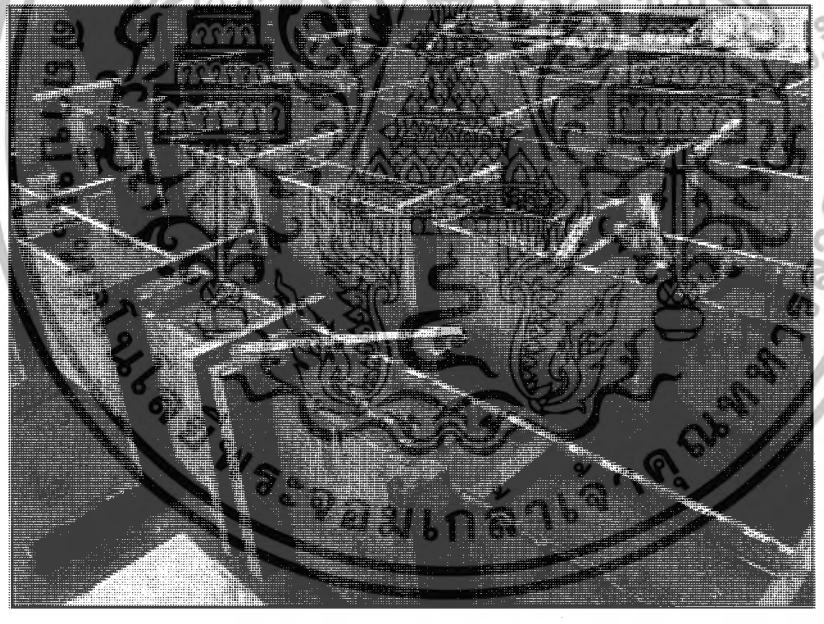


รูปที่ 4.13 การผูกเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

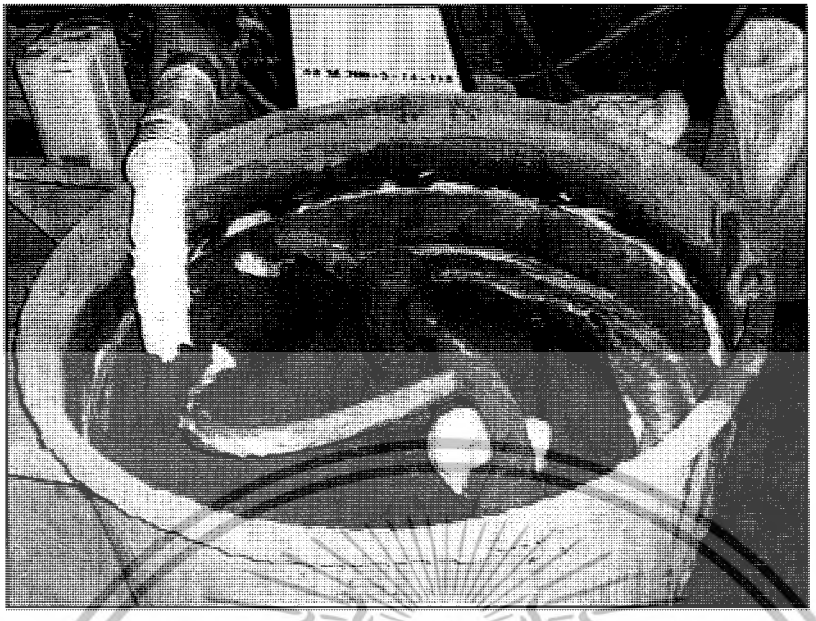


รูปที่ 4.14 ทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Slump Test)



รูปที่ 4.15 หล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา

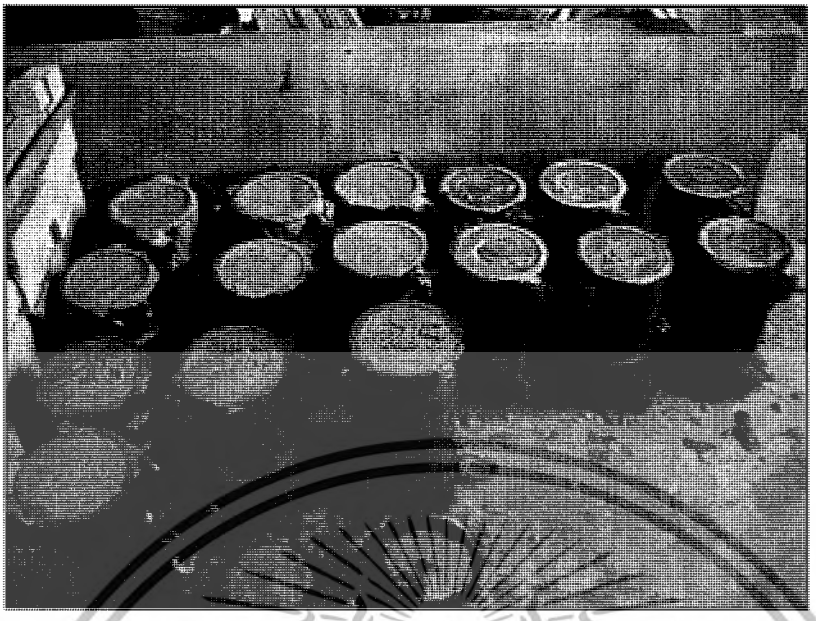
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



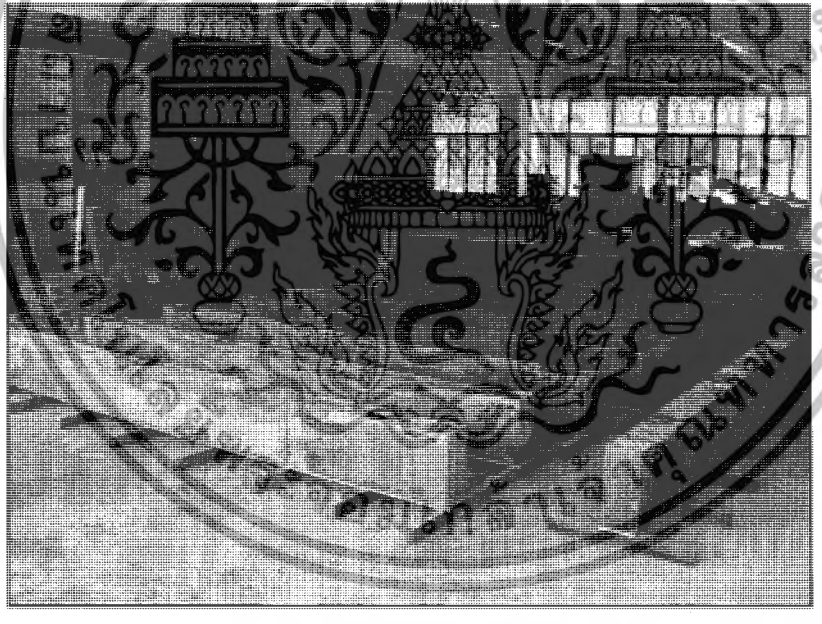
รูปที่ 4.16 ผสมโฟมซีเมนต์ตามหน่วยน้ำหนัก

รูปที่ 4.17 หล่อคานลูกผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

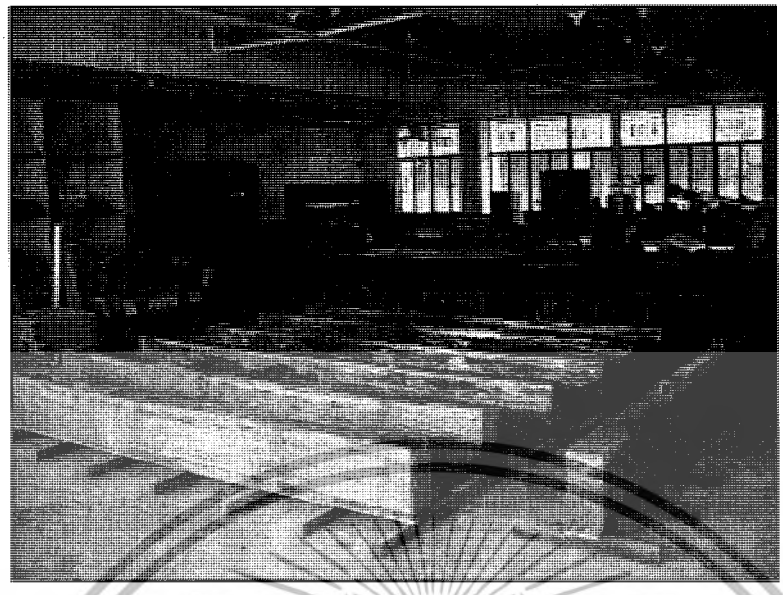


รูปที่ 4.18 เก็บตัวอย่างลูกปูน



รูปที่ 4.19 ถอดแบบคานตัวอย่าง

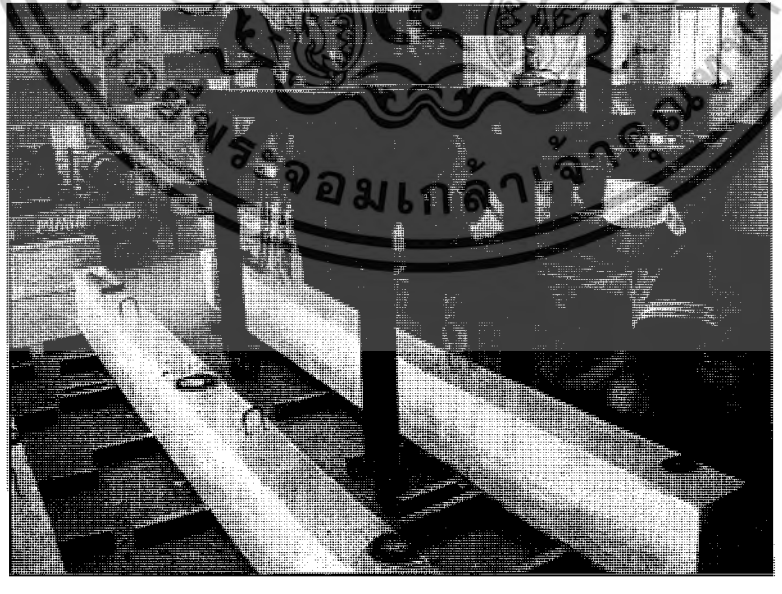
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 บ่มคานตัวอย่าง 28 วัน

4. ทำการทดสอบ

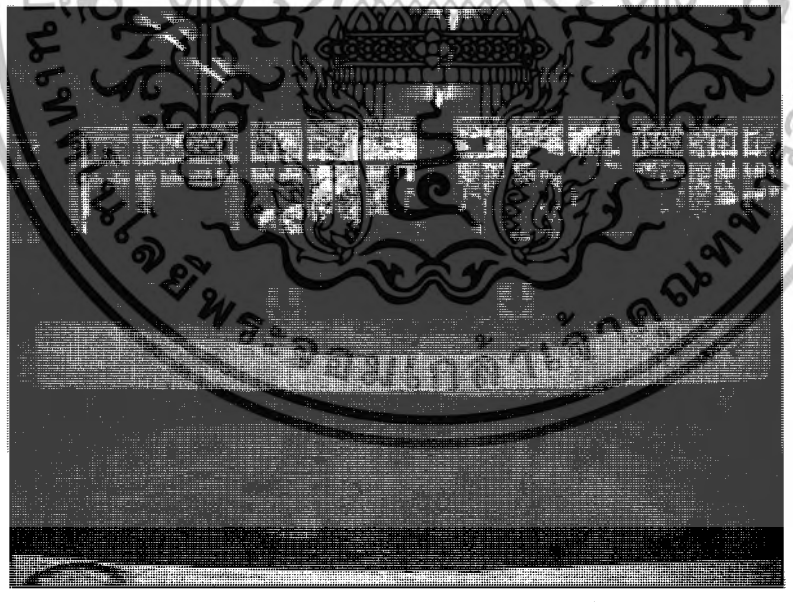
4.1 ทดสอบคานทั้ง 5 ตัวอย่าง ติด Strain gage บนผิวคานที่ระยะจุดศูนย์ถ่วงของคานสำหรับคานธรรมดา และสำหรับคานลูกผสมติด Strain gage ที่ระยะจุดศูนย์ถ่วงของโฟมซีเมนต์แต่ละชั้น ทั้งหมด 5 ตัวอย่างจำนวน 1 ตัว และ Dial gage จำนวน 3 ตัว ใต้ท้องคาน เพื่อวัดค่าการแอ่นตัว แล้วนำไปทดสอบแรงกดอัด



รูปที่ 4.21 เคลื่อนย้ายคานไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22 การทดสอบคาน

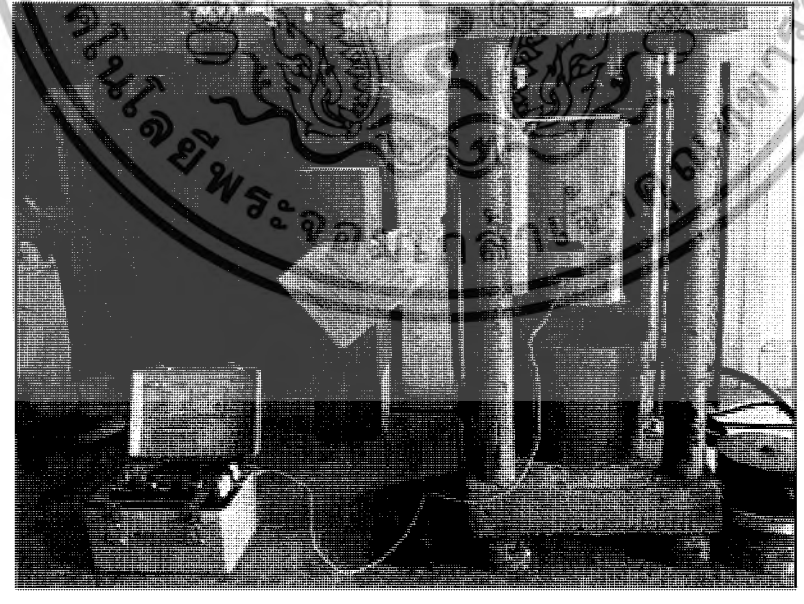


รูปที่ 4.23 รอยร้าวที่เกิดจากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดสอบลูกปูนทรงกระบอกที่เก็บจากการหล่อตัวอย่าง โดยมีคอนกรีตธรรมดากำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. จำนวน 5 ตัวอย่าง โฟมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 จำนวน 5 ตัวอย่าง และ โฟมซีเมนต์หน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 จำนวน 5 ตัวอย่าง ที่บ่มเป็นเวลา 28 วัน

รูปที่ 4.24 ตัวอย่างลูกปูนที่ทดสอบ



รูปที่ 4.25 การทดสอบตัวอย่างลูกปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิเคราะห์ผล เพื่อทำนาย การแอ่นตัวและการรับน้ำหนักบรรทุกของคานจำลองที่รับแรงกระทำผ่านมาแล้ว 1 ปี

4.2.3 ผลการทดลอง

4.2.3.1 ผลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบรับแรงกดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.00	29.50	176.71	12.594	44342.508	250.927	236717.00	2415.772
2	14.98	29.80	176.24	12.612	41794.088	237.138	228023.00	2425.813
3	15.00	29.80	176.71	12.514	43832.824	248.043	206697.00	2400.427
4	15.00	30.00	176.27	12.564	42813.456	242.275	288414.00	2410.018
5	15.00	29.60	176.77	12.453	42303.772	239.390	178645.00	2388.726
		เฉลี่ย	176.62	12.547	43017.330	243.555	227699.20	2408.151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1850 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.00	30.00	176.71	9.810	43657.054	247.048	95524.913	1850.441
2	15.02	30.05	177.19	9.850	42757.779	241.316	96254.065	1849.959
3	15.00	30.00	176.71	9.820	43062.245	243.682	95324.681	1852.328
4	14.95	30.02	175.54	9.740	43127.011	245.684	96204.315	1848.315
5	15.03	30.00	177.42	9.860	43330.363	244.222	95249.462	1852.456
		เฉลี่ย	176.72	9.816	43186.890	244.390	95711.487	1850.700

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบแท่งคอนกรีตโฟมรูปทรงกระบอก หน่วยน้ำหนัก 1950 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	30.00	177.19	10.358	45269.548	255.491	159485.228	1948.610
2	15.05	30.00	177.89	10.422	45257.050	254.404	161532.483	1952.841
3	15.00	30.00	176.71	10.346	45225.672	255.925	157906.354	1951.546
4	15.00	30.00	176.71	10.334	45768.514	258.997	158786.598	1949.283
5	14.98	30.05	176.24	10.324	45246.284	256.726	160854.672	1949.351
		เฉลี่ย	176.95	10.357	45353.414	256.309	159713.067	1950.326

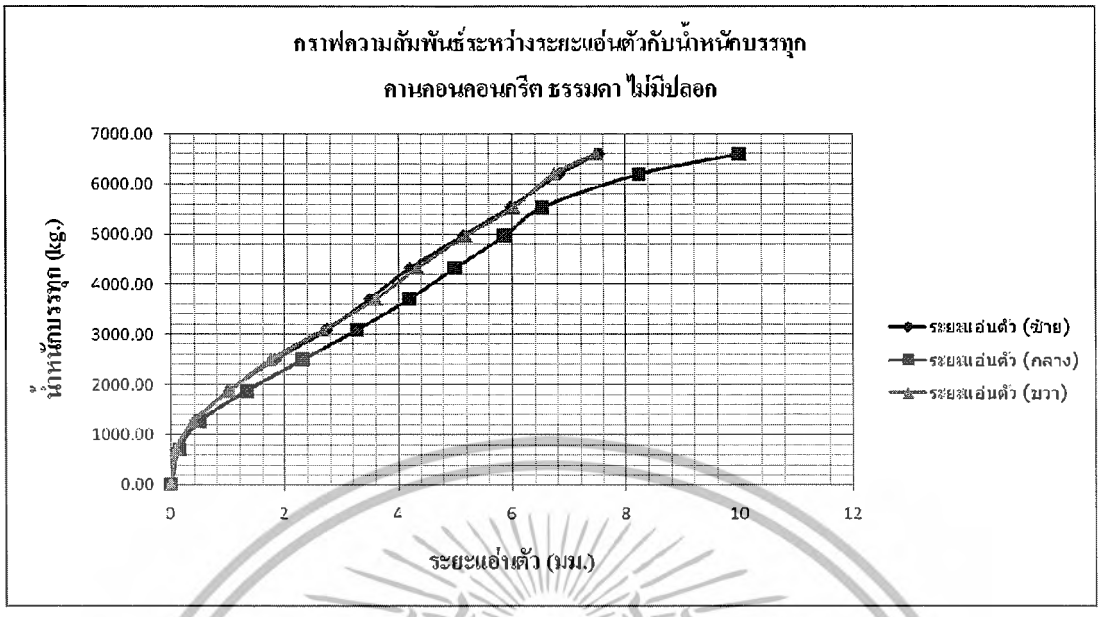
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 ผลการทดสอบคานตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง

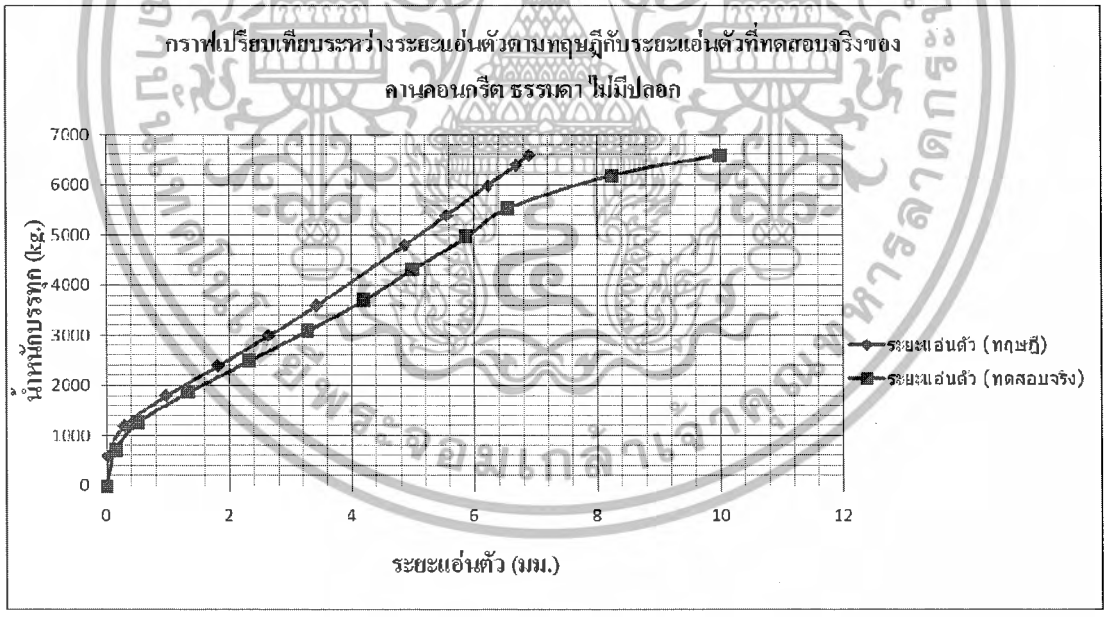
ตารางที่ 4.10 แสดงการแอ่นตัวของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (Ec)	ความเค้น (Ec)
0.00	0	0	0	0.00000	0.00
697.25	0.1	0.15	0.095	0.00019	44.17
1269.11	0.44	0.52	0.4	0.00023	52.37
1865.44	1.02	1.34	1.04	0.00027	60.80
2488.28	1.84	2.32	1.75	0.00031	70.59
3083.59	2.75	3.28	2.68	0.00035	79.92
3704.38	3.51	4.21	3.62	0.00041	92.90
4318.04	4.22	5.01	4.35	0.00043	98.82
4960.24	5.15	5.88	5.2	0.00044	100.19
5528.03	5.98	6.54	6.04	0.00045	102.46
6194.70	6.85	8.25	6.74	0.00047	107.02
6598.37	7.53	10.01	7.48	0.00049	111.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก
คานคอนคอนกรีตธรรมดาไม่เสริมเหล็กปลอก



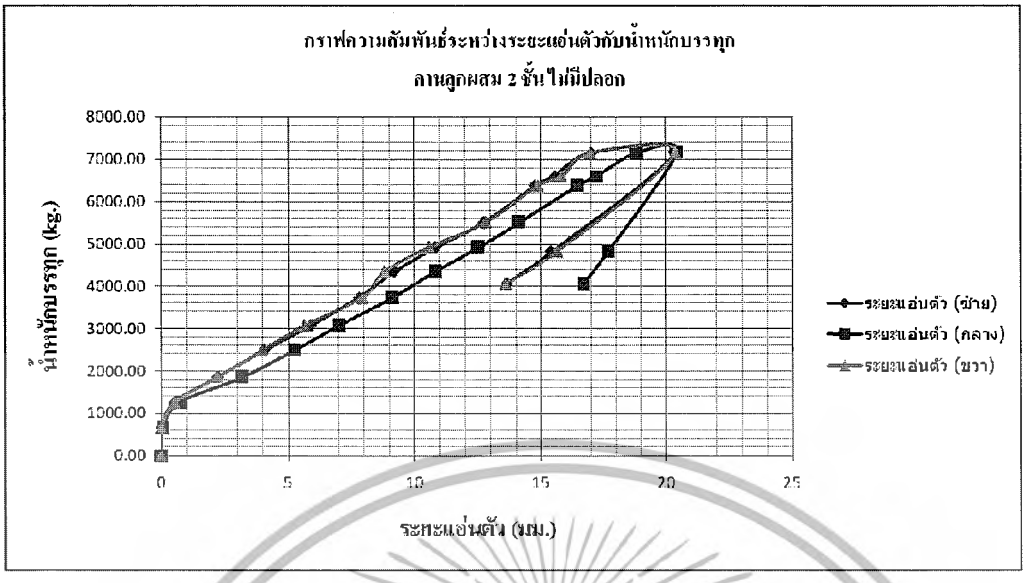
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวที่ทดสอบจริง
กับน้ำหนักบรรทุกของคานคอนคอนกรีตธรรมดาไม่เสริมเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

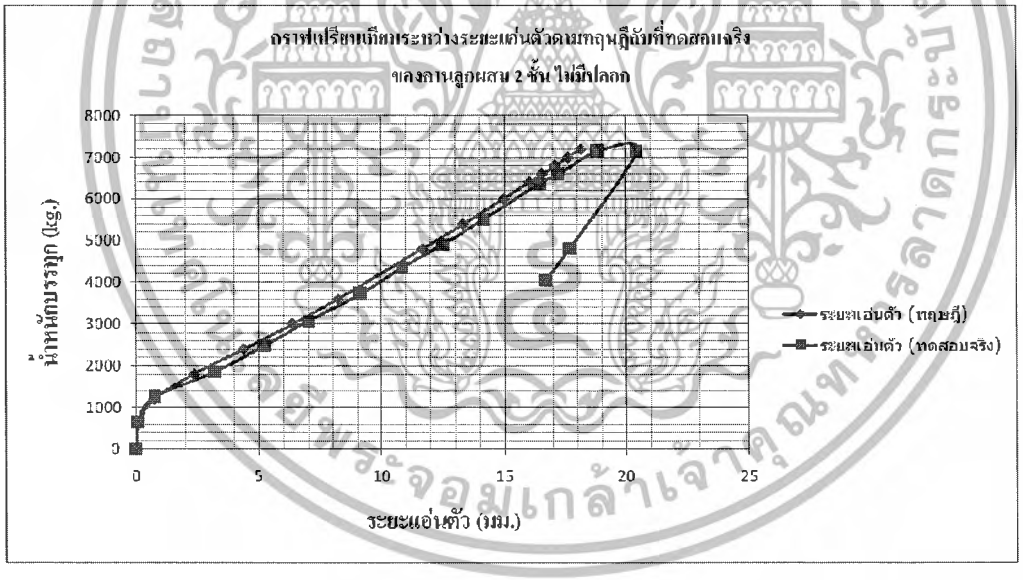
ตารางที่ 4.11 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0.00000	0.00
659.53	0.012	0.059	0.009	0.00019	29.55
1251.78	0.521	0.754	0.534	0.00029	45.52
1851.17	2.24	3.21	2.21	0.00035	55.74
2484.20	4.05	5.23	3.98	0.00040	64.36
3073.39	5.89	7.02	5.63	0.00049	77.94
3727.83	7.81	9.15	7.94	0.00053	84.17
4346.59	9.21	10.84	8.82	0.00057	91.36
4917.43	10.86	12.54	10.58	0.00061	97.90
5511.72	12.76	14.16	12.83	0.00063	100.46
6373.09	14.79	16.48	14.9	0.00069	109.40
6601.43	15.56	17.24	15.84	0.00083	132.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก
คานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก



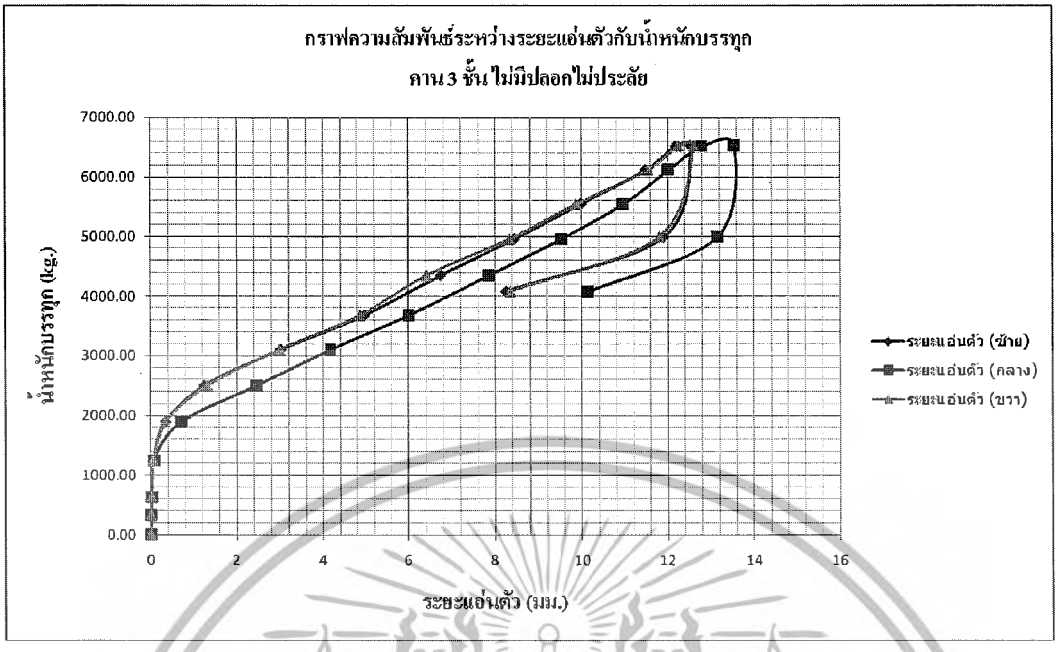
รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของ
คานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

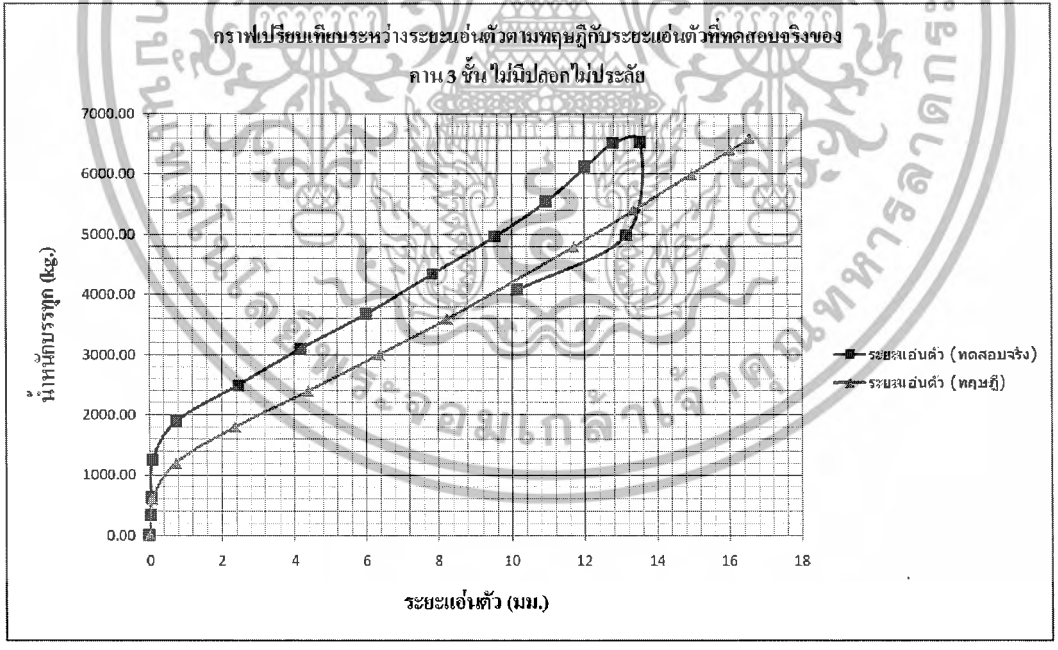
ตารางที่ 4.12 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนกบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00
327.22	0.003456	0.005472	0.003648	0.001029	0.000109	98.49	17.41
625.89	0.01864	0.02546	0.01795	0.001035	0.000118	99.06	18.85
1244.65	0.05476	0.07542	0.05761	0.001052	0.000132	100.69	21.08
1888.89	0.3471	0.71875	0.3267	0.001064	0.00018	101.84	28.75
2499.49	1.25	2.46	1.32	0.001179	0.00021	112.84	33.54
3102.96	3.02	4.18	2.98	0.001208	0.000226	115.62	36.10
3679.92	4.98	6.01	4.87	0.001312	0.000232	125.57	37.05
4349.64	6.75	7.85	6.42	0.001354	0.000245	129.59	39.13
4958.21	8.45	9.52	8.32	0.001392	0.000273	133.23	43.60
5544.34	9.98	10.95	9.87	0.00142	0.000301	135.91	48.07
6120.29	11.49	12.02	11.54	0.001476	0.000343	141.27	54.78
6512.74	12.19	12.79	12.25	0.001545	0.000413	147.87	65.96
6523.96	12.54	13.55	12.62	0.001595	0.000487	152.66	77.78
4994.90	11.91	13.15	11.805	0.001586	0.000327	151.80	52.23
4077.47	8.24	10.15	8.34	0.001401	0.000286	134.09	45.68
3058.10	10.66	8.64	9.36	0.001312	0.000256	125.57	40.89
2038.74	9.68	8.24	8.36	0.001278	0.000221	122.32	35.30
1019.37	7.67	7.51	7.36	0.001154	0.000196	110.45	31.30
0.00	5.51	5.88	4.305	0.001034	0.000154	98.97	24.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคาน 3 ชั้น ไม่เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย



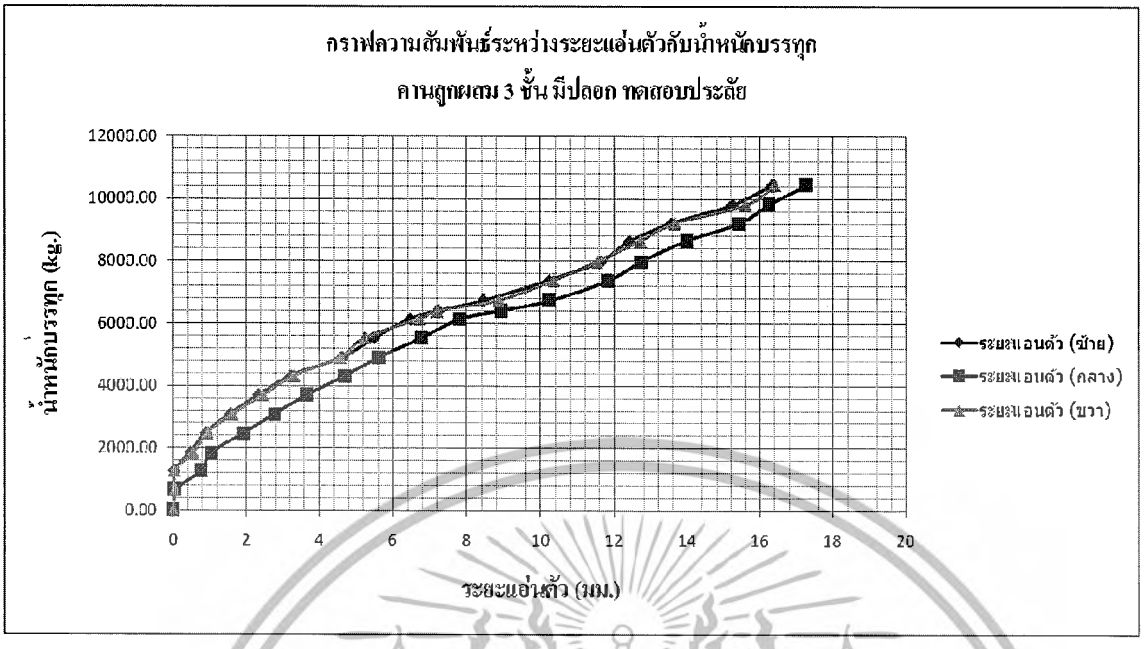
รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

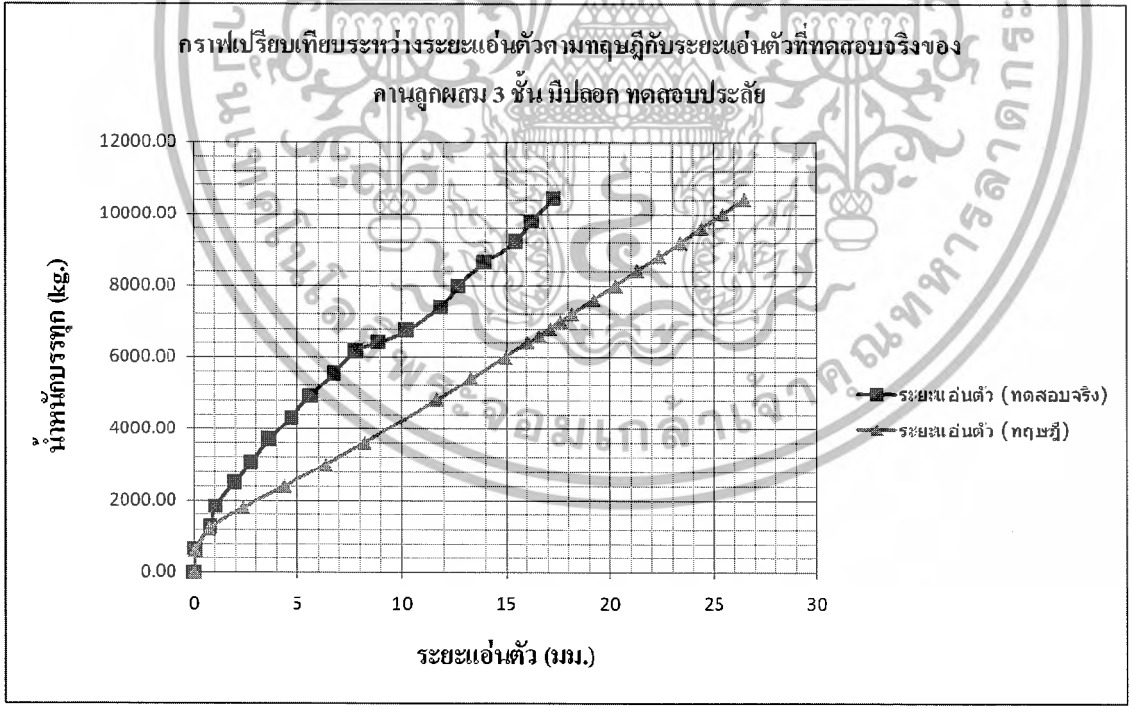
ตารางที่ 4.13 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
660.55	0.05	0.059	0.048	0.00038	0.00019	36.66	30.82
1257.90	0.034	0.754	0.036	0.00034	0.00025	32.92	39.93
1846.08	0.46	1.05	0.54	0.00045	0.00030	42.78	48.55
2484.20	0.89	1.94	0.94	0.00052	0.00035	49.96	55.10
3082.57	1.56	2.78	1.62	0.00059	0.00039	56.66	61.49
3695.21	2.34	3.65	2.45	0.00065	0.00042	61.83	67.56
4318.04	3.24	4.71	3.32	0.00076	0.00047	72.65	74.27
4916.41	4.65	5.64	4.58	0.00085	0.00052	80.97	83.69
5533.13	5.48	6.77	5.23	0.00092	0.00056	88.34	89.44
6150.87	6.48	7.84	6.71	0.00152	0.00060	145.00	96.31
6406.73	7.24	8.93	7.19	0.00107	0.00062	102.03	98.38
6748.22	8.45	10.25	8.86	0.00112	0.00064	106.72	102.38
7386.34	10.24	11.86	10.35	0.00121	0.00065	115.33	104.29
7995.92	11.64	12.75	11.54	0.00131	0.00075	125.67	118.99
8645.26	12.43	13.98	12.72	0.00141	0.00079	134.86	125.69
9224.26	13.58	15.46	13.67	0.00149	0.00081	142.32	129.69
9818.55	15.24	16.25	15.62	0.00165	0.00090	157.64	144.22
10441.39	16.34	17.3	16.42	0.00177	0.00096	169.70	153.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคานลูกผสม 3 ชั้น เสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย



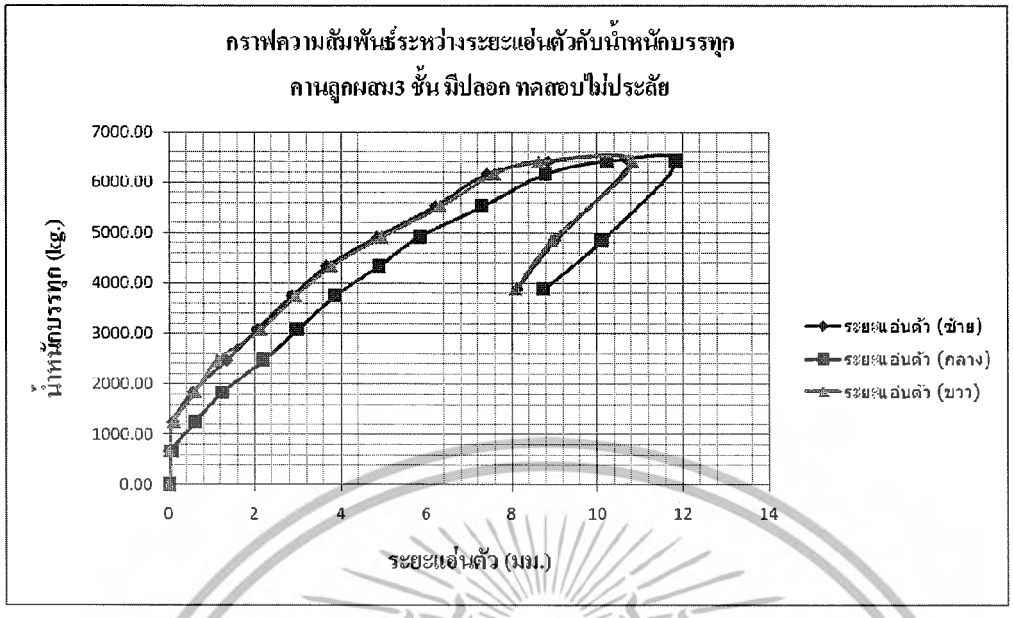
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

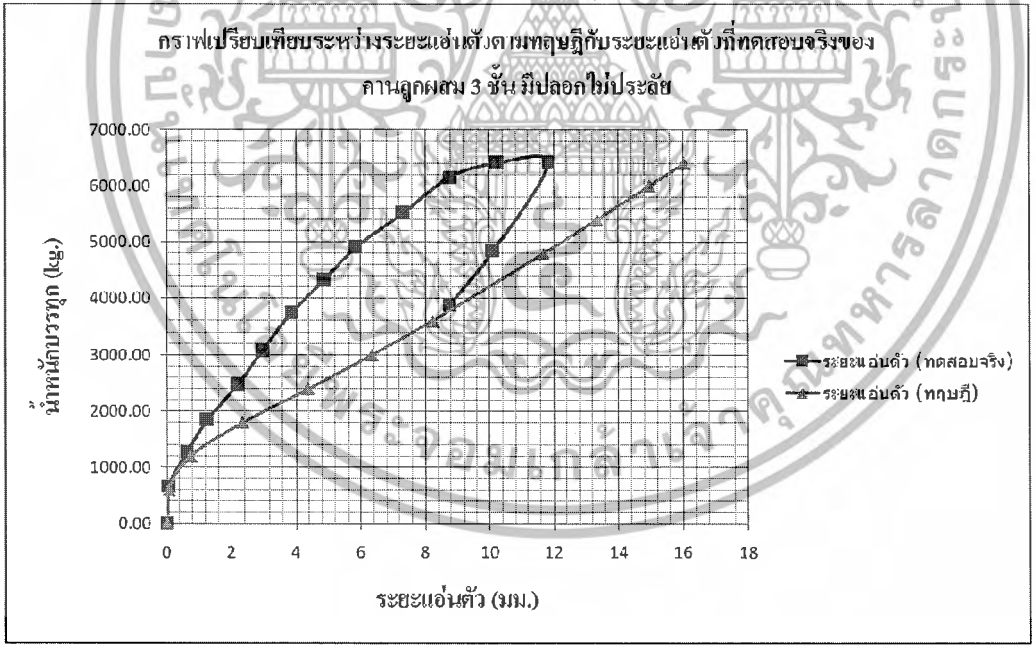
ตารางที่ 4.14 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย

น้ำหนกบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0.00000	0.000000	0.00	0.00
670.74	0.0048	0.06824	0.0056	0.00020	0.000074	18.66	11.82
1257.90	0.088	0.6253	0.108	0.00021	0.000084	19.91	13.42
1845.06	0.546	1.25	0.624	0.00029	0.000111	27.47	17.73
2471.97	1.34	2.21	1.12	0.00046	0.000169	44.12	26.99
3075.43	2.06	2.98	2.15	0.00061	0.000198	58.19	31.62
3745.16	2.86	3.87	2.94	0.00072	0.000211	68.43	33.70
4334.35	3.67	4.88	3.78	0.00075	0.000239	72.17	38.17
4910.30	4.85	5.84	4.96	0.00092	0.000255	87.96	40.73
5530.07	6.21	7.32	6.34	0.00102	0.000320	97.63	51.11
6164.12	7.43	8.79	7.59	0.00109	0.000368	104.52	58.77
6416.92	8.86	10.24	8.64	0.00122	0.000428	116.77	68.36
6419.98	10.75	11.85	10.84	0.00131	0.000487	125.38	77.78
4852.19	9.02	10.12	8.94	0.00105	0.000480	100.31	76.66
3883.79	8.12	8.76	8.09	0.00097	0.000458	92.94	73.15
2895.01	5.23	6.04	5.14	0.00085	0.000302	81.64	48.23
1170.23	4.65	5.66	4.87	0.00060	0.000266	57.04	42.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคาน 3 ชั้น เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย



รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบระยะแอ่นตัวตามทฤษฎีกับระยะแอ่นตัวทดสอบจริงของ คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

5.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อใช้ทำนายการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากผลการทดสอบได้ข้อมูล หน่วยแรงอัด หน่วยการหดตัวค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทรงกระบอกที่ใช้ทดสอบ ผลดังกล่าวนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่างๆเพื่อในการวิเคราะห์ผลการทดสอบต่อไปนี้

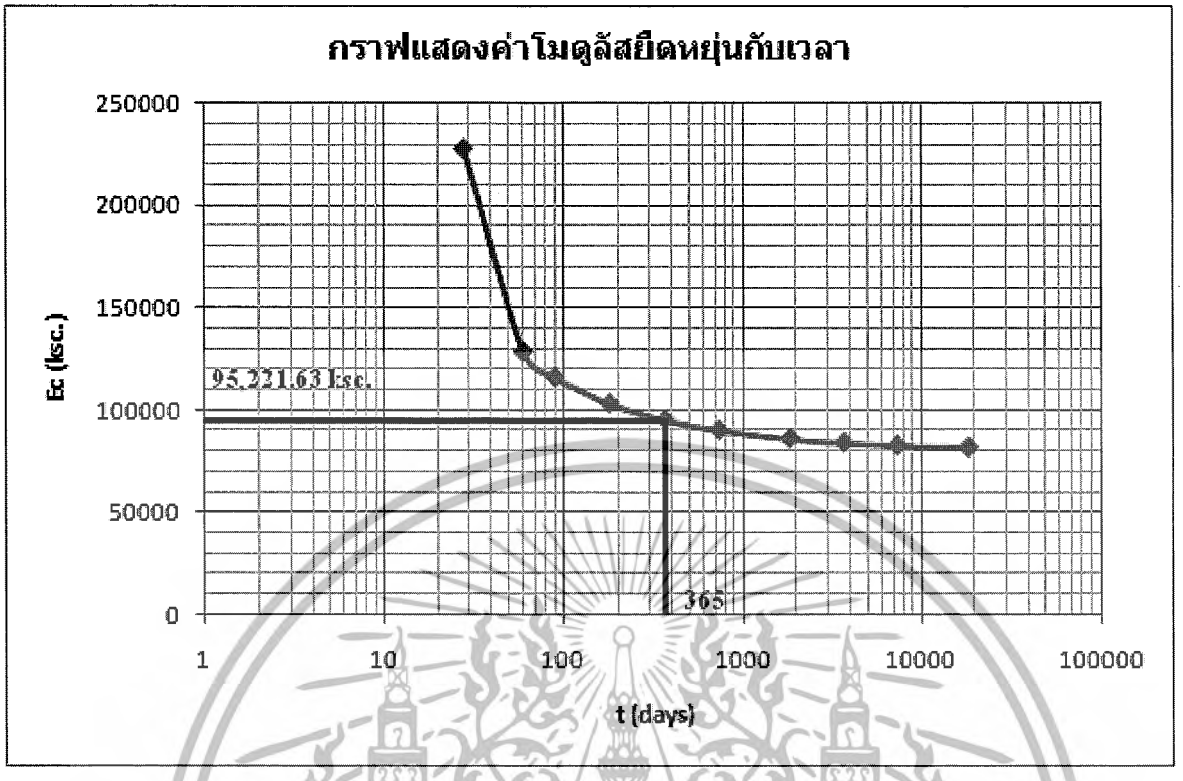
1. ในการที่จะทำนายกำลังรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเวลาผ่านไปนั้น จะใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนของคอนกรีตทรงกระบอกหน่วยแรงอัด 240 ksc ที่คำนวณได้จากสมการ $E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\Phi(t)}$ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ (5.1) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา ดังรูปที่ (5.1)
2. จากรูปที่ (5.1) เมื่อต้องการทำนายกำลังรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ 365 วันจำเป็นต้องทราบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ 365 วัน ที่หน่วยแรงอัด 240 ksc คือให้ลากเส้นตรงขึ้นไปจนชนกับเส้นหน่วยแรงอัด 240 ksc อ่านค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 50 % (E_1) ของน้ำหนักบรรทุกประลัย เท่ากับ 95,221.63 ksc.

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่วันต่างๆ

หน่วยแรงอัด	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (ksc)				
(ksc)	28 วัน	60 วัน	90 วัน	180 วัน	365 วัน
240	227,699.20	128,395.52	115,994.98	103,150.75	95,221.63

หน่วยแรงอัด	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (ksc)				
(ksc)	730 วัน	1,825 วัน	3,650 วัน	7,300 วัน	18,250 วัน
240	90,195.33	86042.20	84,087.02	82,782.99	81,702.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



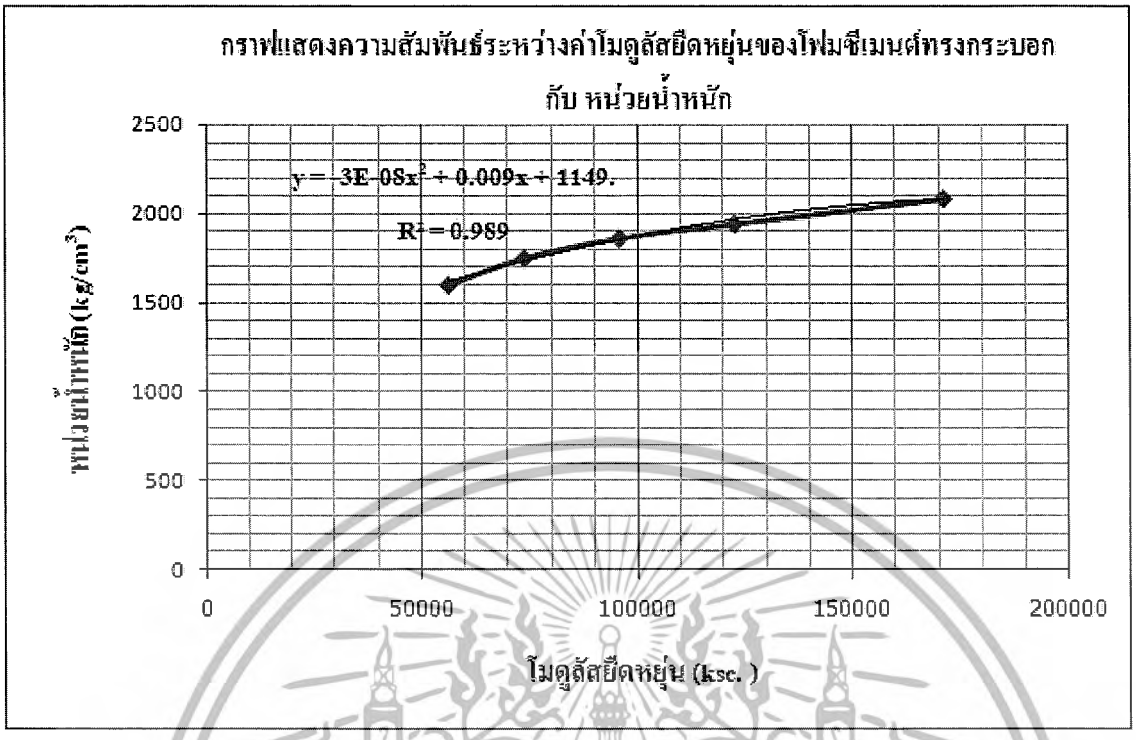
รูปที่ 5.1 กราฟโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตกับเวลา

3. จากการทดสอบกำลังอัดโฟมซีเมนต์ทรงกระบอกได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหน่วยน้ำหนัก 1,600 , 1,750 1,860 , 1,940 , 2,080 kg/m^3 ดังตารางที่ (5.2) นำค่าไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของโฟมซีเมนต์ทรงกระบอกกับหน่วยน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.2

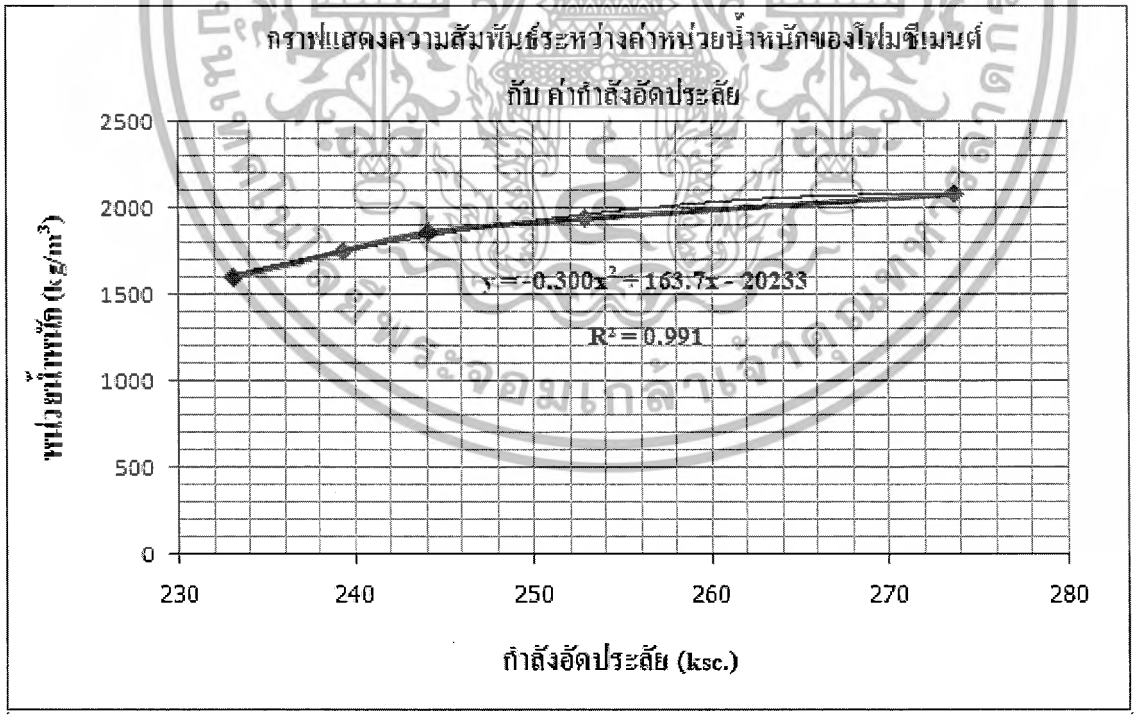
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของโฟมซีเมนต์ทรงกระบอกกับหน่วยน้ำหนัก และกำลังอัดประลัย

หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	กำลังอัดประลัย (ksc.)	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบา (ksc.)
1,600	233.13	56,221.71
1,750	239.99	73,666.88
1,860	244.19	95,561.86
1,940	252.95	122,483.00
2,080	273.75	171,005.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



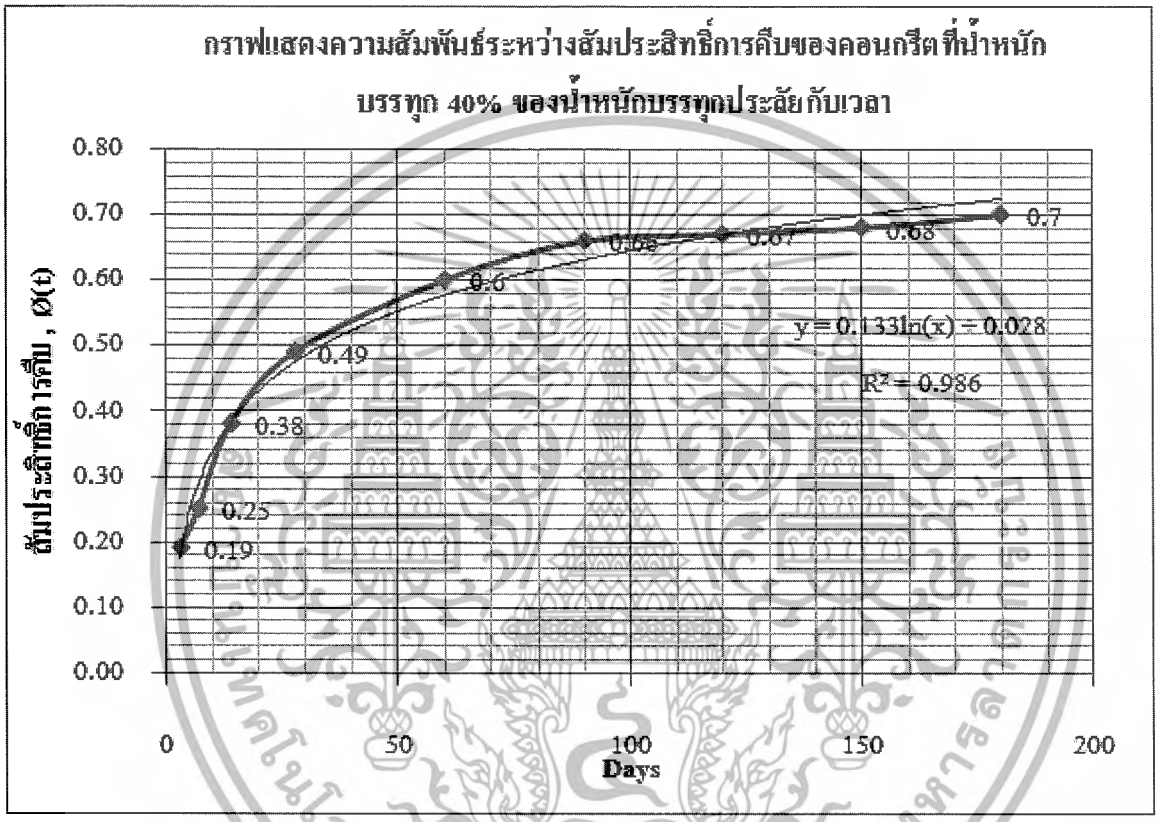
รูปที่ 5.2 กราฟโมดูลัสยืดหยุ่นของโฟมซีเมนต์กับหน่วยน้ำหนัก



รูปที่ 5.3 กราฟกำลังอัดประลัยของโฟมซีเมนต์กับหน่วยน้ำหนัก

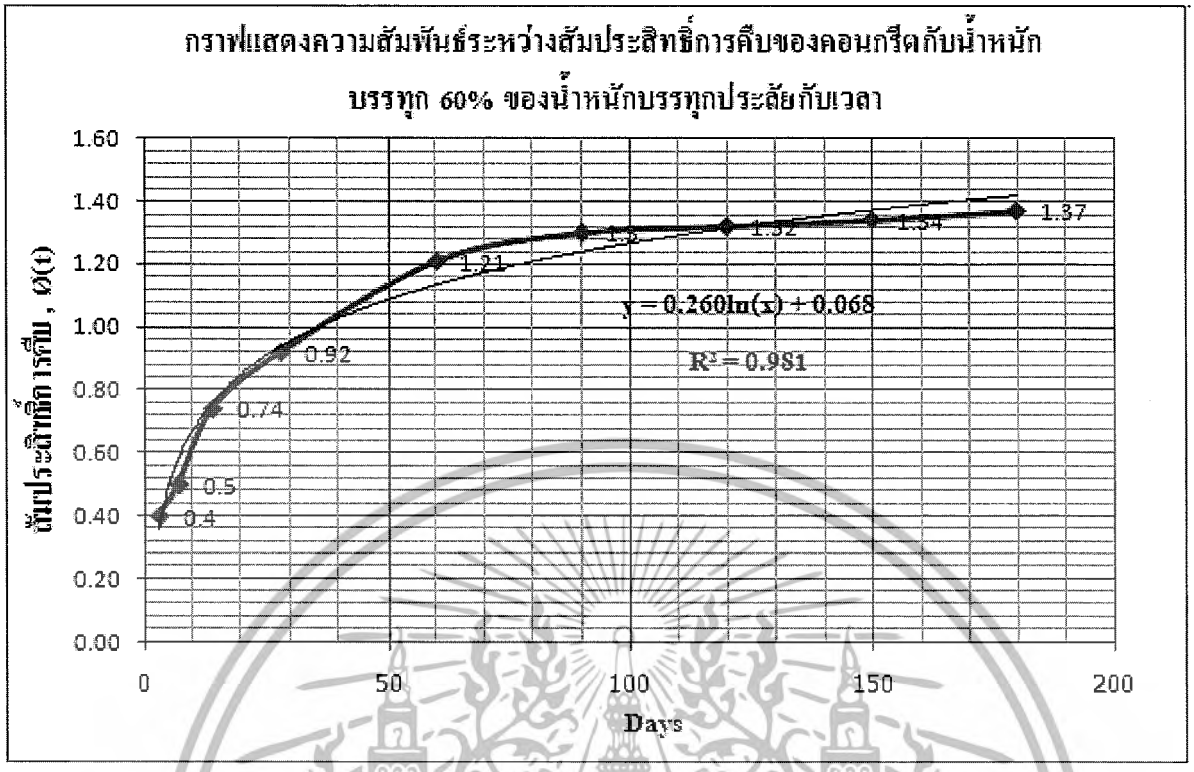
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อมูลจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40 % และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยกับเวลา (กราฟรูปที่ 5.3 และ กราฟรูปที่ 5.4) สามารถหาสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตกับน้ำหนักบรรทุก 40 % และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่เวลา 365 วัน



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีต
กับน้ำหนักบรรทุก 40 %กับเวลา

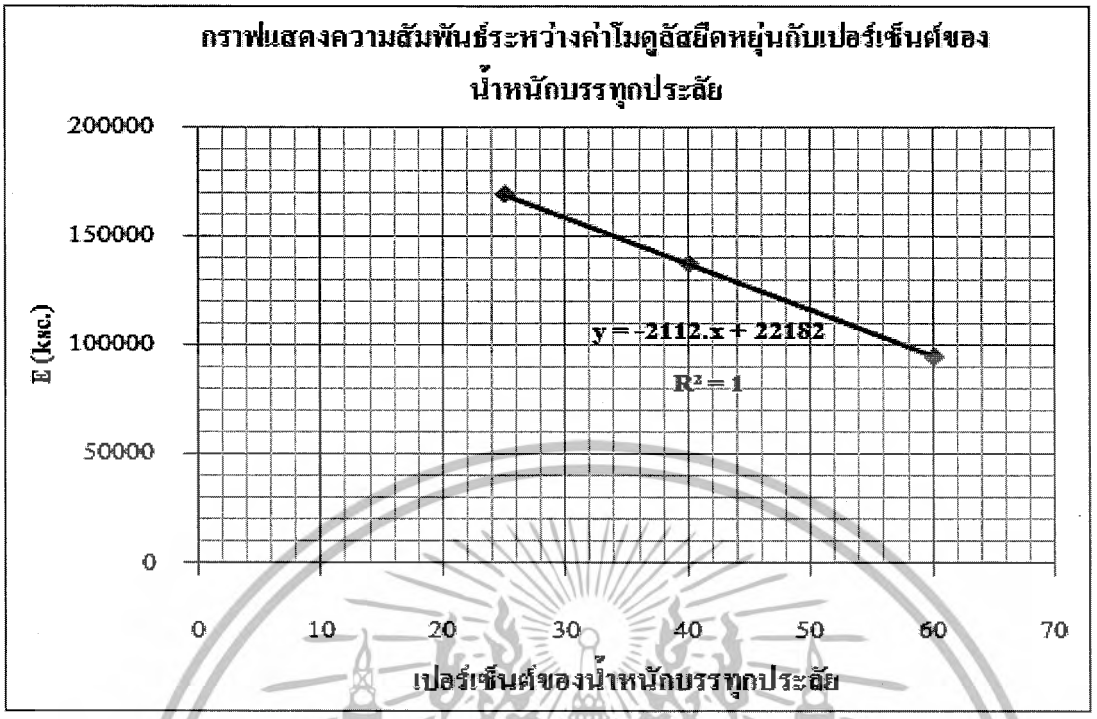
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีต กับน้ำหนักบรรทุก 60 % กับเวลา

5. จากกราฟจะได้สัมประสิทธิ์การคืบของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุก 40 % และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่เวลา 365 วัน เท่ากับ 0.8 , 1.6 ตามลำดับ จากนั้นหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 40 % และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยจากสมการ $E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\Phi(t)}$ จะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 40 % และ 60% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 137,324 ksc. , 95,070 ksc. ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย (กราฟรูปที่ 5.7) จากกราฟจะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 25% (E_2) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 169,007.8 ksc.

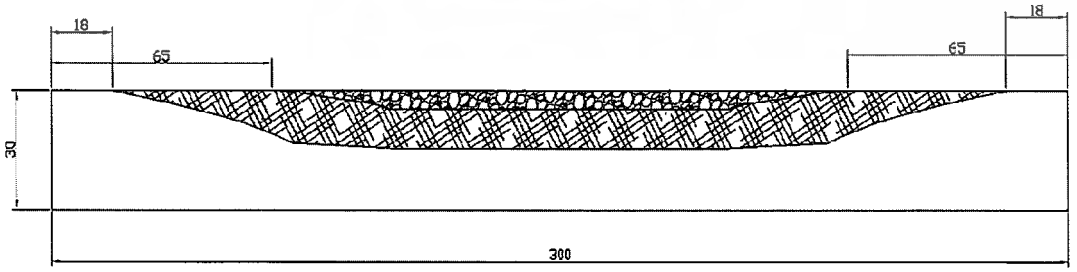
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย

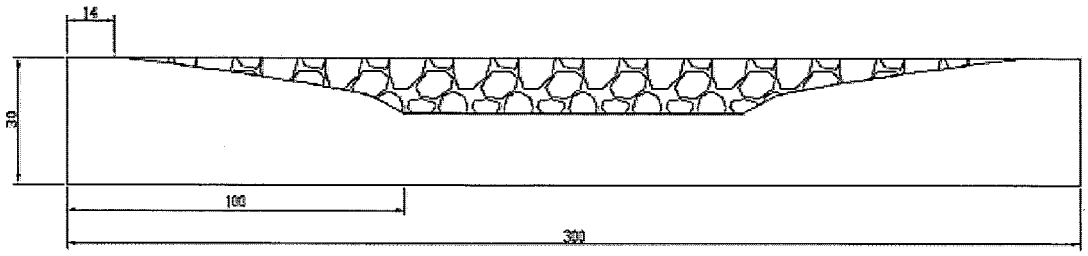
6. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 25 %(E_2) และ 50%(E_1) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 95,221.63 ksc. และ 169,007.8 ksc. ตามลำดับ และจากกราฟรูปที่ 5.2 จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของโฟมซีเมนต์เท่ากับ 1850 kg/m^3 และ 1950 kg/m^3 ตามลำดับ

7. เมื่อได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตและโมดูลัสยืดหยุ่นที่รับน้ำหนักบรรทุก 25 % (E_2) และ 50% (E_1) ของน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 227,699.2 ksc. , 95,221.63 ksc. และ 169,007.8 ksc. นำค่าทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวระดับของแต่ละชั้น โดยการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรม VISUAL C++ จากนั้นนำค่ามา Plot ในโปรแกรม AUTO CAD ดังรูป 5.8 และ 5.9 แล้วจึงนำแบบดังกล่าวไปหล่อคาน

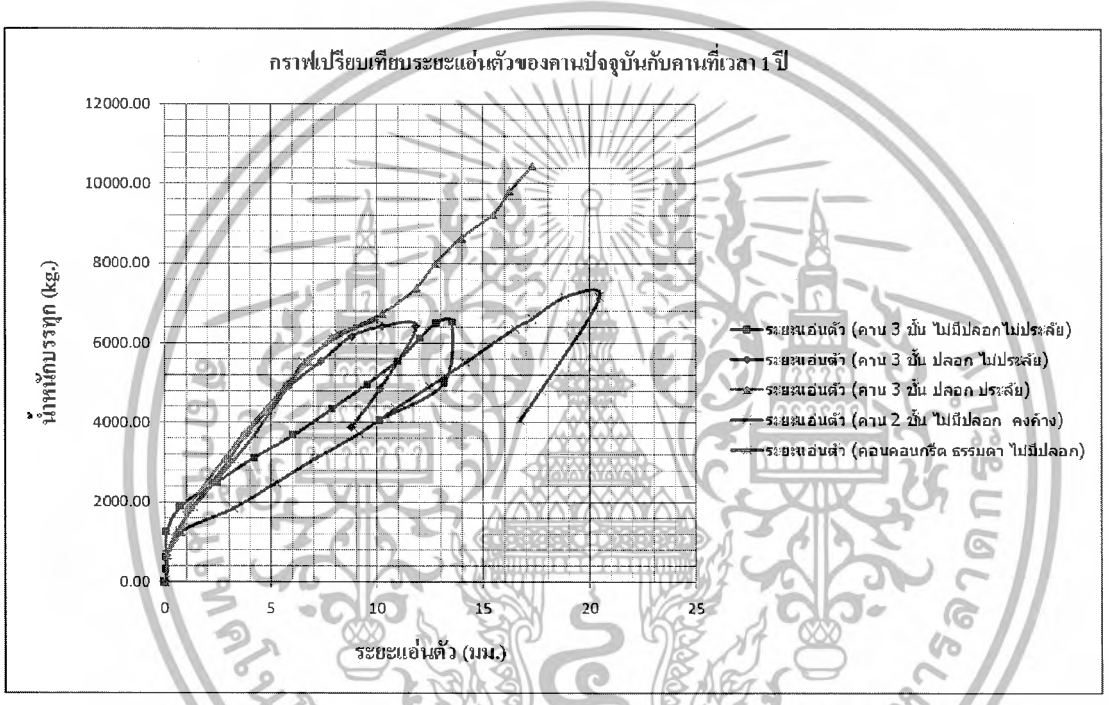


รูปที่ 5.7 รูปแนวระดับของคานลูกผสม 3 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 รูปแนวระดับของคานลูกผสม 2 ชั้น



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบระยะการแอ่นตัวของคานแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะแอ่นตัวที่ทดสอบจริงกับระยะแอ่นตัวตามทฤษฎี

8. จากผลการทดสอบตารางที่ 4.10 และผลการทดลองตารางที่ 4.11 พบว่าค่าการแอ่นตัวของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 และคานลูกผสม 2 ชั้นไม่เสริมเหล็กปลอกมีค่า 10.01 มม. , 17.24 มม.ตามลำดับ ซึ่งจากทฤษฎีมีค่า 6.90 มม., 21.05 มม. ค่าที่ได้จากการทดสอบจริงมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 45.07 % ส่วนคานลูกผสม 2 ชั้นค่าที่ได้จากการทดสอบจริงมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี 22.10 % เพราะในการทดสอบทำการวัดค่าความเครียดของคาน จึงนำมาวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในคานได้ ซึ่งมีค่า 111.57 ksc. ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าการออกแบบตามทฤษฎี (120 ksc.) เพราะฉะนั้นจึงทำให้เกิดการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นจากทฤษฎี ส่วนคานลูกผสม 2 ชั้นค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบมีค่า 132.76 ksc. มีค่ามากว่า 120 ksc. ดังนั้นจึงมีการแอ่นตัวน้อยลง

9. จากผลการทดสอบตารางที่ 4.12 และผลการทดลองตารางที่ 4.14 พบว่าคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก และคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอกทดสอบไม่ประลัย มีค่าการแอ่นตัว 13.55 มม. , 11.85 มม. ซึ่งพบว่าการเสริมเหล็กปลอกในคานทำให้ระยะการแอ่นตัวน้อยลง

10. การวิเคราะห์เพื่อที่จะทำนายการแอ่นตัวเมื่อระยะเวลาผ่านไปนั้น ใช้การเปรียบเทียบระหว่างคานคอนกรีตธรรมดากับคานลูกผสม 3 ชั้นที่ไม่เสริมเหล็กปลอกเพราะต้องการให้ได้ค่าแอ่นตัวมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าการแอ่นตัวคานคอนกรีตธรรมดากับคานลูกผสม 3 ชั้นเท่ากับ 10.01 มม. , 13.55 มม. ซึ่งค่าการแอ่นตัวของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรเมื่อระยะเวลาผ่านไปเวลา 1 ปี มีเฟคเตอร์เท่ากับ 1.4 (มาตรฐาน ACI) จะได้ค่าการแอ่นตัวเท่ากับ (10.01 x 1.4) = 14.01 มม. ค่าที่ทดสอบได้มีค่าน้อยกว่าค่าตามทฤษฎีอยู่ 3.28%

11. การวิเคราะห์เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยสูงสุดของคานเมื่อรับแรงกระทำเป็นระยะเวลา 1 ปีจากผลการทดสอบตารางที่ 4.13 ทดสอบคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทำการทดสอบแบบประลัย จะได้กำลังอัดประลัยเท่ากับ 10441.39 kg. การแอ่นตัวของคานก่อนที่จะเกิดการประลัยมีค่าเท่ากับ 16.42 มม.

12. วิเคราะห์ค่าระยะ Neutral Axis ของคาน

ตารางที่ 5.3 แสดงระยะ NA.ของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

ความเครียด (Ec)	ความเค้น (Ec)	ค่า kd ของ E_{25}
0.00000	0.00	0.00
0.00019	44.17	6.06
0.00023	52.37	6.52
0.00027	60.80	6.95
0.00031	70.59	7.40
0.00035	79.92	7.79
0.00041	92.90	8.28
0.00043	98.82	8.49
0.00044	100.19	8.54
0.00045	102.46	8.62
0.00047	107.02	8.77
0.00049	111.57	8.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{25})	ค่า kd ของ E_{25}
0.00000	0.00	0.00
0.00019	29.55	5.94
0.00029	45.52	7.14
0.00035	55.74	7.77
0.00040	64.36	8.24
0.00049	77.94	8.90
0.00053	84.17	9.17
0.00057	91.36	9.47
0.00061	97.90	9.73
0.00063	100.46	9.83
0.00069	109.40	10.15
0.00083	132.56	10.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})	ค่า kd ของ E_{50}	ค่า kd ของ E_{25}
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.001029	0.000109	98.49	17.41	11.78	4.69
0.001035	0.000118	99.06	18.85	11.81	4.86
0.001052	0.000132	100.69	21.08	11.87	5.11
0.001064	0.00018	101.84	28.75	11.92	5.86
0.001179	0.00021	112.84	33.54	12.36	6.27
0.001208	0.000226	115.62	36.10	12.46	6.47
0.001312	0.000232	125.57	37.05	12.81	6.54
0.001354	0.000245	129.59	39.13	12.95	6.70
0.001392	0.000273	133.23	43.60	13.07	7.01
0.00142	0.000301	135.91	48.07	13.16	7.31
0.001476	0.000343	141.27	54.78	13.32	7.71
0.001545	0.000413	147.87	65.96	13.52	8.32
0.001595	0.000487	152.66	77.78	13.66	8.89
0.001586	0.000327	151.80	52.23	13.64	7.56
0.001401	0.000286	134.09	45.68	13.10	7.15
0.001312	0.000256	125.57	40.89	12.81	6.83
0.001278	0.000221	122.32	35.30	12.70	6.41
0.001154	0.000196	110.45	31.30	12.26	6.09
0.001034	0.000154	98.97	24.60	11.80	5.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบประลัย

ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})	ค่า kd ของ E_{50}	ค่า kd ของ E_{25}
0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00038	0.00019	36.66	30.82	8.07	6.05
0.00034	0.00025	32.92	39.93	7.72	6.76
0.00045	0.00030	42.78	48.55	8.59	7.34
0.00052	0.00035	49.96	55.10	9.14	7.73
0.00059	0.00039	56.66	61.49	9.60	8.09
0.00065	0.00042	61.83	67.56	9.93	8.40
0.00076	0.00047	72.65	74.27	10.55	8.73
0.00085	0.00052	80.97	83.69	10.98	9.15
0.00092	0.00056	88.34	89.44	11.33	9.39
0.00152	0.00060	145.00	96.31	13.44	9.67
0.00107	0.00062	102.03	98.38	11.93	9.75
0.00112	0.00064	106.72	102.38	12.12	9.90
0.00121	0.00065	115.33	104.29	12.45	9.97
0.00131	0.00075	125.67	118.99	12.82	10.48
0.00141	0.00079	134.86	125.69	13.12	10.69
0.00149	0.00081	142.32	129.69	13.36	10.82
0.00165	0.00090	157.64	144.22	13.81	11.24
0.00177	0.00096	169.70	153.32	14.13	11.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงระยะ NA.ของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 เสริมเหล็กปลอก ทดสอบไม่ประลัย

ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})	ค่า kd ของ E_{50}	ค่า kd ของ E_{25}
0.00000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00020	0.000074	18.66	11.82	6.07	3.94
0.00021	0.000084	19.91	13.42	6.24	4.17
0.00029	0.000111	27.47	17.73	7.16	4.73
0.00046	0.000169	44.12	26.99	8.70	5.71
0.00061	0.000198	58.19	31.62	9.70	6.11
0.00072	0.000211	68.43	33.70	10.32	6.28
0.00075	0.000239	72.17	38.17	10.52	6.63
0.00092	0.000255	87.96	40.73	11.32	6.81
0.00102	0.000320	97.63	51.11	11.75	7.50
0.00109	0.000368	104.52	58.77	12.03	7.94
0.00122	0.000428	116.77	68.36	12.50	8.44
0.00131	0.000487	125.38	77.78	12.81	8.89
0.00105	0.000480	100.31	76.66	11.86	8.84
0.00097	0.000458	92.94	73.15	11.54	8.68
0.00085	0.000302	81.64	48.23	11.01	7.32
0.00060	0.000266	57.04	42.48	9.62	6.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลเพื่อใช้ทำนายการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อทำนายการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปีค่าการแอ่นตัวจากผลการทดสอบมีค่า 13.55 มม. และค่าการแอ่นตัวคานคอนกรีตธรรมดา 10.01 มม. โดยตามทฤษฎีที่ระยะเวลา 1 ปีการแอ่นตัวของคานจะมีค่าเท่ากับ 14.01 มม. ค่าที่ทดสอบได้มีจึงค่าน้อยกว่าค่าตามทฤษฎีอยู่ 3.28% เพราะคานคอนกรีตธรรมดามีค่า Strength ที่ต่ำลงกว่าที่ออกแบบดังนั้นจึงทำให้คานคอนกรีตธรรมดาเกิดการแอ่นตัวมากกว่าทฤษฎีซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.90 มม. ค่าที่ทดสอบได้จึงมีค่ามากกว่าทฤษฎี 45.07% และการทดสอบคานที่มีการเสริมเหล็กปลอกส่งผลเกิดการแอ่นตัวน้อยลง เนื่องด้วยการทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการทำนายการแอ่นตัวของพื้น ดังนั้นจึงเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวของคานที่เกิดจากคานคอนกรีตธรรมดาและคานคอนกรีตลูกผสมที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอก

สำหรับผลจากการทำนายการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กในอนาคตมีประโยชน์เป็นอย่างมากเพื่อสำหรับประกอบการพิจารณาออกแบบคานคอนกรีตคอนกรีตเสริมเหล็กและเป็นแนวทางในการทำนายการแอ่นตัวของพื้น

วิจารณ์และเสนอแนะ

1. ผลการวิจัยนี้จะเกิดประสิทธิผลมากที่สุด ควรที่จะทำการ Coring คอนกรีต และ โฟมซีเมนต์ในคานออกมาเพื่อทดสอบหาค่าการรับแรงอัด และการหดตัว
2. ควรจะทำการ Coring คานเพื่อติด Strain gage ในเหล็กเพื่อให้เป็นค่าตรวจสอบความสมดุลของโมเมนต์ดัด
3. การบ่มคานตัวอย่างควรบ่มด้วยวิธีแช่น้ำเพื่อให้คานเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2542. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2 : สำนักพิมพ์ บริษัท เอส.เอส. บุ๊คส์เฮ้าส์ จำกัด
- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2542. คอนกรีตเสริมเหล็ก ทฤษฎีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 4 : สำนักพิมพ์ บริษัท เอส.เอส. บุ๊คส์เฮ้าส์ จำกัด
- วินิต ช่อวิเชียร, 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 9 : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วินิต ช่อวิเชียร, 2545. ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 3 : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พานิชย์
- ศรีกริช หิรัญมาศ, 2544. คอนกรีตเสริมเหล็ก.
- INSEE Concrete Handbook. พิมพ์ครั้งที่ 2 :
- Edward C. Vincent, 2003. COMPRESSIVE CREEP OF A LIGHTWEIGHT. Blacksburg
- Akihiko Kavano,1996. Model Formulation for Numerical Creep Calculation for Concrete. : Journal of Structure V.122
- Arduini, M., and Nanni A. ,1997. Behavior of precracked RC beans strengthened with carbon FRP sheets. J. Compos. Constr., 1(2), 63-70.
-Malek, A. M., Saadatmanesh, H., and Ehsani, M. R. (1998). Prediction of failure loads of R/C beams strengthened with FRP plate due to stress concentration at plate end. ACI Struct. J., 95(1), 142-152.
-Swamy, R. N., and Mukhopadhyaya, P. ,1999. Debonding of carbon fibre-reinforced polymer plate from concrete beams. Proc., Inst. Civil Eng. Struct. Build., 134, 301-317.
-Sebastian, W. M. ,2003. Prediction of Interface Shear Stresses in Elastoplastic Moment-Varying Zones of Advanced Composite Material-Strengthened Concrete Members. Lecturer, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Bristol.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ก. วิธีการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

กำหนดกำลังอัดประลัยเฉลี่ย (f_c') ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 240 กก./ตร.ซม.

- มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15

- มวลรวมหยาบขนาดโตสุด 20 มม. (3/4") มีความถ่วงจำเพาะ 2.70 ค่าการดูดซึม 0.5%
- มวลรวมละเอียดความถ่วงจำเพาะ 2.65 ค่าการดูดซึม 0.7% ค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80
- แนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป เห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.
- กำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.

- การออกแบบ

ขั้นตอนที่ (1)

ในการออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$f_{cr} = f_c' + ks \qquad \text{(ผก 1)}$$

โดยที่ f_c' = กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks = ส่วนเผื่อซึ่งประกอบด้วย

k = ค่าคงที่

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า หรือ ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก.1. แสดงค่าส่วนเผื่อกำลังอัด

ค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210-350	85
350 หรือมากกว่า	100

ดังนั้นกำลังที่ต้องผลิต (fcr) = 240 + 85= 325 กก./ตร.ซม

ขั้นตอนที่ (2) ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักซีเมนต์

1. ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20 มม. ค่าความยุบตัว 8-10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 200 ลิตร/ลบ.เมตร ของคอนกรีต
2. คอนกรีตที่ต้องการกำลัง 325 กก./ตร.ซม. และคอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก ที่ต้องใช้ = 0.52
3. น้ำหนักซีเมนต์ที่ต้องการ = 200/0.52 = 385 กก.

ขั้นตอนที่ (3) หาปริมาตรซีเมนต์

ปริมาตรซีเมนต์ = น้ำหนักซีเมนต์/ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

= 385/3.15

= 123 ลิตร

ขั้นตอนที่ (4) หาปริมาตรทราย

โดยทั่วไปจะใช้ปริมาตรปูน+ปริมาตรทราย = 40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร

ปริมาตรทราย = 400-123

= 277 ลิตร

ขั้นตอนที่ (5) หาน้ำหนักทราย

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

= 277 x 2.65

= 735 กก.

ขั้นตอนที่ (6) หาปริมาตรหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรหิน = 1000 – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ – ปริมาตรทราย

= 1000 – 123 – 200 – 277

= 400 ลิตร

ขั้นตอนที่ (7) หาน้ำหนักของหิน

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะของหิน

= 400 x 2.70

= 1080 กก.

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลบ.ม. คอนกรีตเป็นดังนี้

ซีเมนต์	385	กก.
น้ำ	200	ลิตร
ทราย	735	กก.
หิน	1080	กก.
รวม	2390	กก.

- การออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร 1:2:4

คือ ใช้ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งสามารถแปลงเป็นส่วนผสม โดยน้ำหนักได้ดังนี้

กำหนดให้ หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1400 กก./ลบ.ม.

หน่วยน้ำหนักของทราย = 1450 กก./ลบ.ม.

หน่วยน้ำหนักของหิน = 1500 กก./ลบ.ม.

การคำนวณ

ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร = 50/1400 = 0.036 ลบ.ม.

ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร = 0.036x 2 = 0.072 ลบ.ม.

น.น. ทราย = 0.072x 1450 = 104 กก.

หิน 4 ส่วน มีปริมาตร = 0.036x 4 = 0.144 ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น.น. หิน = 0.144x 1500 = 216 กก.

ปริมาณน้ำสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ยุบตัว 10 ซม. = 35 ลิตร (fc' =240 ksc.)

น้ำหนักส่วนผสมเมื่อใช้ปูน 1 ถุง = 50+104+216+35 กก. = 405 kg.

หน่วยน้ำหนักคอนกรีต = 2400 กก./ลบ.ม.

ต้องใช้ปริมาณปูน = 2400/405 = 6.0 ถุง = 300 กก./ลบ.ม.

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.

ปูนซีเมนต์	= 300 กก./ลบ.ม.
ทราย	= 624 กก./ลบ.ม.
หิน	= 1296 กก./ลบ.ม.
น้ำ	= 210 กก./ลบ.ม.
ค่ายุบตัวประมาณ	8±10 ซม.

ข. ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,600 kg/m^3 , 1,700 kg/m^3 , 1,800 kg/m^3 ,
1,900 kg/m^3 , 2,000 kg/m^3

1. อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียด = 1 : 1
2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) = 0.3
3. น้ำยาสำหรับทำให้เกิดโฟมที่ใช้ผสมในคอนกรีตมวลเบา 2 % โดยปริมาณน้ำ

ค. การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

- แสดงรายการคำนวณเพื่อตรวจสอบแรงเฉือน

การคำนวณโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

Allowable shear stress; $V = 0.29\sqrt{f_c'}$ (ผก 2)

$= 0.29\sqrt{240}$

$= 4.49$ ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $V = \frac{P}{A}$ (ผก 3)

$P = 4.49 \times 15 \times 26 = 1{,}752$ kg.

ซึ่งแรงเฉือนที่ยอมให้ต้านทานได้เพียง 1,752 kg. < 3,100 kg. (แรงกระทำ P ที่กระทำลงคาน)
ดังนั้นจึงต้องใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือน

$$A_v = \frac{V_s S}{f_v d} \quad \text{(ผก 4)}$$

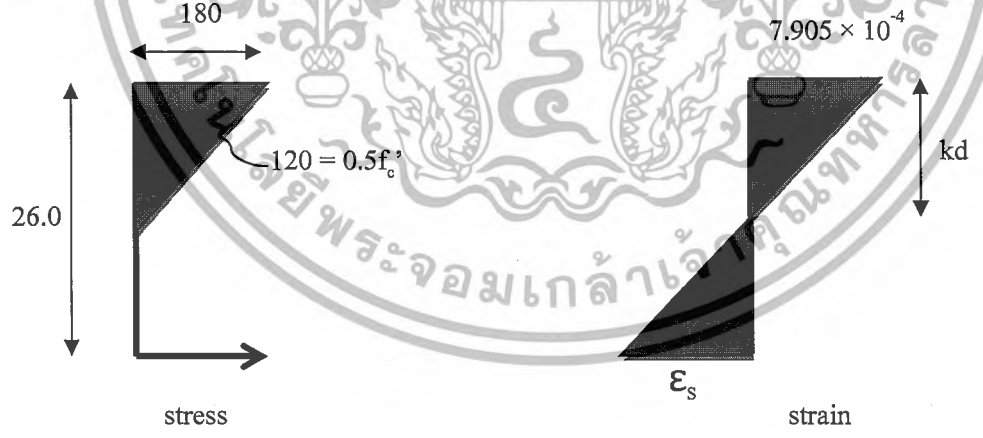
$$= \frac{1{,}348(12.5)}{1{,}200(26)}$$

$$= 0.54 \text{ cm}^2$$

ใช้ RB Ø 6 mm. @ 12.50 cm.

ระยะห่างมากสุด $\frac{d}{2} = \frac{22}{6} = 13$ ใช้ 12.50 cm.

พิจารณาเหล็กเสริมในคอนกรีต



รูปที่ ผก 1 ภาพแสดง stress และ strain ในคาน

$$\frac{\varepsilon_s}{d-kd} = \frac{\varepsilon_c}{kd} \quad \text{(ผก 5)}$$

$$\varepsilon_s = \frac{7.905 \times 10^{-4}(26-kd)}{kd}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{2} f_c' bkd = A_s f_s \qquad \text{(ผก 6)}$$

$$\frac{1}{2}(180)(15)(kd) = A_s \varepsilon_s E$$

$$1{,}350\ kd = 6.28 \times \left(\frac{7.905\times10^{-4}(26-kd)}{kd}\right) \times 2.04\times10^{6}$$

$$1{,}350\ kd^2 = 263{,}308.6 - 10{,}127.25\ kd$$

$$1{,}350\ kd^2 + 10{,}127.25\ kd - 263{,}308.6 = 0$$

$$kd = 10.71\ cm.$$

ตรวจสอบค่า Stress ในเหล็กเมื่อใช้เหล็ก DB-20

$$\frac{180}{227{,}699.2} = 7.905 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_S = 7.905 \times 10^{-4}\frac{(26-10.71)}{10.71}$$

$$\varepsilon_S = 1.129 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_S = 2{,}302.24\ ksc.$$

ง. การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

fc' 240 ksc. ที่อายุ 365 วัน โดยรับน้ำหนักบรรทุก 50% ของน้ำหนักบรรทุกประลัย

จาก $E_{ci} = 4{,}270 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'}$ (ผก 7)

ที่ $w_c = 2.408\ tons/m^3$

เพราะฉะนั้น $E_{ci} = 4{,}270(2.408^{1.5})\ \sqrt{240} = 247{,}182.7842\ ksc.$

จาก $\phi_\infty(t) = C_u K_a K_h K_{th} K_s K_f K_e$ (ผก 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ C_u = 2.35

K_a = 0.843617083 สำหรับการบ่มชิ้นที่อายุ 28 วัน

K_h = 1.00 สำหรับสัมประสิทธิ์ด้านความชื้นสัมพัทธ์

K_{th} = 1.00 สำหรับความหนาน้อยสุดของชิ้นส่วน 6 นิ้ว

K_s = 1.05 สำหรับค่าการยุบตัว 3.42 นิ้ว

K_f = 1.00 สำหรับอัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบ 69.4%

K_e = 1.00 สำหรับปริมาณอากาศ 6%

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

$= 2.081625151$

จาก $$\phi(t) = \phi_\infty(t)\frac{(t-t_0)^{0.6}}{10+(t-t_0)^{0.6}}$$ (ผก 9)

ที่ $t = 365$ วัน

$t_0 = 28$ วัน

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

$$= 1.595868152$$

จาก $$E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\phi(t)}$$ (ผก 10)

เพราะฉะนั้น $$E_{ce}(t) = \frac{247{,}182.7842}{1+1.595868152}$$

$$= 141715.27 \text{ ksc.}$$

แสดงว่าที่คอนกรีตกำลังอัด 240 ksc. เมื่อเวลาผ่าน 365 วันไปจะเกิดคืบในคอนกรีตทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเหลือเพียง 95,221.6252 ksc. เท่านั้น

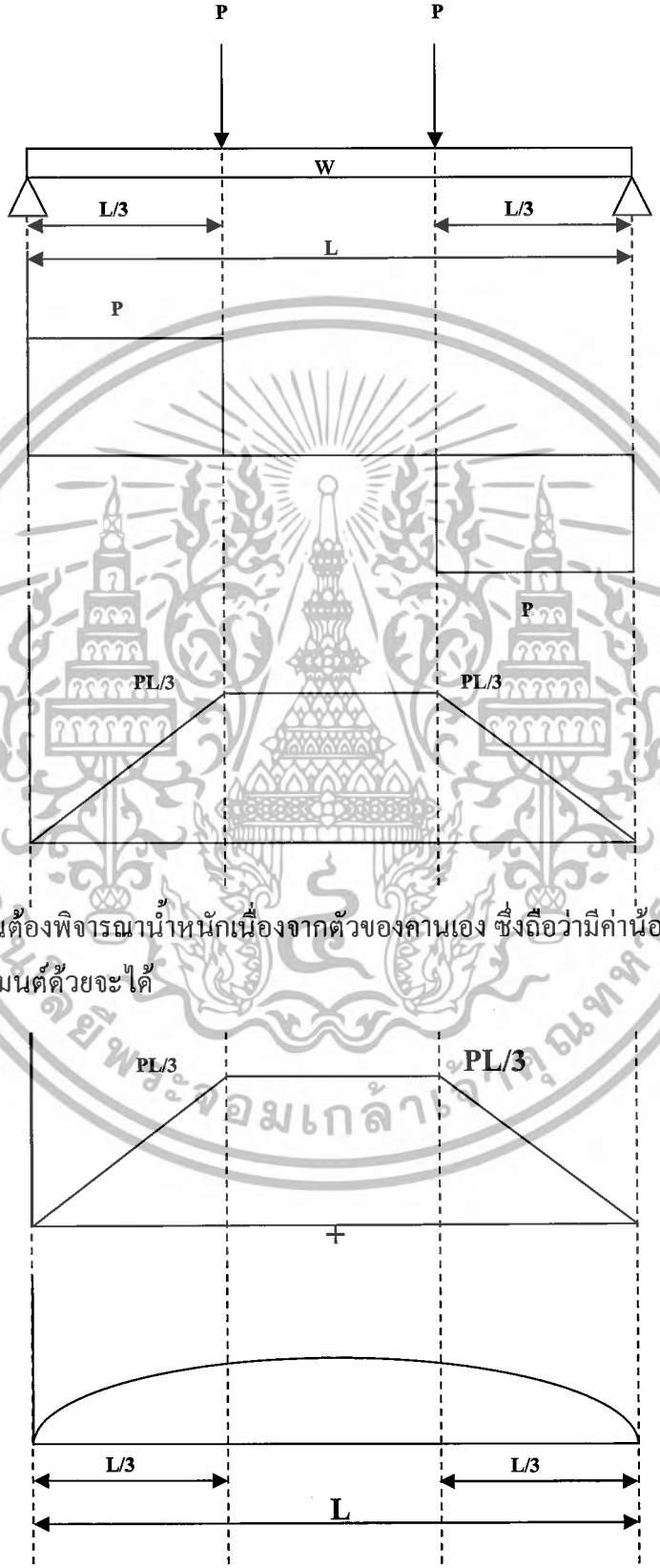
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. การคำนวณหาค่าน้ำหนักกระทำ , P (kg.)

Simple Beam ที่พิจารณา

SFM

BFM



แต่โมเมนต์ที่พิจารณานั้นต้องพิจารณาน้ำหนักเนื่องจากตัวของคานเอง ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมากเราจะนำมาพิจารณาเฉพาะหาค่าโมเมนต์ด้วยจะได้

รูปที่ ผก2 แสดง Shear force Diagrams และ Bending Moment Diagrams

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = \frac{PL}{3} + \left(\frac{WL}{2}\right)\left(\frac{L}{3}\right) - \left(\frac{WL}{3}\right)\left(\frac{L}{3}\right)\left(\frac{1}{2}\right)$$
$$= \frac{PL}{3} + \left(\frac{WL^2}{6}\right) - \left(\frac{WL^2}{18}\right)$$
$$= \frac{PL}{3} + \left(\frac{WL^2}{9}\right) \qquad \text{(ผก 11)}$$

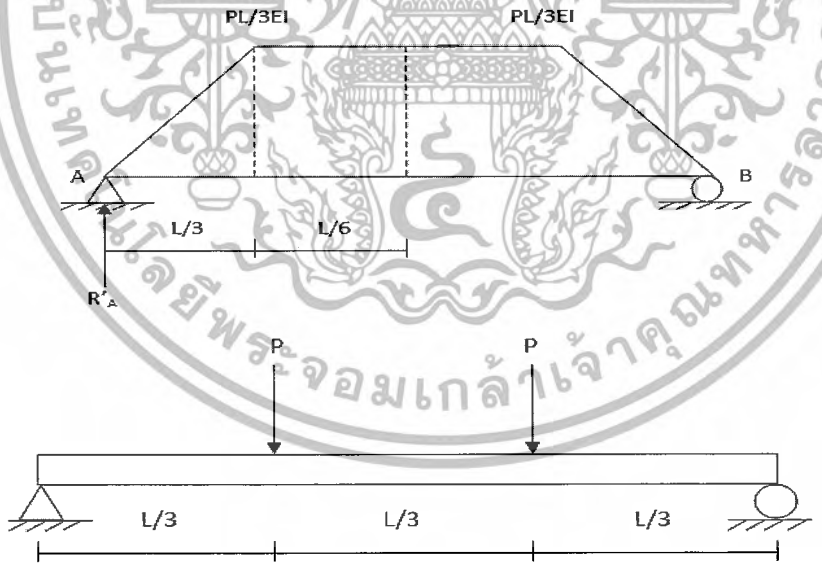
แทนค่าลงในสมการ (ผก 11)

$$M = \frac{P(3)}{3} + \left(\frac{108(3)^2}{9}\right)$$
$$= P + 108$$

และจากการคำนวณจะได้ค่าโมเมนต์ 3,167.134 kg-m.

$$P = 3{,}167.134 - 108$$
$$= 3{,}059.134 \text{ kg.}$$

ฉ. การคำนวณหาระยะแอ่นตัวของคาน



รูปที่ ผก3 แสดงระยะลง Load และ Bending Moment Diagrams

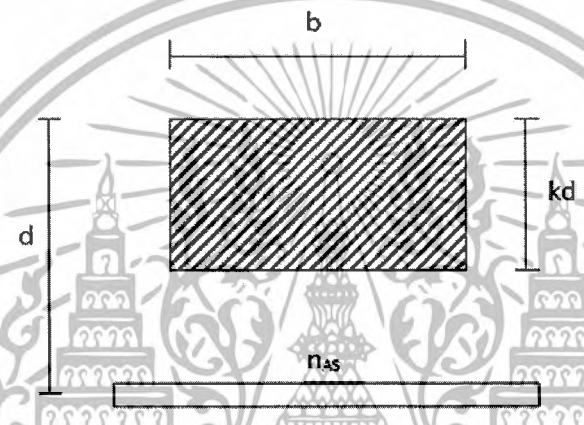
$$R_A' = \frac{PL}{3EI} \cdot \frac{L}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{PL}{3EI} \cdot \frac{L}{6} = \frac{PL^2}{9EI} \qquad \text{(ผก 12)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta_i = \frac{PL^2}{9EI}\left(\frac{L}{2}\right) - \frac{PL^2}{18EI}\cdot\frac{5L}{18} - \frac{PL^2}{18EI}\cdot\frac{L}{12}$$

$$= \frac{PL^3}{18EI} - \frac{5PL^3}{324EI} - \frac{PL^3}{216EI} \qquad \text{(ผก 13)}$$

$$\Delta_i = \frac{23PL^3}{648EI} \qquad \text{(ผก 14)}$$



รูปที่ ผก4 ภาพโครงสร้างประกอบของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$Kd = 10.71 \text{ cm}$$

$$k = \frac{10.71}{26} = 0.41 \text{ cm}$$

$$I_{cr} = \frac{bk^3d^3}{3} + nA_s\left(d - kd^2\right) \qquad \text{(ผก 15)}$$

$$= \frac{15(0.41)^3(26)^3}{3} + 56.27(26 - 10.71)^2$$

$$= 19211.81 \text{ cm}^4$$

$$I_g = \frac{1}{12}bh^3 \qquad \text{(ผก 16)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{12}(15)(30)^3 = 33{,}750 \quad cm^4$$

$$f_r = 2\sqrt{f_c'} \qquad \text{(ผก 17)}$$

$$= 2\sqrt{240} \quad = 30.98 \quad ksc.$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{30.98\,(33{,}750)}{10.74} \quad = 97{,}354 \quad kg\cdot cm. \qquad \text{(ผก 18)}$$

หาระยะแอ่นตัวของคานรูปผสม 3 ชั้น ตามวิธี ACI

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \cdot I_g + \left[\left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) \cdot I_{cr}\right] \le I_g \qquad \text{(ผก 19)}$$

$$I_e = \left(\frac{97354}{306000}\right)^3 \cdot 33750 + \left[\left(1 - \left(\frac{97354}{306000}\right)^3\right) \cdot 19211.81\right] \le 33750$$

$$= 19680 \ cm^4 \le 33750 \ cm^4$$

$$\Delta_i = K\left(\frac{23PL^3}{648\,E_c I_e}\right) + K\left(\frac{5\,WL^4}{384\,E_c I_e}\right) \qquad \text{(ผก 20)}$$

K = 1 (สำหรับคานช่วงเดี่ยวธรรมดา)

$$\Delta_i = 1\left(\frac{23\,(3060)(300)^3}{648\,(227700)(19680)}\right) + 1\left(\frac{5\,(108)(300)^4}{384\,(227700)(19680)}\right)$$

$$= \ 0.65 + 0.007 \ = 0.657 \quad cm$$

$$\lambda \ = \frac{\delta}{1+50\,p'} \qquad p' \ = \frac{A_s'}{bd} \qquad \text{(ผก 21)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

δ = 1.4 สำหรับบรรทุกน้ำหนักค้างนาน 12 เดือน

$\lambda = 1.4$

$$\Delta_a = \lambda \Delta_i \qquad \text{(ผก 22)}$$

$$= (0.14)(0.657) = 0.92$$

$$\Delta_T = \Delta_i + \Delta_a = 0.657 + 0.92 = 1.577 \text{ cm} \qquad \text{(ผก 23)}$$

หาระยะแอ่นตัวของคานรูปผสม 2 ชั้น ตามวิธี ACI

$$I_e = \left[\left(\frac{97354}{389000}\right)^3 \cdot 33750\right] + \left[\left(1 - \left(\frac{97354}{389000}\right)^3\right) \cdot 19211.81\right] \leq 33750$$

$$= 18911 \text{ cm}^4 \leq 33750 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_i = 1 \cdot \left(\frac{23(3890)(300)^3}{648(227700)(18911)}\right) + 1 \cdot \left(\frac{5(108)(300)^4}{384(227700)(18911)}\right)$$

$$= 0.87 + 0.007 = 0.877$$

$$\Delta_a = 0.14(0.877) = 1.228$$

$$\Delta_T = 0.877 + 1.228 = 2.105 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ก. ข้อมูลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก

- คอนกรีตธรรมดา fc' ~ 240 ksc.

ตารางที่ ผข 1 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.00	29.50	176.71	12.594	44342.508	250.927	236717.000	2415.846
2	14.96	29.30	175.77	12.612	41794.088	237.773	228023.000	2448.856
3	14.98	29.80	176.24	12.514	43832.824	248.706	206697.000	2382.684
4	15.00	30.00	176.71	12.564	42813.456	242.275	288414.000	2369.923
5	14.90	29.60	174.37	12.453	42303.772	242.614	178645.000	2412.792
		เฉลี่ย	175.96	12.547	43017.330	244.459	227699.200	2408.151

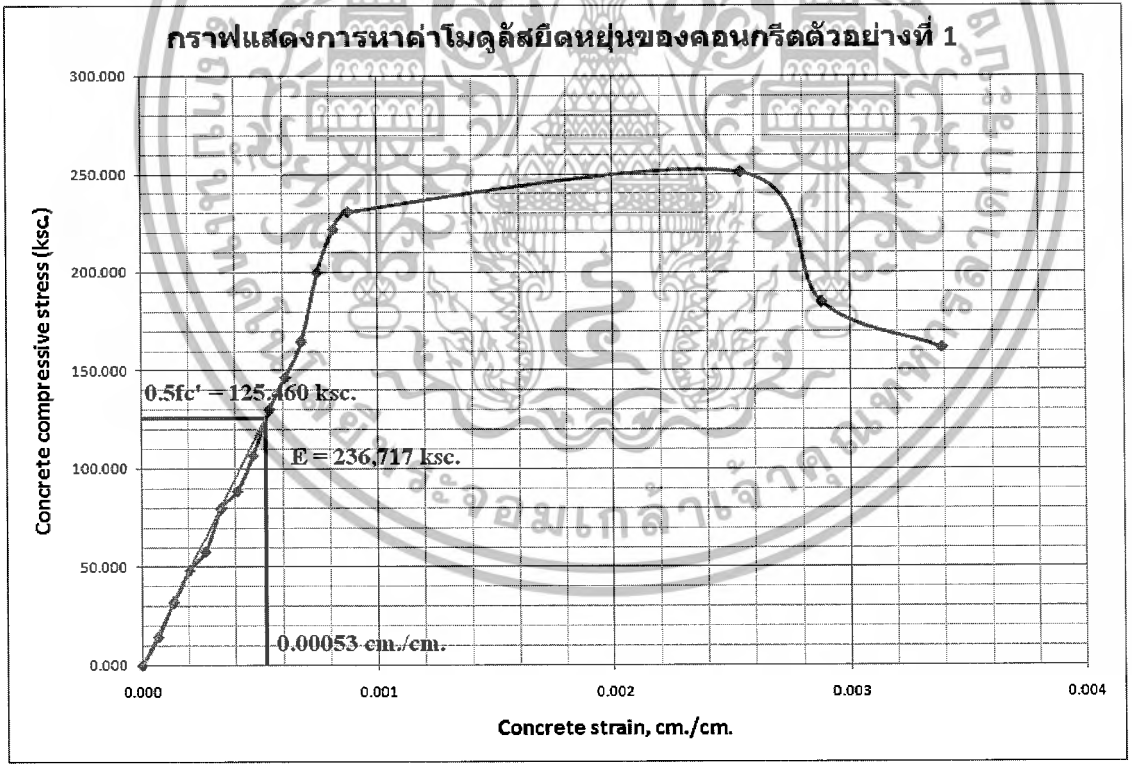
กำลังอัดประลัย (fc') 250.927 ksc

ตารางที่ ผข 2 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
25.00	2548.42	176.71	14.42	0.0000
55.00	5606.52	176.71	31.73	0.0000
84.00	8562.69	176.71	48.46	0.0010
100.00	10193.68	176.71	57.69	0.0010
138.00	14067.28	176.71	79.61	0.0010
154.00	15698.27	176.71	88.84	0.0010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
185.00	18858.31	176.71	106.72	0.0010
225.00	22935.78	176.71	129.79	0.0010
254.00	25891.95	176.71	146.52	0.0020
285.00	29051.99	176.71	164.40	0.0020
346.00	35270.13	176.71	199.59	0.0020
385.00	39245.67	176.71	222.09	0.0020
400.00	40774.72	176.71	230.74	0.0020
435.00	44342.51	176.71	250.93	0.0020
230.00	23445.46	176.71	132.68	0.0030



รูปที่ ผข 1 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 236,717 ksc.

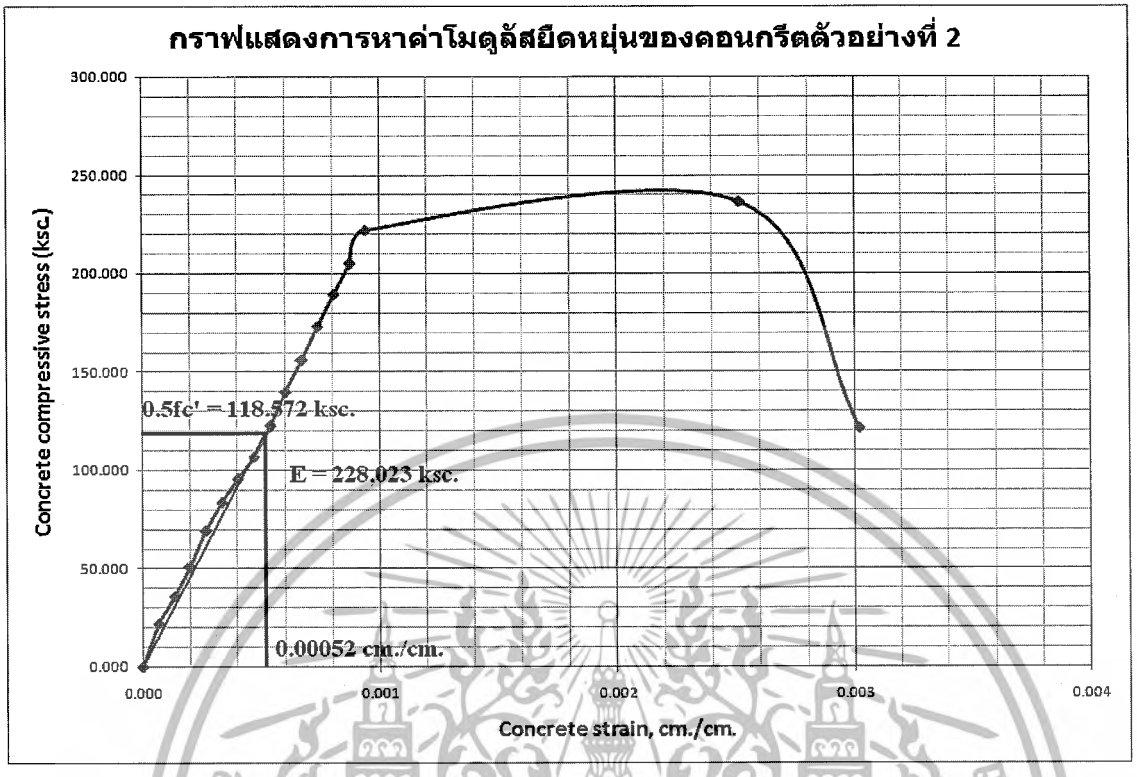
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 237.773 ksc

ตารางที่ ผข 3 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	175.77	0.00	0.0000
38.00	3873.60	175.77	22.04	0.0000
62.00	6320.08	175.77	35.96	0.0000
88.00	8970.44	175.77	51.04	0.0010
120.00	12232.42	175.77	69.59	0.0010
145.00	14780.84	175.77	84.09	0.0010
165.00	16819.57	175.77	95.69	0.0010
185.00	18858.31	175.77	107.29	0.0010
212.00	21610.60	175.77	122.95	0.0010
242.00	24668.71	175.77	140.35	0.0020
270.00	27522.94	175.77	156.58	0.0020
300.00	30581.04	175.77	173.98	0.0020
328.00	33435.27	175.77	190.22	0.0020
355.00	36187.56	175.77	205.88	0.0020
385.00	39245.67	175.77	223.28	0.0020
410.00	41794.09	175.77	237.78	0.0030
210.00	21406.73	175.77	121.79	0.0030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 2 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 228,023 ksc.

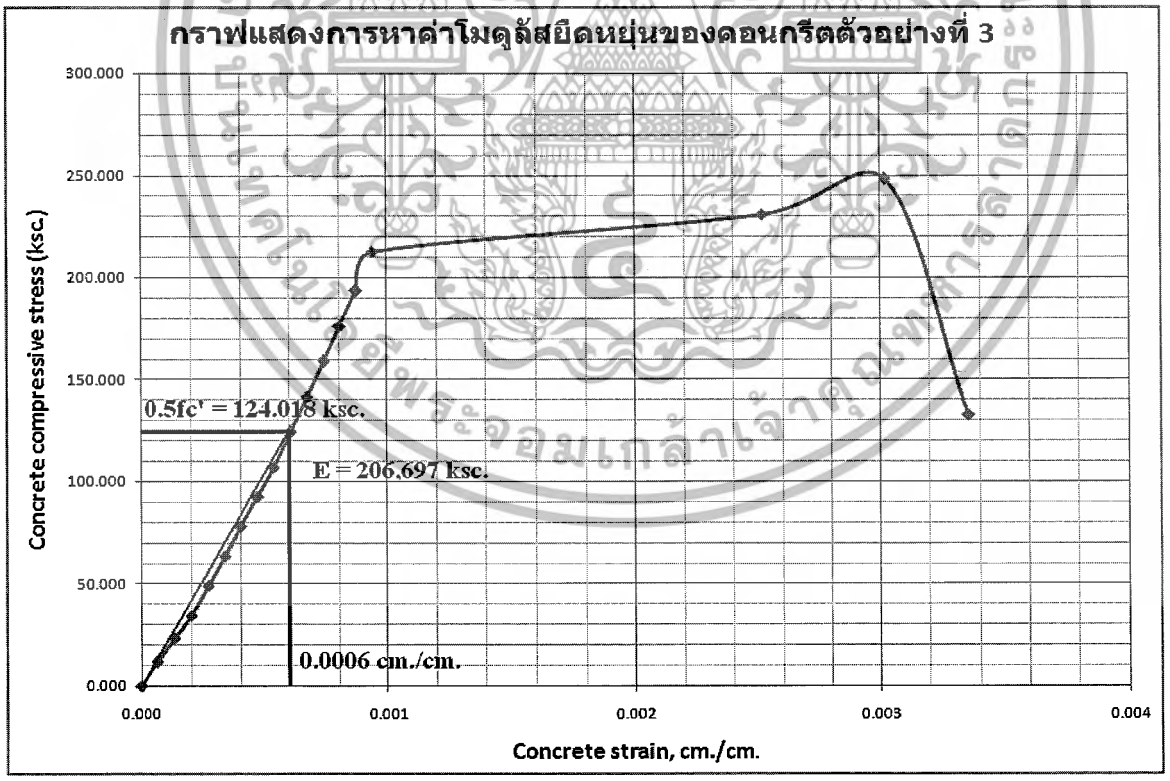
กำลังอัดประลัย (fc') 248.706 ksc

ตารางที่ ผข 4 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.24	0.00	0.0000
20.00	2038.74	176.24	11.57	0.0000
40.00	4077.47	176.24	23.14	0.0000
60.00	6116.21	176.24	34.70	0.0010
85.00	8664.63	176.24	49.16	0.0010
110.00	11213.05	176.24	63.62	0.0010
135.00	13761.47	176.24	78.08	0.0010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
160.00	16309.89	176.24	92.54	0.0010
185.00	18858.31	176.24	107.00	0.0010
215.00	21916.41	176.24	124.36	0.0020
245.00	24974.52	176.24	141.71	0.0020
275.00	28032.62	176.24	159.06	0.0020
305.00	31090.72	176.24	176.41	0.0020
335.00	34148.83	176.24	193.76	0.0020
368.00	37512.74	176.24	212.85	0.0020
400.00	40774.72	176.24	231.36	0.0030
430.00	43832.82	176.24	248.71	0.0030
230.00	23445.46	176.24	133.03	0.0030



รูปที่ ผข 3 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 206,697 ksc.

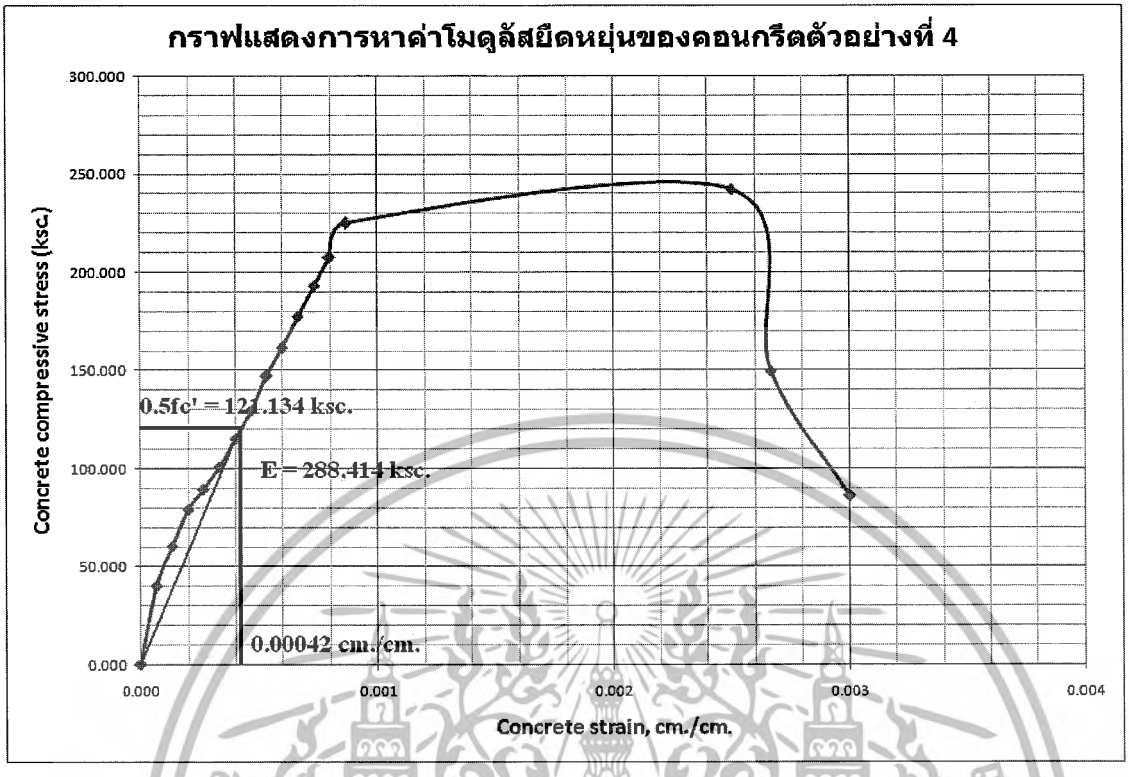
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 242.275 ksc

ตารางที่ ผข 5 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
70.00	7135.58	176.71	40.38	0.0000
105.00	10703.36	176.71	60.57	0.0000
138.00	14067.28	176.71	79.61	0.0010
155.00	15800.20	176.71	89.41	0.0010
175.00	17838.94	176.71	100.95	0.0010
200.00	20387.36	176.71	115.37	0.0010
225.00	22935.78	176.71	129.79	0.0010
255.00	25993.88	176.71	147.10	0.0010
280.00	28542.30	176.71	161.52	0.0020
308.00	31396.53	176.71	177.67	0.0020
335.00	34148.83	176.71	193.25	0.0020
360.00	36697.25	176.71	207.67	0.0020
390.00	39755.35	176.71	224.98	0.0020
420.00	42813.46	176.71	242.28	0.0020
260.00	26503.57	176.71	149.98	0.0030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 4 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 288,414 ksc.

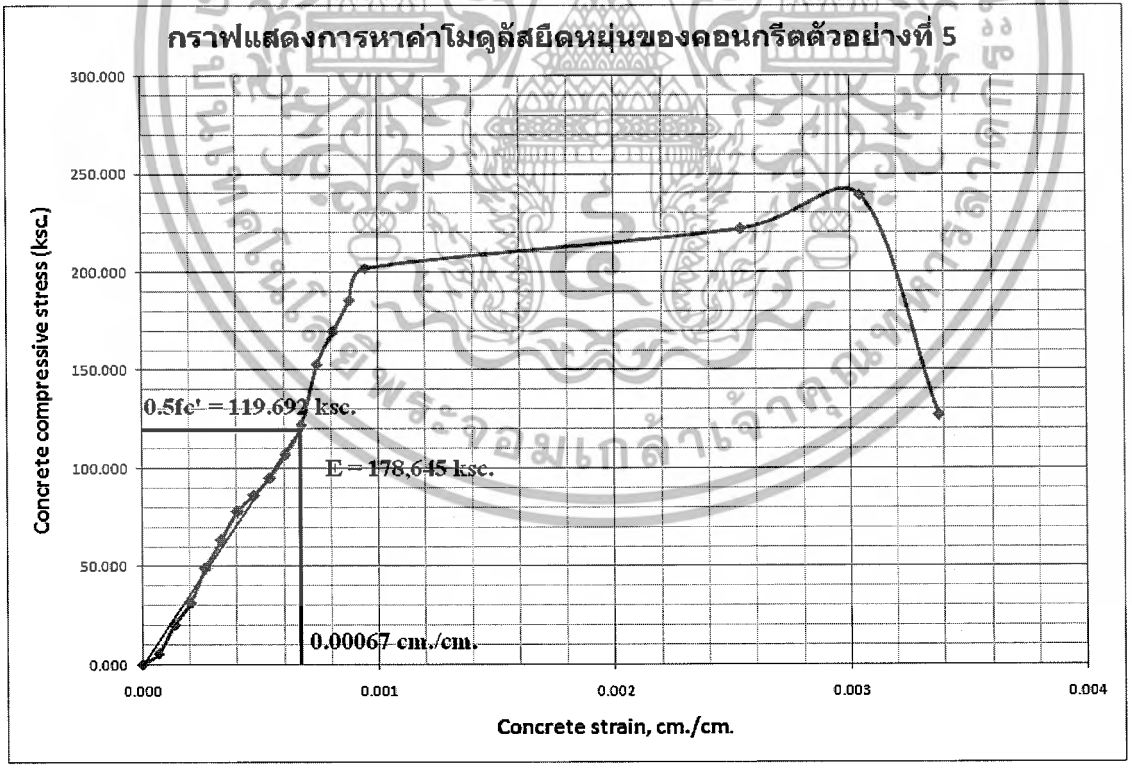
กำลังอัดประลัย (fc') 160.302 ksc

ตารางที่ ผข 6 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	174.37	0.00	0.0000
10.00	1019.37	174.37	5.85	0.0000
35.00	3567.79	174.37	20.46	0.0000
55.00	5606.52	174.37	32.15	0.0010
85.00	8664.63	174.37	49.69	0.0010
110.00	11213.05	174.37	64.31	0.0010
135.00	13761.47	174.37	78.92	0.0010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
150.00	15290.52	174.37	87.69	0.0010
165.00	16819.57	174.37	96.46	0.0010
185.00	18858.31	174.37	108.15	0.0020
212.00	21610.60	174.37	123.94	0.0020
265.00	27013.25	174.37	154.92	0.0020
295.00	30071.36	174.37	172.46	0.0020
322.00	32823.65	174.37	188.24	0.0020
350.00	35677.88	174.37	204.61	0.0020
385.00	39245.67	174.37	225.07	0.0030
415.00	42303.77	174.37	242.61	0.0030
220.00	22426.10	174.37	128.61	0.0030



รูปที่ ผข 5 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 178,645 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์
  a. หน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3

ตารางที่ ผข 7 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	30.30	177.66	8.569	40590.181	228.473	55707.862	1591.849
2	14.98	29.60	176.24	8.298	42019.776	238.419	54186.057	1590.626
3	15.05	29.80	177.89	8.578	42901.449	241.162	58141.053	1618.106
4	14.86	30.00	173.43	8.410	41099.966	236.981	56229.977	1616.394
5	15.20	28.80	181.46	8.504	40035.503	220.632	56843.366	1627.248
		เฉลี่ย	177.34	8.472	41329.375	233.133	56221.663	1608.845

ตารางที่ ผข 8 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.09	29.70	178.84	8.613	38801.815	216.962	39870.980	1621.547
2	14.89	30.00	174.13	8.415	38537.214	221.310	40013.677	1610.844
3	15.05	30.20	177.89	8.612	39343.516	221.162	39970.507	1603.002
4	15.09	30.30	178.84	8.564	39311.513	219.812	40156.781	1580.395
5	15.27	29.60	183.13	8.553	40035.562	218.614	39865.500	1577.825
		เฉลี่ย	178.57	8.551	39205.924	219.572	39975.489	1598.723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 9 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.12	30.00	179.55	8.613	37482.117	208.752	30508.978	1598.968
2	14.90	30.00	174.37	8.501	34637.157	198.646	28960.546	1625.123
3	15.02	30.20	177.19	8.590	35079.312	197.980	30898.019	1605.301
4	15.09	30.10	178.84	8.611	37677.438	210.675	29862.032	1599.627
5	15.08	29.80	178.60	8.603	35880.408	200.893	30051.904	1616.371
		เฉลี่ย	177.71	8.584	36151.286	203.389	30056.296	1609.078

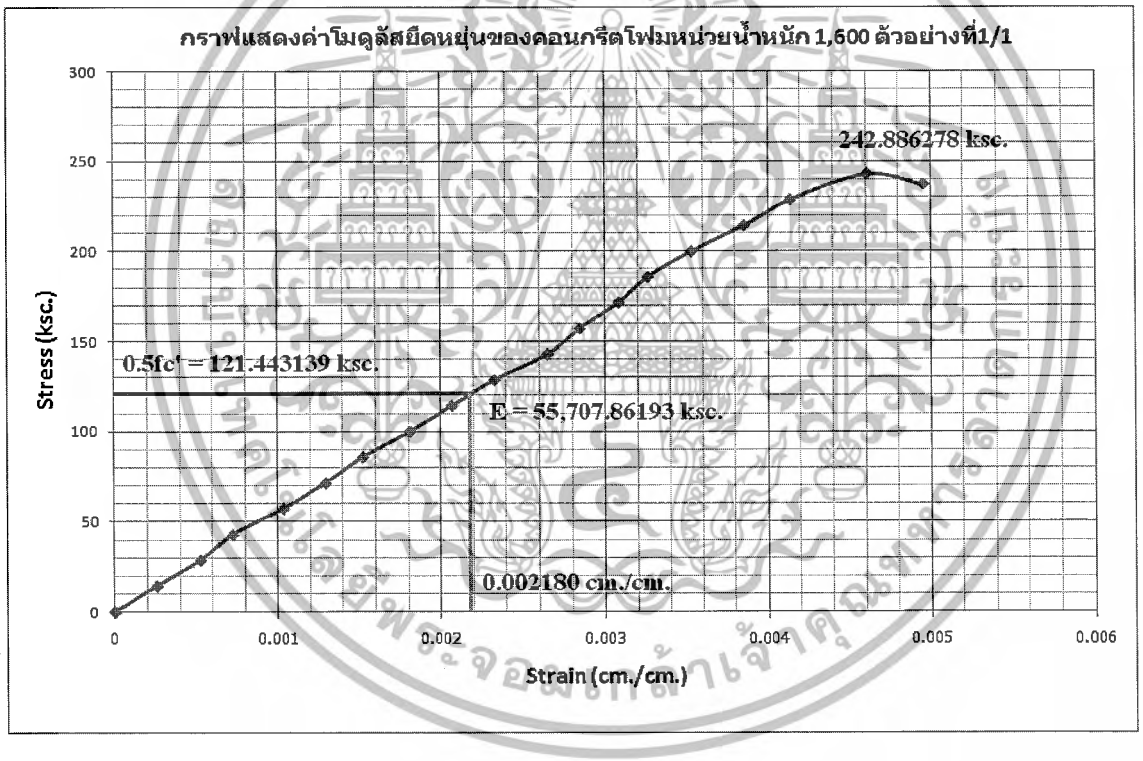
กำลังอัดประลัย (fc') 228.473 ksc

ตารางที่ ผข 10 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.66	0.00	0.0000
24.90	2538.28	177.66	14.29	0.0003
49.80	5076.56	177.66	28.57	0.0005
74.70	7614.84	177.66	42.86	0.0007
99.60	10153.12	177.66	57.15	0.0010
124.50	12691.40	177.66	71.44	0.0013
149.40	15229.68	177.66	85.72	0.0015
174.30	17767.96	177.66	100.01	0.0018
199.20	20306.24	177.66	114.30	0.0021
224.10	22844.52	177.66	128.59	0.0023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
249.01	25382.80	177.66	142.87	0.0026
273.91	27921.09	177.66	157.16	0.0028
298.81	30459.37	177.66	171.45	0.0031
323.71	32997.65	177.66	185.74	0.0033
348.61	35535.93	177.66	200.02	0.0035
373.51	38074.21	177.66	214.31	0.0039
398.41	40612.49	177.66	228.60	0.0041
423.31	43150.77	177.66	242.89	0.0046



รูปที่ ผข 6 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 55,707.862 ksc.

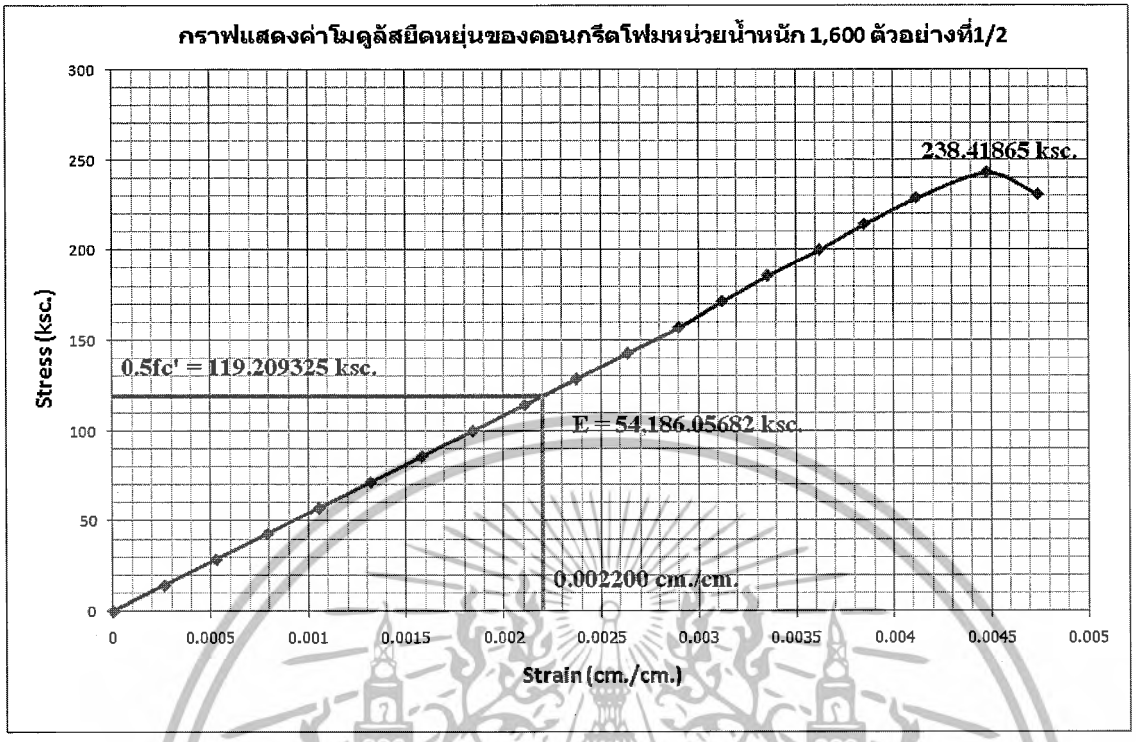
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 238.419 ksc

ตารางที่ ผข 11 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.24	0.00	0.0000
24.70	2518.07	176.24	14.29	0.0003
49.40	5036.14	176.24	28.57	0.0005
74.11	7554.21	176.24	42.86	0.0008
98.81	10072.27	176.24	57.15	0.0011
123.51	12590.34	176.24	71.44	0.0013
148.21	15108.41	176.24	85.72	0.0016
172.92	17626.48	176.24	100.01	0.0018
197.62	20144.55	176.24	114.30	0.0021
222.32	22662.62	176.24	128.59	0.0024
247.02	25180.69	176.24	142.87	0.0026
271.72	27698.76	176.24	157.16	0.0029
296.43	30216.82	176.24	171.45	0.0031
321.13	32734.89	176.24	185.74	0.0034
345.83	35252.96	176.24	200.02	0.0036
370.53	37771.03	176.24	214.31	0.0039
395.24	40289.10	176.24	228.60	0.0041
419.94	42807.17	176.24	242.89	0.0045
444.64	45325.24	176.24	257.17	0.0047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 7 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 54,186.057 ksc.

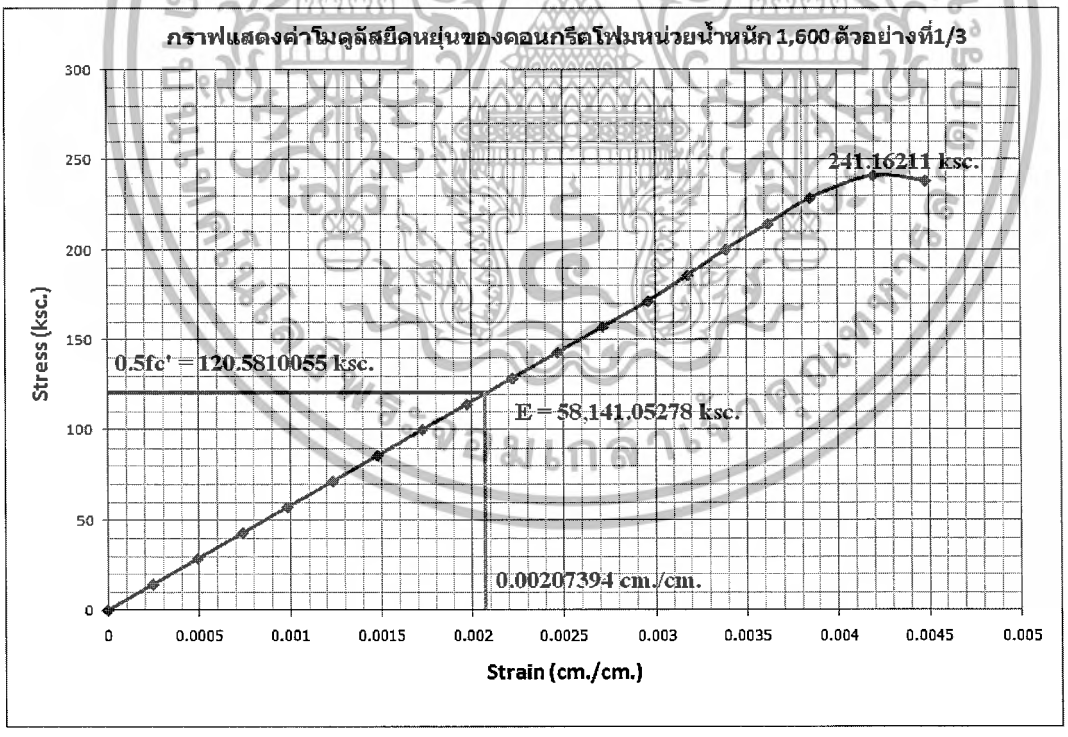
กำลังอัดประลัย (fc') 241.162 ksc

ตารางที่ ผข 12 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.89	0.00	0.0000
24.93	2541.66	177.89	14.29	0.0002
49.87	5083.31	177.89	28.57	0.0005
74.80	7624.97	177.89	42.86	0.0007
99.73	10166.63	177.89	57.15	0.0010
124.67	12708.28	177.89	71.44	0.0012
149.60	15249.94	177.89	85.72	0.0015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
174.54	17791.60	177.89	100.01	0.0017
199.47	20333.26	177.89	114.30	0.0020
224.40	22874.91	177.89	128.59	0.0022
249.34	25416.57	177.89	142.87	0.0025
274.27	27958.23	177.89	157.16	0.0027
299.20	30499.88	177.89	171.45	0.0030
324.14	33041.54	177.89	185.74	0.0032
349.07	35583.20	177.89	200.02	0.0034
374.00	38124.85	177.89	214.31	0.0036
398.94	40666.51	177.89	228.60	0.0039
423.87	43208.17	177.89	242.89	0.0042
448.81	45749.83	177.89	257.17	0.0045



รูปที่ ผข 8 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 58,141.053 ksc.

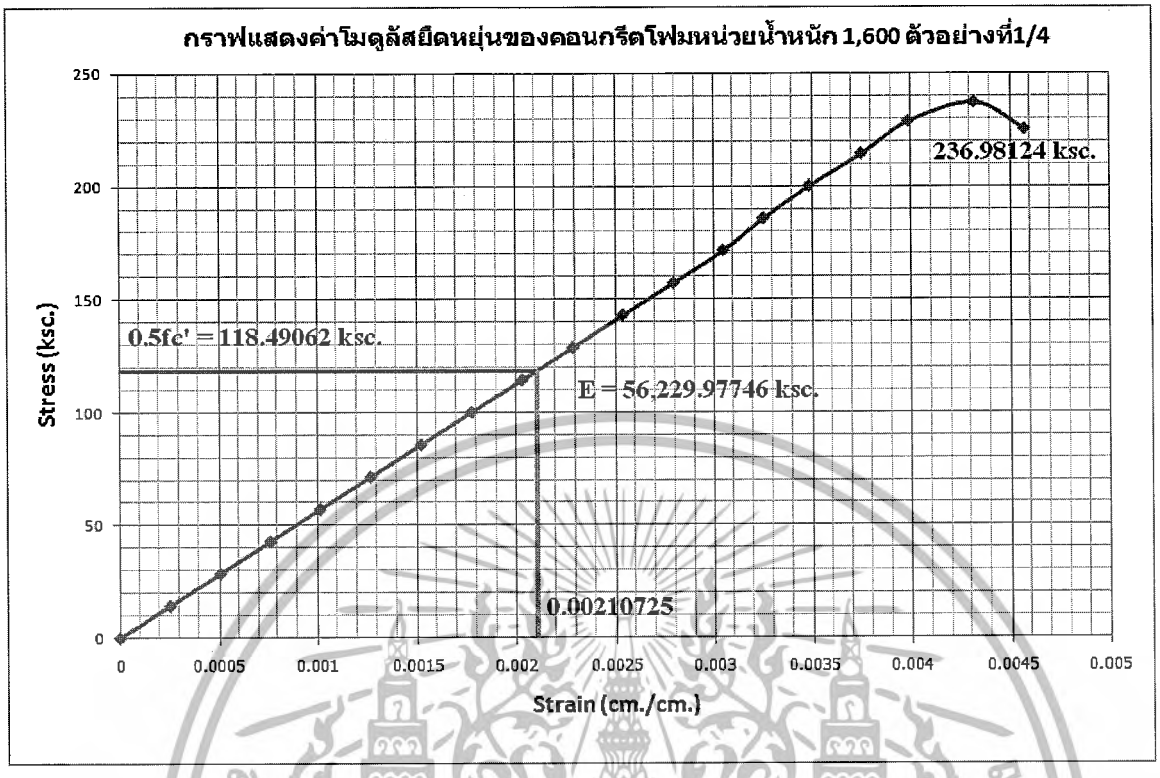
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 236.981 ksc

ตารางที่ ผข 13 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	173.43	0.00	0.0000
24.31	2477.89	173.43	14.29	0.0003
48.62	4955.77	173.43	28.57	0.0005
72.92	7433.66	173.43	42.86	0.0008
97.23	9911.55	173.43	57.15	0.0010
121.54	12389.44	173.43	71.44	0.0013
145.85	14867.32	173.43	85.72	0.0015
170.16	17345.21	173.43	100.01	0.0018
194.46	19823.10	173.43	114.30	0.0020
218.77	22300.99	173.43	128.59	0.0023
243.08	24778.87	173.43	142.87	0.0025
267.39	27256.76	173.43	157.16	0.0028
291.70	29734.65	173.43	171.45	0.0030
316.00	32212.54	173.43	185.74	0.0033
340.31	34690.42	173.43	200.02	0.0035
364.62	37168.31	173.43	214.31	0.0038
388.93	39646.20	173.43	228.60	0.0040
413.24	42124.08	173.43	242.89	0.0043
437.55	44601.97	173.43	257.17	0.0046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 9 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 56,229.977 ksc.

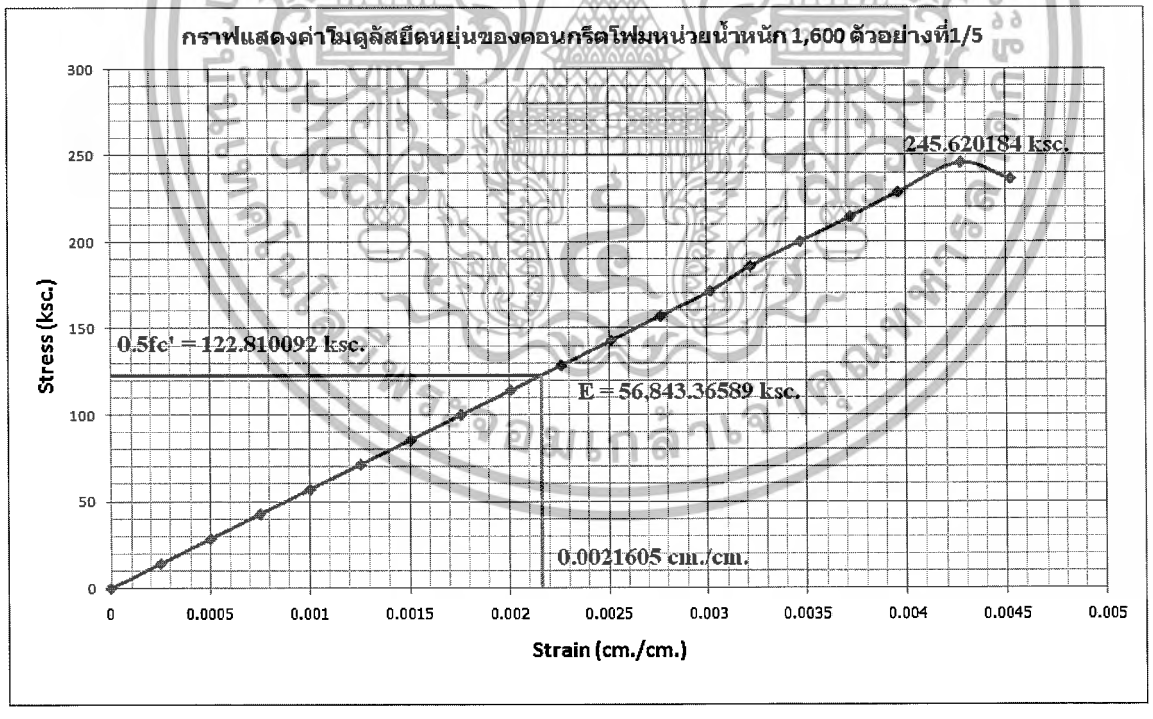
กำลังอัดประลัย (fc') 220.632 ksc

ตารางที่ ผข 14 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	181.46	0.00	0.0000
25.43	2592.57	181.46	14.29	0.0003
50.87	5185.15	181.46	28.57	0.0005
76.30	7777.72	181.46	42.86	0.0008
101.73	10370.29	181.46	57.15	0.0010
127.17	12962.87	181.46	71.44	0.0013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
152.60	15555.44	181.46	85.72	0.0015
178.03	18148.02	181.46	100.01	0.0018
203.47	20740.59	181.46	114.30	0.0020
228.90	23333.16	181.46	128.59	0.0023
254.33	25925.74	181.46	142.87	0.0025
279.76	28518.31	181.46	157.16	0.0028
305.20	31110.88	181.46	171.45	0.0030
330.63	33703.46	181.46	185.74	0.0032
356.06	36296.03	181.46	200.02	0.0035
381.50	38888.61	181.46	214.31	0.0037
406.93	41481.18	181.46	228.60	0.0040
432.36	44073.75	181.46	242.89	0.0043



รูปที่ ผข 10 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 56,843.366 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3

ตารางที่ ผข 15 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.82	29.60	172.50	9.062	42264.462	245.013	72531.960	1774.786
2	14.87	29.80	173.66	9.148	41753.910	240.428	74206.222	1767.657
3	15.00	30.10	176.71	9.269	41149.296	232.857	73166.554	1742.585
4	15.20	30.00	181.46	9.456	43363.410	238.972	74515.635	1737.037
5	14.86	30.20	173.43	9.284	42094.620	242.716	73911.016	1772.559
		เฉลี่ย	175.55	9.244	42125.140	239.997	73666.277	1758.925

ตารางที่ ผข 16 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.08	30.20	178.60	9.453	38692.358	216.637	54376.876	1752.549
2	15.10	29.80	179.08	9.467	38172.402	213.160	55984.084	1773.995
3	14.96	30.30	175.77	9.334	37633.781	214.104	53996.334	1752.557
4	15.10	29.80	179.08	9.364	37990.995	212.147	54790.657	1754.694
5	14.90	30.10	174.37	9.353	38607.302	221.415	54168.604	1782.059
		เฉลี่ย	177.38	9.394	38219.368	215.493	54663.311	1763.171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 17 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.08	30.20	178.60	9.476	37587.867	210.453	41361.671	1756.813
2	15.10	30.00	179.08	9.390	35585.432	198.714	41089.223	1747.836
3	15.04	30.20	177.66	9.443	35973.323	202.486	40916.684	1760.020
4	15.15	29.70	180.27	9.414	35704.314	198.064	41116.125	1758.339
5	14.86	30.10	173.43	9.309	35446.758	204.385	41390.876	1783.237
		เฉลี่ย	177.81	9.406	36059.539	202.820	41174.916	1761.249

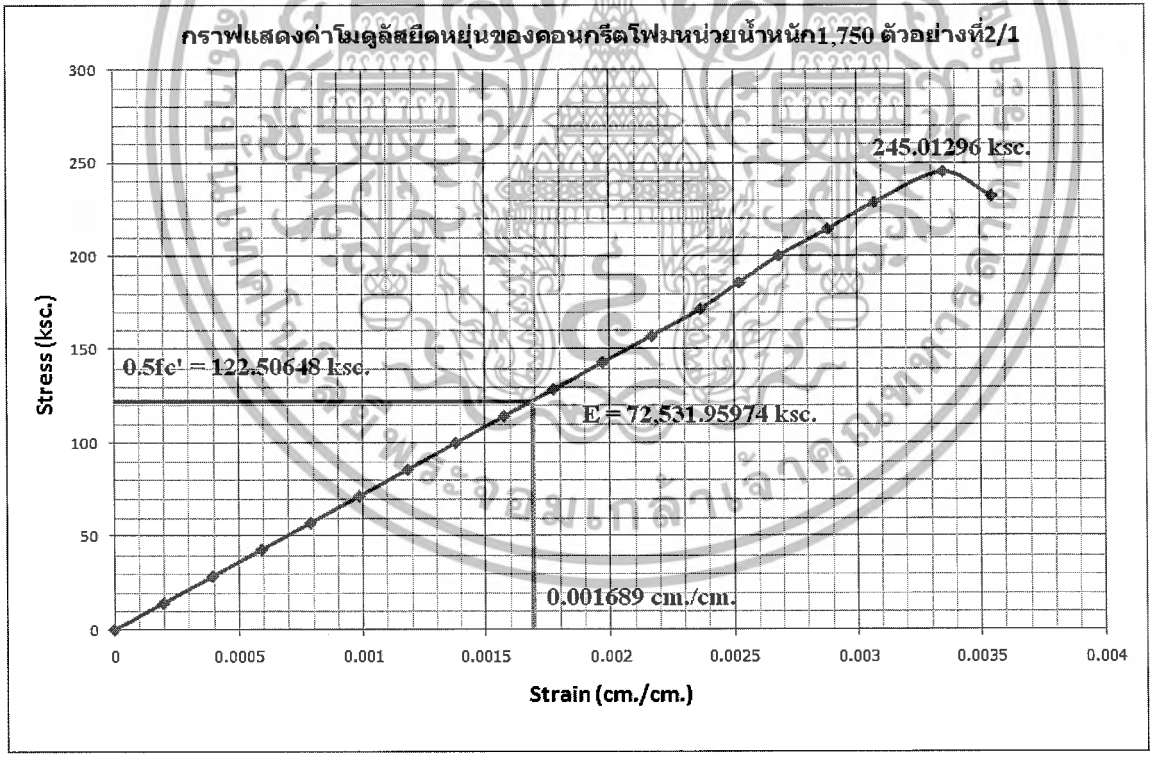
กำลังอัดประลัย (fc') 245.013 ksc

ตารางที่ ผข 18 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	172.50	0.00	0.0000
24.18	2464.57	172.50	14.29	0.0002
48.35	4929.13	172.50	28.57	0.0004
72.53	7393.70	172.50	42.86	0.0006
96.71	9858.26	172.50	57.15	0.0008
120.89	12322.83	172.50	71.44	0.0010
145.06	14787.39	172.50	85.72	0.0012
169.24	17251.96	172.50	100.01	0.0014
193.42	19716.52	172.50	114.30	0.0016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
217.60	22181.09	172.50	128.59	0.0018
241.77	24645.65	172.50	142.87	0.0020
265.95	27110.22	172.50	157.16	0.0022
290.13	29574.78	172.50	171.45	0.0024
314.31	32039.35	172.50	185.74	0.0025
338.48	34503.92	172.50	200.02	0.0027
362.66	36968.48	172.50	214.31	0.0029
386.84	39433.05	172.50	228.60	0.0031
411.02	41897.61	172.50	242.89	0.0033
435.19	44362.18	172.50	257.17	0.0035



รูปที่ ผข 11 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 72,531.960 ksc.

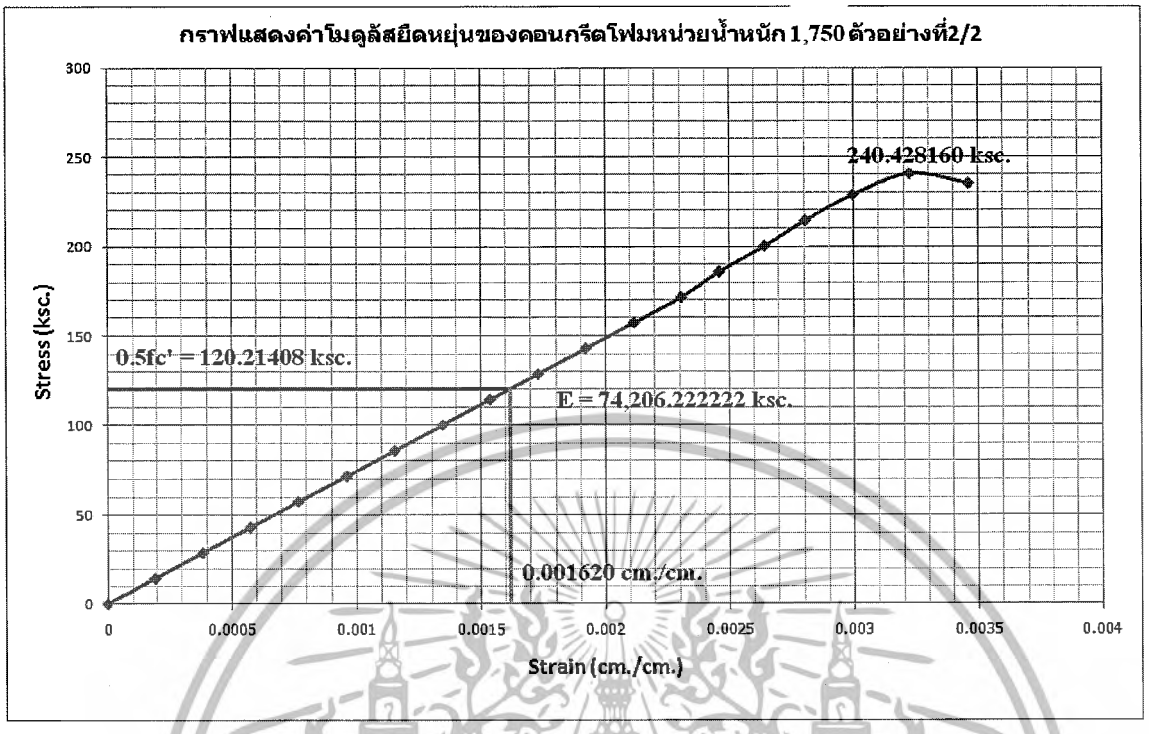
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 240.428 ksc

ตารางที่ ผข 19 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	173.66	0.00	0.0000
24.34	2481.22	173.66	14.29	0.0002
48.68	4962.45	173.66	28.57	0.0004
73.02	7443.67	173.66	42.86	0.0006
97.36	9924.89	173.66	57.15	0.0008
121.70	12406.12	173.66	71.44	0.0010
146.04	14887.34	173.66	85.72	0.0012
170.39	17368.56	173.66	100.01	0.0013
194.73	19849.79	173.66	114.30	0.0015
219.07	22331.01	173.66	128.59	0.0017
243.41	24812.23	173.66	142.87	0.0019
267.75	27293.46	173.66	157.16	0.0021
292.09	29774.68	173.66	171.45	0.0023
316.43	32255.90	173.66	185.74	0.0025
340.77	34737.13	173.66	200.02	0.0026
365.11	37218.35	173.66	214.31	0.0028
389.45	39699.58	173.66	228.60	0.0030
413.79	42180.80	173.66	242.89	0.0032
438.13	44662.02	173.66	257.17	0.0035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 12 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 74,206.222 ksc.

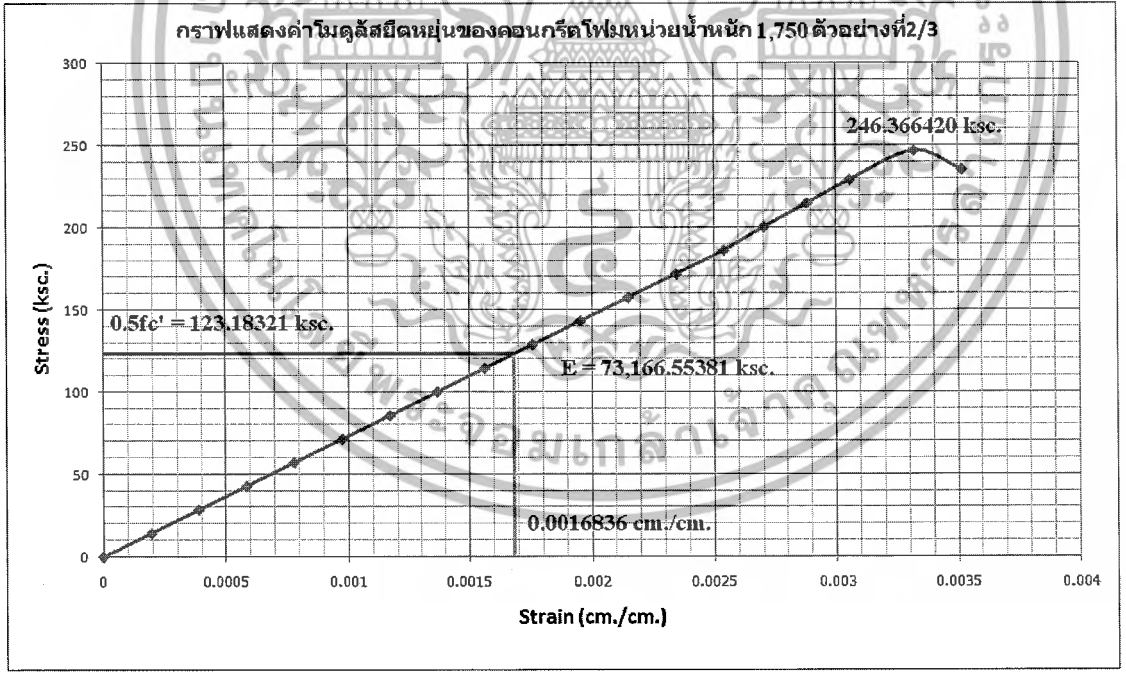
กำลังอัดประลัย (fc') 232.857 ksc

ตารางที่ ผข 20 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
24.77	2524.80	176.71	14.29	0.0002
49.54	5049.59	176.71	28.57	0.0004
74.30	7574.39	176.71	42.86	0.0006
99.07	10099.19	176.71	57.15	0.0008
123.84	12623.98	176.71	71.44	0.0010
148.61	15148.78	176.71	85.72	0.0012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
173.38	17673.58	176.71	100.01	0.0014
198.15	20198.38	176.71	114.30	0.0016
222.91	22723.17	176.71	128.59	0.0018
247.68	25247.97	176.71	142.87	0.0020
272.45	27772.77	176.71	157.16	0.0021
297.22	30297.56	176.71	171.45	0.0023
321.99	32822.36	176.71	185.74	0.0025
346.76	35347.16	176.71	200.02	0.0027
371.52	37871.95	176.71	214.31	0.0029
396.29	40396.75	176.71	228.60	0.0031
421.06	42921.55	176.71	242.89	0.0033
445.83	45446.35	176.71	257.17	0.0035



รูปที่ ผข 13 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 73,166.554 ksc.

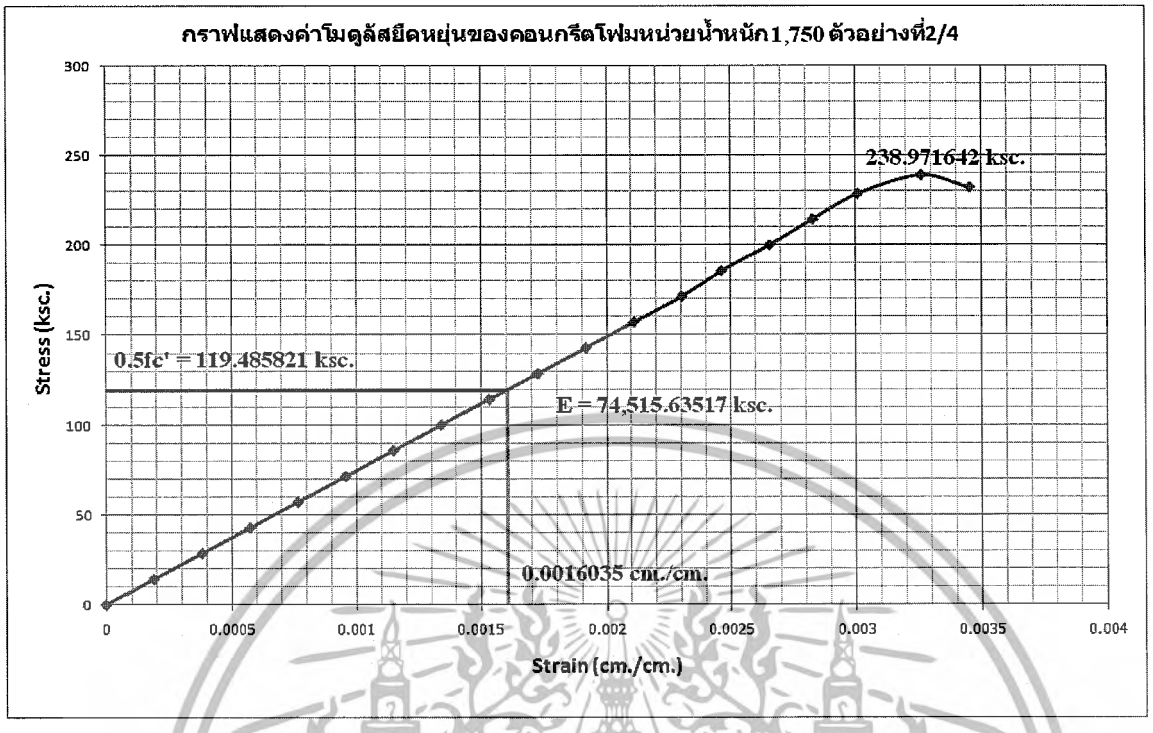
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 238.972 ksc

ตารางที่ ผข 21 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	181.46	0.00	0.0000
25.43	2592.57	181.46	14.29	0.0002
50.87	5185.15	181.46	28.57	0.0004
76.30	7777.72	181.46	42.86	0.0006
101.73	10370.29	181.46	57.15	0.0008
127.17	12962.87	181.46	71.44	0.0010
152.60	15555.44	181.46	85.72	0.0012
178.03	18148.02	181.46	100.01	0.0013
203.47	20740.59	181.46	114.30	0.0015
228.90	23333.16	181.46	128.59	0.0017
254.33	25925.74	181.46	142.87	0.0019
279.76	28518.31	181.46	157.16	0.0021
305.20	31110.88	181.46	171.45	0.0023
330.63	33703.46	181.46	185.74	0.0025
356.06	36296.03	181.46	200.02	0.0027
381.50	38888.61	181.46	214.31	0.0028
406.93	41481.18	181.46	228.60	0.0030
432.36	44073.75	181.46	242.89	0.0033
457.80	46666.33	181.46	257.17	0.0035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 14 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 74,515.635 ksc.

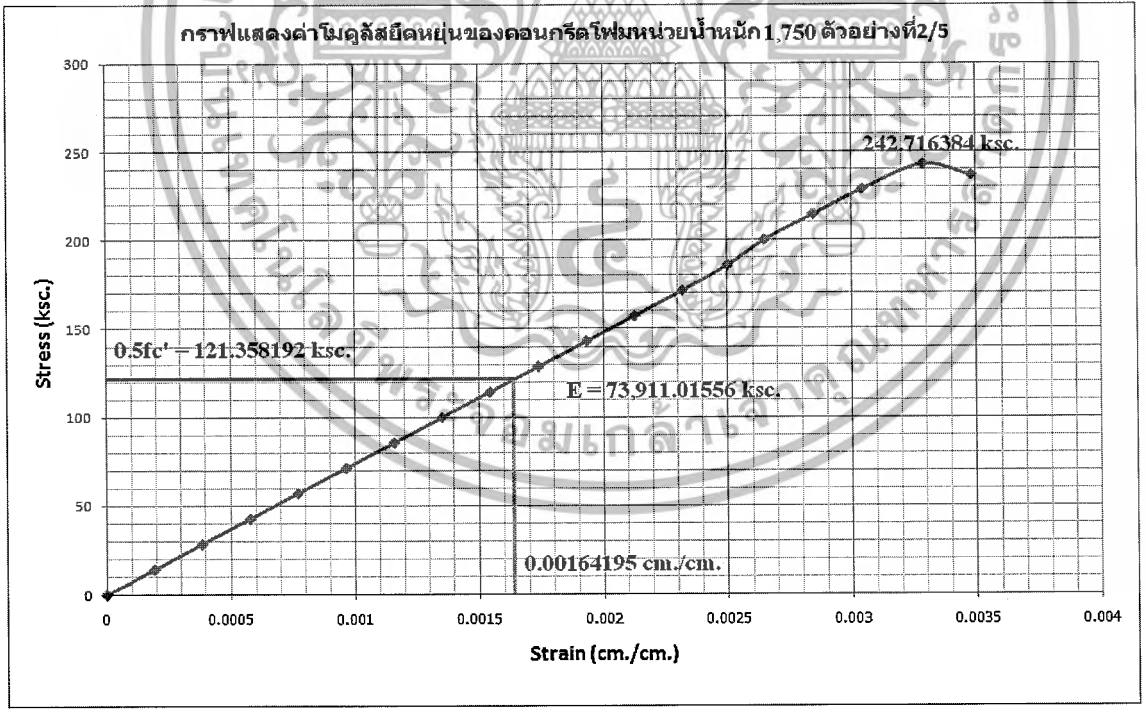
กำลังอัดประลัย (fc') 242.716 ksc

ตารางที่ ผข 22 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	173.43	0.00	0.0000
24.31	2477.89	173.43	14.29	0.0002
48.62	4955.77	173.43	28.57	0.0004
72.92	7433.66	173.43	42.86	0.0006
97.23	9911.55	173.43	57.15	0.0008
121.54	12389.44	173.43	71.44	0.0010
145.85	14867.32	173.43	85.72	0.0012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
170.16	17345.21	173.43	100.01	0.0014
194.46	19823.10	173.43	114.30	0.0015
218.77	22300.99	173.43	128.59	0.0017
243.08	24778.87	173.43	142.87	0.0019
267.39	27256.76	173.43	157.16	0.0021
291.70	29734.65	173.43	171.45	0.0023
316.00	32212.54	173.43	185.74	0.0025
340.31	34690.42	173.43	200.02	0.0027
364.62	37168.31	173.43	214.31	0.0028
388.93	39646.20	173.43	228.60	0.0030
413.24	42124.08	173.43	242.89	0.0033
437.55	44601.97	173.43	257.17	0.0035



รูปที่ ผข 15 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,750 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 73,911.016 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3

ตารางที่ ผข 23 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.07	30.10	178.37	9.954	43917.453	246.219	95461.665	1854.021
2	15.19	30.10	181.22	10.082	43700.459	241.146	95692.969	1848.310
3	15.17	30.40	180.74	10.070	44043.854	243.682	95210.777	1832.715
4	14.96	29.80	175.77	9.805	43184.725	245.684	95895.442	1871.881
5	15.06	30.00	178.13	9.985	43503.511	244.222	95548.448	1868.474
		เฉลี่ย	178.85	9.979	43670.000	244.191	95561.860	1855.080

ตารางที่ ผข 24 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	29.70	177.66	9.809	38587.743	217.202	79854.657	1859.014
2	15.09	29.80	178.84	9.980	38335.217	214.353	80065.582	1872.604
3	14.97	30.00	176.01	9.771	37355.502	212.237	78990.330	1850.479
4	14.95	30.00	175.54	9.706	37918.412	216.012	79424.544	1843.091
5	15.01	30.20	176.95	9.887	38195.073	215.852	79846.140	1850.147
		เฉลี่ย	177.00	9.831	38078.389	215.131	79636.251	1855.067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 25 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.88	30.00	173.90	9.822	36306.869	208.782	70098.893	1882.708
2	15.11	30.00	179.32	9.980	37274.576	207.871	70126.332	1855.199
3	15.08	30.20	178.60	10.106	37511.246	210.024	70154.679	1873.613
4	15.06	30.00	178.13	9.906	38198.974	214.443	70043.063	1853.691
5	15.09	29.80	178.84	9.987	37307.236	208.605	69980.307	1873.917
		เฉลี่ย	177.76	9.960	37319.780	209.945	70080.655	1867.825

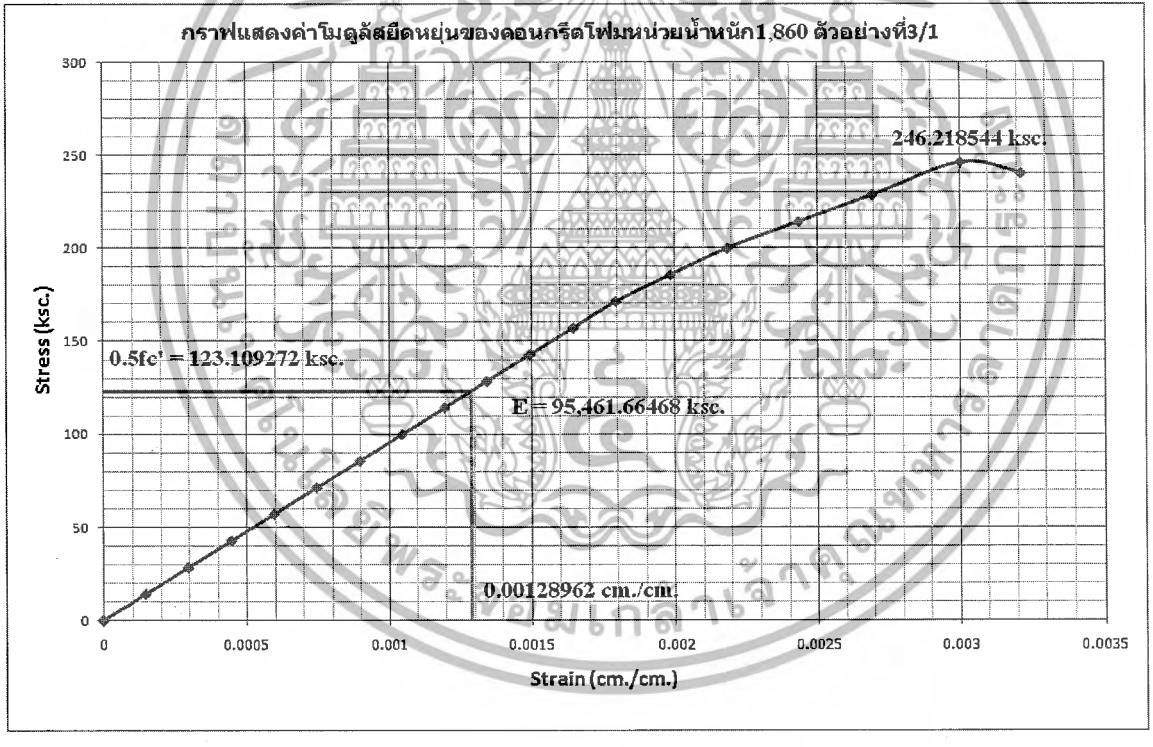
กำลังอัดประลัย (fc') 246.219 ksc

ตารางที่ ผข 26 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	178.37	0.00	0.0000
25.00	2548.42	178.37	14.29	0.0001
50.00	5096.83	178.37	28.57	0.0003
75.00	7645.25	178.37	42.86	0.0004
100.00	10193.67	178.37	57.15	0.0006
125.00	12742.08	178.37	71.44	0.0007
150.00	15290.50	178.37	85.72	0.0009
175.00	17838.92	178.37	100.01	0.0010
200.00	20387.33	178.37	114.30	0.0012
225.00	22935.75	178.37	128.59	0.0013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
250.00	25484.17	178.37	142.87	0.0015
275.00	28032.58	178.37	157.16	0.0016
300.00	30581.00	178.37	171.45	0.0018
325.00	33129.42	178.37	185.74	0.0020
350.00	35677.83	178.37	200.02	0.0022
375.00	38226.25	178.37	214.31	0.0024
400.00	40774.67	178.37	228.60	0.0027
425.00	43323.08	178.37	242.89	0.0030
450.00	45871.50	178.37	257.17	0.0032



รูปที่ ผข 16 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 95,461.665 ksc.

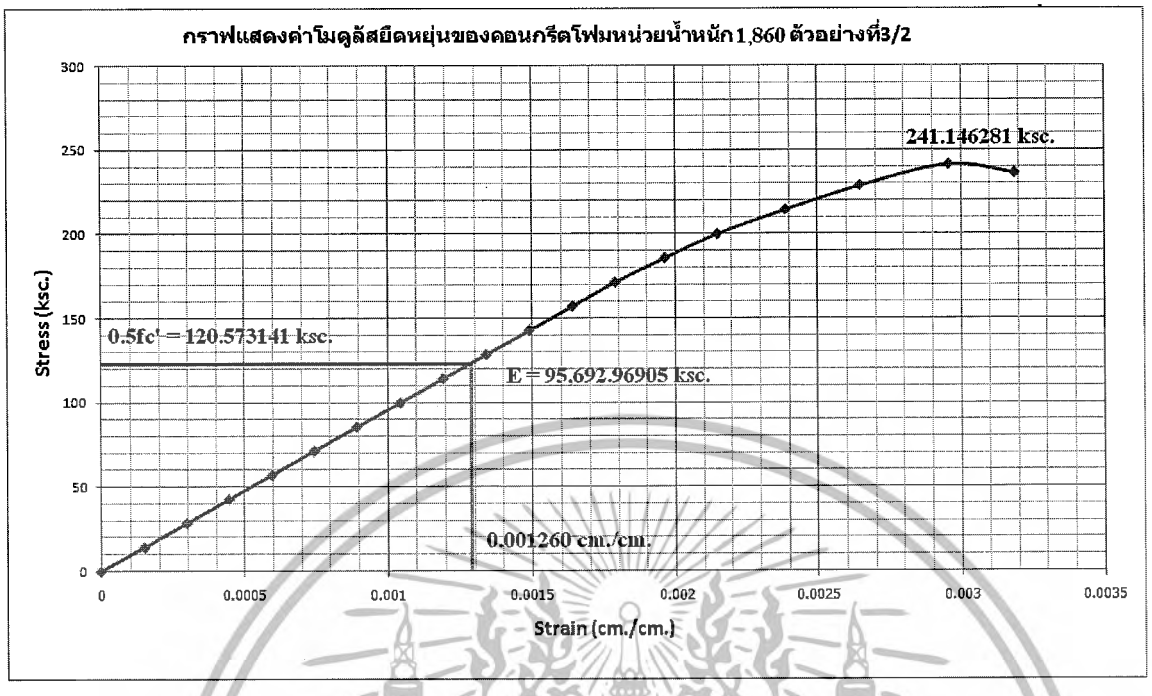
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 241.146 ksc

ตารางที่ ผข 27 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	181.22	0.00	0.0000
25.40	2589.16	181.22	14.29	0.0001
50.80	5178.33	181.22	28.57	0.0003
76.20	7767.49	181.22	42.86	0.0004
101.60	10356.65	181.22	57.15	0.0006
127.00	12945.82	181.22	71.44	0.0007
152.40	15534.98	181.22	85.72	0.0009
177.80	18124.14	181.22	100.01	0.0010
203.20	20713.31	181.22	114.30	0.0012
228.60	23302.47	181.22	128.59	0.0013
254.00	25891.64	181.22	142.87	0.0015
279.40	28480.80	181.22	157.16	0.0016
304.80	31069.96	181.22	171.45	0.0018
330.20	33659.13	181.22	185.74	0.0020
355.60	36248.29	181.22	200.02	0.0022
381.00	38837.45	181.22	214.31	0.0024
406.40	41426.62	181.22	228.60	0.0026
431.79	44015.78	181.22	242.89	0.0030
457.19	46604.94	181.22	257.17	0.0032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 17 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 95692.969 ksc.

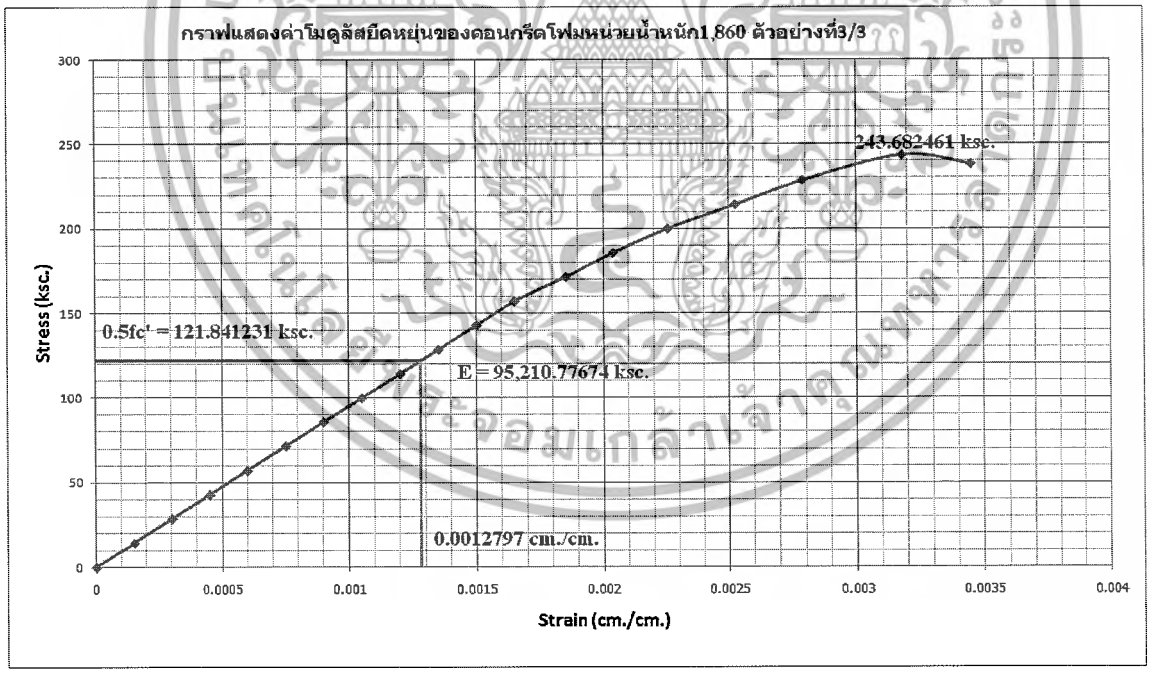
กำลังอัดประลัย (fc') 243.682 ksc

ตารางที่ ผข 28 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	180.74	0.00	0.0000
25.33	2582.35	180.74	14.29	0.0002
50.67	5164.70	180.74	28.57	0.0003
76.00	7747.05	180.74	42.86	0.0005
101.33	10329.40	180.74	57.15	0.0006
126.66	12911.75	180.74	71.44	0.0008
152.00	15494.10	180.74	85.72	0.0009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
177.33	18076.45	180.74	100.01	0.0011
202.66	20658.80	180.74	114.30	0.0012
228.00	23241.15	180.74	128.59	0.0014
253.33	25823.50	180.74	142.87	0.0015
278.66	28405.85	180.74	157.16	0.0017
303.99	30988.20	180.74	171.45	0.0019
329.33	33570.55	180.74	185.74	0.0020
354.66	36152.90	180.74	200.02	0.0023
379.99	38735.25	180.74	214.31	0.0025
405.33	41317.60	180.74	228.60	0.0028
430.66	43899.95	180.74	242.89	0.0032
455.99	46482.30	180.74	257.17	0.0035



รูปที่ ผข 18 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 95210.777 ksc.

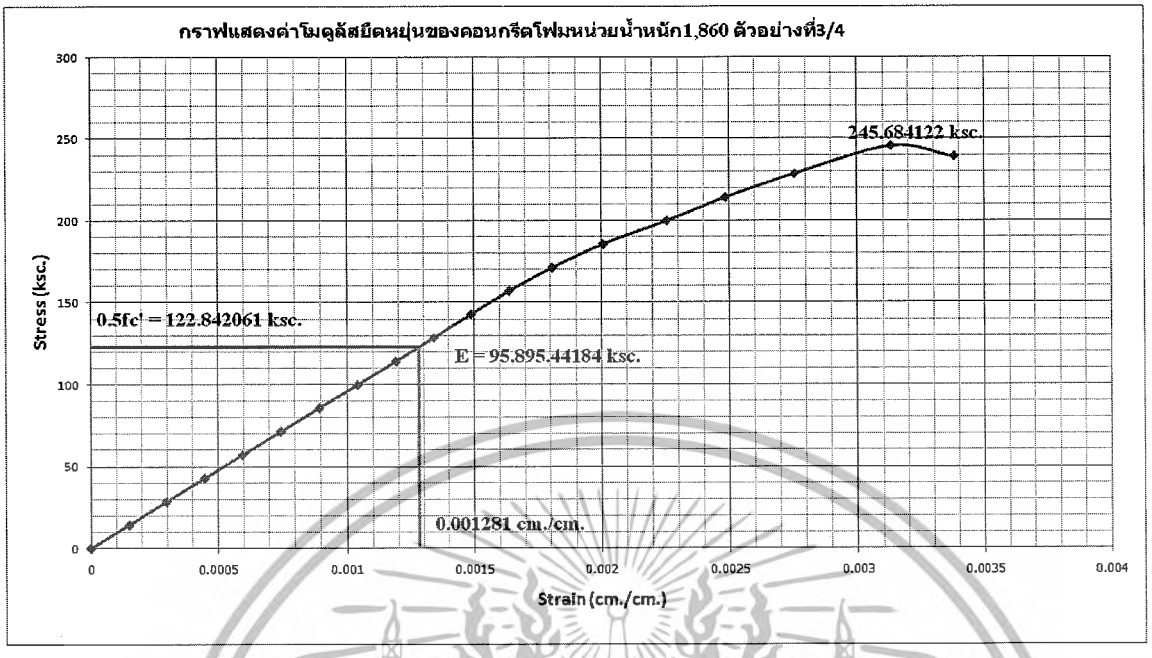
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 245.684 ksc

ตารางที่ ผข 29 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	175.77	0.00	0.0000
24.64	2511.35	175.77	14.29	0.0001
49.27	5022.70	175.77	28.57	0.0003
73.91	7534.05	175.77	42.86	0.0004
98.55	10045.40	175.77	57.15	0.0006
123.18	12556.75	175.77	71.44	0.0007
147.82	15068.10	175.77	85.72	0.0009
172.45	17579.45	175.77	100.01	0.0010
197.09	20090.79	175.77	114.30	0.0012
221.73	22602.14	175.77	128.59	0.0013
246.36	25113.49	175.77	142.87	0.0015
271.00	27624.84	175.77	157.16	0.0016
295.64	30136.19	175.77	171.45	0.0018
320.27	32647.54	175.77	185.74	0.0020
344.91	35158.89	175.77	200.02	0.0023
369.55	37670.24	175.77	214.31	0.0025
394.18	40181.59	175.77	228.60	0.0028
418.82	42692.94	175.77	242.89	0.0031
443.45	45204.29	175.77	257.17	0.0034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 19 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 95895.442 ksc.

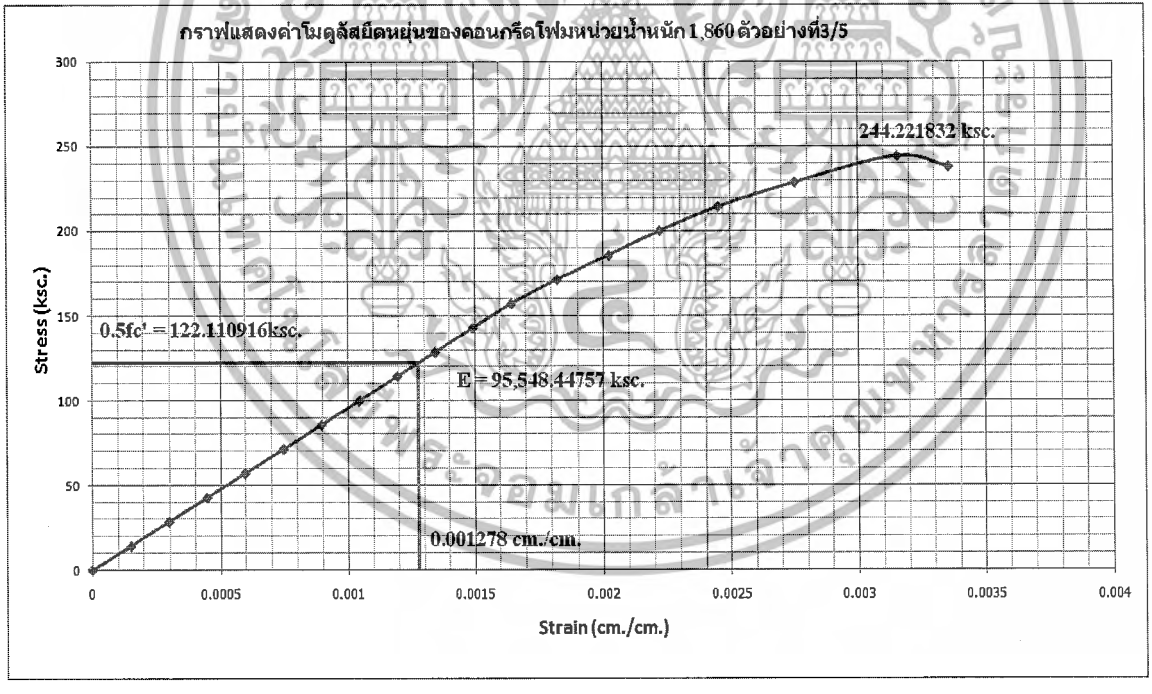
กำลังอัดประลัย (fc') 244.222 ksc

ตารางที่ ผข 30 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	178.13	0.00	0.0000
24.97	2545.04	178.13	14.29	0.0001
49.93	5090.07	178.13	28.57	0.0003
74.90	7635.11	178.13	42.86	0.0004
99.87	10180.14	178.13	57.15	0.0006
124.83	12725.18	178.13	71.44	0.0007
149.80	15270.21	178.13	85.72	0.0009
174.77	17815.25	178.13	100.01	0.0010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
199.73	20360.29	178.13	114.30	0.0012
224.70	22905.32	178.13	128.59	0.0013
249.67	25450.36	178.13	142.87	0.0015
274.63	27995.39	178.13	157.16	0.0016
299.60	30540.43	178.13	171.45	0.0018
324.57	33085.46	178.13	185.74	0.0020
349.54	35630.50	178.13	200.02	0.0022
374.50	38175.54	178.13	214.31	0.0025
399.47	40720.57	178.13	228.60	0.0028
424.44	43265.61	178.13	242.89	0.0032
449.40	45810.64	178.13	257.17	0.0034



รูปที่ ผข 20 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,860 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 95548.448 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d. หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3

ตารางที่ ผข 31 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	29.00	177.89	10.151	45513.472	255.845	121262.747	1967.650
2	15.08	30.00	178.60	10.437	46943.807	262.837	123185.398	1947.879
3	15.12	30.10	179.55	10.586	44280.089	246.612	122206.376	1958.718
4	14.95	30.10	175.54	10.264	45511.414	259.267	123163.926	1942.575
5	15.02	29.50	177.19	10.154	42554.762	240.170	122660.681	1942.609
		เฉลี่ย	177.76	10.318	44960.709	252.946	122495.826	1951.886

ตารางที่ ผข 32 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3ทรงกระบอก อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	30.00	177.19	10.454	39155.833	220.987	98910.456	1966.670
2	15.13	30.20	179.79	10.468	38595.895	214.671	99754.322	1927.920
3	14.90	29.80	174.37	10.257	36809.063	211.102	99017.578	1973.975
4	15.00	30.00	176.71	10.306	37277.765	210.949	98045.233	1944.001
5	15.03	29.70	177.42	10.232	37764.305	212.850	99047.135	1941.763
		เฉลี่ย	177.10	10.343	37920.572	214.112	98954.945	1950.866

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 33 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.98	30.00	176.24	10.245	36639.824	207.893	87876.087	1937.658
2	15.06	29.60	178.13	10.218	37508.003	210.564	88236.549	1937.913
3	14.95	30.00	175.54	10.267	36449.507	207.644	86431.755	1949.620
4	15.00	30.00	176.71	10.286	36602.539	207.128	87698.665	1940.228
5	15.03	29.50	177.42	10.224	35758.902	201.547	88076.716	1953.399
		เฉลี่ย	176.81	10.248	36591.755	206.955	87663.954	1943.764

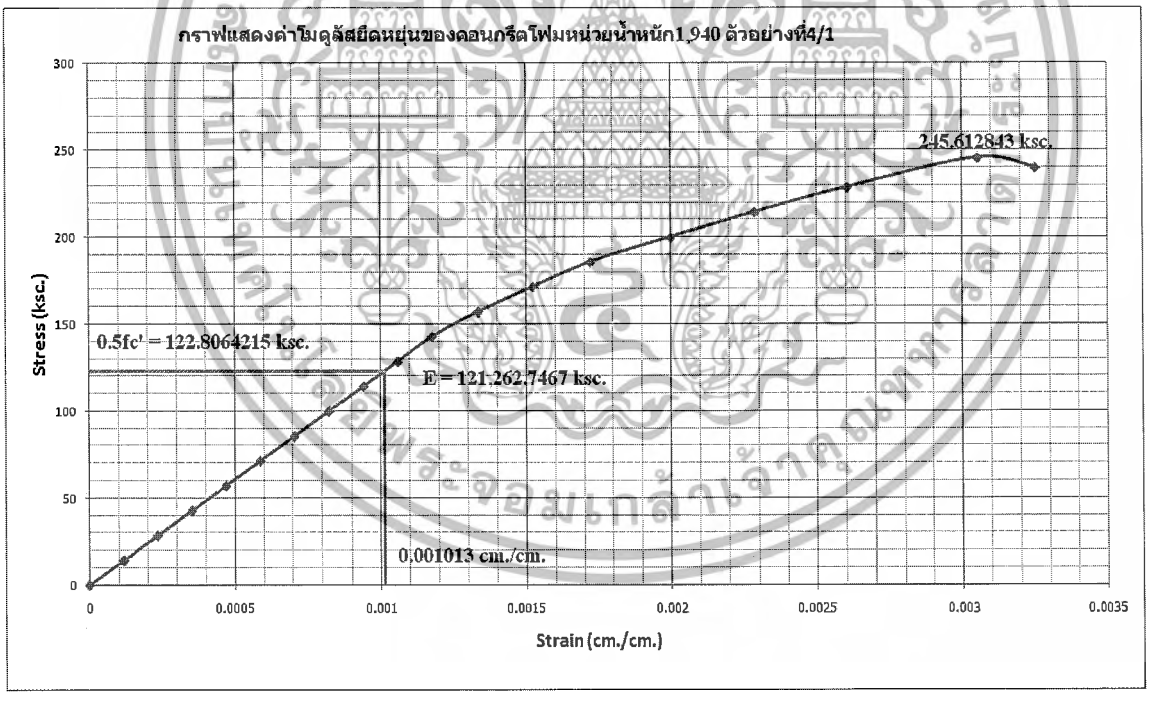
กำลังอัดประลัย (fc') 255.845 ksc

ตารางที่ ผข 34 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.89	0.00	0.0000
24.93	2541.66	177.89	14.29	0.0001
49.87	5083.31	177.89	28.57	0.0002
74.80	7624.97	177.89	42.86	0.0004
99.73	10166.63	177.89	57.15	0.0005
124.67	12708.28	177.89	71.44	0.0006
149.60	15249.94	177.89	85.72	0.0007
174.54	17791.60	177.89	100.01	0.0008
199.47	20333.26	177.89	114.30	0.0009
224.40	22874.91	177.89	128.59	0.0011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
249.34	25416.57	177.89	142.87	0.0012
274.27	27958.23	177.89	157.16	0.0013
299.20	30499.88	177.89	171.45	0.0015
324.14	33041.54	177.89	185.74	0.0017
349.07	35583.20	177.89	200.02	0.0020
374.00	38124.85	177.89	214.31	0.0022
398.94	40666.51	177.89	228.60	0.0026
423.87	43208.17	177.89	242.89	0.0030
448.81	45749.83	177.89	257.17	0.0035
473.74	48291.48	177.89	271.46	0.0037



รูปที่ ผข 21 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 121262.747 ksc.

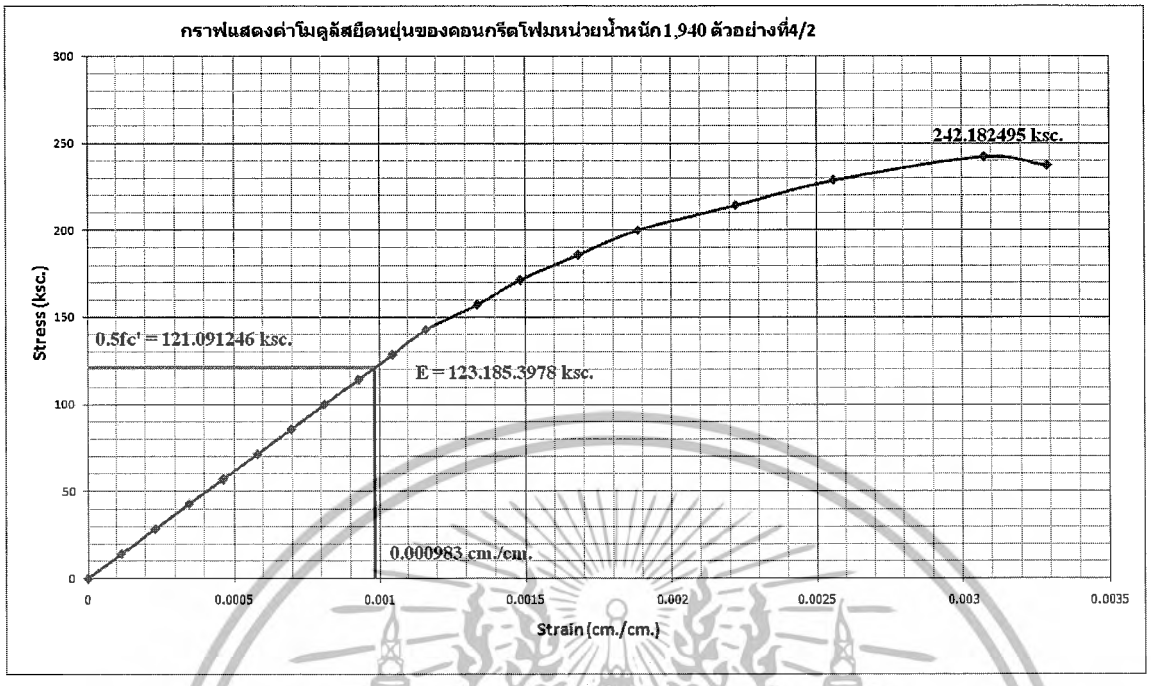
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 262.837 ksc

ตารางที่ ผข 35 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	178.60	0.00	0.0000
25.03	2551.80	178.60	14.29	0.0001
50.07	5103.60	178.60	28.57	0.0002
75.10	7655.40	178.60	42.86	0.0003
100.13	10207.20	178.60	57.15	0.0005
125.17	12759.00	178.60	71.44	0.0006
150.20	15310.80	178.60	85.72	0.0007
175.23	17862.60	178.60	100.01	0.0008
200.27	20414.40	178.60	114.30	0.0009
225.30	22966.20	178.60	128.59	0.0010
250.33	25518.00	178.60	142.87	0.0012
275.36	28069.80	178.60	157.16	0.0013
300.40	30621.60	178.60	171.45	0.0015
325.43	33173.40	178.60	185.74	0.0017
350.46	35725.20	178.60	200.02	0.0019
375.50	38277.00	178.60	214.31	0.0021
400.53	40828.80	178.60	228.60	0.0024
425.56	43380.60	178.60	242.89	0.0027
450.60	45932.40	178.60	257.17	0.0031
475.63	48484.20	178.60	271.46	0.0035
500.66	51036.00	178.60	285.75	0.0036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 22 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 123185.398 ksc.

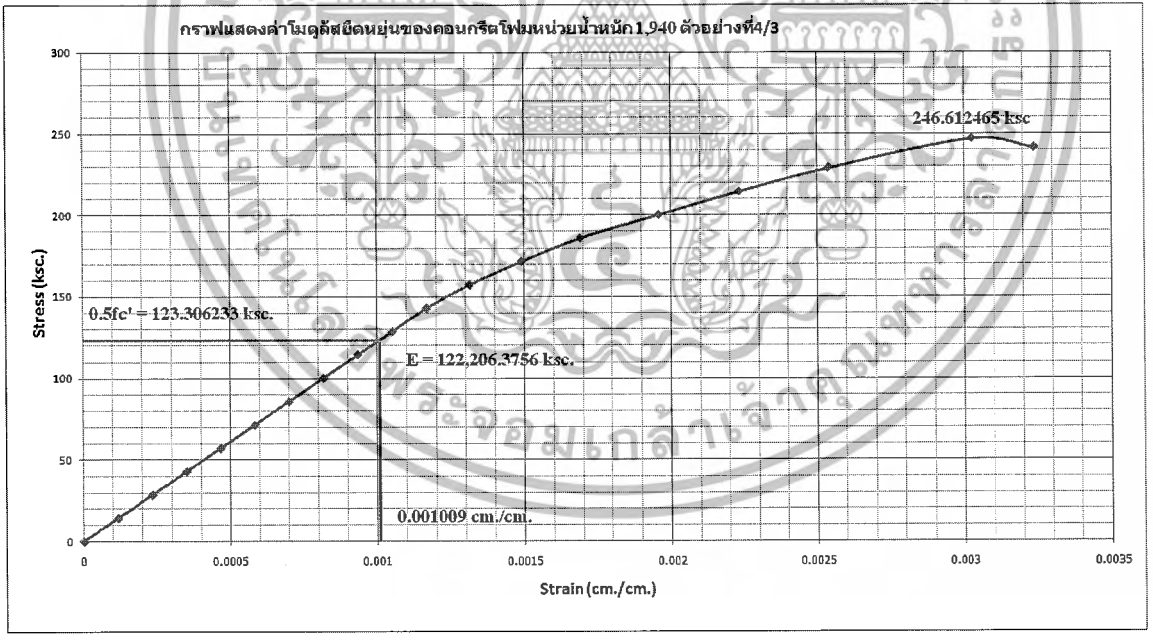
กำลังอัดประลัย (fc') 246.612 ksc

ตารางที่ ผข 36 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	179.55	0.00	0.0000
25.17	2565.36	179.55	14.29	0.0001
50.33	5130.71	179.55	28.57	0.0002
75.50	7696.07	179.55	42.86	0.0004
100.66	10261.42	179.55	57.15	0.0005
125.83	12826.78	179.55	71.44	0.0006
151.00	15392.13	179.55	85.72	0.0007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
176.16	17957.49	179.55	100.01	0.0008
201.33	20522.84	179.55	114.30	0.0009
226.50	23088.20	179.55	128.59	0.0011
251.66	25653.55	179.55	142.87	0.0012
276.83	28218.91	179.55	157.16	0.0013
301.99	30784.26	179.55	171.45	0.0015
327.16	33349.62	179.55	185.74	0.0017
352.33	35914.97	179.55	200.02	0.0020
377.49	38480.33	179.55	214.31	0.0022
402.66	41045.68	179.55	228.60	0.0025
427.82	43611.04	179.55	242.89	0.0030
452.99	46176.40	179.55	257.17	0.0032



รูปที่ ผข 23 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 122206.376 ksc.

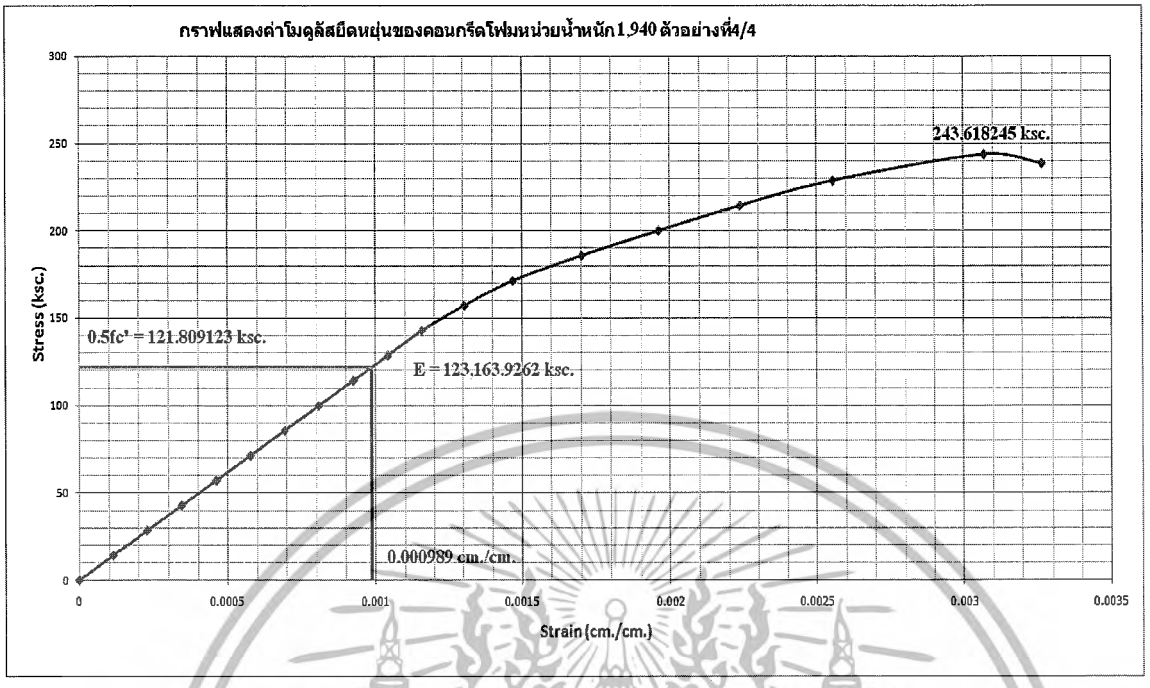
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 259.267 ksc

ตารางที่ ผข 37 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	175.54	0.00	0.0000
24.60	2507.99	175.54	14.29	0.0001
49.21	5015.99	175.54	28.57	0.0002
73.81	7523.98	175.54	42.86	0.0003
98.41	10031.97	175.54	57.15	0.0005
123.02	12539.97	175.54	71.44	0.0006
147.62	15047.96	175.54	85.72	0.0007
172.22	17555.95	175.54	100.01	0.0008
196.83	20063.94	175.54	114.30	0.0009
221.43	22571.94	175.54	128.59	0.0010
246.03	25079.93	175.54	142.87	0.0012
270.64	27587.92	175.54	157.16	0.0013
295.24	30095.92	175.54	171.45	0.0015
319.84	32603.91	175.54	185.74	0.0017
344.45	35111.90	175.54	200.02	0.0019
369.05	37619.90	175.54	214.31	0.0022
393.65	40127.89	175.54	228.60	0.0025
418.26	42635.88	175.54	242.89	0.0029
442.86	45143.87	175.54	257.17	0.0034
467.46	47651.87	175.54	271.46	0.0036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 24 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 123163.926 ksc.

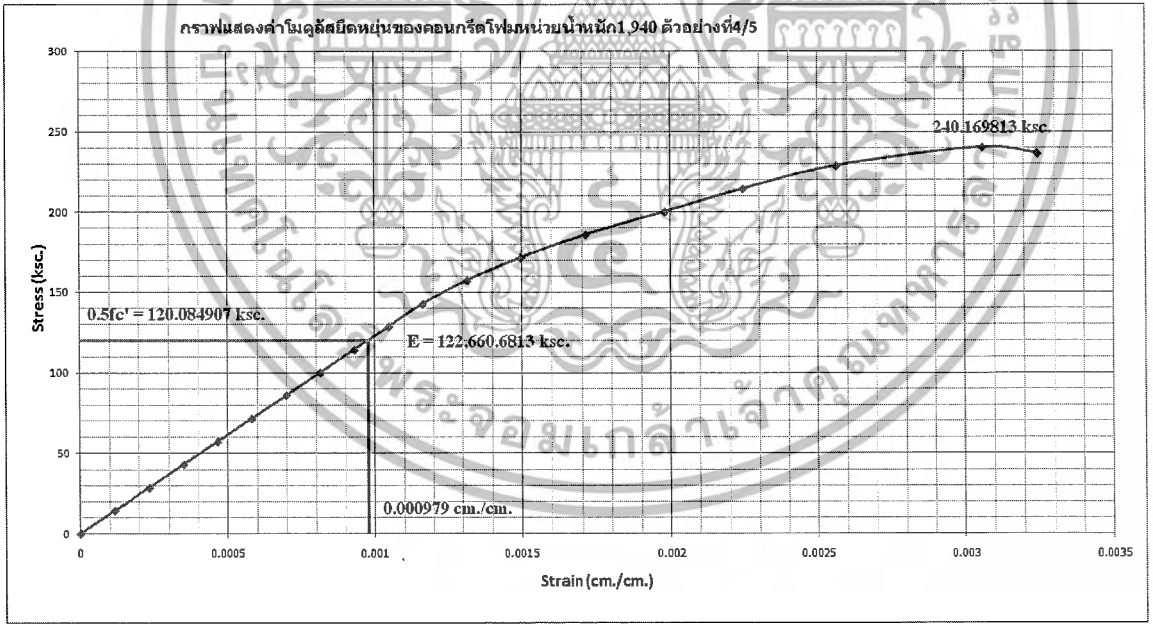
กำลังอัดประลัย (fc') 240.170 ksc

ตารางที่ ผข 38 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.19	0.00	0.0000
24.83	2531.53	177.19	14.29	0.0001
49.67	5063.07	177.19	28.57	0.0002
74.50	7594.60	177.19	42.86	0.0003
99.34	10126.14	177.19	57.15	0.0005
124.17	12657.67	177.19	71.44	0.0006
149.01	15189.21	177.19	85.72	0.0007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
173.84	17720.74	177.19	100.01	0.0008
198.67	20252.27	177.19	114.30	0.0009
223.51	22783.81	177.19	128.59	0.0010
248.34	25315.34	177.19	142.87	0.0012
273.18	27846.88	177.19	157.16	0.0013
298.01	30378.41	177.19	171.45	0.0015
322.85	32909.95	177.19	185.74	0.0017
347.68	35441.48	177.19	200.02	0.0020
372.52	37973.01	177.19	214.31	0.0022
397.35	40504.55	177.19	228.60	0.0026
422.18	43036.08	177.19	242.89	0.0031
447.02	45567.62	177.19	257.17	0.0032



รูปที่ ผข 25 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,940 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 122660.681 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e. หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3

ตารางที่ ผข 39 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.10	29.30	179.08	10.946	46921.004	262.013	174675.609	2086.143
2	14.99	30.00	176.48	10.972	47671.168	270.124	170103.069	2072.390
3	15.05	30.20	177.89	11.113	49630.218	278.987	168265.046	2068.528
4	15.18	29.80	180.98	11.248	51140.434	282.573	165492.899	2085.574
5	15.06	28.90	178.13	10.808	48995.479	275.053	176570.539	2099.460
		เฉลี่ย	178.51	11.017	48871.661	273.750	171021.432	2082.419

ตารางที่ ผข 40 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	30.00	177.89	11.170	38226.536	214.883	151210.871	2092.999
2	15.23	28.90	182.18	11.086	37717.955	207.042	148056.914	2105.656
3	15.05	29.80	177.89	10.986	37697.477	211.909	149806.870	2072.337
4	15.10	30.00	179.08	11.198	37547.059	209.668	151070.976	2084.373
5	15.06	30.20	178.13	6.000	38672.090	217.099	150592.865	1115.333
		เฉลี่ย	179.03	10.088	37972.223	212.120	150147.699	1894.140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 41 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.15	30.00	180.27	11.170	36311.992	201.435	129054.963	2065.460
2	15.24	28.90	182.41	10.977	37210.591	203.989	130132.719	2082.217
3	15.05	29.80	177.89	10.986	37511.755	210.865	128772.998	2072.337
4	15.10	30.00	179.08	11.198	37029.701	206.779	129001.890	2084.373
5	15.06	30.20	178.13	11.166	36495.150	204.878	128659.634	2075.634
		เฉลี่ย	179.56	11.099	36911.838	205.589	129124.441	2076.004

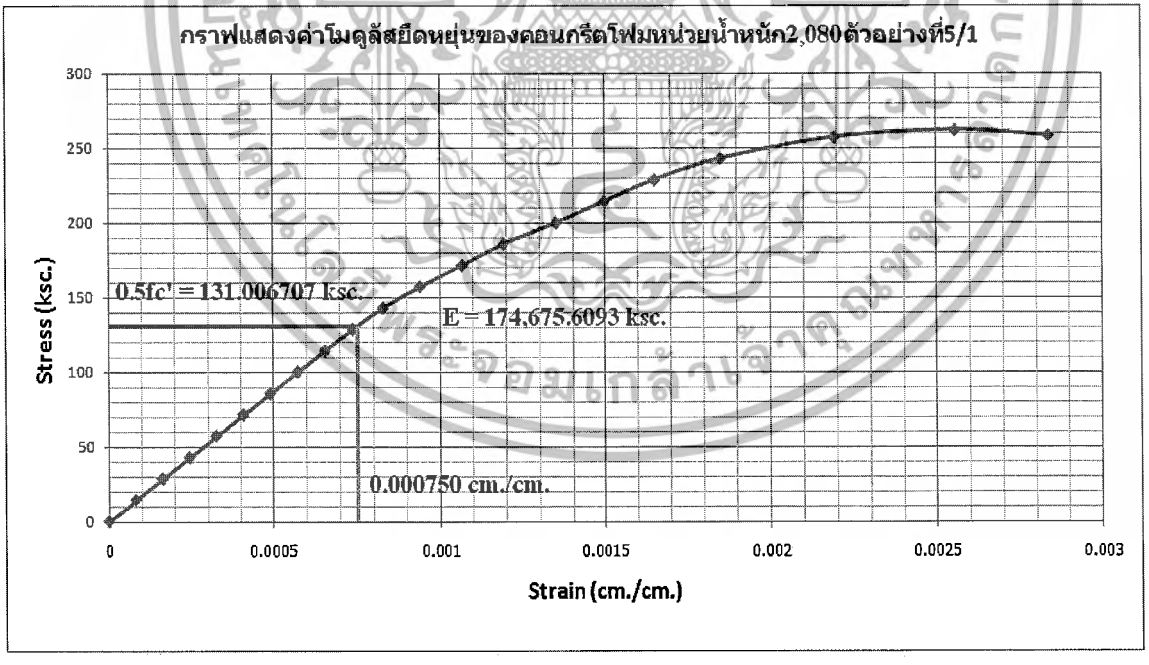
กำลังอัดประลัย (fc') 262.013 ksc

ตารางที่ ผข 42 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	179.08	0.00	0.0000
25.10	2558.57	179.08	14.29	0.0001
50.20	5117.15	179.08	28.57	0.0002
75.30	7675.72	179.08	42.86	0.0002
100.40	10234.29	179.08	57.15	0.0003
125.50	12792.87	179.08	71.44	0.0004
150.60	15351.44	179.08	85.72	0.0005
175.70	17910.01	179.08	100.01	0.0006
200.80	20468.59	179.08	114.30	0.0007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
225.90	23027.16	179.08	128.59	0.0007
251.00	25585.73	179.08	142.87	0.0008
276.10	28144.30	179.08	157.16	0.0009
301.20	30702.88	179.08	171.45	0.0011
326.29	33261.45	179.08	185.74	0.0012
351.39	35820.02	179.08	200.02	0.0014
376.49	38378.60	179.08	214.31	0.0015
401.59	40937.17	179.08	228.60	0.0016
426.69	43495.74	179.08	242.89	0.0019
451.79	46054.32	179.08	257.17	0.0022
476.89	48612.89	179.08	271.46	0.0026
501.99	51171.46	179.08	285.75	0.0028



รูปที่ ผข 26 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 174675.609 ksc.

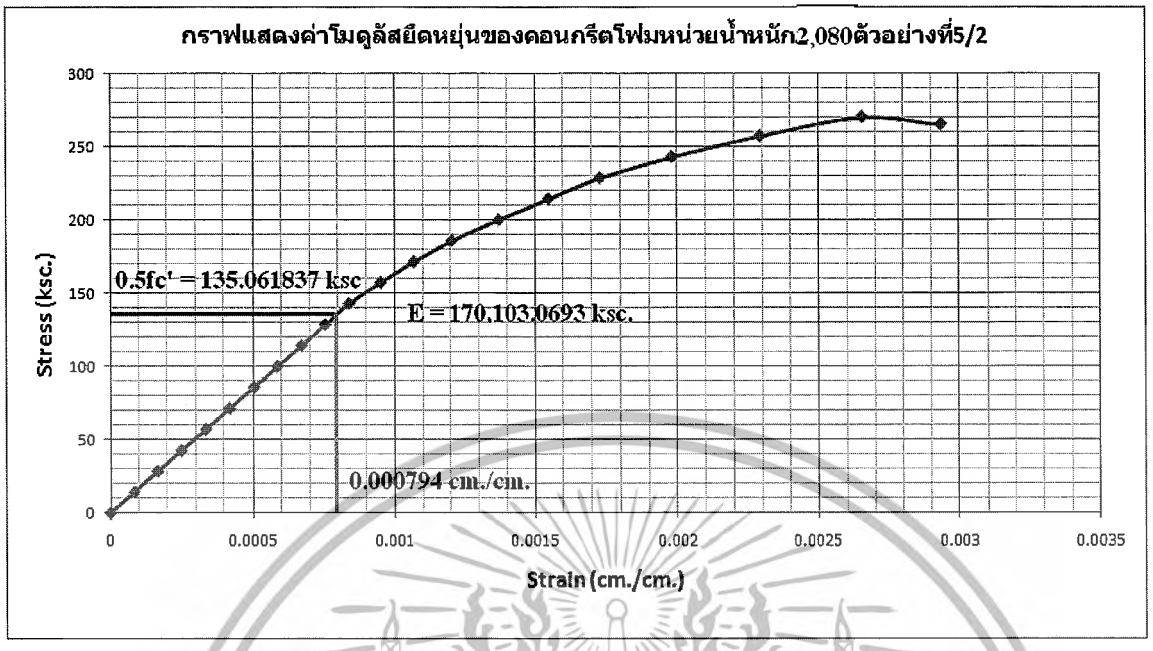
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 270.124 ksc

ตารางที่ ผข 43 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.48	0.00	0.0000
24.74	2521.43	176.48	14.29	0.0001
49.47	5042.86	176.48	28.57	0.0002
74.21	7564.30	176.48	42.86	0.0003
98.94	10085.73	176.48	57.15	0.0003
123.68	12607.16	176.48	71.44	0.0004
148.41	15128.59	176.48	85.72	0.0005
173.15	17650.02	176.48	100.01	0.0006
197.88	20171.45	176.48	114.30	0.0007
222.62	22692.89	176.48	128.59	0.0008
247.35	25214.32	176.48	142.87	0.0008
272.09	27735.75	176.48	157.16	0.0009
296.82	30257.18	176.48	171.45	0.0011
321.56	32778.61	176.48	185.74	0.0012
346.29	35300.04	176.48	200.02	0.0014
371.03	37821.48	176.48	214.31	0.0015
395.76	40342.91	176.48	228.60	0.0017
420.50	42864.34	176.48	242.89	0.0020
445.23	45385.77	176.48	257.17	0.0023
469.97	47907.20	176.48	271.46	0.0027
494.70	50428.63	176.48	285.75	0.0029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 27 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 170103.069 ksc.

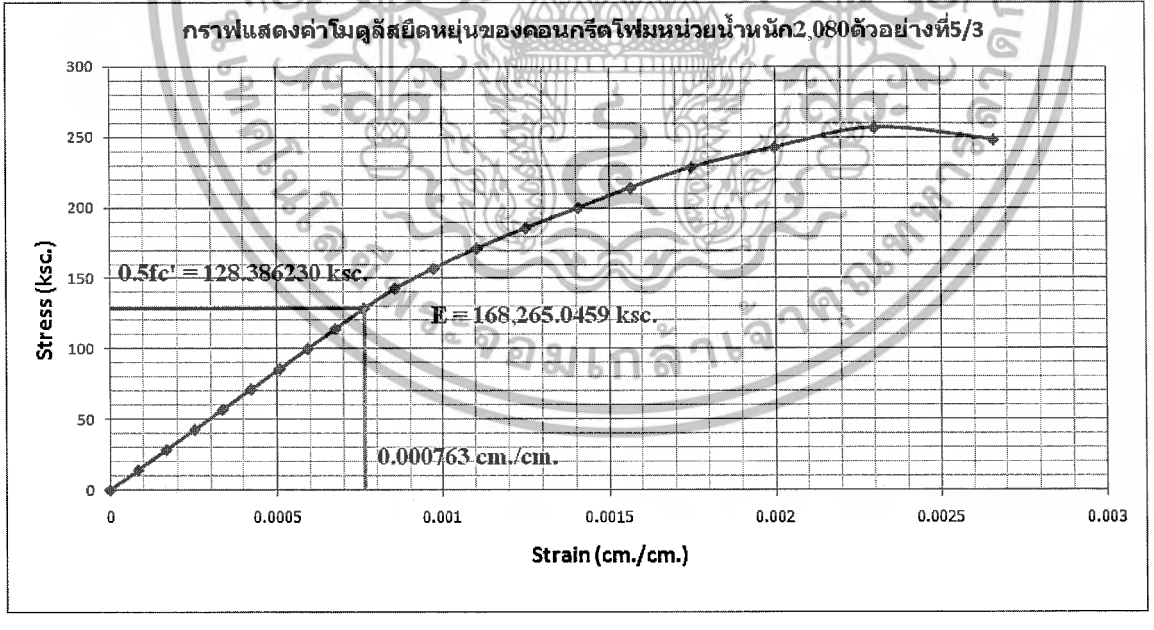
กำลังอัดประลัย (fc') 278.987 ksc

ตารางที่ ผข 44 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.89	0.00	0.0000
24.93	2541.66	177.89	14.29	0.0001
49.87	5083.31	177.89	28.57	0.0002
74.80	7624.97	177.89	42.86	0.0003
99.73	10166.63	177.89	57.15	0.0003
124.67	12708.28	177.89	71.44	0.0004
149.60	15249.94	177.89	85.72	0.0005
174.54	17791.60	177.89	100.01	0.0006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
199.47	20333.26	177.89	114.30	0.0007
224.40	22874.91	177.89	128.59	0.0008
249.34	25416.57	177.89	142.87	0.0009
274.27	27958.23	177.89	157.16	0.0010
299.20	30499.88	177.89	171.45	0.0011
324.14	33041.54	177.89	185.74	0.0012
349.07	35583.20	177.89	200.02	0.0014
374.00	38124.85	177.89	214.31	0.0015
398.94	40666.51	177.89	228.60	0.0017
423.87	43208.17	177.89	242.89	0.0019
448.81	45749.83	177.89	257.17	0.0022
473.74	48291.48	177.89	271.46	0.0027
498.67	50833.14	177.89	285.75	0.0030



รูปที่ ผข 28 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 168265.046 ksc.

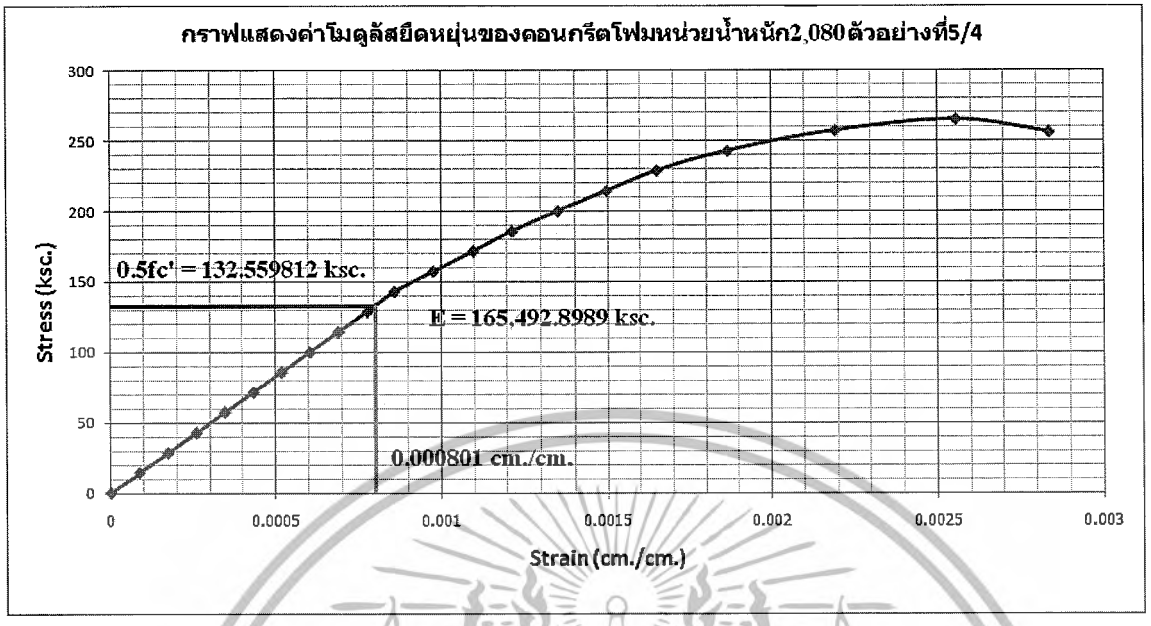
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 282.573 ksc

ตารางที่ ผข 45 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	180.98	0.00	0.0000
25.37	2585.76	180.98	14.29	0.0001
50.73	5171.51	180.98	28.57	0.0002
76.10	7757.27	180.98	42.86	0.0003
101.47	10343.02	180.98	57.15	0.0003
126.83	12928.78	180.98	71.44	0.0004
152.20	15514.53	180.98	85.72	0.0005
177.56	18100.29	180.98	100.01	0.0006
202.93	20686.05	180.98	114.30	0.0007
228.30	23271.80	180.98	128.59	0.0008
253.66	25857.56	180.98	142.87	0.0009
279.03	28443.31	180.98	157.16	0.0010
304.40	31029.07	180.98	171.45	0.0011
329.76	33614.82	180.98	185.74	0.0012
355.13	36200.58	180.98	200.02	0.0014
380.49	38786.33	180.98	214.31	0.0015
405.86	41372.09	180.98	228.60	0.0016
431.23	43957.85	180.98	242.89	0.0019
456.59	46543.60	180.98	257.17	0.0021
481.96	49129.36	180.98	271.46	0.0025
507.33	51715.11	180.98	285.75	0.0028
532.69	54300.87	180.98	300.04	0.0030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 29 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 165492.899 ksc.

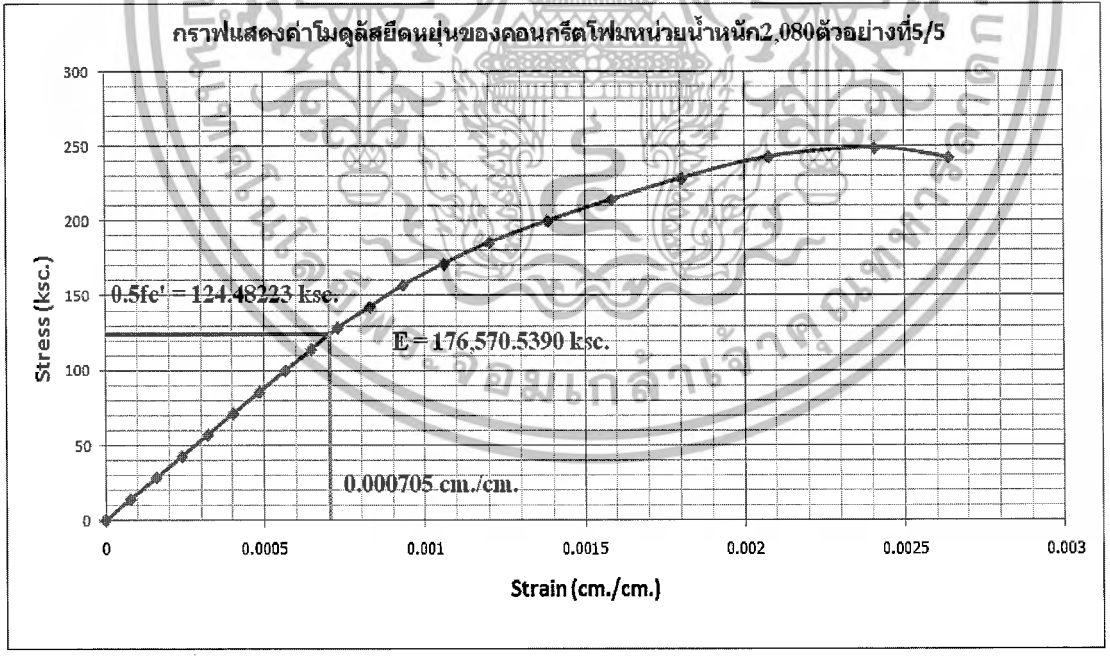
กำลังอัดประลัย (fc') 275.053 ksc

ตารางที่ ผข 46 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	178.13	0.00	0.0000
24.97	2545.04	178.13	14.29	0.0001
49.93	5090.07	178.13	28.57	0.0002
74.90	7635.11	178.13	42.86	0.0002
99.87	10180.14	178.13	57.15	0.0003
124.83	12725.18	178.13	71.44	0.0004
149.80	15270.21	178.13	85.72	0.0005
174.77	17815.25	178.13	100.01	0.0006
199.73	20360.29	178.13	114.30	0.0006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
224.70	22905.32	178.13	128.59	0.0007
249.67	25450.36	178.13	142.87	0.0008
274.63	27995.39	178.13	157.16	0.0009
299.60	30540.43	178.13	171.45	0.0011
324.57	33085.46	178.13	185.74	0.0012
349.54	35630.50	178.13	200.02	0.0014
374.50	38175.54	178.13	214.31	0.0016
399.47	40720.57	178.13	228.60	0.0018
424.44	43265.61	178.13	242.89	0.0021
449.40	45810.64	178.13	257.17	0.0024
474.37	48355.68	178.13	271.46	0.0028
499.34	50900.71	178.13	285.75	0.0032
524.30	53445.75	178.13	300.04	0.0034



รูปที่ ผข 30 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,080 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 176570.539 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ข้อมูลการทดสอบคาน

- การทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก
  - คอนกรีตธรรมดา

ตารางที่ ผข 47 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.00	29.50	176.71	12.594	44342.508	250.927	236717.00	2415.772
2	14.98	29.80	176.24	12.612	41794.088	237.138	228023.00	2425.813
3	15.00	29.80	176.71	12.514	43832.824	248.043	206697.00	2400.427
4	15.00	30.00	176.27	12.564	42813.456	242.275	288414.00	2410.018
5	15.00	29.60	176.77	12.453	42303.772	239.390	178645.00	2388.726
		เฉลี่ย	176.62	12.547	43017.330	243.555	227699.20	2408.151

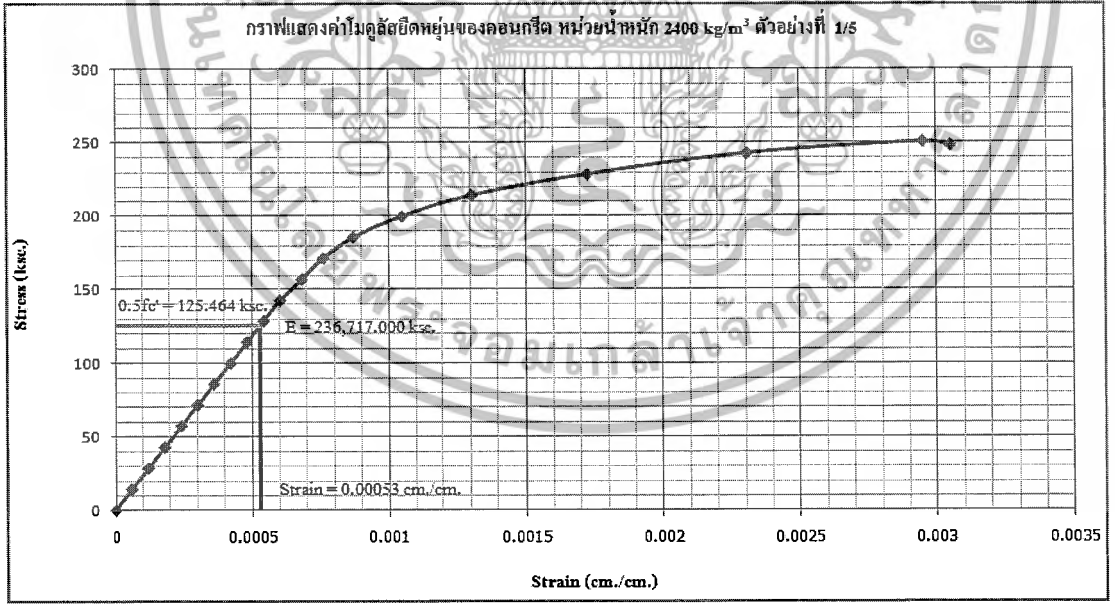
กำลังอัดประลัย (fc') 250.927 ksc

ตารางที่ ผข 48 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0015
24.77	2524.73	176.71	14.29	0.0001
49.54	5049.46	176.71	28.57	0.0001
74.30	7574.19	176.71	42.86	0.0002
99.07	10098.93	176.71	57.15	0.0002
123.84	12623.66	176.71	71.44	0.0003
148.61	15148.39	176.71	85.72	0.0004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
173.37	17673.12	176.71	100.01	0.0004
198.14	20197.85	176.71	114.30	0.0005
222.91	22722.58	176.71	128.59	0.0005
247.68	25247.31	176.71	142.87	0.0006
272.44	27772.05	176.71	157.16	0.0007
297.21	30296.78	176.71	171.45	0.0008
321.98	32821.51	176.71	185.74	0.0009
346.75	35346.24	176.71	200.02	0.0011
371.51	37870.97	176.71	214.31	0.0013
396.28	40395.70	176.71	228.60	0.0017
421.05	42920.43	176.71	242.89	0.0023
445.82	45445.17	176.71	257.17	0.0030
470.58	47969.90	176.71	271.46	0.0031



รูปที่ ผข 31 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 236,717 ksc.

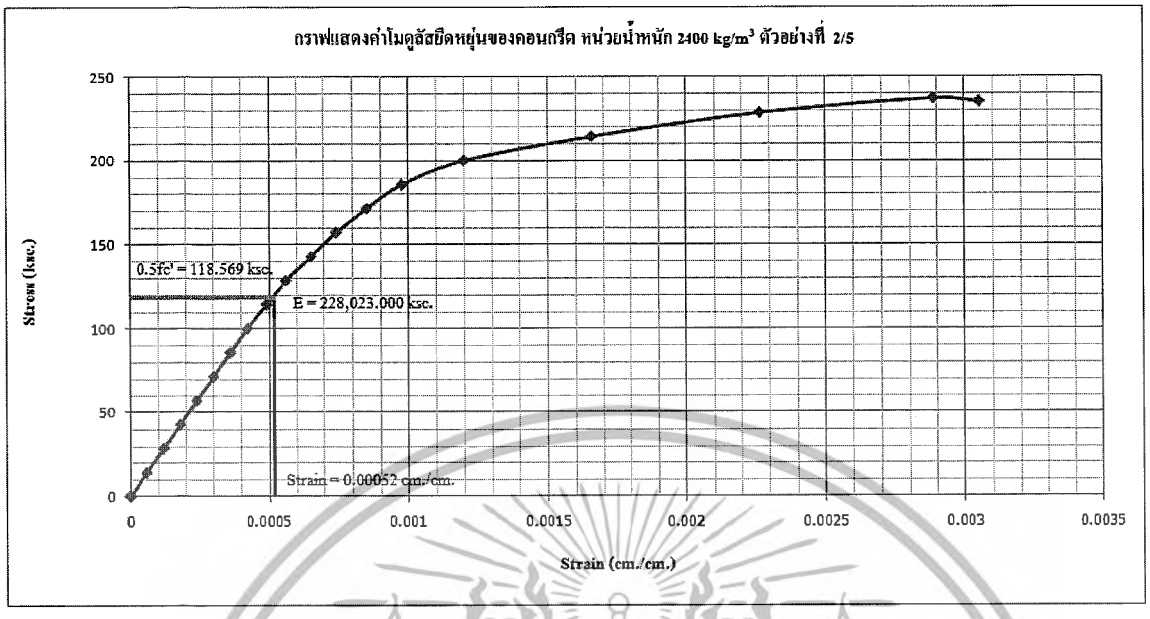
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 237.138 ksc

ตารางที่ ผข 49 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.24	0.00	0.0000
24.70	2518.02	176.24	14.29	0.0001
49.40	5036.03	176.24	28.57	0.0001
74.11	7554.05	176.24	42.86	0.0002
98.81	10072.07	176.24	57.15	0.0002
123.51	12590.08	176.24	71.44	0.0003
148.21	15108.10	176.24	85.72	0.0004
172.91	17626.11	176.24	100.01	0.0004
197.61	20144.13	176.24	114.30	0.0005
222.32	22662.15	176.24	128.59	0.0006
247.02	25180.16	176.24	142.87	0.0007
271.72	27698.18	176.24	157.16	0.0007
296.42	30216.20	176.24	171.45	0.0009
321.12	32734.21	176.24	185.74	0.0010
345.82	35252.23	176.24	200.02	0.0012
370.53	37770.24	176.24	214.31	0.0017
395.23	40288.26	176.24	228.60	0.0023
419.93	42806.28	176.24	242.89	0.0029
444.63	45324.29	176.24	257.17	0.0031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 32 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 228,023 ksc.

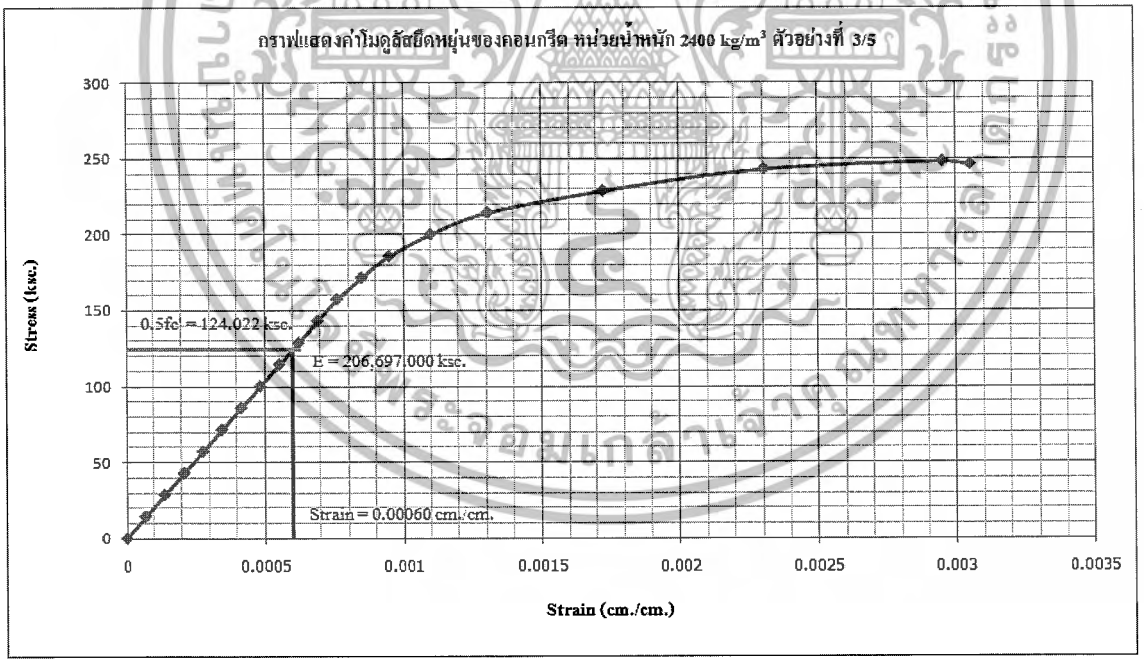
กำลังอัดประลัย (fc') 248.043 ksc

ตารางที่ ผข 50 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
24.77	2524.73	176.71	14.29	0.0001
49.54	5049.46	176.71	28.57	0.0001
74.30	7574.19	176.71	42.86	0.0002
99.07	10098.93	176.71	57.15	0.0003
123.84	12623.66	176.71	71.44	0.0003
148.61	15148.39	176.71	85.72	0.0004
173.37	17673.12	176.71	100.01	0.0005
198.14	20197.85	176.71	114.30	0.0006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
222.91	22722.58	176.71	128.59	0.0006
247.68	25247.31	176.71	142.87	0.0007
272.44	27772.05	176.71	157.16	0.0008
297.21	30296.78	176.71	171.45	0.0008
321.98	32821.51	176.71	185.74	0.0009
346.75	35346.24	176.71	200.02	0.0011
371.51	37870.97	176.71	214.31	0.0013
396.28	40395.70	176.71	228.60	0.0017
421.05	42920.43	176.71	242.89	0.0023
445.82	45445.17	176.71	257.17	0.0030
470.58	47969.90	176.71	271.46	0.0031



รูปที่ ผข 33 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 206,697 ksc.

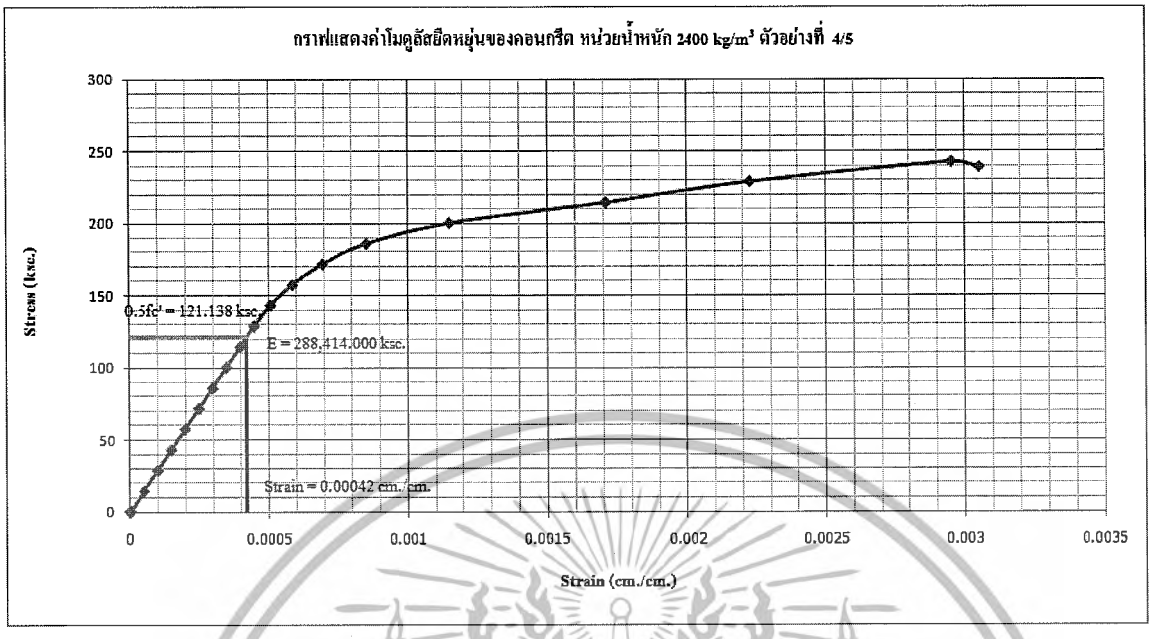
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 242.275 ksc

ตารางที่ ผข 51 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.27	0.00	0.0000
24.71	2518.44	176.27	14.29	0.0000
49.41	5036.89	176.27	28.57	0.0001
74.12	7555.33	176.27	42.86	0.0001
98.82	10073.78	176.27	57.15	0.0002
123.53	12592.22	176.27	71.44	0.0002
148.24	15110.67	176.27	85.72	0.0003
172.94	17629.11	176.27	100.01	0.0003
197.65	20147.56	176.27	114.30	0.0004
222.35	22666.00	176.27	128.59	0.0004
247.06	25184.45	176.27	142.87	0.0005
271.77	27702.89	176.27	157.16	0.0006
296.47	30221.34	176.27	171.45	0.0007
321.18	32739.78	176.27	185.74	0.0009
345.88	35258.23	176.27	200.02	0.0012
370.59	37776.67	176.27	214.31	0.0017
395.30	40295.12	176.27	228.60	0.0022
420.00	42813.56	176.27	242.89	0.0030
444.71	45332.01	176.27	257.17	0.0031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 34 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 288,414 ksc.

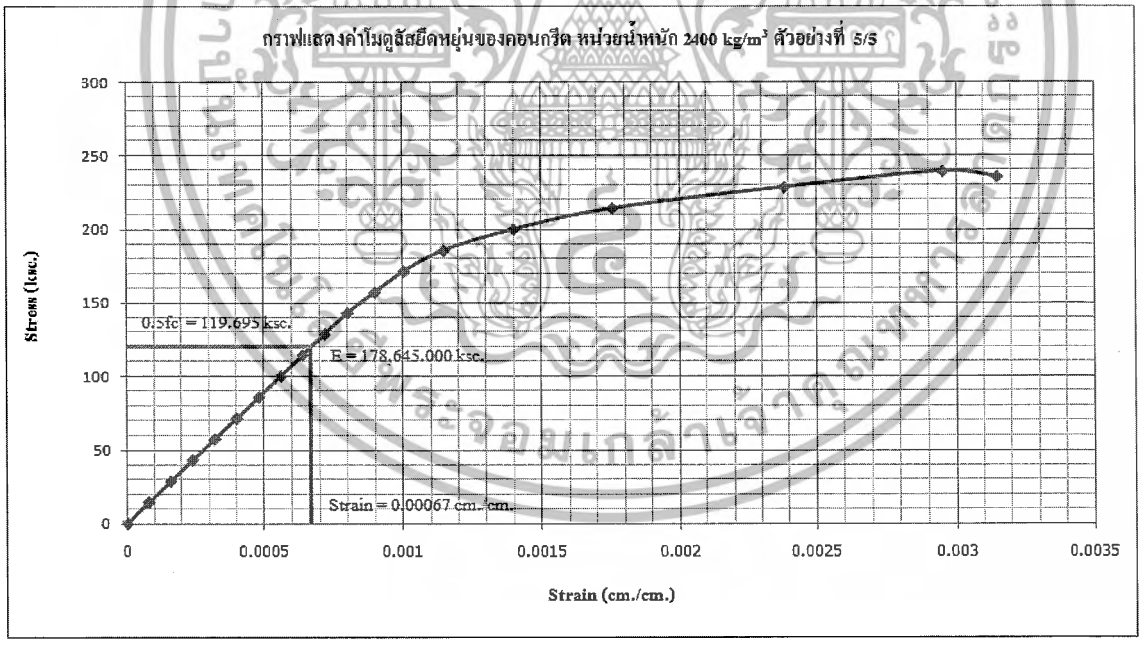
กำลังอัดประลัย (fc') 239.390 ksc

ตารางที่ ผข 52 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตทรงกระบอกอายุ 28 วัน ตัวอย่างที่5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.77	0.00	0.0000
24.78	2525.59	176.77	14.29	0.0001
49.55	5051.18	176.77	28.57	0.0002
74.33	7576.77	176.77	42.86	0.0002
99.10	10102.35	176.77	57.15	0.0003
123.88	12627.94	176.77	71.44	0.0004
148.66	15153.53	176.77	85.72	0.0005
173.43	17679.12	176.77	100.01	0.0006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
198.21	20204.71	176.77	114.30	0.0006
222.98	22730.30	176.77	128.59	0.0007
247.76	25255.89	176.77	142.87	0.0008
272.54	27781.48	176.77	157.16	0.0009
297.31	30307.06	176.77	171.45	0.0010
322.09	32832.65	176.77	185.74	0.0011
346.86	35358.24	176.77	200.02	0.0014
371.64	37883.83	176.77	214.31	0.0018
396.42	40409.42	176.77	228.60	0.0024
421.19	42935.01	176.77	242.89	0.0030
445.97	45460.60	176.77	257.17	0.0032



รูปที่ ผข 35 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 2,400 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 178,645 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์

  a. หน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3

ตารางที่ ผข 53 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.00	30.00	176.71	9.810	43657.054	247.048	95524.913	1850.441
2	15.02	30.05	177.19	9.850	42757.779	241.316	96254.065	1849.959
3	15.00	30.00	176.71	9.820	43062.245	243.682	95324.681	1852.328
4	14.95	30.02	175.54	9.740	43127.011	245.684	96204.315	1848.315
5	15.03	30.00	177.42	9.860	43330.363	244.222	95249.462	1852.456
		เฉลี่ย	176.72	9.816	43186.890	244.390	95711.487	1850.700

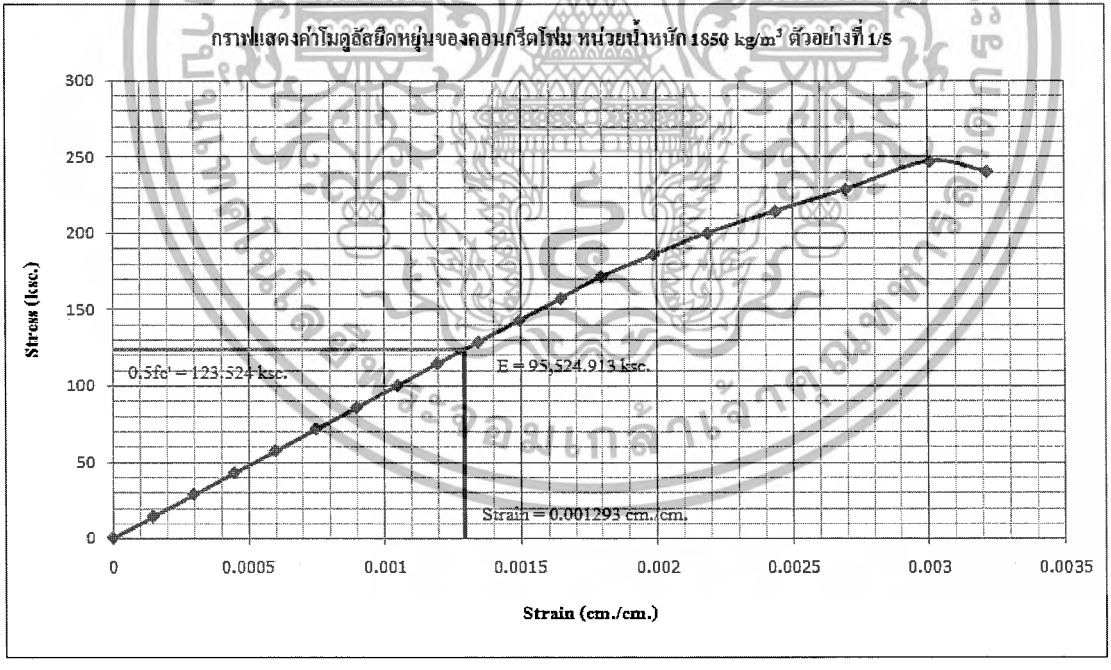
กำลังอัดประลัย (fc') 247.048 ksc

ตารางที่ ผข 54 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
24.77	2524.73	176.71	14.29	0.0001
49.54	5049.46	176.71	28.57	0.0003
74.30	7574.19	176.71	42.86	0.0004
99.07	10098.93	176.71	57.15	0.0006
123.84	12623.66	176.71	71.44	0.0007
148.61	15148.39	176.71	85.72	0.0009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
173.37	17673.12	176.71	100.01	0.0010
198.14	20197.85	176.71	114.30	0.0012
222.91	22722.58	176.71	128.59	0.0013
247.68	25247.31	176.71	142.87	0.0015
272.44	27772.05	176.71	157.16	0.0016
297.21	30296.78	176.71	171.45	0.0018
321.98	32821.51	176.71	185.74	0.0020
346.75	35346.24	176.71	200.02	0.0022
371.51	37870.97	176.71	214.31	0.0024
396.28	40395.70	176.71	228.60	0.0027
421.05	42920.43	176.71	242.89	0.0030
445.82	45445.17	176.71	257.17	0.0032



รูปที่ ผข 36 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 95,524.913 ksc.

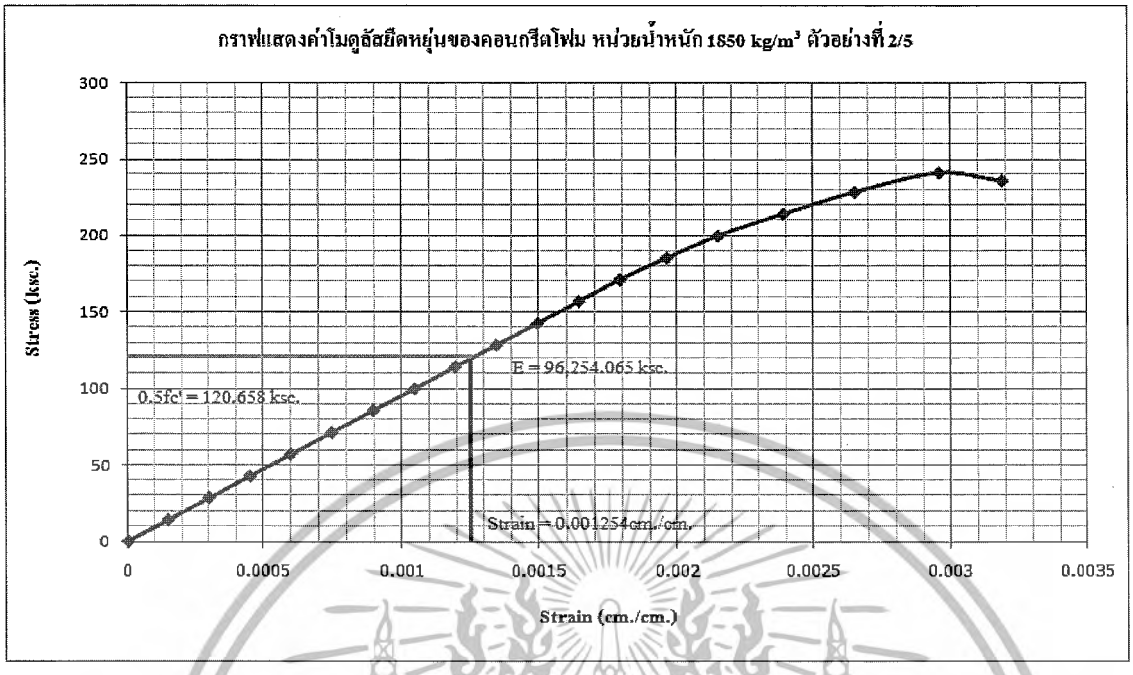
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 241.316 ksc

ตารางที่ ผข 55 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.19	0.00	0.0000
24.83	2531.59	177.19	14.29	0.0001
49.67	5063.18	177.19	28.57	0.0003
74.50	7594.77	177.19	42.86	0.0004
99.34	10126.36	177.19	57.15	0.0006
124.17	12657.95	177.19	71.44	0.0007
149.01	15189.54	177.19	85.72	0.0009
173.84	17721.13	177.19	100.01	0.0010
198.68	20252.72	177.19	114.30	0.0012
223.51	22784.30	177.19	128.59	0.0013
248.35	25315.89	177.19	142.87	0.0015
273.18	27847.48	177.19	157.16	0.0016
298.02	30379.07	177.19	171.45	0.0018
322.85	32910.66	177.19	185.74	0.0020
347.69	35442.25	177.19	200.02	0.0022
372.52	37973.84	177.19	214.31	0.0024
397.36	40505.43	177.19	228.60	0.0026
422.19	43037.02	177.19	242.89	0.0030
447.03	45568.61	177.19	257.17	0.0032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 37 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 96254.065 ksc.

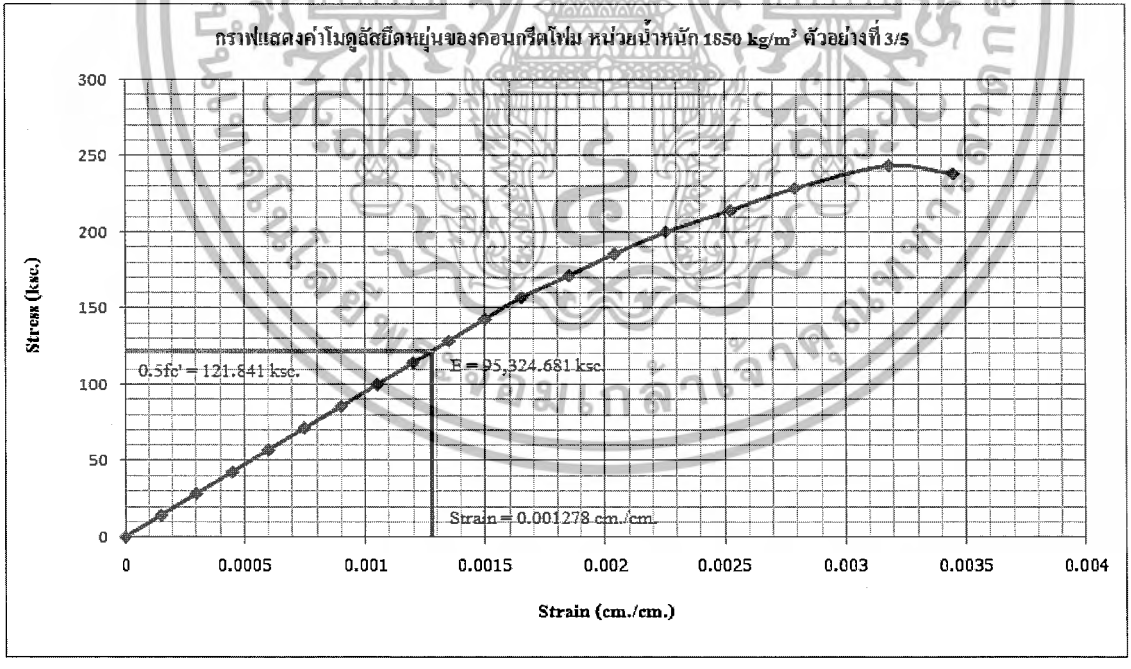
กำลังอัดประลัย (fc') 243.682 ksc

ตารางที่ ผข 56 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
24.77	2524.73	176.71	14.29	0.0002
49.54	5049.46	176.71	28.57	0.0003
74.30	7574.19	176.71	42.86	0.0005
99.07	10098.93	176.71	57.15	0.0006
123.84	12623.66	176.71	71.44	0.0008
148.61	15148.39	176.71	85.72	0.0009
173.37	17673.12	176.71	100.01	0.0011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
198.14	20197.85	176.71	114.30	0.0012
222.91	22722.58	176.71	128.59	0.0014
247.68	25247.31	176.71	142.87	0.0015
272.44	27772.05	176.71	157.16	0.0017
297.21	30296.78	176.71	171.45	0.0019
321.98	32821.51	176.71	185.74	0.0020
346.75	35346.24	176.71	200.02	0.0023
371.51	37870.97	176.71	214.31	0.0025
396.28	40395.70	176.71	228.60	0.0028
421.05	42920.43	176.71	242.89	0.0032
445.82	45445.17	176.71	257.17	0.0035
470.58	47969.90	176.71	271.46	0.0031



รูปที่ ผข 38 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 95324.681 ksc.

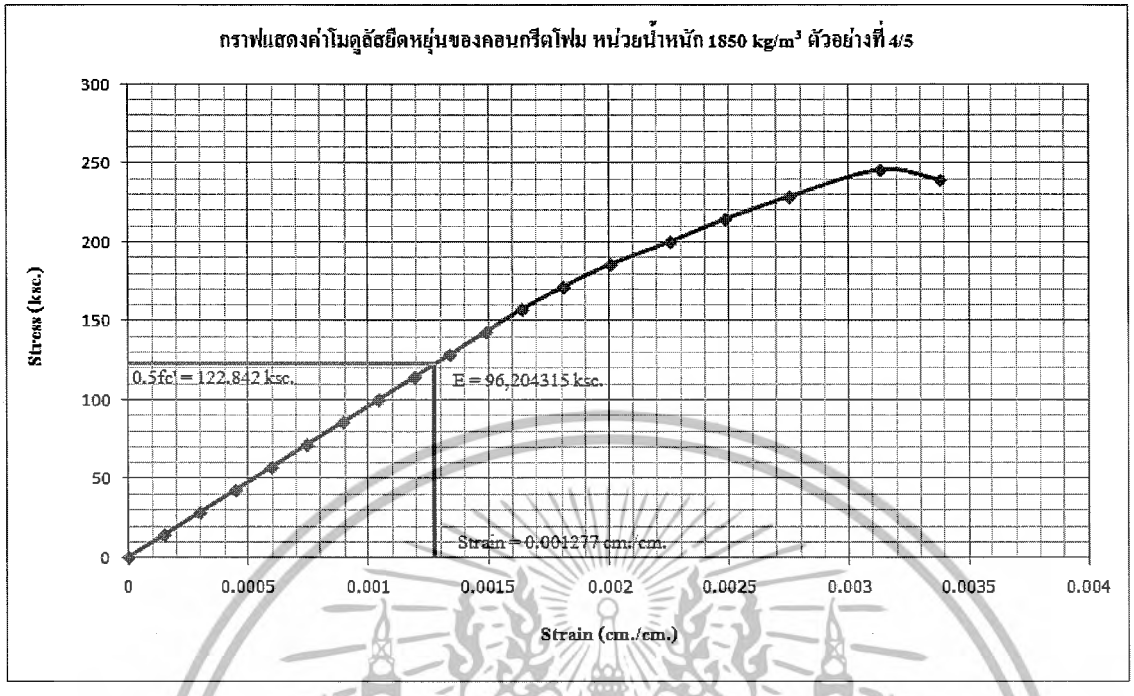
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 245.684 ksc

ตารางที่ ผข 57 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	175.54	0.00	0.0000
24.60	2508.02	175.54	14.29	0.0001
49.21	5016.03	175.54	28.57	0.0003
73.81	7524.05	175.54	42.86	0.0004
98.41	10032.06	175.54	57.15	0.0006
123.02	12540.08	175.54	71.44	0.0007
147.62	15048.09	175.54	85.72	0.0009
172.23	17556.11	175.54	100.01	0.0010
196.83	20064.12	175.54	114.30	0.0012
221.43	22572.14	175.54	128.59	0.0013
246.04	25080.15	175.54	142.87	0.0015
270.64	27588.17	175.54	157.16	0.0016
295.24	30096.18	175.54	171.45	0.0018
319.85	32604.20	175.54	185.74	0.0020
344.45	35112.21	175.54	200.02	0.0023
369.05	37620.23	175.54	214.31	0.0025
393.66	40128.24	175.54	228.60	0.0028
418.26	42636.26	175.54	242.89	0.0031
442.87	45144.27	175.54	257.17	0.0034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 39 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 96204.315 ksc.

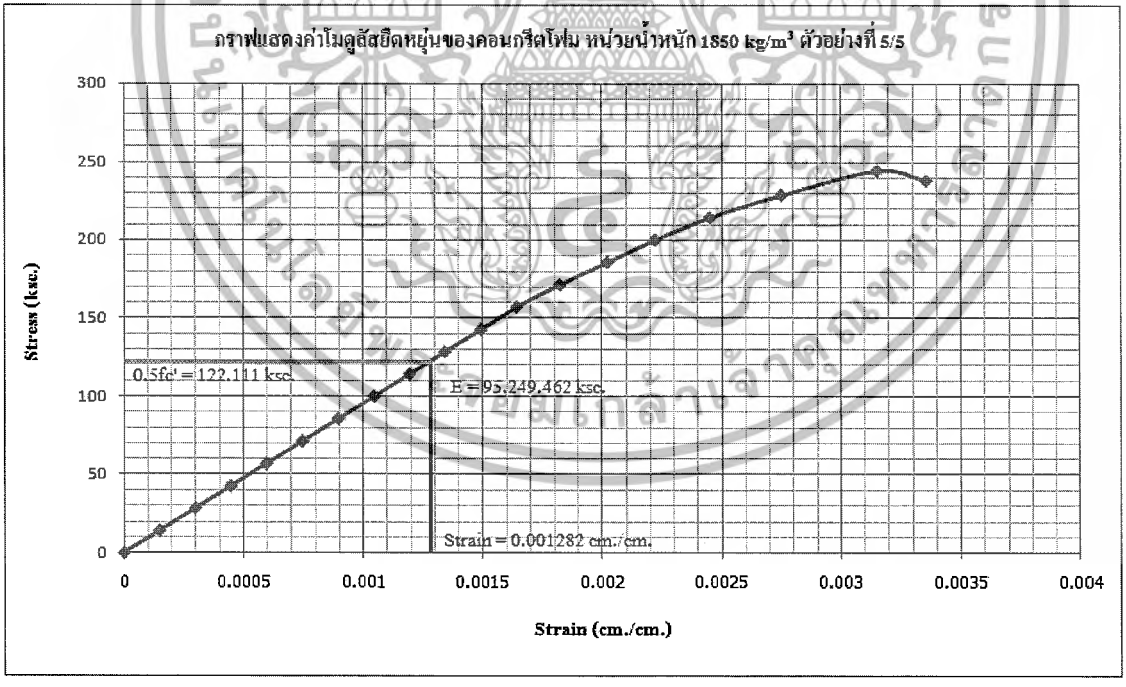
กำลังอัดประลัย (fc') 244.222 ksc

ตารางที่ ผข 58 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.42	0.00	0.0000
24.87	2534.88	177.42	14.29	0.0001
49.73	5069.75	177.42	28.57	0.0003
74.60	7604.63	177.42	42.86	0.0004
99.47	10139.50	177.42	57.15	0.0006
124.34	12674.38	177.42	71.44	0.0007
149.20	15209.25	177.42	85.72	0.0009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
174.07	17744.13	177.42	100.01	0.0010
198.94	20279.00	177.42	114.30	0.0012
223.80	22813.88	177.42	128.59	0.0013
248.67	25348.75	177.42	142.87	0.0015
273.54	27883.63	177.42	157.16	0.0016
298.41	30418.51	177.42	171.45	0.0018
323.27	32953.38	177.42	185.74	0.0020
348.14	35488.26	177.42	200.02	0.0022
373.01	38023.13	177.42	214.31	0.0025
397.87	40558.01	177.42	228.60	0.0028
422.74	43092.88	177.42	242.89	0.0032
447.61	45627.76	177.42	257.17	0.0034



รูปที่ ผข 40 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 95249.462 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. หน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3

ตารางที่ ผข 59 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมโฟม หน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3ทรงกระบอก อายุ 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of elasticity (Ec) (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	30.00	177.19	10.358	45269.548	255.491	159485.228	1948.610
2	15.05	30.00	177.89	10.422	45257.050	254.404	161532.483	1952.841
3	15.00	30.00	176.71	10.346	45225.672	255.925	157906.354	1951.546
4	15.00	30.00	176.71	10.334	45768.514	258.997	158786.598	1949.283
5	14.98	30.05	176.24	10.324	45246.284	256.726	160854.672	1949.351
		เฉลี่ย	176.95	10.357	45353.414	256.309	159713.067	1950.326

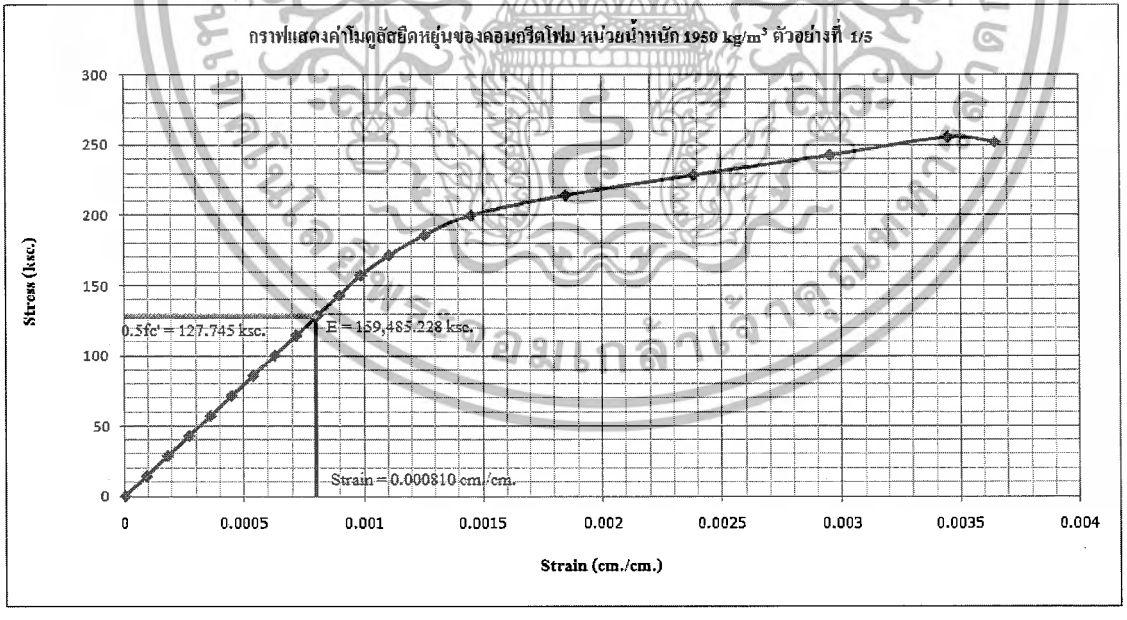
กำลังอัดประลัย (fc') 255.491 ksc

ตารางที่ ผข 60 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.19	0.00	0.0015
24.83	2531.59	177.19	14.29	0.0001
49.67	5063.18	177.19	28.57	0.0002
74.50	7594.77	177.19	42.86	0.0003
99.34	10126.36	177.19	57.15	0.0004
124.17	12657.95	177.19	71.44	0.0004
149.01	15189.54	177.19	85.72	0.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
173.84	17721.13	177.19	100.01	0.0006
198.68	20252.72	177.19	114.30	0.0007
223.51	22784.30	177.19	128.59	0.0008
248.35	25315.89	177.19	142.87	0.0009
273.18	27847.48	177.19	157.16	0.0010
298.02	30379.07	177.19	171.45	0.0011
322.85	32910.66	177.19	185.74	0.0013
347.69	35442.25	177.19	200.02	0.0015
372.52	37973.84	177.19	214.31	0.0018
397.36	40505.43	177.19	228.60	0.0024
422.19	43037.02	177.19	242.89	0.0030
447.03	45568.61	177.19	257.17	0.0035
471.86	48100.20	177.19	271.46	0.0037



รูปที่ ผข 41 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 1

Initial Tangent Modulus Elastic = 159485.228 ksc.

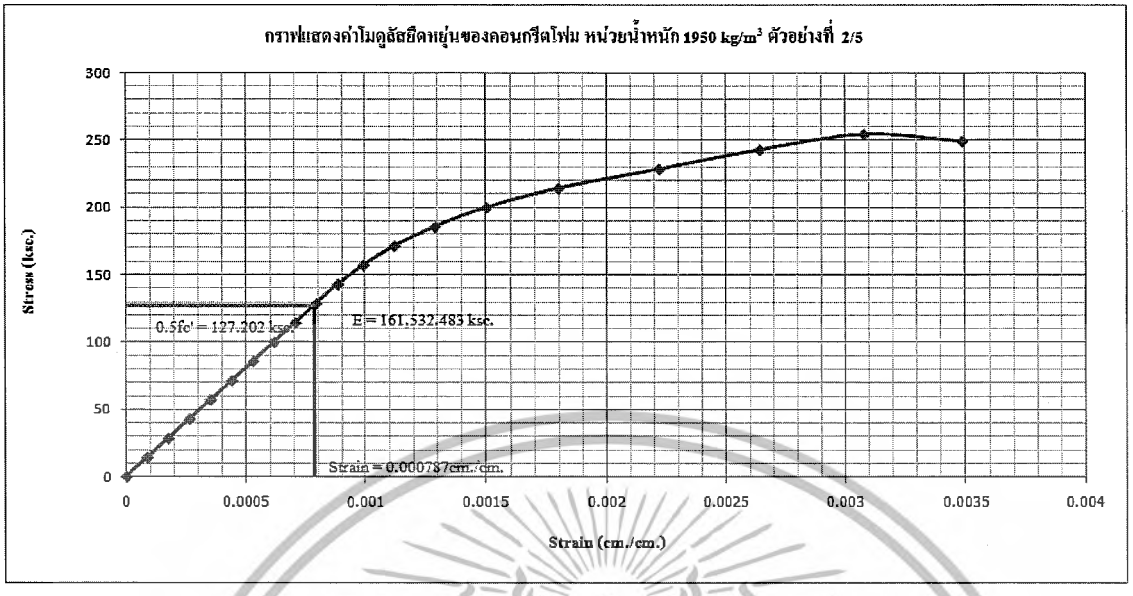
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 254.404 ksc

ตารางที่ ผข 61 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	177.89	0.00	0.0000
24.93	2541.59	177.89	14.29	0.0001
49.87	5083.18	177.89	28.57	0.0002
74.80	7624.77	177.89	42.86	0.0003
99.73	10166.36	177.89	57.15	0.0004
124.67	12707.95	177.89	71.44	0.0004
149.60	15249.54	177.89	85.72	0.0005
174.53	17791.13	177.89	100.01	0.0006
199.46	20332.72	177.89	114.30	0.0007
224.40	22874.32	177.89	128.59	0.0008
249.33	25415.91	177.89	142.87	0.0009
274.26	27957.50	177.89	157.16	0.0010
299.20	30499.09	177.89	171.45	0.0011
324.13	33040.68	177.89	185.74	0.0013
349.06	35582.27	177.89	200.02	0.0015
374.00	38123.86	177.89	214.31	0.0018
398.93	40665.45	177.89	228.60	0.0022
423.86	43207.04	177.89	242.89	0.0026
448.79	45748.63	177.89	257.17	0.0031
473.73	48290.22	177.89	271.46	0.0035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 42 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 2

Initial Tangent Modulus Elastic = 161532.483 ksc.

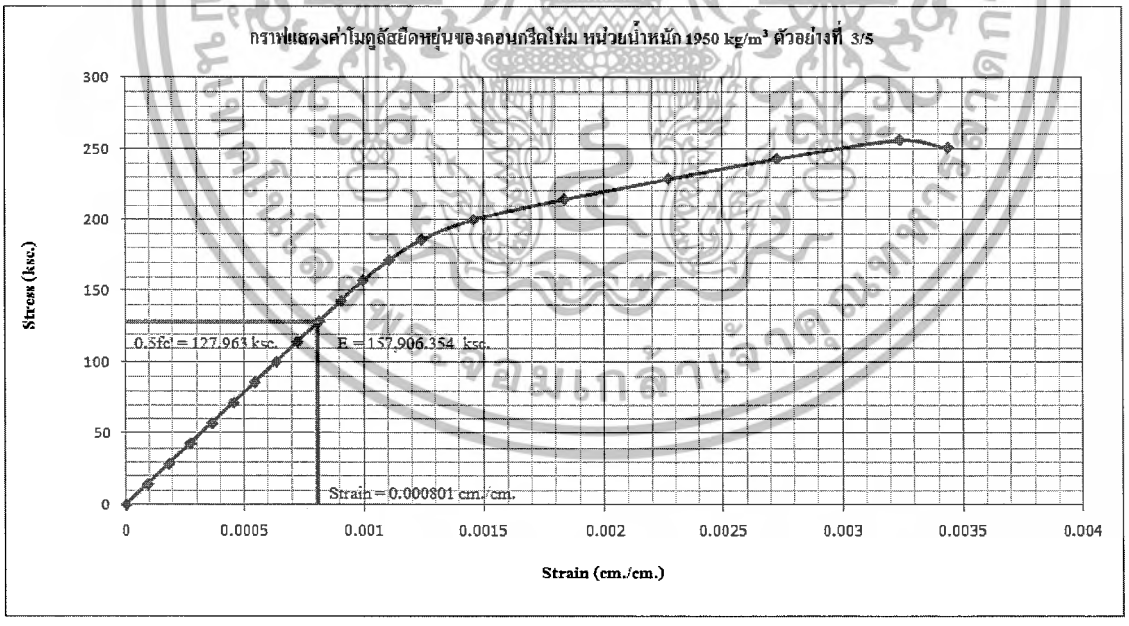
กำลังอัดประลัย (fc') 255.925 ksc

ตารางที่ ผข 62 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
24.77	2524.73	176.71	14.29	0.0001
49.54	5049.46	176.71	28.57	0.0002
74.30	7574.19	176.71	42.86	0.0003
99.07	10098.93	176.71	57.15	0.0004
123.84	12623.66	176.71	71.44	0.0005
148.61	15148.39	176.71	85.72	0.0005
173.37	17673.12	176.71	100.01	0.0006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
198.14	20197.85	176.71	114.30	0.0007
222.91	22722.58	176.71	128.59	0.0008
247.68	25247.31	176.71	142.87	0.0009
272.44	27772.05	176.71	157.16	0.0010
297.21	30296.78	176.71	171.45	0.0011
321.98	32821.51	176.71	185.74	0.0012
346.75	35346.24	176.71	200.02	0.0015
371.51	37870.97	176.71	214.31	0.0018
396.28	40395.70	176.71	228.60	0.0023
421.05	42920.43	176.71	242.89	0.0027
445.82	45445.17	176.71	257.17	0.0032
470.58	47969.90	176.71	271.46	0.0034



รูปที่ ผข 43 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 3

Initial Tangent Modulus Elastic = 157906.354 ksc.

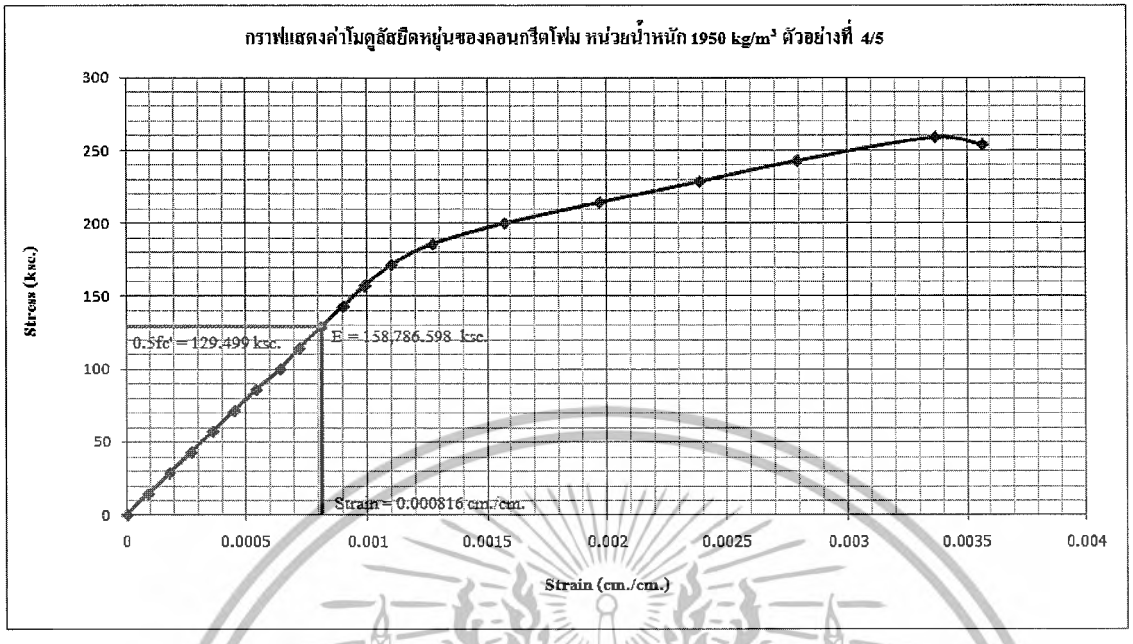
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc') 258.997 ksc

ตารางที่ ผข 63 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^{3}ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 4

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.71	0.00	0.0000
24.77	2524.73	176.71	14.29	0.0001
49.54	5049.46	176.71	28.57	0.0002
74.30	7574.19	176.71	42.86	0.0003
99.07	10098.93	176.71	57.15	0.0004
123.84	12623.66	176.71	71.44	0.0004
148.61	15148.39	176.71	85.72	0.0005
173.37	17673.12	176.71	100.01	0.0006
198.14	20197.85	176.71	114.30	0.0007
222.91	22722.58	176.71	128.59	0.0008
247.68	25247.31	176.71	142.87	0.0009
272.44	27772.05	176.71	157.16	0.0010
297.21	30296.78	176.71	171.45	0.0011
321.98	32821.51	176.71	185.74	0.0013
346.75	35346.24	176.71	200.02	0.0016
371.51	37870.97	176.71	214.31	0.0020
396.28	40395.70	176.71	228.60	0.0024
421.05	42920.43	176.71	242.89	0.0028
445.82	45445.17	176.71	257.17	0.0034
470.58	47969.90	176.71	271.46	0.0036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 44 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 4

Initial Tangent Modulus Elastic = 158786.598 ksc.

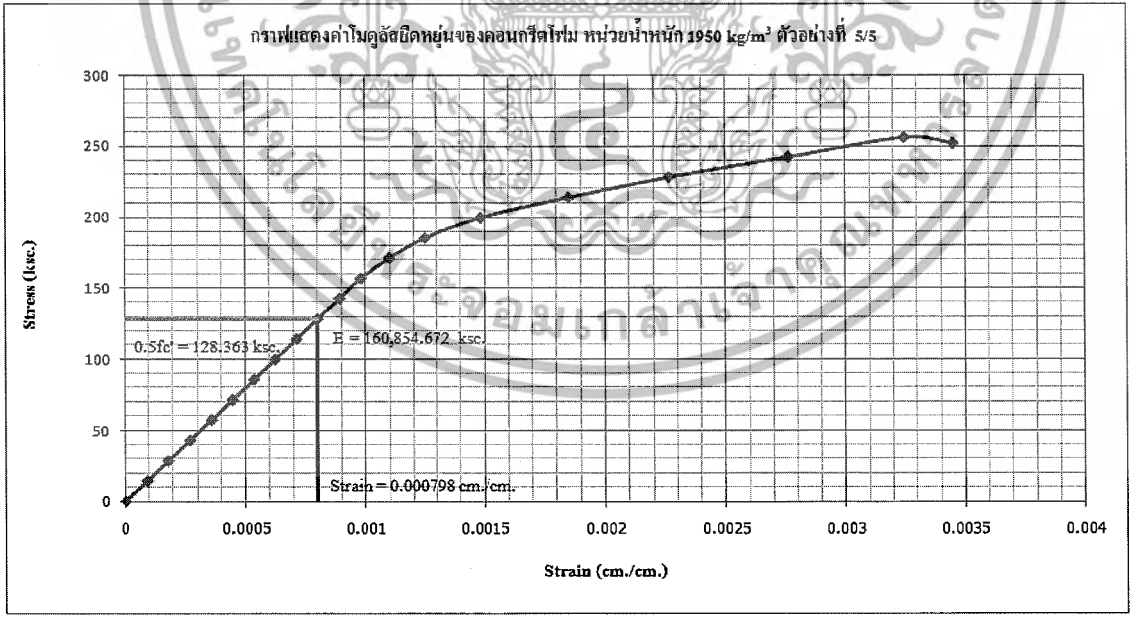
กำลังอัดประลัย (fc') 256.726 ksc

ตารางที่ ผข 64 ผลการทดสอบการหดตัว คอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก อายุ 28 วัน ตัวอย่างที่ 5

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
0.00	0.00	176.24	0.00	0.0000
24.70	2518.02	176.24	14.29	0.0001
49.40	5036.03	176.24	28.57	0.0002
74.11	7554.05	176.24	42.86	0.0003
98.81	10072.07	176.24	57.15	0.0004
123.51	12590.08	176.24	71.44	0.0004
148.21	15108.10	176.24	85.72	0.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load (kN)	Load(kg)	Area(cm^2)	Stress(ksc)	Strain
172.91	17626.11	176.24	100.01	0.0006
197.61	20144.13	176.24	114.30	0.0007
222.32	22662.15	176.24	128.59	0.0008
247.02	25180.16	176.24	142.87	0.0009
271.72	27698.18	176.24	157.16	0.0010
296.42	30216.20	176.24	171.45	0.0011
321.12	32734.21	176.24	185.74	0.0012
345.82	35252.23	176.24	200.02	0.0015
370.53	37770.24	176.24	214.31	0.0018
395.23	40288.26	176.24	228.60	0.0023
419.93	42806.28	176.24	242.89	0.0028
444.63	45324.29	176.24	257.17	0.0032
469.33	47842.31	176.24	271.46	0.0035



รูปที่ ผข 45 กราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมโฟมหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 ทรงกระบอก ตัวอย่างที่ 5

Initial Tangent Modulus Elastic = 160854.672 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบคานตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง

a. คานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 กำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน

ตารางที่ ผข 65 แสดงการแอ่นตัวของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (Ec)	ความเค้น (Ec)
0.00	0	0	0	0.00000	0.00
697.25	0.1	0.15	0.095	0.00019	44.17
1269.11	0.44	0.52	0.4	0.00023	52.37
1865.44	1.02	1.34	1.04	0.00027	60.80
2488.28	1.84	2.32	1.75	0.00031	70.59
3083.59	2.75	3.28	2.68	0.00035	79.92
3704.38	3.51	4.21	3.62	0.00041	92.90
4318.04	4.22	5.01	4.35	0.00043	98.82
4960.24	5.15	5.88	5.2	0.00044	100.19
5528.03	5.98	6.54	6.04	0.00045	102.46
6194.70	6.85	8.25	6.74	0.00047	107.02
6598.37	7.53	10.01	7.48	0.00049	111.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. คานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นบนเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (E ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน

ตารางที่ ผข 66 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 2 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ไม่เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0.00000	0.00
659.53	0.012	0.059	0.009	0.00019	29.55
1251.78	0.521	0.754	0.534	0.00029	45.52
1851.17	2.24	3.21	2.21	0.00035	55.74
2484.20	4.05	5.23	3.98	0.00040	64.36
3073.39	5.89	7.02	5.63	0.00049	77.94
3727.83	7.81	9.15	7.94	0.00053	84.17
4346.59	9.21	10.84	8.82	0.00057	91.36
4917.43	10.86	12.54	10.58	0.00061	97.90
5511.72	12.76	14.16	12.83	0.00063	100.46
6373.09	14.79	16.48	14.9	0.00069	109.40
6601.43	15.56	17.24	15.84	0.00071	112.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นถัดมาเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/cm^2 ชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 50 %) 95,220 kg/cm^2 เสริมเหล็กปลอก RB 6 @ 12.50 cm. เว้นระยะ L/3 ช่วงกึ่งกลางคาน จำนวน 2 คาน

- ทดสอบแบบไม่ประลัย จำนวน 1 คาน
-

ตารางที่ ผข 67 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ทดสอบไม่ประลัย เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนกบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0.00000	0.000000	0.00	0.00
670.74	0.0048	0.06824	0.0056	0.00020	0.000074	18.66	11.82
1257.90	0.088	0.6253	0.108	0.00021	0.000084	19.91	13.42
1845.06	0.546	1.25	0.624	0.00029	0.000111	27.47	17.73
2471.97	1.34	2.21	1.12	0.00046	0.000169	44.12	26.99
3075.43	2.06	2.98	2.15	0.00061	0.000198	58.19	31.62
3745.16	2.86	3.87	2.94	0.00072	0.000211	68.43	33.70
4334.35	3.67	4.88	3.78	0.00075	0.000239	72.17	38.17
4910.30	4.85	5.84	4.96	0.00092	0.000255	87.96	40.73
5530.07	6.21	7.32	6.34	0.00263	0.000320	251.34	51.11
6164.12	7.43	8.79	7.59	0.00109	0.000368	104.52	58.77
6416.92	8.86	10.24	8.64	0.00122	0.000428	116.77	68.36
6419.98	10.75	11.85	10.84	0.00131	0.000487	125.38	77.78
4852.19	9.02	10.12	8.94	0.00105	0.000480	100.31	76.66
3883.79	8.12	8.76	8.09	0.00097	0.000458	92.94	73.15
2895.01	5.23	6.04	5.14	0.00085	0.000302	81.64	48.23
1170.23	4.65	5.66	4.87	0.00060	0.000266	57.04	42.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบแบบประลัย จำนวน 1 คาน

ตารางที่ ผข 68 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ทดสอบ ประลัย เสริมเหล็กปลอก

น้ำหนักบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
660.55	0.05	0.059	0.048	0.00038	0.00019	36.66	30.82
1257.90	0.034	0.754	0.036	0.00034	0.00025	32.92	39.93
1846.08	0.46	1.05	0.54	0.00045	0.00030	42.78	48.55
2484.20	0.89	1.94	0.94	0.00052	0.00035	49.96	55.10
3082.57	1.56	2.78	1.62	0.00059	0.00039	56.66	61.49
3695.21	2.34	3.65	2.45	0.00065	0.00042	61.83	67.56
4318.04	3.24	4.71	3.32	0.00076	0.00047	72.65	74.27
4916.41	4.65	5.64	4.58	0.00085	0.00052	80.97	83.69
5533.13	5.48	6.77	5.23	0.00092	0.00056	88.34	89.44
6150.87	6.48	7.84	6.71	0.00152	0.00060	145.00	96.31
6406.73	7.24	8.93	7.19	0.00107	0.00062	102.03	98.38
6748.22	8.45	10.25	8.86	0.00112	0.00064	106.72	102.38
7386.34	10.24	11.86	10.35	0.00121	0.00065	115.33	104.29
7995.92	11.64	12.75	11.54	0.00131	0.00075	125.67	118.99
8645.26	12.43	13.98	12.72	0.00141	0.00079	134.86	125.69
9224.26	13.58	15.46	13.67	0.00149	0.00081	142.32	129.69
9818.55	15.24	16.25	15.62	0.00165	0.00090	157.64	144.22
10441.39	16.34	17.3	16.42	0.00177	0.00096	169.70	153.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d. คานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 โดยชั้นล่างสุดของคานเป็นคอนกรีตกำลังอัดประลัย (f'c) 240 ksc. และชั้นถัดมาเป็นโฟมซีเมนต์ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,950 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 25 %) 169,000 kg/c^{m2} ชั้นบนสุดเป็นโฟมซีเมนต์ ที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,850 kg/m^3 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E ที่มีน้ำหนักคงค้างที่ 50 %) 95,220 kg/cm^2 ไม่เสริมเหล็กปลอก จำนวน 1 คาน

ตารางที่ ผข 69 แสดงการแอ่นตัวของคานลูกผสม 3 ชั้นเสริมเหล็ก 2-DB 20 ทดสอบประลัย ไม่เสริมเหล็กปลอก

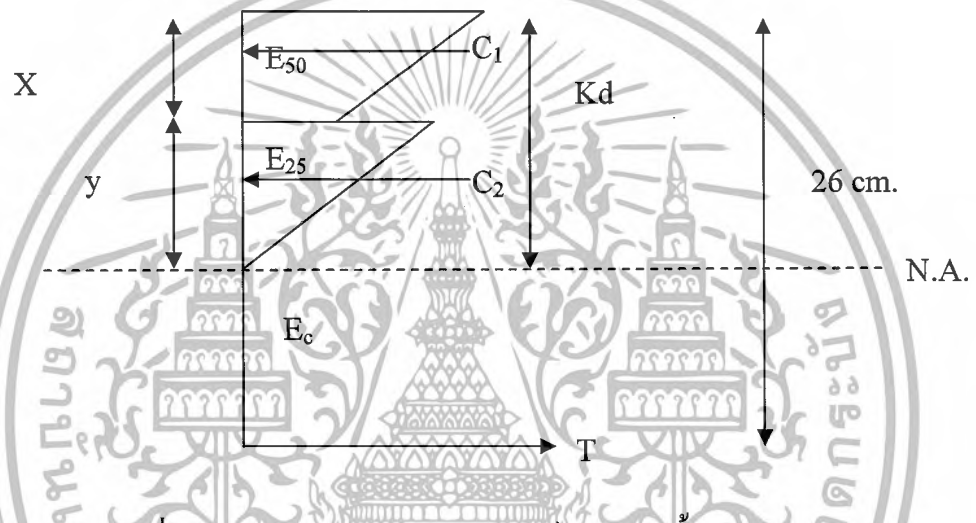
น้ำหนกบรรทุก (kg)	ระยะแอ่นตัว (ซ้าย) มม.	ระยะแอ่นตัว (กลาง) มม.	ระยะแอ่นตัว (ขวา) มม.	ความเครียด (E_{50})	ความเครียด (E_{25})	ความเค้น (E_{50})	ความเค้น (E_{25})
0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00
327.22	0.003456	0.005472	0.003648	0.001029	0.000109	98.49	17.41
625.89	0.01864	0.02546	0.01795	0.001035	0.000118	99.06	18.85
1244.65	0.05476	0.07542	0.05761	0.001052	0.000132	100.69	21.08
1888.89	0.3471	0.71875	0.3267	0.001064	0.00018	101.84	28.75
2499.49	1.25	2.46	1.32	0.001179	0.00021	112.84	33.54
3102.96	3.02	4.18	2.98	0.001208	0.000226	115.62	36.10
3679.92	4.98	6.01	4.87	0.001312	0.000232	125.57	37.05
4349.64	6.75	7.85	6.42	0.001354	0.000245	129.59	39.13
4958.21	8.45	9.52	8.32	0.001392	0.000273	133.23	43.60
5544.34	9.98	10.95	9.87	0,00142	0.000301	135.91	48.07
6120.29	11.49	12.02	11.54	0.001476	0.000343	141.27	54.78
6512.74	12.19	12.79	12.25	0.001545	0.000413	147.87	65.96
6523.96	12.54	13.55	12.62	0.001595	0.000487	152.66	77.78
4994.90	11.91	13.15	11.805	0.001586	0.000327	151.80	52.23
4077.47	8.24	10.15	8.34	0.001401	0.000286	134.09	45.68
3058.10	10.66	8.64	9.36	0.001312	0.000256	125.57	40.89
2038.74	9.68	8.24	8.36	0.001278	0.000221	122.32	35.30
1019.37	7.67	7.51	7.36	0.001154	0.000196	110.45	31.30
0.00	5.51	5.88	4.305	0.001034	0.000154	98.97	24.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การคำนวณโดยใช้โปรแกรม Visual C++

- การหาระยะ 3 layer

การใช้โปรแกรม Visual C++ เพื่อหาค่าระยะ Kd ดังภาพ ในกรณีที่คานเกิดการคืบแล้ว ที่ 1 ปี ซึ่งได้แบ่งคานออกเป็นสามชั้น โดยค่าElastic Modulus ต่างกัน



รูปที่ ผข 46 ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 3 ชั้น

- ทำการหาค่า kd

สูตร

จาก E_{50} = 95,221.6252 kg/cm^2

E_{25} = 169,007.8000 kg/cm^2

E_c = 227,669.2000 kg/cm^2

ให้ stress 1 ที่ C.G. เป็น 50% ของ fc' ดังนั้น

$\sigma_{1c.g}$ = 120 kg/cm^2

ให้ stress 2 ที่ C.G. เป็น 25% ของ fc' ดังนั้น

$\sigma_{2c.g}$ = 60 kg/cm^2

จะได้ σ_2 = 90 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma 1 = \frac{120 * k}{(k - x) + \left(\frac{1}{3} * \frac{(3 - \frac{x}{k})}{(2 - \frac{x}{k})} * x \right)}$$

$$\varepsilon 1 = \frac{\sigma 1}{\mathrm{E50}}$$

$$\varepsilon 2 = \frac{\varepsilon 1 * (k - x)}{k}$$

$$\varepsilon s = \frac{\varepsilon 1 * (26 - k)}{k}$$

$$\sigma s = \varepsilon s * 2.04 * 10^{6}$$

$$\sigma 12 = \frac{\sigma 1 * (k - x)}{k}$$

$$C1 = 15 * \left(\frac{1}{2} * (\sigma 1 + \sigma 12) * x \right)$$

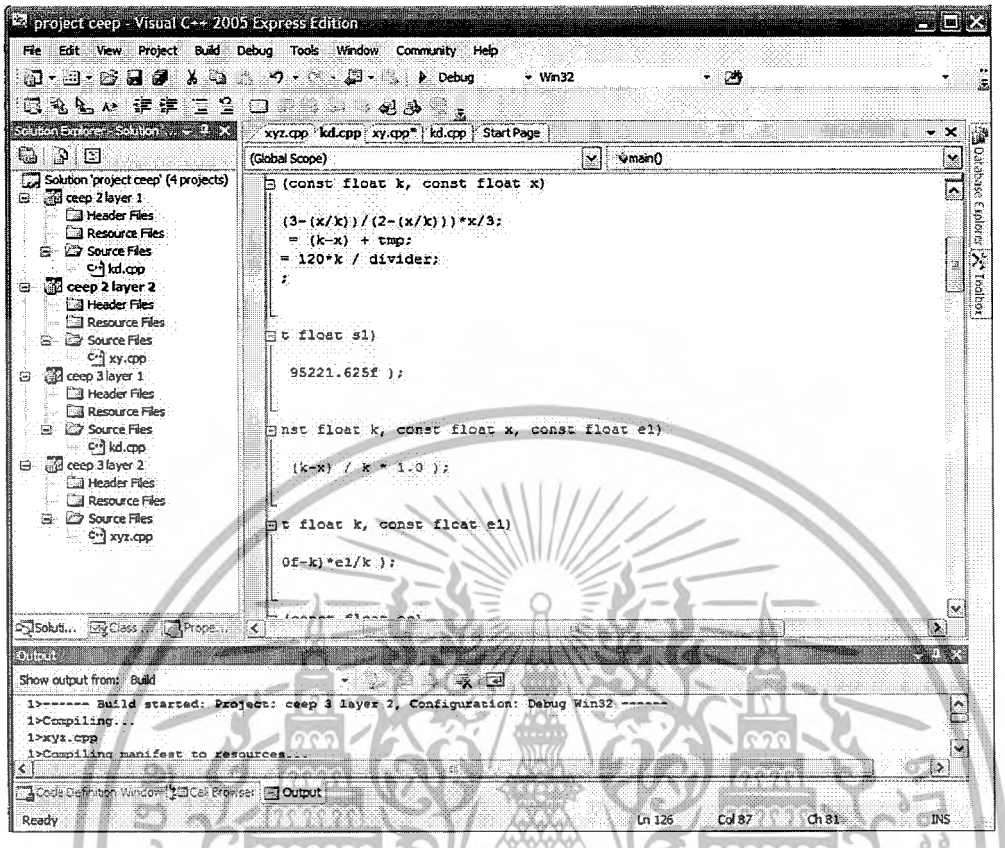
$$C2 = 15 * \frac{1}{2} * (k - x) * \sigma 2$$

$$C1 + C2 = \mathrm{T}$$

$$\mathrm{T} = \sigma s * 6.28$$

$$M = \left(C1 * \left(26 - x + \left(\frac{1}{3} * \frac{\left(3 - \frac{x}{k}\right)}{\left(2 - \frac{x}{k}\right)} * x \right) \right) \right) + \left(C2 * \left(26 - k + \left(\frac{2}{3} * (k - x) \right) \right) \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 47 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ Neutral Axis ในคาน 3 ชั้น

```
#include< iostream >
using namespace std;
#define STRESS_1C 120
#define STRESS_2C 60
#define STRESS2 90
bool checkK(const float k)
{
		if( (k < 12.0) || (k >= 26.0) )
		return false;
		return true;
}
float findStress1(const float k, const float x)
{
		float tmp = ((3-(x/k))/(2-(x/k)))*x/3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
		float divider = (k-x) + tmp;
		float stress = 120*k / divider;
		return stress;
}
float findE1(const float s1)
{
		return ( s1 / 95221.625f );
}
/*float findE2(const float k, const float x, const float e1)
{
		return ( e1 * (k-x) / k * 1.0 );
}*/
float findES(const float k, const float e1)
{
		return ( (26.0f-k)*e1/k );
}
float findStressS(const float es)
{
		return ( es * 2040000.0f );
}
float findStress12(const float k, const float x, const float s1)
{
		return ( s1 / k * (k-x) * 1.0f );
}
float findC1(const float s1, const float s12, const float x)
{
		return ( 7.5f * x * (s1 + s12) );
}
float findC2(const float k, const float x)
{
		return ( 90 * 7.5f * (k - x) );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
float findT(const float ss)
{
		return ( ss * 6.28f );
}
float findM(const float c1, const float c2, const float s1, const float s12, const float k, const float x)
{
		return (c1*((26-x)+(1/3.0f*((2*s1)+s12)/(s1+s12)*x)))+(c2*(26-x-(1/3.0f*(k-x))));
}
float abs(float x)
{
		if( x < 0.0f )
		return -x;
		return x;
}

void print(int& count, float k, float x)
{
		cout << endl;
		cout << ++count << ". --> ";
		cout << "k = " << k << ", ";
		cout << "x = " << x << endl;
		cout << "-----------------------------------" << endl;
}
int main()
{
		float k = 12.0f;
		float x = 1.0f;
		float s1, s12, ss, es, e1;
		float c, c1, c2, t, m;
		static int count = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bool flag = false;
cout << "Starting...." << endl;
do {
s1 = findStress1(k, x);
//cout << "s1 = " << s1 << endl;
s12 = findStress12(k, x, s1);
//cout << "s12 = " << s12 << endl;
c1 = findC1(s1, s12, x);
c2 = findC2(k, x);
c = c1 + c2;
//cout << "c = " << c << endl;
e1 = findE1(s1);
//cout << "e1 = " << e1 << endl;
es = findES(k, e1);
//cout << "es = " << es << endl;
ss = findStressS(es);
//cout << "ss = " << ss << endl;
t = findT(ss);
//cout << "t = " << t << endl;
m = findM(c1, c2, s1, s12, k, x);
//cout << "m = " << m << endl;
if( (abs( t - c ) <= 100.0f) && (ss <= 2400.0f) && (m <= 310000.0f) && (x >= 5.0f)
)
{
        print( count, k, x);
}
x += 0.01f;
if( x >= k )
{
        k += 0.01f;
        x = 1.0f;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        } while( checkK(k) );
        cout << "\n\nK and X is over the max/min" << endl;
        return 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างค่าที่ได้เพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ ผก 70 แสดงการหาค่า Neutral Axis ของคาน 3 ชั้น

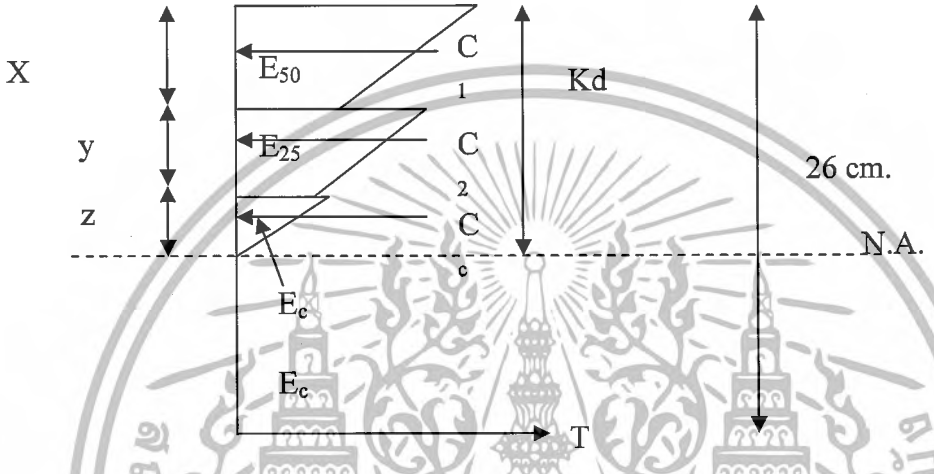
Kd	14.46000	OK	>11.86
x	4.65000		
σ1 CG	120.00000		
σ2 CG	60.00000		
σ1	141.26283		
σ2	90.00000		
E50	95221.62520		
€ 1	0.00148		
€ 2	0.00101		
€ s	0.00118		
σs	2415.23840	ควรได้	2000
E25	169007.80000		
σ2	170.09823		
σ12	95.83599		
c1	8268.82139		
c2	6621.75000		
C	14890.57139	C-T	
T	15167.69716	-277.13	
M	316713.38884	ควรได้	239641

Kd	14.46000		>11.86
x	4.66000		
σ1 CG	120.00000		
σ2 CG	60.00000		
σ1	141.31229		
σ2	90.00000		
E50	95221.62520		
€ 1	0.00148		
€ 2	0.00101		
€ s	0.00118		
σs	2416.08403	ควรได้	2000
E25	169007.80000		
σ2	169.98433		
σ12	95.77182		
c1	8286.08958		
c2	6615.00000		
C	14901.08958	C-T	
T	15173.00768	-271.92	
M	316923.01370	ควรได้	239641

Kd	14.55000		>11.86
x	4.60000		
σ1 CG	120.00000		
σ2 CG	60.00000		
σ1	140.87524		
σ2	90.00000		
E50	95221.62520		
€ 1	0.00148		
€ 2	0.00101		
€ s	0.00116		
σs	2375.04436	ควรได้	2000
E25	169007.80000		
σ2	170.98811		
σ12	96.33736		
c1	8183.83455		
c2	6716.25000		
C	14900.08455	C-T	
T	14915.27859	-15.19	
M	316587.09307	ควรได้	239641

การใช้โปรแกรม Visual C++ เพื่อหาค่าระยะ x, y, z ดังภาพ จากค่า Kd ที่ได้คำนวณจาก โปรแกรมข้างบน ในกรณีที่คานเกิดการคืบแล้วที่ 1 ปี ซึ่งได้แบ่งคานออกเป็นสามชั้น โดยค่า Elastic Modulus ต่างกัน

การหาระยะ x, y, z จะแบ่งคานออกเป็นชิ้นๆ ทีละ 1 ซม.เพื่อนำไปออกแบบระยะโค้งแต่ละชั้นของคาน



รูปที่ ผข 48 ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 3 ชั้น

- ทำการหาค่าระยะ xyz

จาก E_{50} = 95,221.6252 kg/cm^2

E_{25} = 169,007.8000 kg/cm^2

E_c = 227,669.2000 kg/cm^2

ให้ stress 1 ที่ C.G. เป็น 50% ของ fc' ดังนั้น

$\sigma_{1c.g}$ = 120 kg/cm^2

ให้ stress 2 ที่ C.G. เป็น 25% ของ fc' ดังนั้น

$\sigma_{2c.g}$ = 60 kg/cm^2

ให้ σ_c = 24 kg/cm^2 (ใช้ 10 % ของ strength เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการคืบน้อยมาก)

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sigma_{c\ c.g} = 16\ kg/cm^2$

$$\sigma 1 = \frac{120 * k}{(k-x) + \left(\frac{1}{3} * \frac{(3 - \frac{x}{k})}{(2 - \frac{x}{k})} * x \right)}$$

$$\sigma 2 = \frac{60 * (k-x)}{(k-x-y) + \left(\frac{1}{3} * \frac{(3 - \frac{y}{(k-x)})}{(2 - \frac{y}{(k-x)})} * y \right)}$$

$$C1 = 15 * \left(\frac{1}{2} * \left(\sigma 1 + \left(\sigma 1 - \frac{(\sigma 1 * x)}{k} \right) \right) * x \right)$$

$$C2 = 15 * \left(\frac{1}{2} * \left(\sigma 2 + \left(\sigma 2 - \frac{(\sigma 2 * y)}{(k-x)} \right) \right) * y \right)$$

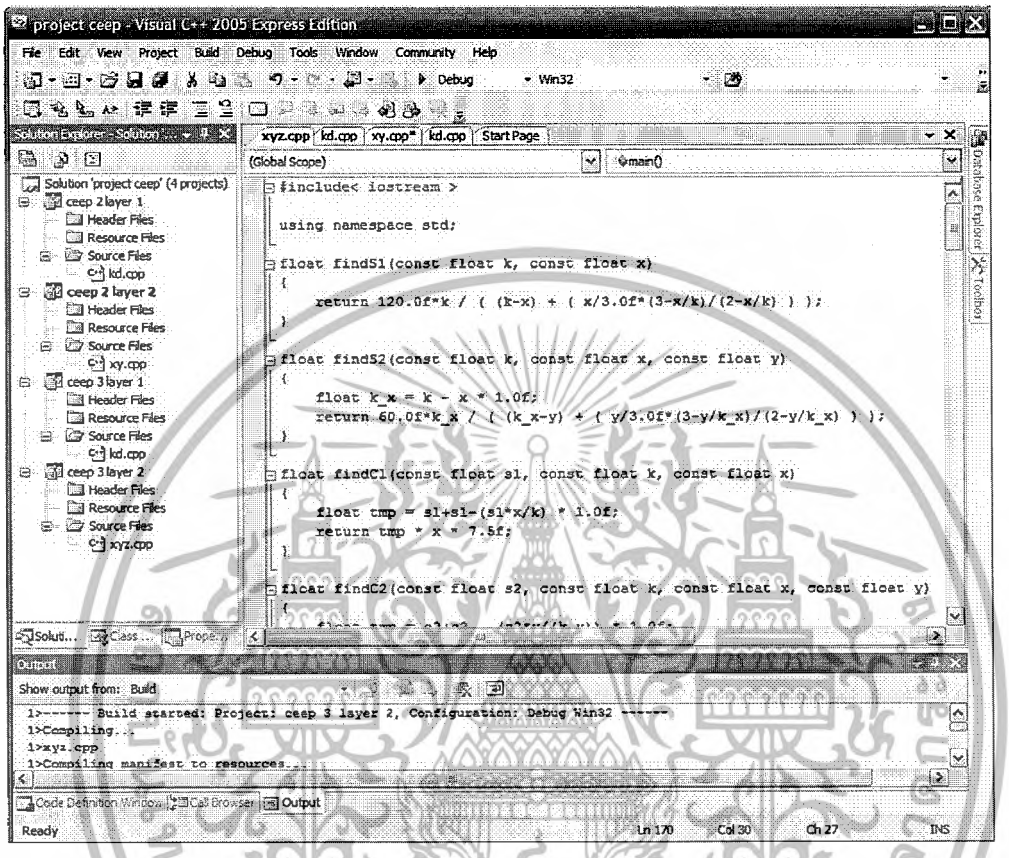
$$Cc = \frac{1}{2} * 24 * 15 * (k-x-y)$$

$$M = \left(C1 * \left(26 - x + \left(\frac{1}{3} * \frac{\left(3 - \frac{x}{k}\right)}{\left(2 - \frac{x}{k}\right)} * x \right) \right) \right) + \left(C2 * \left(26 - x - y + \left(\frac{1}{3} * \frac{\left(3 - \frac{y}{(k-x)}\right)}{\left(2 - \frac{y}{(k-x)}\right)} * y \right) \right) \right) + \left(Cc * \left(26 - k + \left(\frac{2}{3} * (k-x-y) \right) \right) \right)$$

$$C1 + C2 + Cc = T$$

$$T = \left(\frac{S1}{95221.6252} \right) * \left(\frac{(26-k)}{k} \right) * 2040000 * 6.28$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 49 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ 2 ชั้น ในคาน

```
#include< iostream >
using namespace std;
float findS1(const float k, const float x)
{
        return 120.0f*k / ( (k-x) + ( x/3.0f*(3-x/k)/(2-x/k) ) );
}
float findS2(const float k, const float x, const float y)
{
        float k_x = k - x * 1.0f;
        return 60.0f*k_x / ( (k_x-y) + ( y/3.0f*(3-y/k_x)/(2-y/k_x) ) );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
float findC1(const float s1, const float k, const float x)
{
		float tmp = s1+s1-(s1*x/k) * 1.0f;
		return tmp * x * 7.5f;
}
float findC2(const float s2, const float k, const float x, const float y)
{
		float tmp = s2+s2 - (s2*y/(k-x)) * 1.0f;
		return tmp * y * 7.5f;
}
float findCc(const float k, const float x, const float y)
{
		return 12.0f * 15.0f * (k-x-y);
}
float findM(const float k, const float x, const float y, const float c1, const float c2, const float cc)
{
		float group1 = c1 * ( 26.0f-x+( x/3.0f*(3.0f-x/k)/(2.0f-x/k) ) )  * 1.0f;
		float ykx = y / ( k - x ) * 1.0f;
		float group2 = c2 * ( 26.0f-x-y+( y/3.0f*(3.0f-ykx)/(2.0f-ykx) ) ) * 1.0f;
		float group3 = cc * ( 26.0f-k+( 2/3.0f*( k-x-y ) ) ) * 1.0f;
		return (group1 + group2 + group3 ) * 1.0f;
}
float findT(const float k, const float s1)
{
		return (s1/95221.6252f) * ( (26.0f-k)/k ) * 2040000.0f * 6.28f;
}
float findZ(const float k, const float x, const float y)
{
		return k - x - y * 1.0f;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
float abs(float x)
{
        if( x < 0.0f )
        return -x;
        return x;
}
void print(int& count, float m, float x, float y)
{
        cout << endl;
        cout << ++count << ". --> ";
        cout << "m = " << m << ", x = " << x << ", y = " << y << endl;
        cout << "----------" << endl;
}
void testFormula()
{
        float k = 14.0f;
        float x = 5.0f;
        float y = 4.0f;
        float z = 5.0f;
        float s1 = findS1( k, x );
        float s2 = findS2( k, x, y );

        float c1 = findC1( s1, k, x );
        float c2 = findC2( s2, k, x, y );
        float cc = findCc( k, x, y );
        float m = findM( k, x, y, c1, c2, cc );
        cout << "k = " << k << endl;
        cout << "x = " << x << endl;
        cout << "y = " << y << endl;
        cout << "z = " << z << endl;
        cout << "m = " << m << endl;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cout << "s1 = " << s1 << endl;
        cout << "s2 = " << s2 << endl;
        cout << "c1 = " << c1 << endl;
        cout << "c2 = " << c2 << endl;
        cout << "Cc = " << cc << endl;
}
int main()
{
        //testFormula();
        float k = 14.46f;
        float x = 0.01f;
        float y = 0.01f;
        float z;
        float s1, s2, c ,c1 ,c2 ,cc;
        float m, t;
        float xyz;
        static int count = 0;
        float setM[100];
        for( int i = 99; i >= 0; i-- )
        {
        setM[i] = i/100.0f * 305913.4f;
        //printf("%d, %.5f\n", i, setM[i]);
        }
        cout << "Starting...." << endl;
        for( int i = 99; i >= 0; i-- )
        {
        printf("i = %d, setM = %.3f\t", i, setM[i]);
        x = 0.01f;
        while( x <= k )
        {
                y = 0.01f;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            while( y <= k )
            {
                s1 = findS1( k, x );
                s2 = findS2( k, x, y );
                c1 = findC1( s1, k, x );
                c2 = findC2( s2, k, x, y );
                cc = findCc( k, x, y );
                c = c1 + c2 + cc;
                m = findM( k, x, y, c1, c2, cc );
                z = findZ( k, x, y );
                xyz = x + y + z*1.0f;
                t = findT( k, s1 );
                if( ( abs( xyz - k ) <= 0.0f )
                  && ( abs( c - t ) <= 500.0f )
                  && ( abs( m - setM[i] ) <= 1000.0f ) )
                {
                    print( count, m, x, y );
                }
                y += 0.01f;
            }
            x += 0.01f;
        }
        cout << endl;
    }
    cout << "End..." << endl;
    return 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ใช้

P = 3167.134 -108 = 3059.134

ตารางที่ ผน 71 แสดงการหาค่า ระยะ 3 ชั้นที่ใช้ในการสอบเทียบค่าต่างๆ

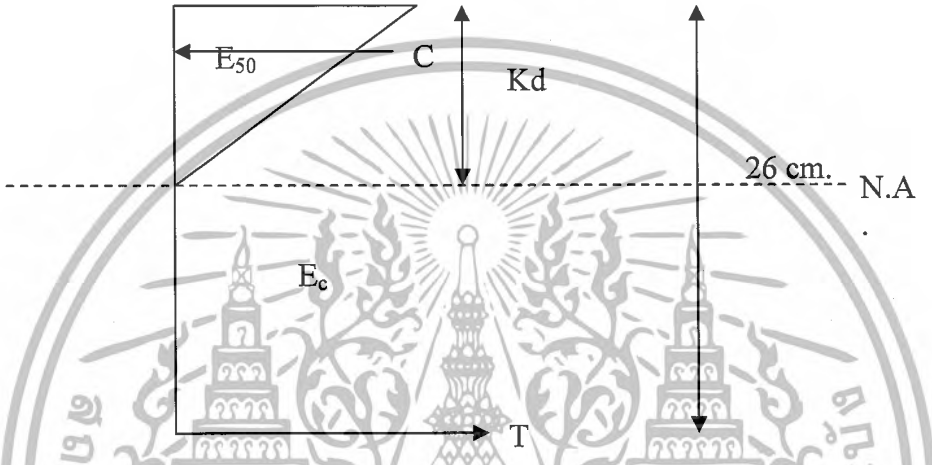
ระยะ (m.)	0.99		0.95		0.90		0.85		0.80	
M ต้องการ	302854.27		290617.73		275322.06		260026.39		244730.72	
Kd	14.4600		14.4600		14.4600		14.4600		14.4600	
x	4.0100		3.4400		2.7800		2.1400		1.5400	
y	9.5500		10.0900		10.7100		11.2500		11.7800	
z	0.9000		0.9300		0.9700		1.0700		1.1400	
x+y	13.5600		13.5300		13.4900		13.3900		13.3200	
		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM
M	303474.32	-620.05	290877.62	-259.89	275808.14	-486.08	260669.12	-642.73	246107.37	-1376.65
σ1 CG	120.0000		120.0000		120.0000		120.0000		120.0000	
σ2 CG	60.0000		60.0000		60.0000		60.0000		60.0000	
σ1	138.1244		135.3784		132.2634		129.3140		126.6159	
σ2	89.3895		89.4128		89.4305		89.3797		89.3607	
σc	24.0000		27.0000		32.0000		37.0000		42.0000	
c1	7156.1839		6154.6064		4985.2051		3843.8182		2769.0800	
c2	6953.9393		7337.3332		7780.0800		8196.3870		8591.6365	
cc	162.0000		167.4000		174.6000		192.6000		205.2000	
σs	2361.5792		2314.6298		2261.3708		2210.9434		2164.8133	
σ12	99.8202		103.1722		106.8352		110.1762		113.1312	
σ2c	7.6986	C-T	7.5457	C-T	7.4270	C-T	7.7627	C-T	7.8848	C-T
C	14272.1232	-558.5943	13659.3396	-876.5356	12939.8851	-1261.5233	12232.8052	-1651.9191	11565.9165	-2029.1113
T	14830.7174		14535.8752		14201.4084		13884.7243		13595.0278	

ระยะ (m.)	0.75		0.70		0.65		0.60	
M ต้องการ	229435.05		214139.38		198843.71		183548.04	
Kd	14.4600		14.4600		14.4600		14.4600	
x	0.9200		0.3300		0.0100		0.0000	
y	12.2400		12.7800		11.1900		9.2200	
z	1.3000		1.3500		3.2600		5.2400	
x+y	13.1600		13.1100		11.2000		9.2200	
		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM
M	230555.25	-1120.20	215553.83	-1414.45	200263.31	-1419.60	185157.65	-1609.61
σ1 CG	120.0000		120.0000		120.0000		120.0000	
σ2 CG	60.0000		60.0000		60.0000		60.0000	
σ1	123.8983		121.3797		120.0415		120.0000	
σ2	89.2493		89.2563		86.4114		82.0876	
σc	47.0000		52.0000		57.0000		62.0000	
c1	1655.4043		593.9736		18.0000		0.0000	
c2	8979.7235		9372.5945		8888.1897		7733.3543	
cc	234.0000		243.0000		586.8000		943.2000	
σs	2118.3482		2075.2871		2052.4072		2051.6975	
σ12	116.0154		118.6096		119.9585		120.0000	
σ2c	8.5690	C-T	8.5277	C-T	19.4949	C-T	29.7468	C-T
C	10869.1278	-2434.0986	10209.5681	-2823.2349	9492.9897	-3396.1272	8676.5543	-4208.1063
T	13303.2264		13032.8030		12889.1169		12884.6606	

หน้า 99

- การหาระยะ 2 layer

การใช้โปรแกรม Visual C++ เพื่อหาค่าระยะ Kd ดังภาพ ในกรณีที่คานเกิดการคืบแล้ว ที่ 1 ปี ซึ่งได้แบ่งคานออกเป็นสองชั้น โดยค่าElastic Modulus ต่างกัน



รูปที่ ผข 50 ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 2 ชั้น

- ทำการหาค่า kd

จาก E_{50} = 95,221.6252 kg/cm^2

E_{25} = 169,007.8000 kg/cm^2

E_c = 227,669.2000 kg/cm^2

ให้ stress 1 ที่ C.G. เป็น 50% ของ fc' ดังนั้น

$\sigma_{1c.g}$ = 120 kg/cm^2 , σ_1 = 180 kg/cm^2

$$\varepsilon 1 = \frac{\sigma 1}{E50}$$

$$\varepsilon s = \frac{\varepsilon 1 * (26 - k)}{k}$$

$$\sigma s = \varepsilon s * 2.04 * 10^6$$

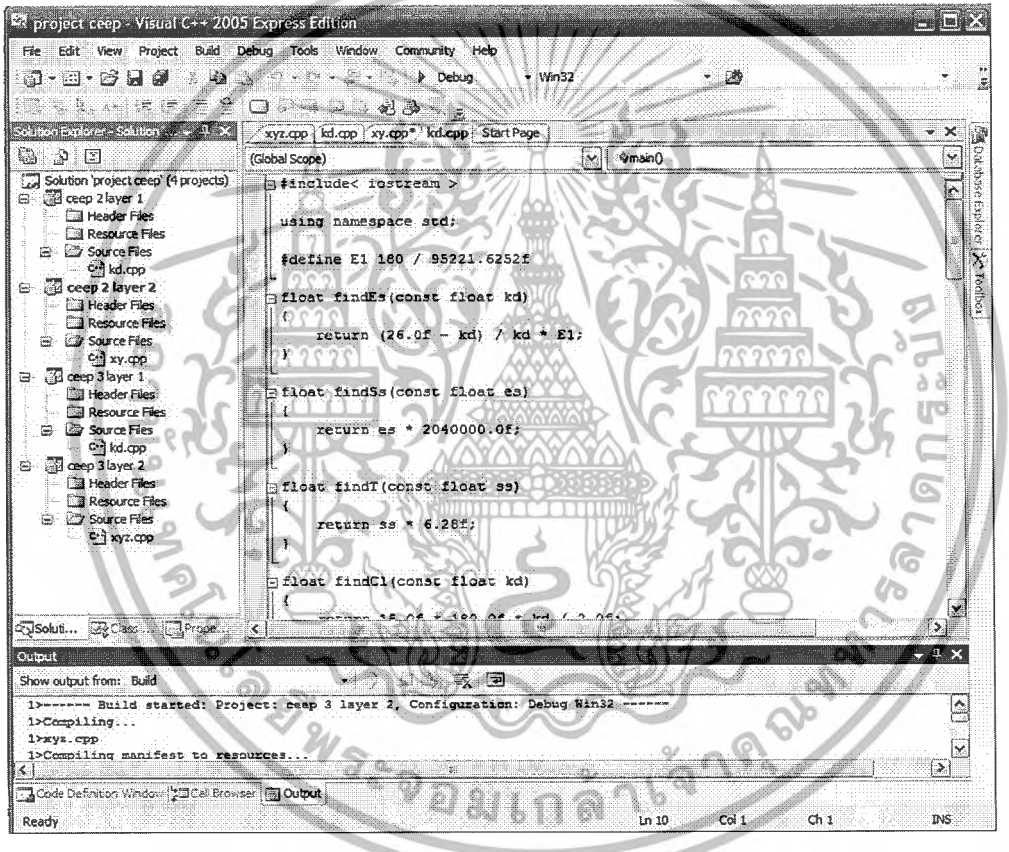
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C1 = 15 * \left(\frac{1}{2} * \sigma 1 * x\right)$$

$$C1 = \mathrm{T}$$

$$\mathrm{T} = \sigma s * 6.28$$

$$\mathrm{M} = (\mathrm{C1} * (26 - \frac{k}{3}))$$



รูปที่ ผข 51 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ Neutral Axis ในคาน 2 ชั้น

```
#include< iostream >
using namespace std;
#define E1 180 / 95221.6252f
float findEs(const float kd)
{
return (26.0f - kd) / kd * E1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
float findSs(const float es)
{
		return es * 2040000.0f;
}
float findT(const float ss)
{
		return ss * 6.28f;
}
float findC1(const float kd)
{
		return 15.0f * 180.0f * kd / 2.0f;
}
float findM(const float c1, const float kd)
{
		return c1 * (26.0f - kd / 3.0f );
}
float abs(float x)
{
		if( x < 0.0f )
		return -x;
		return x;
}
void print( float k)
{
		cout << endl;
		cout << "k = " << k << endl;
		cout << "-----------------------------------" << endl;
}
void testFormula(const float kd)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        float c1 = findC1( kd );
        float es = findEs( kd );
        float ss = findSs( es );
        cout << "kd = " << kd << endl;
        cout << "e1 = " << E1 << endl;
        cout << "es = " << es << endl;
        cout << "c1 = " << c1 << endl;
        cout << "ss = " << ss << endl;
        cout << "t = " << findT( ss ) << endl;
        cout << "m = " << findM( c1, kd ) << endl;
}
int main()
{
        //testFormula( 14.0f );
        float kd = 0.01f;
        float es, ss, c1, t, m;
        cout << "Starting...." << endl;
        do {
        es = findEs( kd );
        ss = findSs( es );
        c1 = findC1( kd );
        t = findT( ss );
        m = findM(c1, kd);
        if( (abs( t - c1 ) <= 1500.0f) && (ss <= 2410.0f) && (m <= 300000.0f) )
        {
                print( kd );
        }

        kd += 0.01f;
        } while( kd < 26.0f );
        cout << "\n\nK is over the max/min" << endl;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        return 0;
}
```

ค่าที่ได้คือ

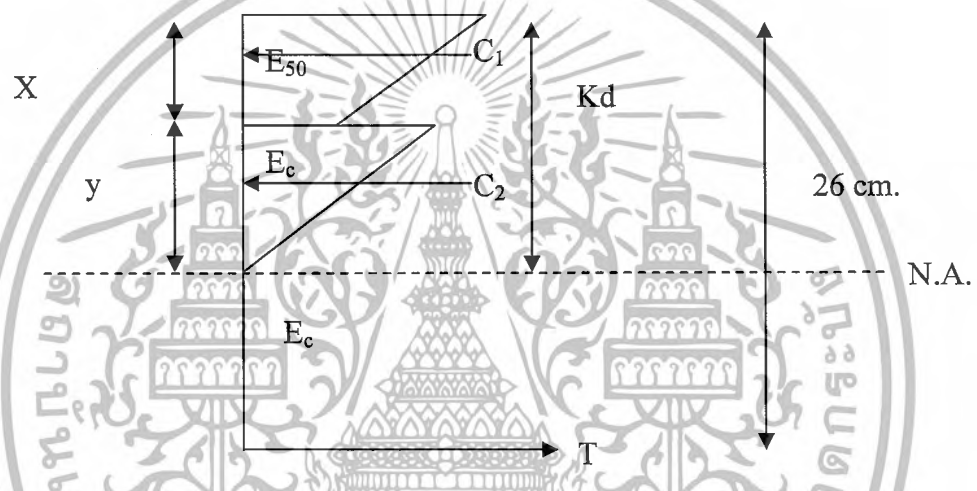
ตารางที่ ผก 72 แสดงการหาค่า Neutral Axis ของคาน 2 ชั้น

Kd	13.85		
σ1 CG	120		
σ1	180		
E25	169007		
€ 1	0.001065045		
€ s	0.000934317		
σs	1906.006969	ควรได้	2000
		C-T	
c1	18697.5	6727.776	
T	11969.72377	Δ M	ควรได้
M	399814.875	160174	239641

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้โปรแกรม Visual C++ เพื่อหาค่าระยะ x, y ดังภาพ จากค่า Kd ที่ได้คำนวณจากโปรแกรมข้างบน ในกรณีที่คานเกิดการคืบแล้วที่ 1 ปี ซึ่งได้แบ่งคานออกเป็นสองชั้น โดยค่าElastic Modulus ต่างกัน

การหาระยะ x, y, z จะแบ่งคานออกเป็นชิ้นๆ ทีละ 1 ซม.เพื่อนำไปออกแบบระยะโค้งแต่ละชั้นของคาน



รูปที่ ผข 52 ภาพการสมดุลของโมเมนต์ในคาน 2 ชั้นเมื่อมีค่าที่ fc =24 kg/cm^2

- ทำการหาค่าระยะ xyz

จาก E_{50} = 95,221.6252 kg/cm^2

E_{25} = 169,007.8000 kg/cm^2

E_c = 227,669.2000 kg/cm^2

ให้ stress 1 ที่ C.G. เป็น 50% ของ fc' ดังนั้น

$\sigma_{1c.g}$ = 120 kg/cm^2

ให้ σ_c = 24 kg/cm^2 (ใช้ 10 % ของ strength เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการคืบน้อยมาก) ดังนั้น

$\sigma_{c\ c.g}$ = 16 kg/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma 1 = \frac{120 * k}{(k - x) + \left(\frac{1}{3} * \frac{\left(3 - \frac{x}{k}\right)}{\left(2 - \frac{x}{k}\right)} * x \right)}$$

$$\sigma 1c = \sigma 1 - \frac{\sigma 1 * x}{k}$$

$$C1 = 15 * \left(\frac{1}{2} * (\sigma 1 + \sigma 1c) * x\right)$$

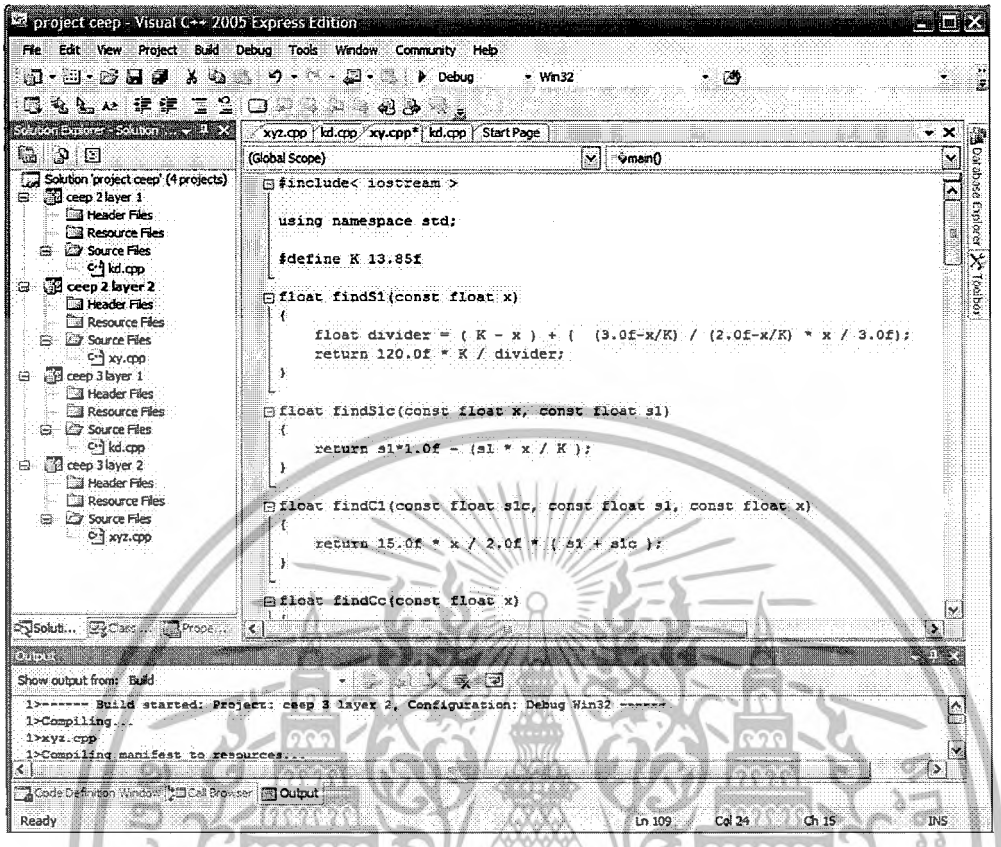
$$Cc = \frac{1}{2} * 24 * 15 * (k - x)$$

$$C1 + C2 = T$$

$$T = \left(\frac{S1}{95221.6252}\right) * \left(\frac{(26 - k)}{k}\right) * 2040000 * 6.28$$

$$M = \left(C1 * \left(26 - x + \left(\frac{1}{3} * \frac{\left(3 - \frac{x}{k}\right)}{\left(2 - \frac{x}{k}\right)} * x \right) \right) \right) + \left(Cc * \left(26 - x - \left(\frac{(k - x)}{3} \right) \right) \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 53 ภาพโปรแกรมการหาค่าระยะ 3 ชั้น ในคาน

```
#include< iostream >
using namespace std;
#define K 13.85f
float findS1(const float x)
{
        float divider = ( K - x ) + (  (3.0f-x/K) / (2.0f-x/K) * x / 3.0f);
        return 120.0f * K / divider;
}
float findS1c(const float x, const float s1)
{
        return s1*1.0f - (s1 * x / K );
}
float findC1(const float s1c, const float s1, const float x)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
		return 15.0f * x / 2.0f * ( s1 + s1c );
}
float findCc(const float x)
{
		return 12.0f * 15.0f * (K-x);
}
float findSs(const float s1)
{
		return ( s1 / 95221.6252f ) * ((26.0f-K)/K) * 2040000.0f;
}
float findT(const float ss)
{
		return ss * 6.28f;
}
float findM(const float c1, const float cc, const float x, const float s1, const float s1c)
{
		float exp1 = ( c1 * (26.0f-x+ ( (2.0f*s1 + s1c)/(s1 + s1c) * x / 3.0f) ) );
		float exp2 = ( cc * ( 26.0f - x - (( K - x)/3.0f)  ) );
		return exp1 + exp2;
}
float abs(float x)
{
		if( x < 0.0f )
		 return -x;
		return x;
}
void print( float x )
{
		cout << endl;
		cout << "x = " << x << endl;
		cout << "-------------------------------" << endl;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
void testFormula(const float x)
{
        float s1 = findS1( x );
        float s1c = findS1c( x, s1 );
        float c1 = findC1( s1c, s1, x );
        float cc = findCc( x );
        float ss = findSs( s1 );
        float t = findT( ss );
        float m = findM( c1, cc, x, s1, s1c );
        cout << "k = " << K << endl;
        cout << "x = " << x << endl;
        cout << "s1 = " << s1 << endl;
        cout << "s1c = " << s1c << endl;
        cout << "c1 = " << c1 << endl;
        cout << "cc = " << cc << endl;
        cout << "ss = " << ss << endl;
        cout << "t = " << t << endl;
        cout << "m = " << m << endl;
}
int main()
{
        //testFormula( 5.0f );
        float x = 0.01f;
        float s1, s1c, c1, cc, ss, t, m;
        float c;
        cout << "Starting...." << endl;
        do {
        s1 = findS1( x );
        s1c = findS1c( x, s1 );
        c1 = findC1( s1c, s1, x );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cc = findCc( x );
ss = findSs( s1 );
t = findT( ss );
m = findM( c1, cc, x, s1, s1c );
c = c1 + cc;
//if( (abs( t - c ) <= 10000.0f) && (ss <= 34800.0f) && (m <= 10000.0f) )
if( (abs( t - c ) <= 30000.0f) && (ss <= 3000.0f) && (m <= 39000.0f) )
{
        cout << "ss = " << ss << endl;
        cout << "m = " << m;
        print( x );
}
x += 0.01f;
} while( x < K );
cout << "\n\nx is over the max/min" << endl;
return 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้

P = 3998.149-108 = 3890.149

ตารางที่ ผก 73 แสดงการหาค่า ระยะ 2 ชั้นที่โมดูลัสยืดหยุ่นต่างกัน

ระยะ (m.)	0.99		0.95		0.90		0.85		0.80	
M ต้องการ	385124.75		369564.16		350113.41		330662.67		311211.92	
Kd	13.8500		13.8500		13.8500		13.8500		13.8500	
x	11.1802		10.1401		9.1201		8.2501		7.4701	
y	2.6698		3.7099		4.7299		5.5999		6.3799	
		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM
M	385044.19	80.57	369598.54	-34.39	350162.97	-49.56	330647.94	14.72	311112.65	99.27
σ1 CG	120.0000		120.0000		120.0000		120.0000		120.0000	
σ1	174.5618		170.3591		165.6028		161.2309		157.1677	
σc	24.0000		24.0000		24.0000		24.0000		24.0000	
c1	17458.8306		16426.3505		15195.7618		14009.9342		12861.5759	
cc	480.5640		667.7820		851.3802		1007.9838		1148.3856	
σs	3280.7292		3201.7425		3112.3530		3030.1868		2953.8223	
σ1c	33.6495	C-T	45.6329	C-T	56.5547	C-T	65.1898	C-T	72.3984	C-T
C	17939.3946	-2663.5849	17094.1325	-3012.8104	16047.1420	-3498.4351	15017.9180	-4011.6553	14009.9615	-4540.0423
T	20602.9795		20106.9429		19545.5771		19029.5733		18550.0038	

ระยะ (m.)	0.50		0.45		0.40		0.35		0.30	
M ต้องการ	194507.45		175056.71		155605.96		136155.22		116704.47	
Kd	13.8500		13.8500		13.8500		13.8500		13.8500	
x	3.6900		3.1500		2.6200		2.0900		1.5800	
y	10.1600		10.7000		11.2300		11.7600		12.2700	
		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM
M	194414.10	93.35	175253.46	-196.75	155923.92	-317.96	136094.29	60.92	116555.98	148.49
σ1 CG	120.0000		120.0000		120.0000		120.0000		120.0000	
σ1	137.3609		134.6582		132.0555		129.5055		127.1038	
σc	24.0000		24.0000		24.0000		24.0000		24.0000	
c1	6590.1152		5639.0541		4698.9068		3753.6669		2840.5355	
cc	1828.8000		1926.0000		2021.4000		2116.8000		2208.6000	
σs	2581.5710		2530.7766		2481.8618		2433.9377		2388.7987	
σ1c	100.7644	C-T	104.0319	C-T	107.0746	C-T	109.9628	C-T	112.6039	C-T
C	8418.9152	-7793.3506	7565.0541	-8328.2227	6720.3068	-8865.7855	5870.4669	-9414.6618	5049.1355	-9952.5201
T	16212.2658		15893.2768		15586.0923		15285.1287		15001.6556	

ระยะ (m.)	0.75		0.70		0.65		0.60		0.55	
M ต้องการ	291761.18		272310.43		252859.69		233408.94		213958.20	
Kd	13.8500		13.8500		13.8500		13.8500		13.8500	
x	6.7601		6.0900		5.4500		4.8400		4.2600	
y	7.0899		7.7600		8.4000		9.0100		9.5900	
		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM
M	291816.40	-55.23	272396.17	-85.74	252829.70	29.99	233318.05	90.89	214030.08	-71.89
σ1 CG	120.0000		120.0000		120.0000		120.0000		120.0000	
σ1	153.4102		149.8509		146.4643		143.2663		140.2646	
σc	24.0000		24.0000		24.0000		24.0000		24.0000	
c1	11759.5809		10679.3523		9617.7054		8583.7906		7584.4956	
cc	1276.1892		1396.7928		1511.9946		1621.7946		1726.2000	
σs	2883.2045		2816.3096		2752.6610		2692.5576		2636.1438	
σ1c	78.5321	C-T	83.9593	C-T	88.8300	C-T	93.2003	C-T	97.1218	C-T
C	13035.7701	-5070.7544	12076.1451	-5610.2793	11129.7000	-6157.0114	10205.5852	-6703.6763	9310.6956	-7244.2872
T	18106.5246		17686.4244		17286.7114		16909.2616		16554.9828	

พระจอมเกล้าเจ้าคุ

ระยะ (m.)	0.25		0.20		0.15		0.14	
M ต้องการ	97253.72		77802.98		58352.23		54462.09	
Kd	13.8500		13.8500		13.8500		13.8500	
x	1.0900		0.6000		0.1200		0.0300	
y	12.7600		13.2500		13.7300		13.8200	
		ΔM		ΔM		ΔM		ΔM
M	97373.62	-119.89	77799.11	3.87	58252.08	100.15	54546.62	-84.53
σ1 CG	120.0000		120.0000		120.0000		120.0000	
σ1	124.8456		122.6368		120.5214		120.1301	
σc	24.0000		24.0000		24.0000		24.0000	
c1	1960.9033		1079.8236		215.9986		54.0000	
cc	2296.8000		2385.0000		2471.4000		2487.6000	
σs	2346.3586		2304.8457		2265.0881		2257.7340	
σ1c	115.0202	C-T	117.3240	C-T	119.4771	C-T	119.8698	C-T
C	4257.7033	-10477.4289	3464.8236	-11009.6072	2687.3986	-11537.3545	2541.6000	-11636.9694
T	14735.1322		14474.4308		14224.7532		14178.5694	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย