สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีต เพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

EFFECT OF CHANG IN ELASTICITY OF CONCRETE TO PREDICTED CAPACITY LOADED IN REINFORCE CONCRETE SHORT COLUMN

โดย
นายจรงค์ฤทธิ์ โยมสิน
นายรัฐกร แก้วผนึก
นายโสภณ มณีโชติ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83314
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CHANGE IN ELASTICITY OF CONCRETE TO PREDICTED CAPACITY LOADED IN REINFORCE CONCRETE SHORT COLUMN

BY

JARONGRIT YOMSIN

RATTAGORN KAEWPANUG

SOPON MANEECHOT

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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตเพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก			
นักศึกษา	นายจรงค์ฤทธิ์	โยมสิน	รหัสประจำตัว	48015460
	นายรัฐกร	แก้วผนึก	รหัสประจำตัว	48015489
	นายโสภณ	มณีโชติ	รหัสประจำตัว	48015503
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์			

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ ผศ.สุพจน์ ศรีนิล ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร ผศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่..... เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตเพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก **EFFECT OF CHANG IN ELASTICITY OF CONCRETE TO PREDICTED CAPACITY LOADED IN REINFORCE CONCRETE SHORT COLUMN**			
นักศึกษา	นายจรงค์ฤทธิ์	โยมสิน	รหัสประจำตัว	48015460
	นายรัฐกร	แก้วผนึก	รหัสประจำตัว	48015489
	นายโสภณ	มณีโชติ	รหัสประจำตัว	48015503
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
ปีการศึกษา	2550			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์			

บทคัดย่อ

โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยล้วนแล้วแต่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งอาคารบางแห่งมีการใช้งานเป็นระยะเวลานานย่อมส่งผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้าง เนื่องมาจากการล้าของคอนกรีตและส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ลดลงตามมาด้วย การจะทราบถึงพฤติกรรมการลดลงของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะต้องใช้เวลานาน โครงงานพิเศษนี้จึงได้หาวิธีการทดสอบให้น้อยลงโดยใช้คอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตมวลเบา เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา จึงเทียบให้เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตธรรมดาที่รับน้ำหนักกระทำมาเป็นเวลานานแล้ว เมื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีการล้าของคอนกรีตที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงจะสามารถทำนายกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่ากำลังที่สามารถรับได้ของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงไปจากกำลังอัดเริ่มต้นจากผลทดลองทำให้ได้รู้ว่าอนาคตของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจะรับน้ำหนักได้อีกเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	**EFFECT OF CHANG IN ELASTICITY OF CONCRETE TO PREDICTED CAPACITY LOADED IN REINFORCE CONCRETE SHORT COLUMN**
Name	:	MR.JARONGRIT YOMSIN MR.RATTAGORN KAEWPANUG MR.SOPON MANEECHOT
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF.SUWAT TEERASET

ABSTRACT

Building structure in Thailand typically 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. This special project aims to find an alternative method reducing the time of determination by applying typical and lightweight concretes. Because lightweight concrete has lower elastic modulus than typical concrete but has been carried loads for period of time. When analyzing by the creep theory, the load capacity of shot reinforce concrete columns can be predicted. From the experiments, it is found, that when time elapses, the shot reinforce concrete columns have lesser carrying loading capacity than their original values when the experiments start. This result can beneficially forecast the potential carrying load capacity of short reinforce concrete columns.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

และขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธาส่วนต่อเนื่อง ที่ให้แรงกายแรงใจช่วยเหลือการวิจัยในโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ในที่สุด

ท้ายสุดนี้ขอกล่าวขอบพระคุณสำหรับอาจารย์และบุคคลากรทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทั้งวิทยาการและประสบการณ์แก่ผู้ประพันธ์ตลอดระยะเวลาการศึกษาในสถาบันแห่งนี้

นายจรงค์ฤทธิ์ โยมสิน
นายรัฐกร แก้วผนึก
นายโสภณ มณีโชติ
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
	คำอธิบายสัญลักษณ์	ฐ
1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 กล่าวนำ	3
	2.2 ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	
	2.2.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	3
	2.2.2 การล้าของคอนกรีต	5
	2.2.3 คอนกรีตมวลเบา	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 **หลักการและทฤษฎีที่ใช้**

3.1 ความเค้น – ความเครียดของคอนกรีต 8

3.2 โมดูลัสยืดหยุ่น

3.2.1 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต 9

3.2.2 การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการล้าของคอนกรีต 11

3.3 เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3.1 นิยาม 15

3.3.2 พฤติกรรมการรับแรงอัดตามแกนของเสาสั้น 15

3.3.3 กำลังรับแรงอัดตามแกนของเสาสั้น 16

3.4 กระบวนการทดสอบ

3.4.1 การทำคอนกรีต 16

3.4.2 การบ่ม 17

3.4.3 การทดสอบตัวอย่างรับแรงอัดตามแนวแกน 19

3.4.4 ผลจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักกระทำ 20

3.4.5 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดแท่งตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก 21

4 **การทดสอบรับแรงอัด**

4.1 การทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก

4.1.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ 23

4.1.2 วิธีการทดสอบ 23

4.1.3 ผลการทดลอง 24

4.2 การทดสอบเสาสั้น

4.2.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ 35

4.2.2 วิธีการทดสอบ 35

4.2.3 ผลการทดลอง 37

4.2.4 ผลจากการแยกเหล็กออกจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 42

5 **วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ**

5.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อใช้ทำนายการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 46

5.2 สรุปผลการทดสอบ 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

รูปที่ ชื่อรูป **หน้า**

5.1 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่วันต่างๆ 46
5.2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่วันต่างๆ 47
5.3 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกกับหน่วยน้ำหนัก 48
5.4 แสดงค่าหน่วยแรงอัดที่ความเครียด 0.003 ของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอก 49
5.5 แสดงค่าสัดส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกต่อเสา 50
5.6 แสดงค่าสัดส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอก 51
5.7 แสดงค่าหน่วยแรงอัดที่ความเครียด 0.003 และโมดูลัสยืดหยุ่นของ 52
5.8 แสดงค่าหน่วยแรงอัดของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่วันต่างๆ 53
5.9 แสดงค่าแรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 54
5.10 แสดงค่าแรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่วันต่างๆ 54
5.11 ค่าเปอร์เซ็นต์แรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเทียบ กับตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของคอนกรีต	4
3.1	เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดในอุดมคติสำหรับคอนกรีตรับแรงอัดแกนเดียว	8
3.2	เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดสำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอก ให้แรงกระทำตามแนวแกนที่มีหน่วยแรงอัดต่างๆกัน	9
3.3	แสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	10
3.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่บรรทุกน้ำหนัก	11
3.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเวลา	12
3.6	แสดงผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มชื้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต	18
3.7	การบ่มตัวอย่างทรงกระบอก	19
3.8	การบ่มตัวอย่างเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	19
3.9	เส้นโค้งอัตราความเค้นและความเครียดสำหรับคอนกรีตที่แรงกดตามแกนมีอัตราแปรเปลี่ยน	21
3.10	การแปลงค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์เป็นค่ากำลังอัดของรูปทรงกระบอกมาตรฐาน	22
4.1	แสดงการวิบัติของคอนกรีตทรงกระบอก	27
4.2	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตกับเวลา	28
4.3	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตกับเวลา	28
4.4	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตกับหน่วยการหดตัว	29
4.5	แสดงการวิบัติของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอก	33
4.6	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบากับเวลา	33
4.7	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบากับเวลา	34
4.8	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบากับหน่วยการหดตัว	34
4.9	แสดงเครื่องทดสอบเสาสั้น	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10	แสดงการติดตั้ง Dial gauge	36
4.11	แสดงการวิบัติของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	38
4.12	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กกับหน่วยการหดตัว	39
4.13	แสดงการวิบัติของเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก	41
4.14	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กกับหน่วยการหดตัว	41
4.15	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตกับหน่วยการหดตัว	43
4.16	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตมวลเบากับหน่วยการหดตัว	45
5.1	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตกับเวลา	47
5.2	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกกับเสาสั้นคอนกรีต	48
5.3	กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบากับหน่วยน้ำหนัก	49
5.4	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบากับหน่วยน้ำหนัก	50
5.5	กราฟปรับแก้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	51
5.6	กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นเสาสั้นคอนกรีตมวลเบากับหน่วยแรงอัด	52
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับเวลาที่เปลี่ยนไป	53
5.8	แสดงกำลังรับแรงตามแนวแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
P_O	กำลังต้านทานแรงอัดตามแนวแกน
P_n	กำลังรับแรงอัดสูงสุดตามแนวแกน
P_u	กำลังรับแรงอัดตามแนวแกนสำหรับใช้ออกแบบ
ω	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต
t	เวลา
σ_C	หน่วยแรงอัดคอนกรีตทรงกระบอก
σ_{LW}	หน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบา
σ_{RC}	หน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
σ_{RLW}	หน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก
σ_{SLW}	หน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตมวลเบา
E_C	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตทรงกระบอก
E_{LW}	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบา
E_{SCC}	โมดูลัสยืดหยุ่นเสาสั้นคอนกรีต
E_{SLW}	โมดูลัสยืดหยุ่นเสาสั้นคอนกรีตมวลเบา
E_{CY}	โมดูลัสยืดหยุ่นของทรงกระบอก
E_{SC}	โมดูลัสยืดหยุ่นของเสาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Problem Identification)

เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กถูกแรงกระทำโดยน้ำหนักของคาน,พื้นและส่วนที่อยู่บนหัวเสา ซึ่งน้ำหนักเหล่านี้กระทำอย่างต่อเนื่องเรื่อยมาเป็นเวลานาน จึงทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงจากปกติ การตระหนักถึงผลกระทบของน้ำหนักที่กระทำต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ที่มีต่อเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ในเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแรงกระทำอยู่ตลอดเวลา ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการออกแบบโดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นค่าหนึ่ง แต่เมื่อเสาเริ่มรับน้ำหนักค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มเปลี่ยนแปลงไปจะเกิดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอีกหลายค่าตามระยะเวลาการรับน้ำหนัก ซึ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ออกแบบ จึงส่งผลกระทบต่อความสามารถการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กในระยะยาวลดลง จึงควรที่จะกระทำการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการทำนายค่าการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเสารับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ซึ่งทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นในคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตเพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ 2 ชนิดคือคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตมวลเบามาทดสอบ ลักษณะการทดสอบโดยให้กำลังอัดตามแนวแกนเพิ่มอย่างช้าๆ ตัวอย่างการทดสอบดังนี้

1. คอนกรีตธรรมดา
   - เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15×15×60 ซ.ม. กำลังอัดประลัย (f'_c) 180, 280 , 300 ksc. จำนวณ (f'_c) ละ 3 ตัวอย่าง รวมเป็น 9 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 28 วัน
   - รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม.สูง 30 ซ.ม. กำลังอัดประลัย (f'_c) 180 , 280 , 300 ksc จำนวน(f'_c) ละ 9 ตัวอย่างรวมเป็น 27 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 3 , 7 , 28 วัน
2. คอนกรีตมวลเบา
   - เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 15×15×60 ซ.ม. หน่วยน้ำหนัก 1600 ,1800 ,1900 kg/m^3 จำนวนหน่วยน้ำหนักละ 3 ตัวอย่าง รวมเป็น 9 ตัวอย่าง ทดสอบที่อายุ 28 วัน
   - รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. หน่วยน้ำหนัก 1600 ,1800,1900 kg/m^3 จำนวนหน่วยน้ำหนักละ 9 ตัวอย่างรวมเป็น 27 ตัวอย่างทดสอบที่อายุ 3 , 7 , 28 วัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ทดสอบกำลังรับแรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก และเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. วิเคราะห์ผลเพื่อทำนายกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รู้ถึงสภาวะการรับน้ำหนักที่แท้จริงเมื่อเวลาผ่านไป
2. เข้าใจถึงการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. ได้รู้เกี่ยวกับค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเสารับน้ำหนักเป็นระยะเวลานานๆ
4. สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประกอบในการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. ทำนายความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น, การล้าของคอนกรีต, คอนกรีตมวลเบา ที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ซึ่งเป็นแนวทางในการศึกษาโครงงานพิเศษนี้

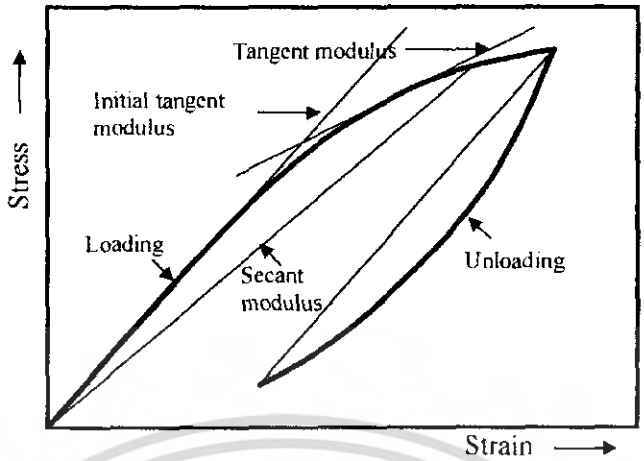
2.2 ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

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

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วเส้นสัมพันธ์จะไม่เป็นเส้นตรงแต่มีลักษณะเป็นโค้งพาลาโบล่า ในการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจากเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีต เมื่อทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกขนาด 15×30 ซม. รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของคอนกรีตในขณะมีน้ำหนักกระทำและขณะไม่มีน้ำหนักกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

Paolo Gardoni1. Kamran M. Nemati. และ Takafumi Noguchi (1997) 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

$$E_c = 4{,}270 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \qquad (1)$$

โดยที่

E_c = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (kg/cm^2)

w_c = หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (T/m^3)

f_c' = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (kg/cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การล้าของคอนกรีต

การล้าในคอนกรีตมีทั้งผลดีและผลเสีย ผลดีคือจะบอกถึงค่าระดับความเหนียวที่จำเป็นสำหรับคอนกรีตการล้ามีผลกระทบต่อการโค้งที่มีมากกว่าปกติเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำ ซึ่งสามารถเห็นผลความไม่มั่นคงในโครง Arch shell และ structure รอยร้าวการโก่งเดาะในเสายาว ความถี่จากอันตรายที่เป็นผลเนื่องจากการล้าจะเสียหายมากจนถึง non-load-bearing ที่เกี่ยวเนื่องกับส่วนหนึ่งของโครงสร้าง เช่น โครงหน้าต่าง ชิ้นส่วนที่โดนห่อหุ้มนอกจากตัวโครงสร้างมันเอง (Davis and Alexander, 1992)

H. C. Mertol, W. Choi, S. Rizkalla และ P. Zia (2006) ได้ทำการทดสอบหาค่าการล้า (Creep) ของคอนกรีตโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2004) โดยใช้แบบทดสอบทรงกระบอก 102 x 305 mm จำนวนทั้งหมด 42 ตัวอย่าง แบบทดสอบปริซึมขนาด 76 x 76 x 286 mm จำนวนทั้งหมด 18 ตัวอย่าง ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 365 วัน โดยตัวอย่างที่ทดสอบทำการบ่มด้วยไอน้ำ 1 วัน เทียบกับตัวอย่างที่ทำการการบ่มด้วยความชื้น 7 วัน ทำการทดสอบโดยใช้แม่แรงไฮโดรลิค (Hydraulic Jack) ให้แรงอัดกระทำสรุปผลการทดลองพบว่า

1. การล้ามีแนวโน้มเดียวกับคอนกรีตปกติ
2. พฤติกรรรมการล้าของคอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำ 1 วันน้อยกว่าคอนกรีตที่บ่มด้วยความชื้น 7 วัน
3. ค่าสัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีตที่บ่มด้วยความชื้นมีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบกับ AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2004)
4. ค่าสัมประสิทธิ์การล้าของคอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำมีค่าสูงเกินไปเมื่อเทียบกับ AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2004)

ประเทศนิวซีแลนด์ ได้ทำการทดสอบการคำนวณค่าการล้าในคอนกรีตตามวิธีการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอเมริกา ปี 1971 และ 1992 (American Concrete Institute: ACI) วิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 1970 , 1978 และ 1990 (Comite Europeen du Beton: CEB-FIP) วิธีของสมาคมมาตรฐานอังกฤษปี 1978 และ 1985 (British Standard Institute: BS) และวิธีของบาซอนท์ปี 1978 , 1991 และ 1995 (Bazant's Methods) พบว่าคำนวณการล้าของสมาคมคอนกรีตอเมริกา (1971) มีความแปรผันสูงสุดและวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรป (1970) มีความแปรผันต่ำสุด การทดสอบการล้าพบว่าวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรป มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คอนกรีตมวลเบา

การทดสอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเสริมเหล็กต้องใช้ระยะเวลานานหลายปีจึงจะได้ผลการทดสอบที่สามารถสรุปถึงการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจึงมีการคิดค้นจะทำให้คอนกรีตมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากคอนกรีตปกติด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงนำเอาคอนกรีตที่เรียกว่า "คอนกรีตมวลเบา" มาใช้ในการทดสอบ แต่คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อจำกัดในด้านการผลิตที่จะทำให้น้ำหนักเบาลงกว่าคอนกรีตธรรมดา

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป หากจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนักสามารถแบ่ง ออกได้ 3 ประเภทคือ

1. คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structure light weight concrete) มีน้ำหนักระหว่าง 1,400 kg/m^3 ถึง 1,800 kg/m^3 มีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่อ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 170 ksc.
2. คอนกรีตชนิดกึ่งเบา (Semi-light concrete) มีน้ำหนักตั้งแต่ 1,800 kg/m^3 ถึง 2,050 kg/m^3 นำมาทำพวกคอนกรีตบล็อก สำหรับกำแพงกั้นรั้วและใช้เป็นวัสดุทนไฟ มีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 120 ksc.
3. คอนกรีตสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating light weight concrete) มีน้ำหนักตั้งแต่ 315 kg/m^3 ถึง 1,100 kg/m^3 มีกำลังต้านทานแรงอัดระหว่าง 7 ถึง 70 ksc.

อย่างไรก็ตาม ถ้าจะแบ่งคอนกรีตเบาออกเป็นประเภท ตามวัสดุที่ใช้ในการผลิต ก็สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา คอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต คอนกรีตไม่มีมวลรวมละเอียด สำหรับโครงงานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะ "คอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต"

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการผลิตคอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีตมี 2 วิธี

วิธีแรกเป็นวิธีทางเคมีโดยใช้ผลของการทำปฏิกิริยาเคมี-ทำให้เกิดฟองก๊าซในเนื้อคอนกรีตในขณะที่ยังมีสภาพPlastic และ

วิธีที่สองเป็นการทำให้เกิดฟองอากาศ (Foaming Agent) แล้วผสมลงในส่วนผสมคอนกรีตให้ฟองอากาศกระจายในส่วนผสมของซีเมนต์และทรายละเอียดที่ยังอยู่ในสภาพ Plastic จากนั้นก็ปล่อยให้แข็งตัวเนื่องจากคอนกรีตพรุนมีโพรงที่เกิดจากการแทรกตัวของฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตซึ่งทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง มีน้ำหนักเบาหน่วยน้ำหนักประมาณ 200 ถึง 300 kg/m^3

ข้อแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบากับคอนกรีตธรรมดา

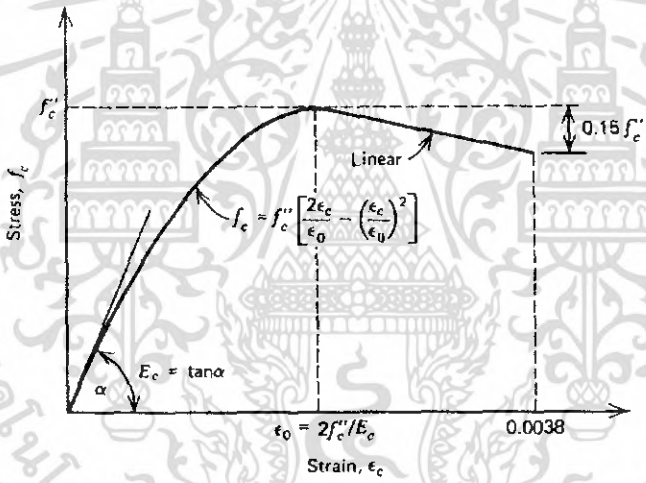
1. คอนกรีตเบาดูดซึมน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
2. คอนกรีตมวลเบาหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5-40 %
3. คอนกรีตมวลเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา
4. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ ½ ถึง ¾ เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดประลัยเท่ากัน
5. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตมวลเบาประมาณ $7x10^6$ ถึง $14x10^6$ ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการและทฤษฎีที่ใช้

3.1 ความเค้น - ความเครียดของคอนกรีต

สภาวะคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบมีความเค้นในทิศทางเดียวเท่านั้น คือความเค้นมีแกนเดียว เพราะว่าสถานการณ์เกี่ยวกับโครงสร้างส่วนใหญ่ในคอนกรีตความเค้นมีทิศทางจำนวนมากมาย แต่ทว่าในสมมุติฐานของโครงงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้คอนกรีตมีสภาวะความเค้นแกนเดียวดังแสดงในรูป (3.1)

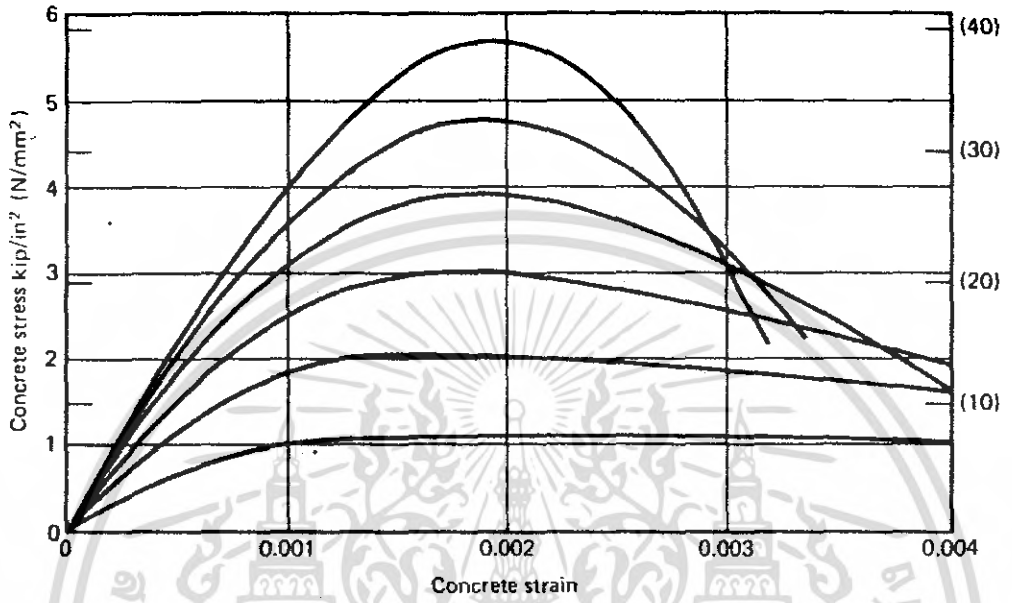


รูปที่ 3.1 เส้นโค้งความเค้น - ความเครียดในอุดมคติสำหรับคอนกรีตรับแรงอัดแกนเดียว

รูปที่ 3.2 แสดงเส้นโค้งความเค้น – ความเครียดของคอนกรีตที่ให้แรงกระทำตามแนวแกน โดยทั่วไปที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่มีกำลังรับแรงกระทำตามแนวแกนไม่เท่ากัน การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะปฏิบัติอย่างละเอียด เส้นโค้งพาราโบลาดีกรี 2 อย่างกว้างที่ได้เกือบจะเป็นเส้นตรงจนถึงประมาณครึ่งของกำลังรับแรงอัดเส้นโค้งจะค่อยๆลดลง ยอดของเส้นโค้งของคอนกรีตกำลังสูงจะค่อนข้างแหลม แต่ถ้าคอนกรีตกำลังต่ำเส้นโค้งที่ได้จะมีลักษณะยอดแบน ความเครียดที่ค่าความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 0.002 หลังจากค่าความเค้นสูงสุดคอนกรีตยังสามารถทนทานอยู่ได้แม้ว่าจะเกิดรอยร้าวขนานกับทิศทางที่แรงกระทำกับคอนกรีตและคอนกรีตจะวิบัติที่ความเครียดประมาณ 0.003 - 0.004 การทดสอบคอนกรีตกับเครื่องทดสอบอาจล้มเหลวหากอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มแรงกระทำเร็วเกินไปจนเกิดการระเบิดขึ้นก่อน เพราะคอนกรีตไม่สามารถดูดซับพลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือทดสอบได้ทัน เพราะฉะนั้นการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจำเป็นต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการทดสอบ



รูปที่ 3.2 เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดสำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอกให้แรงกระทำตามแนวแกนที่มีหน่วยแรงอัดต่างๆกัน

3.2 โมดูลัสยืดหยุ่น

3.2.1 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตพิจารณาจากความสัมพันธ์ของเส้นโค้งพาราโบลาดีกรี 2 ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่แสดงใน รูป (3.3) โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้สำหรับโครงงานวิจัยนี้จะใช้การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบ Initial Tangent Modulus เนื่องจากจะได้ค่าที่มีค่ามากที่สุด

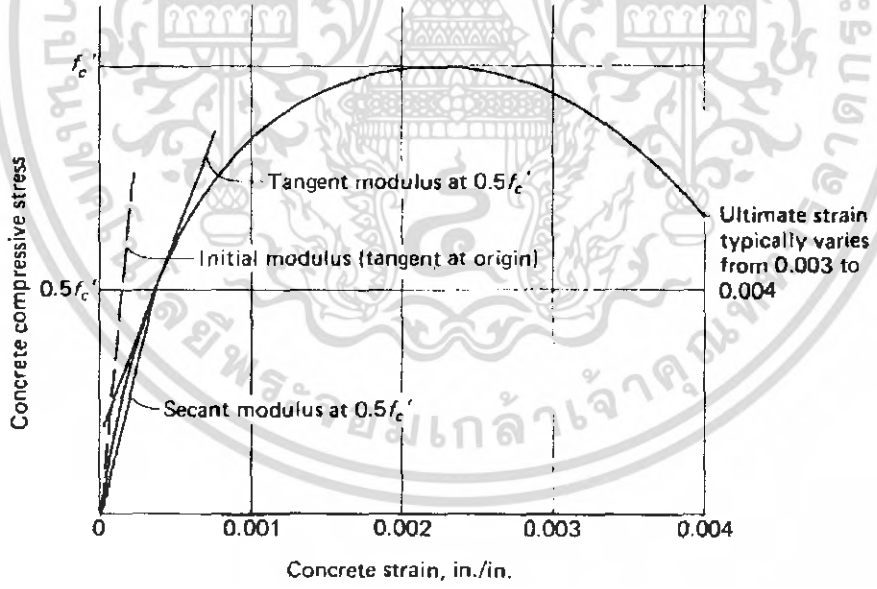
1. Initial Tangent Modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสซึ่งได้จากการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นให้สัมผัสกับเส้นความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว (Stress – Strain Curve) ที่จุดเริ่มต้นนั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าที่สมมุติว่าคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเสมือนวัสดุยืดหยุ่นเช่นเดียวกับเหล็ก 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



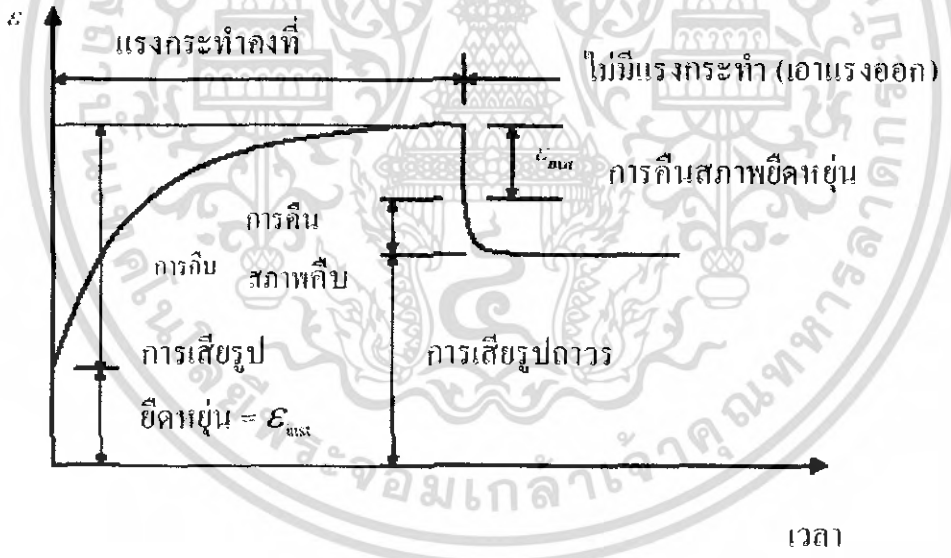
รูปที่ 3.3 แสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Mehta, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากการล้าของคอนกรีต

การล้าของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเพิ่มมากขึ้น ในลักษณะที่หน่วยการหดตัวเพิ่มมากขึ้นภายใต้น้ำหนักหรือแรงกระทำคงที่ที่ถูกทิ้งไว้ให้กระทำเป็นระยะเวลานาน อัตราการล้าของคอนกรีตจะช้าลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นพบว่าประมาณ 75% ของการล้าจะเกิดขึ้นภายใน 6 เดือน และประมาณ 90% ของการล้าจะเกิดขึ้นภายในเวลา 1 ปี

เมื่อพิจารณาแท่งคอนกรีตทรงกระบอกที่รับแรงอัดตามแนวแกน พบว่าจะเกิดการหดตัวทันทีโดยมีระยะการหดตัวเริ่มแรก (Elastic Deformation) แต่เมื่อปล่อยให้แรงกดอัดกระทำค้างไว้ จะพบว่ามีการหดตัวหรือมีการเสียรูปเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการล้าของคอนกรีต รูปที่ (3.4) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่บรรทุกน้ำหนัก หลังจากที่นำเอาน้ำหนักกระทำออกไปคอนกรีตจะเริ่มคืนตัวอย่างรวดเร็วโดยมีระยะคืนตัวทันที (Elastic Recovery) และระยะคืนตัวแบบ (Creep Recovery) และมีระยะการหดตัวถาวร (Permanent Deformation) เกิดขึ้น



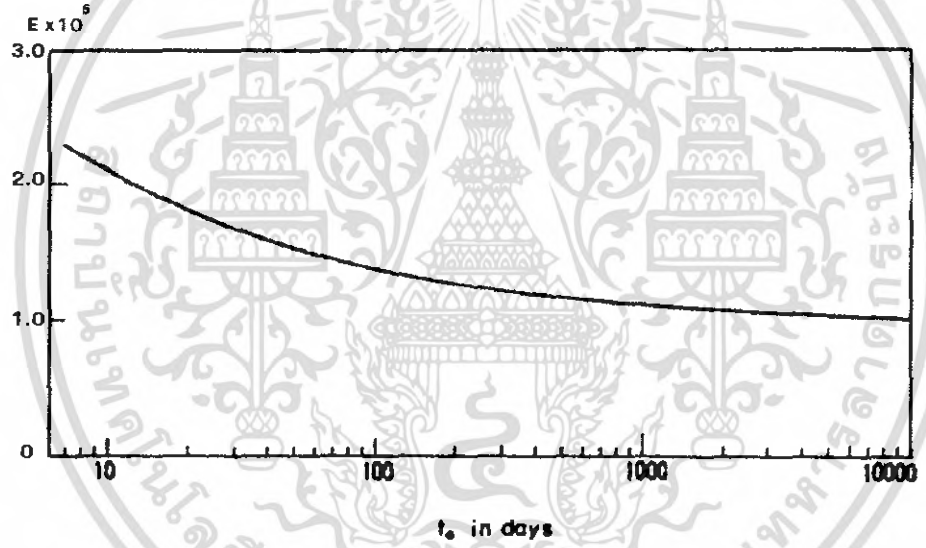
รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่บรรทุกน้ำหนัก

การล้าของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งทีทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเพิ่มมากขึ้น ในลักษณะที่หน่วยการหดตัวเพิ่มมากขึ้นภายใต้น้ำหนักหรือแรงกระทำคงที่ที่ถูกทิ้งคงค้างไว้ให้กระทำเป็นเวลานานที่หน่วยแรงในช่วงอีลาสติก (เช่นต่ำกว่า $0.5f'_c$) การเปลี่ยนรูปร่างแบบอินอีลาสติกนี้จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงในช่วงเวลาที่รับน้ำหนักโดยขนาดทั้งหมดอาจจะเป็นหลายเท่าของการโก่งแอ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีลาสติกในช่วงเวลาสั้น สันนิษฐานว่าการล้าของคอนกรีตเกิดจากหดตัวของช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต การไหลหนืด(viscous flow) ของซีเมนต์เพสท์ การไหลของผลึกในวัสดุผสม และจากการซึมของน้ำที่หนีจากวุ้นซีเมนต์ (Cement Gel) บ่อยครั้งที่การล้าเกิดขึ้นร่วมกับการหดตัวเนื่องจากทั้งคู่เกิดขึ้นพร้อมกันและบ่อยครั้งที่ให้ผลสุดท้ายเหมือนกัน นั่นคือการเพิ่มของการโก่งแอ่นตามเวลา

การล้าของคอนกรีตจะลดความแข็งแรงของคอนกรีตลงซึ่งจะแปรตามการลดลงของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจึงทำให้เกิดการถ่ายแรงจากคอนกรีตให้เหล็กเสริมมากขึ้น ลดแรงอัดในคอนกรีตอัดแรง เปลี่ยนจุดดัดกลับในคานต่อเนื่อง เพิ่มการโก่งตัวของโครงสร้าง เนื่องจากโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าลดลง และลดความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลงตามเวลาการรับแรงกระทำ ดังแสดงในรูปที่ (3.5) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเวลา



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เวลาต่างๆจะใช้สมการซึ่งเป็นสมการอ้างอิงที่ได้จากมาตรฐาน **ACI 209R-82** ตัวอย่างการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก

$$E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\phi(t)} \tag{2}$$

E_{ce} = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ณ เวลา t

E_{ci} = โมดุลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักกระทำปกติใช้ที่การบ่ม 28 วัน คำนวณจากสมการของ ACI 209 ($E_c = 4{,}270w_c^{1.5}\sqrt{f_c'}$)

$\phi(t)$ = สัมประสิทธิ์การล้า

สมการที่อ้างอิงโดย ACI-209 (1992)

$$\phi(t) = \phi_\infty(t)\frac{(t-t_0)^{0.6}}{10+(t-t_0)^{0.6}} \tag{3}$$

โดยที่

$\phi(t)$ = สัมประสิทธิ์การล้า ณ เวลา t

$$\phi_\infty(t) = C_u K_a K_h K_{th} K_s K_f K_e \tag{4}$$

C_u = สัมประสิทธิ์การล้าสูงสุด มีค่าระหว่าง 1.30 ถึง 4.15 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.35

K_a = สัมประสิทธิ์ด้านอายุเมื่อน้ำหนักกระทำ

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

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

ให้ 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 สำหรับบ่มด้วยไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักกระทำ 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.

(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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3.1 นิยาม

เสา (Column) เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างที่อยู่ในแนวดิ่งทำหน้าที่รับแรงอัดตามแนวแกน ประเภทหนึ่ง แต่มีความเรียวมากเมื่อเทียบกับความยาว และโดยมากพฤติกรรมของเสาเมื่อรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เสียหายหรือวิบัติ การวิบัติของเสาอาจเป็นแบบแตกหักย่อยหรือแบบโก่งเดาะก็ได้ ซึ่งชิ้นส่วนรับแรงอัดส่วนใหญ่จะเสียหายแบบแตกหักเนื่องจากมีขนาดสั้นและมีความเรียวไม่มากนัก ชิ้นส่วนรับแรงอัดตามแนวแกนที่จัดว่าเป็นเสาได้ก็ต่อเมื่อ มีความยาวมมากกว่าสามเท่าของด้านแคบ เสาในอุดมคติที่นำมาวิเคราะห์นั้นจะต้องเป็นเสาที่มีความต่อเนื่องของมวลวัสดุ มีขนาดหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาวไม่โก่งงอก่อนที่จะรับแรง และจะต้องรับแรงตามแนวแกน ปกติเสาจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เสายาว เสายาวปานกลาง และเสาสั้น ในโครงงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเสาสั้นปลอกเดี่ยวเท่านั้น

เสาสั้น (Short Column) หมายถึงเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูด (kl/r) น้อยไม่เกินพิกัดที่ทำให้เสานั้นเกิดการวิบัติโดยการโก่งเดาะ มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดว่าเสาสั้นต้องมีอัตราส่วนระหว่างความสูงของเสาระหว่างชั้นต่อด้านแคบของหน้าตัดเสา ไม่เกินกว่า 15 กำลังรับน้ำหนักของเสาสั้นขึ้นกับกำลังต้านทานของวัสดุที่ใช้และขนาดรูปตัดของเสา

3.3.2 พฤติกรรมการรับแรงอัดตามแกนของเสาสั้น

เมื่อเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงอัดตามแนวแกนผ่านศูนย์ถ่วงของหน้าตัด จะเกิดการหดตัวตามแนวแกนและเกิดการเบ่งตัวออกทางด้านข้าง อันเนื่องมาจากผลของอัตราส่วนปัวซองส์ของคอนกรีตหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดเสาถือว่าแผ่กระจายสม่ำเสมอ เสาคอนกรีตที่เสริมเฉพาะเหล็กยืนเพียงอย่างเดียวจะมีพฤติกรรมการวิบัติแบบเปราะ เพราะทันทีที่คอนกรีตส่วนที่หุ้มเหล็กยืนถูกอัดแตก หลุดและร่อนออกเหล็กยืนจะถูกอัดและเสาเกิดการวิบัติทันที่เนื่องจากการโก่งเดาะของเหล็กยืน แต่เมื่อเสาคอนกรีตดังกล่าวเสริมด้วยเหล็กปลอก เหล็กปลอกจะช่วยโอบรัดแกนคอนกรีตภายในไว้ทำให้เสาคอนกรีตเสริม เหล็กนั้นมีกำลังต้านทานแรงอัดได้อีกและช่วยให้เสามีพฤติกรรมแบบเหนียวก่อนที่เสาจะวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 กำลังรับแรงอัดตามแกนของเสาสั้น

กำลังขององค์อาคารในการรับแรงอัดตามแกนอย่างเดียว (ไม่มีการเยื้องศูนย์) หาได้จาก

$$Po = 0.85 f'_c A_g + f_y A_{st} \tag{5}$$

โดยที่ A_{st} เป็นพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม และ A_g เป็นพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีต หรือถ้าหักพื้นที่ของเหล็กเสริมซึ่งแทนที่เนื้อคอนกรีตอยู่ ก็จะได้สมการ

$$Po = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \tag{6}$$

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้เผื่อระยะเยื้องศูนย์โดยการลดกำลังต้านทานแรงอัดตามแนวแกนอย่างเดียวของเสาปลอกเดี่ยวให้เหลือเพียง 80 % ดังนั้นจะได้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดตามแนวแกน

$$Pn = (0.80)[0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \tag{7}$$

สำหรับค่าที่ใช้ออกแบบจะใช้ตัวคูณลดกำลังสำหรับเสาปลอกเดี่ยวเท่ากับ 0.70

$$Pu = \phi Pn$$

เพราะฉะนั้น

$$Pu = (0.70)(0.80)[0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \tag{8}$$

Pu เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นค่าที่ได้ลดกำลังลงแล้วเพื่อความปลอดภัย ตัวอย่างการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ข

3.4 กระบวนการทดสอบ

3.4.1 การทำคอนกรีต

1. อัตราส่วนผสมวัสดุ เมื่อใช้มวลรวมอย่างเดียวกัน คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนผสมต่างกัน จะให้กำลังของคอนกรีตต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีที่ใช้ปริมาณน้ำผสม เพื่อเพิ่มความสามารถเทได้ เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ยิ่งมาก กำลังของคอนกรีตยิ่งลดลง ยืดหดตัวตัวมากและมีรูโพรงมากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2. การชั่งหรือตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้
3. การผสมคอนกรีต จะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุดเพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้น การผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้
4. การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ
5. การใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตมวลเบาจะต้องใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมโดยไม่เหลวเกินและไม่เหนียวเกินไป ซึ่งอัตราส่วนจะส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ w/c = 0.4
6. การผสมโฟมเพื่อทำคอนกรีตมวลเบาจะต้องผสมให้โฟมเข้ากับเนื้อคอนกรีตให้ดีและจะต้องใส่โฟมที่มีเม็ดละเอียดจริงเพื่อจะได้กำลังอัดที่ดีที่สุด

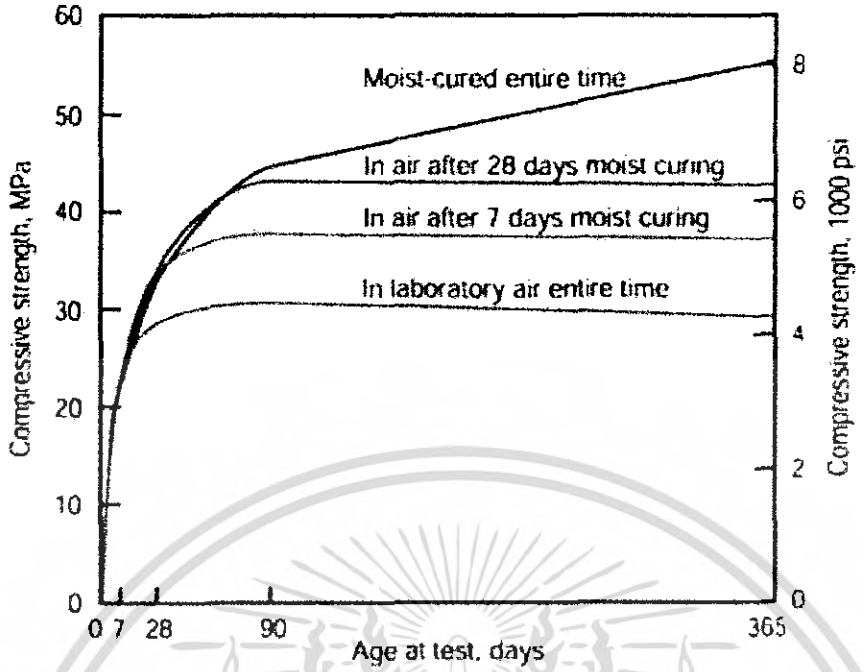
3.4.2 การบ่ม(Curing)

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

การบ่มคอนกรีตที่เพียงพอและเหมาะสมจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง มีความทึบน้ำ มีความต้านทานต่อความเค้นและการสึกกร่อนมากขึ้น การพัฒนากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกถ้าได้รับการบ่มที่ดีหลังจากนั้นกำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ดังรูปที่ (3.6) แสดงกำลังที่เพิ่มขึ้นสำหรับคอนกรีตที่มีช่วงเวลาการบ่มชื้นที่ต่างกัน

83314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

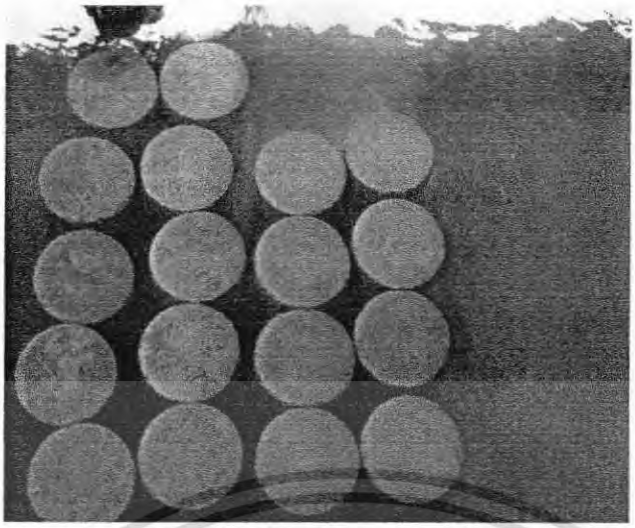


รูปที่ 3.6 แสดงผลกระทบของระยะเวลาในการบ่มชื้นที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

กรรมวิธีการบ่มขึ้นอยู่กับสภาพคอนกรีตและสภาพแวดล้อมสำหรับงานทั่วๆไปใช้การบ่มแบบธรรมดาก็เพียงพอแต่ในกรณีอากาศร้อนหรือเย็นต้องใช้กรรมวิธีการบ่มด้วยวิธีพิเศษ หากขาดความชื้นกำลังของคอนกรีตจะยังคงเพิ่มขึ้นอีกระยะหนึ่งเพราะคอนกรีตยังคงมีความชื้นเหลืออยู่ภายในเนื้อคอนกรีตหลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์ของคอนกรีตตกลงมาเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ กำลังคอนกรีตจะไม่เพิ่มขึ้นอีกดังนั้นเราจึงควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดจนกว่าคอนกรีตมีคุณสมบัติตามต้องการ สำหรับกรรมวิธีการบ่มเพื่อรักษาความชื้นในคอนกรีตที่ใช้ในโครงงานวิจัยนี้คือ

การขังหรือหล่อน้ำ (Ponding and Imersion) การขังหรือการหล่อน้ำใช้ได้ดีกับงานบนพื้นราบ เช่น พื้นถนน หรือ แผ่นพื้น โดยใช้ดินเหนียวหรือก่ออิฐเป็นคันกันรอบพื้นที่ที่ต้องการบ่มเพื่อขังน้ำไว้ การขังน้ำเป็นวิธีที่ดีในการป้องกันการสูญเสียความชื้น และรักษาอุณภูมิให้สม่ำเสมอ โดยน้ำต้องมีอุณภูมิต่ำกว่าคอนกรีตไม่เกิน 11 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิซึ่งเป็นสาเหตุของการแตกร้าว แต่วิธีนี้ต้องใช้แรงงานและการดูแลสูง จึงควรใช้เฉพาะงานขนาดเล็กเท่านั้น น้ำที่ใช้บ่มคอนกรีตต้องสะอาดและปราศจากสิ่งเจือปนเพราะจะทำให้คอนกรีตเกิดรอยด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การบ่มตัวอย่างทรงกระบอก

รูปที่ 3.8 การบ่มตัวอย่างเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.4.3 การทดสอบตัวอย่างรับแรงอัดตามแนวแกน

1. เตรียมตัวอย่างที่บ่มครบ 28 วัน ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ วัดขนาดทั้ง 3 มิติ ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
2. ทำการแค็ปหัวของตัวอย่างด้วยกำมะถันตามมาตรฐานการทดสอบ
3. นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบโดยวางให้แนวแรงที่กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดตัวอย่าง เพื่อป้องกันการเยื้องศูนย์
4. ติดตั้ง Dial gauge 2 ตัว ให้ตำแหน่งอยู่ตรงข้ามกัน เซ็ต Dial gauge พร้อมเครื่องทดสอบให้เรียบร้อย

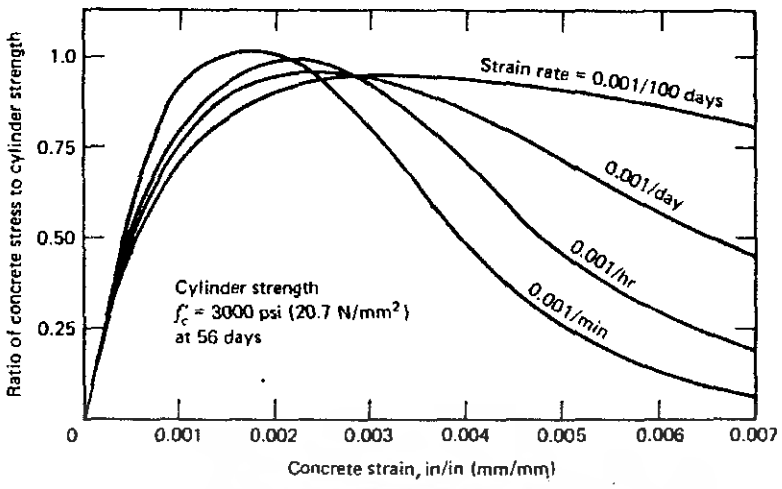
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เริ่มให้น้ำหนักกระทำพร้อมเริ่มจับเวลา ให้น้ำหนักกระทำอย่างช้าๆจนถึง 25% ของกำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาที่คำนวณได้จากสูตรทางทฤษฎี แล้วให้น้ำหนักกระทำค้าง 2 ชั่วโมง
6. จึงบันทึกค่า Div ที่อ่านจาก Dial gauge ทั้ง 2 ตัว จากนั้นจึงค่อยๆเพิ่มน้ำหนักกระทำขึ้นไปครั้งละ 25% ทุกๆ 2 ชั่วโมง เมื่อน้ำหนักครบ 100% แล้วตัวอย่างยังไม่วิบัติให้เพิ่มน้ำหนักเรื่อยๆเมื่อครบ 25% ให้ค้างไว้อีก 2 ชั่วโมง
7. นำผลการทดสอบที่ได้ มาทำการคำนวณหา Stress และ Strain
8. นำ Stress และ Strain มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(Ec) สำหรับแต่ละตัวอย่างทดสอบ
9. จากการผลทดสอบทั้งหมดคือ ตัวอย่างทรงกระบอก และตัวอย่างเสาสั้นเสริมเหล็ก จะนำข้อมูลที่ได้ไปสู่กระบวนการวิเคราะห์ผลเพื่อให้ได้ตามจุดประสงค์ ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

3.4.4 ผลจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักกระทำ

ผลจากความช้า – เร็วของอัตราการเพิ่มน้ำหนักกระทำในขณะทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีต เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเส้นโค้งพาราโบลาความเค้นความเครียด รูปที่ (3.9) แสดงเส้นโค้งอัตราความเค้นและความเครียดสำหรับคอนกรีตที่แรงกดตามแกนมีอัตราแปรเปลี่ยน ถ้าทดสอบอย่างรวดเร็วค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่ามากที่ความเครียดมีค่าน้อย และการลดลงของความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการทดสอบอย่างช้าค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าน้อยที่ความเครียดมีค่ามาก และการลดลงมาของเส้นโค้งตกลงอย่างเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าความช้า – เร็ว ของการให้น้ำหนักกระทำในขณะทดสอบมีผลต่อความเค้น – ความเครียดของคอนกรีต และหากมองจากเส้นกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ายังส่งผลโดยตรงต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เส้นโค้งอัตราความเค้นและความเครียดสำหรับคอนกรีตที่แรงกดตามแกนมีอัตราแปรเปลี่ยน

3.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแท่งตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก

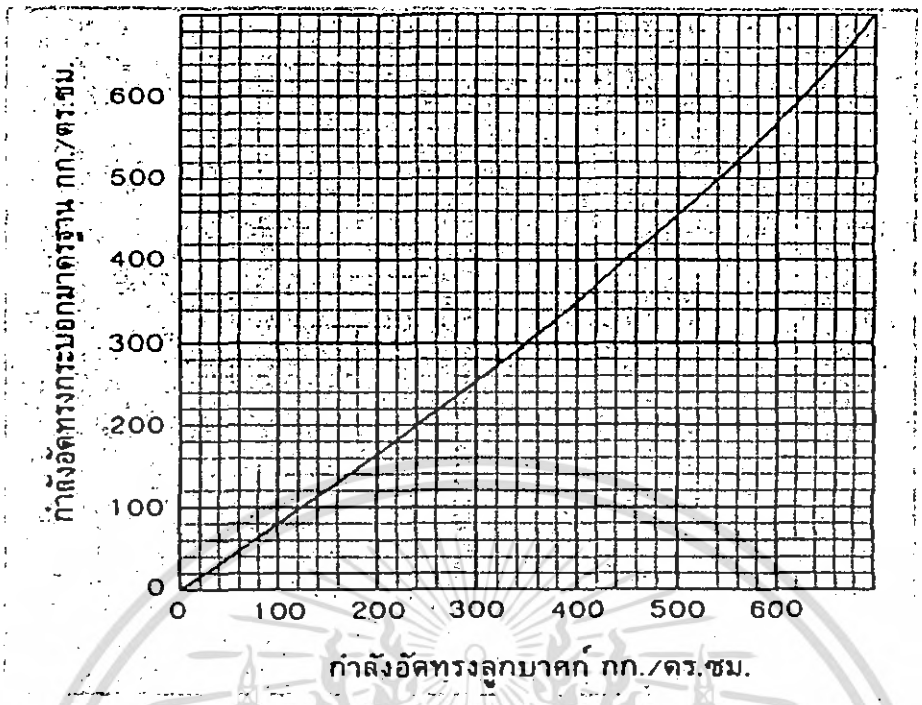
แท่งตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย มี 2 รูปทรง

1. รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร
2. รูปทรงลูกบาศก์เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษ ขนาดที่ใช้คือขนาด 15x15x15 เซนติเมตร

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผล ทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริงองค์ประกอบเรื่องความชะลูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ (3.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การแปลงค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์เป็นค่ากำลังอัดของรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบการรับแรงอัด

4.1 การทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทรงกระบอกนำไปใช้เป็นความสัมพันธ์ในการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กในอนาคต

4.1.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. กำลังอัดประลัย (f'_c) 180, 280 , 300 ksc. และหน่วยน้ำหนัก 1600 ,1800 ,1900 kg/m^3
2. เครื่องทดสอบรับแรงอัด
3. Dial gauge

4.1.2 วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างทรงกระบอกเข้าเครื่องทดสอบรับแรงอัด
2. ติดตั้ง Dial gauge
3. ทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักกระทำขึ้นไปครั้งละ 25% ทุกๆ 2 ชั่วโมงจนน้ำหนักครบ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดลอง

หน่วยแรงอัด 180 ksc.

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.95	29.97	175.538	12.823	25,993	148.081	81,250	2437.428
2	15.04	29.98	177.658	12.744	26,707	150.333	75,625	2392.706
3	14.98	30.03	176.243	12.857	27,013	153.273	78,948	2429.251
		เฉลี่ย	176.480	12.808	26,571	150.562	78,608	2419.795

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.92	29.95	174.834	12.838	30,071	172.033	111,111	2451.741
2	15.01	29.98	176.950	12.948	28,542	160.659	115,000	2440.734
3	14.96	30.02	175.773	12.932	28,542	162.163	110,909	2450.772
		เฉลี่ย	175.852	12.906	29,052	164.592	112,340	2447.749

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	29.85	177.658	13.384	32,517	183.036	123,847	2523.811
2	14.98	29.92	176.244	12.873	33,843	192.024	149,000	2441.203
3	15.01	30.01	176.950	12.924	65,823	186.240	142,500	2433.775
		เฉลี่ย	176.617	13.060	44,061	187.100	138,449	2466.263

หน่วยแรงอัด 280 ksc.

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	29.98	177.186	12.778	47,910.296	270.395	144,444	2405.481
2	14.91	30.17	174.600	12.993	47,400.612	271.481	166,666	2466.550
3	15.03	30.07	177.422	13.026	47,400.612	267.613	160,000	2441.576
		เฉลี่ย	176.402	12.932	47,570.51	269.830	157,037	2437.869

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.95	29.97	179.553	12.838	55,045.872	306.572	181,818	2385.712
2	15.03	29.90	177.422	12.941	50,458.716	284.399	169,231	2439.435
3	14.98	30.15	176.243	12.952	51,478.084	292.086	177,778	2437.461
		เฉลี่ย	177.739	12.610	52,327.56	294.352	176,276	2420.869

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	29.98	177.186	12.963	58,409	329.652	228,572	2440.307
2	14.97	30.02	176.008	12.941	57,594	327.225	200,000	2449.203
3	15.02	30.05	177.186	12.952	58,919	332.529	222,222	2432.557
		เฉลี่ย	176.633	12.952	58,307	329.802	216,931	2440.689

หน่วยแรงอัด 300 ksc.

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	30.15	177.658	13.046	48,929	275.415	185,000	2432.365
2	14.98	29.98	176.244	12.836	48,929	280.518	184,616	2413.185
3	15.02	29.95	177.186	12.957	54,536	308.201	187,693	2444.877
		เฉลี่ย	177.029	12.946	50,798	288.045	185,770	2430.142

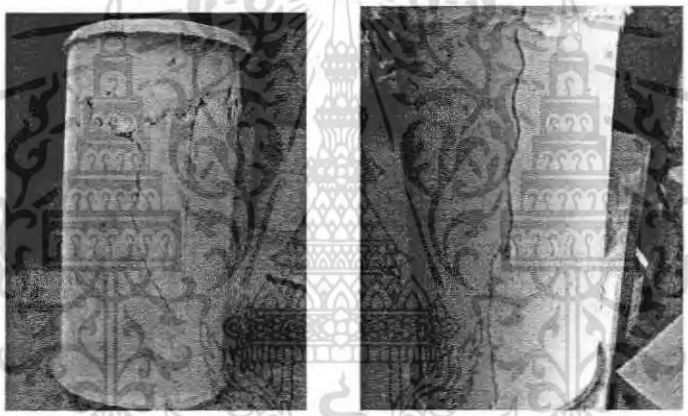
อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	30.07	177.895	13.067	51,478	289.375	216,667	2442.762
2	15.03	29.87	177.422	12.765	54536	307.381	200,000	2408.675
3	15.01	30.05	176.950	13.052	54,536	308.201	204,445	2454.607
		เฉลี่ย	177.422	12.961	53,517	301.652	207,307	2435.348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

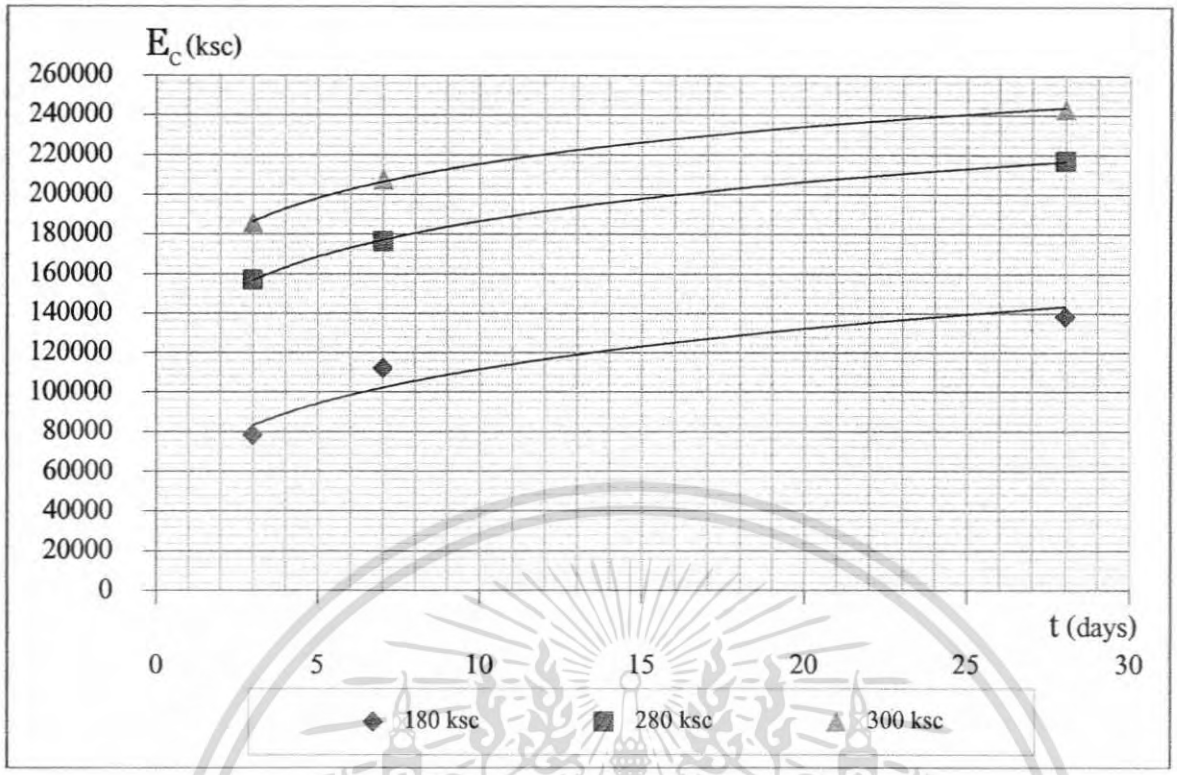
อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	30.10	177.658	13.114	62,487	351.728	240,000	2452.358
2	14.96	30.00	175.773	12.932	65,953	375.303	254,546	2452.405
3	14.98	29.98	176.244	12.892	63,404	359.755	236,364	2439.913
		เฉลี่ย	176.558	12.979	63,948	362.262	243,237	2448.226

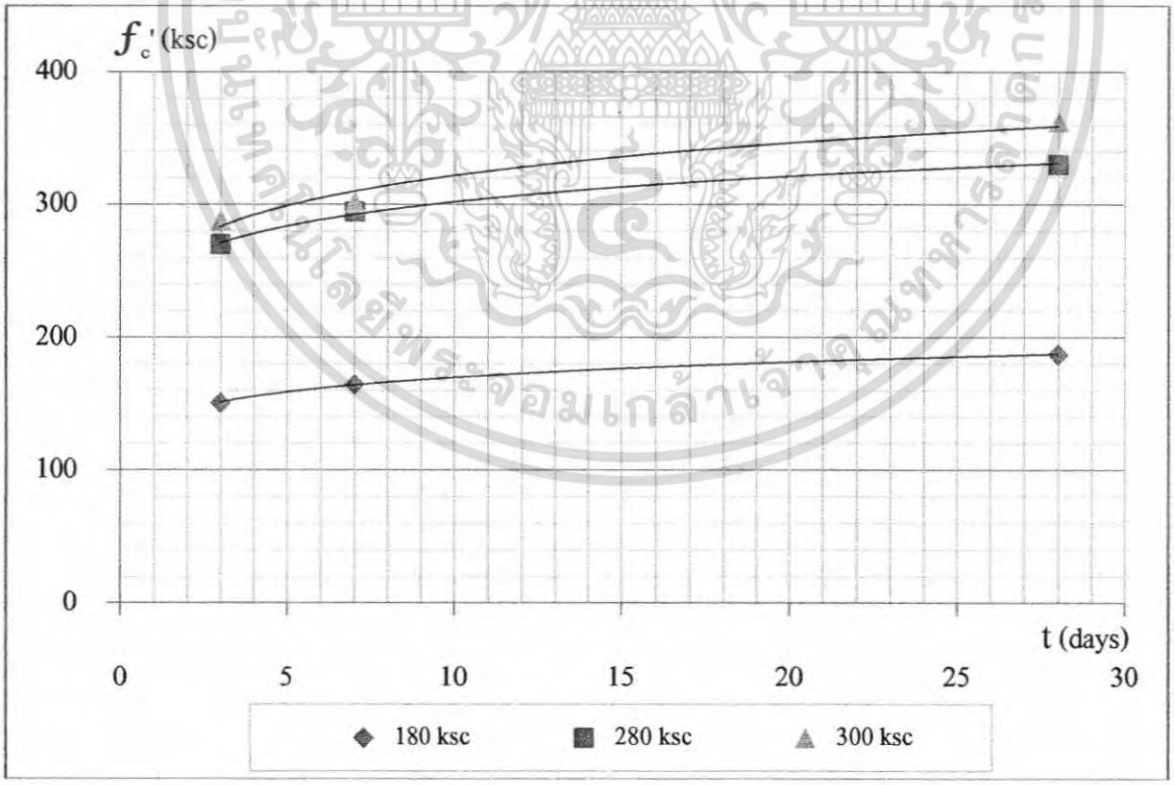


รูปที่ 4.1 แสดงการวิบัติของคอนกรีตทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

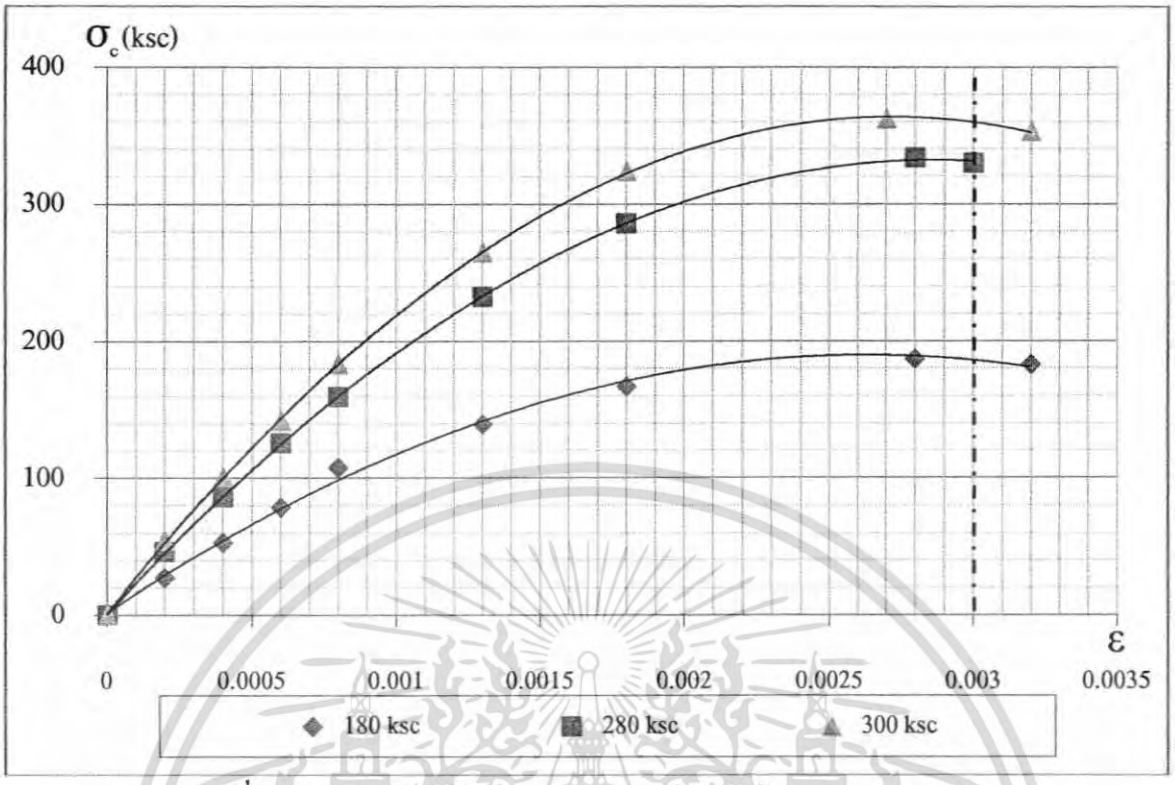


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตกับเวลา



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตกับหน่วยการหดตัว

คอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	30.10	177.894	8.253	18,858	106.011	44,348	1541.289
2	15.08	30.06	178.604	8.406	18,348	102.736	44,200	1565.702
3	15.04	30.02	177.658	8.365	21,508	120.494	39,750	1568.449
		เฉลี่ย	178.052	8.341	19,571	120.494	42,766	1558.480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	29.96	177.186	8.192	22,936	129.4	55,556	1543.188
2	15.05	29.92	177.894	8.216	23,445	131.8	51,740	1543.61
3	15.10	29.98	179.078	8.265	23,955	133.8	54,546	1539.462
		เฉลี่ย	178.052	8.224	23,445	131.667	53,947	1542.087

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.09	30.20	178.841	8.524	23,955	133.947	71,667	1578.227
2	14.98	30.10	176.243	8.540	22,974	141.705	81,250	1609.828
3	15.08	30.12	178.604	8.516	25,993	145.539	81,875	1583.031
		เฉลี่ย	177.896	8.527	24,307	140.397	78,264	1590.362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1800 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.13	30.04	179.791	9.218	38,226	212.615	72,476	1706.746
2	15.01	29.95	176.950	9.425	37,717	213.148	71,990	1778.418
3	14.97	30.05	176.008	9.258	36,697	208.497	73,686	1750.412
		เฉลี่ย	177.583	9.300	37,547	211.420	72,717	1745.192

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.01	29.54	176.920	9.275	38,736	218.909	82,480	1774.706
2	15.00	30.10	176.715	9.453	37,717	213.438	77,938	1777.173
3	15.04	29.86	177.658	9.286	39,246	220.906	77,919	1750.468
		เฉลี่ย	177.098	9.338	38,556	217.751	79,446	1767.449

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.11	29.98	179.316	9.417	41,284	230.233	90,909	1788.168
2	15.02	30.11	177.186	9.445	41,590	234.726	96,316	1803.912
3	15.14	30.01	180.029	9.569	42,813	237.816	93,334	1805.033
		เฉลี่ย	178.844	9.477	41,896	234.258	93,520	1799.038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1,900 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.08	30.00	178.604	10.018	39,245	219.734	82,063	1869.686
2	15.07	29.90	178.367	9.984	39,755	222.881	84,615	1872.056
3	15.04	30.05	177.658	9.894	39,245	220.906	82,353	1853.287
		เฉลี่ย	178.230	9.965	39,415	221.174	83,010	1865.010

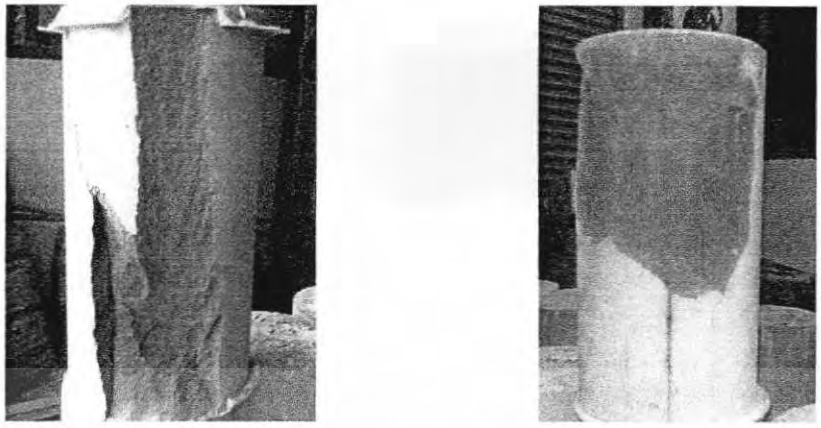
อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.03	29.90	177.422	10.008	41,794	235.563	92,606	1886.551
2	15.08	30.03	178.605	10.127	39,755	222.588	91,942	1888.13
3	15.10	30.10	179.079	10.146	39,755	221.999	92,502	1882.278
		เฉลี่ย	178.369	10.094	40,435	226.717	92,350	1885.653

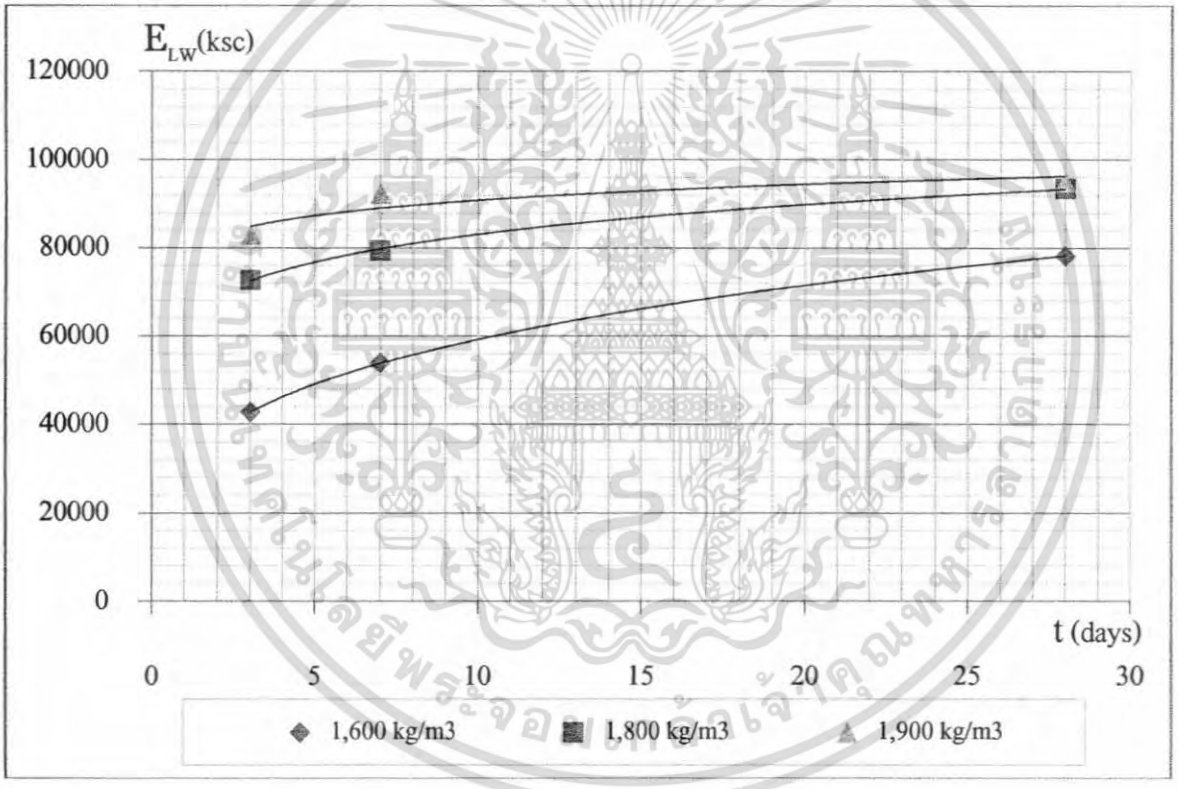
อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	29.90	177.895	10.023	41,794	235.563	95,704	1884.355
2	15.04	30.02	177.658	10.128	42,405	238.693	92,519	1899.014
3	15.08	30.05	178.605	10.214	42,303	236.857	96,694	1903.083
		เฉลี่ย	178.053	10.092	42,167	237.038	94,972	1895.484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

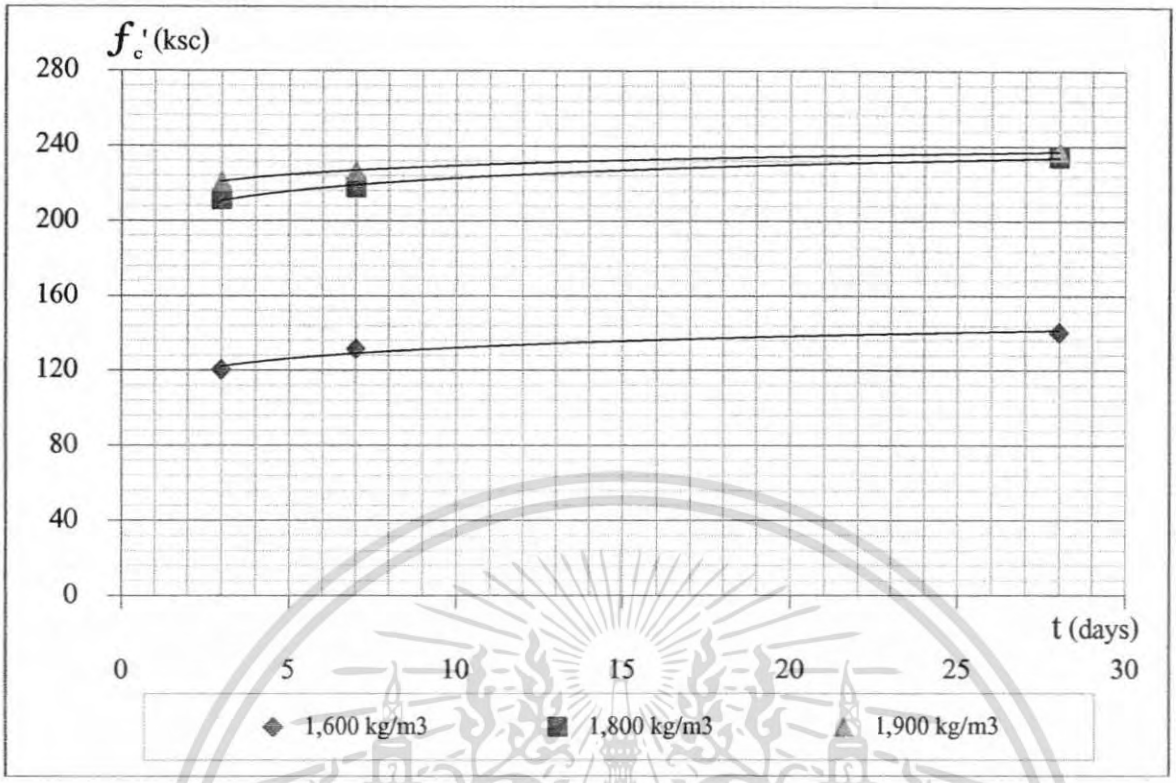


รูปที่ 4.5 แสดงการวิบัติของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอก

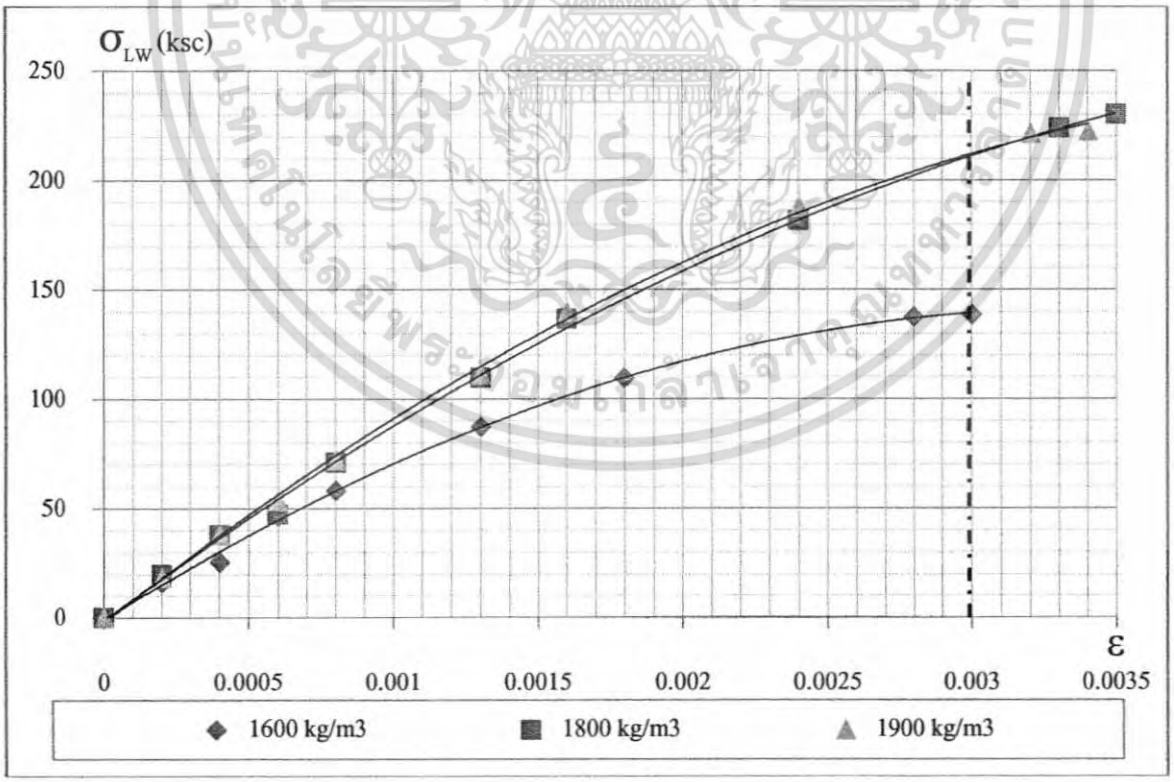


รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบากับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบากับเวลา



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบากับหน่วยการหดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบเสาสั้น

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทรงกระบอกนำไปใช้เป็นความสัมพันธ์ในการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กในอนาคต

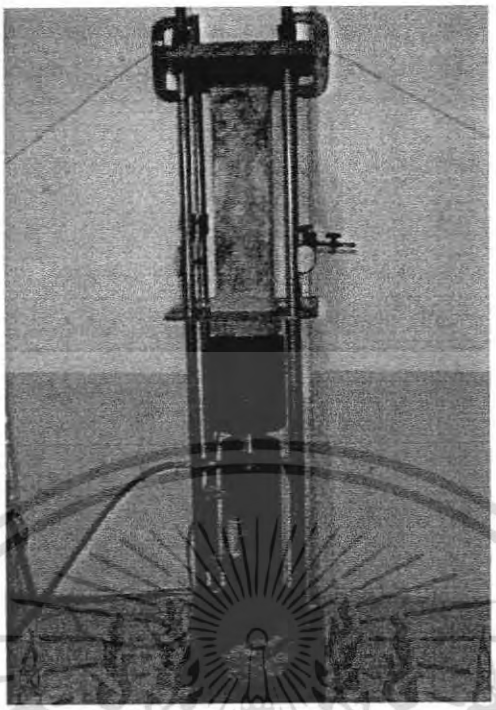
4.2.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างเสาสั้นคอนกรีตขนาด 15×15×60 ซ.ม. กำลังอัดประลัย (f'_c) 180, 280 , 300 ksc. และเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1600 ,1800 ,1900 kg/m^3
2. เครื่องทดสอบรับแรงอัด
3. Dial gauge

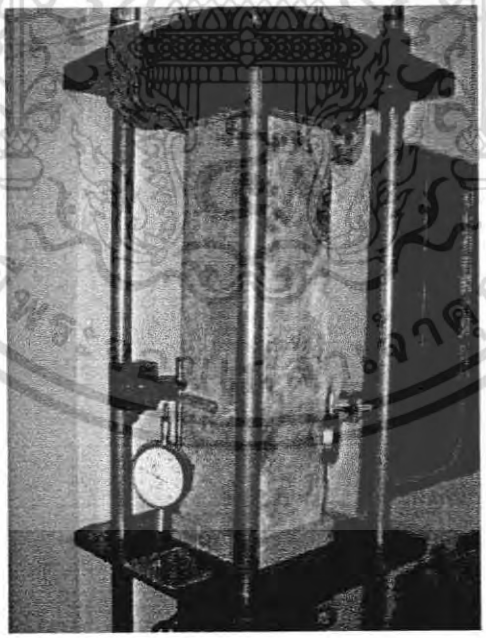
4.2.2 วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างทรงกระบอกเข้าเครื่องทดสอบรับแรงอัด
2. ติดตั้ง Dial gauge
3. ทดสอบโดยค่อยๆเพิ่มน้ำหนักกระทำขึ้นไปครั้งละ 25% ทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนเมื่อน้ำหนักครบ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องทดสอบเสาสั้น



รูปที่ 4.10 แสดงการติดตั้ง Dial gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดลอง

เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กหน่วยแรงอัด 180 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	15.12	15.06	60.10	227.707	34.241	45416.67	199.452	146,154	2501.97
2	14.99	15.02	59.80	225.150	34.009	44791.67	198.941	135,715	2525.25
3	15.11	15.07	60.00	227.708	34.041	52083.33	228.729	165,455	2491.49
			เฉลี่ย	226.855	34.091	47,430.56	209.041	149,108	2506.24

เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กหน่วยแรงอัด 280 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	15.19	14.90	60.0	226.331	34.254	76979.17	340.118	220,000	2522.412
2	14.92	14.93	60.1	222.756	34.176	83125.00	373.166	223,530	2552.803
3	15.17	15.02	59.9	227.853	34.224	83125.00	364.819	213,750	2507.548
			เฉลี่ย	225.647	34.218	81,076.39	359.368	219,093	2527.588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

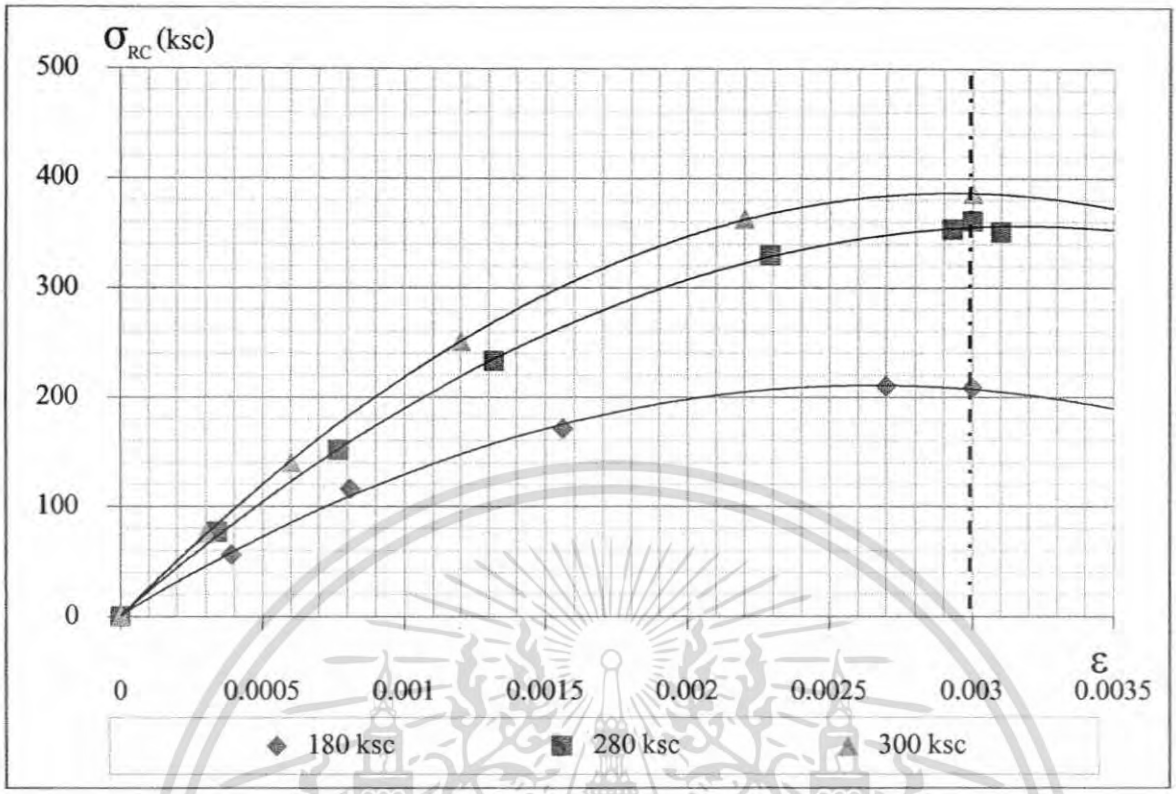
เสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กหน่วยแรงอัด 300 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	14.98	14.92	60.0	223.502	33.862	85104.17	380.776	231,334	2524.959
2	15.12	15.27	59.9	230.882	35.267	91145.83	394.772	265,000	2549.561
3	15.06	15.04	60.0	226.502	34.603	86,000.00	395.508	246,154	2545.967
			เฉลี่ย	226.962	35.577	87,416.67	390.352	247,496	2540.162

รูปที่ 4.11 แสดงการวิบัติของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กกับหน่วยการหดตัว

เสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กหน่วยน้ำหนัก 1600 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	14.96	15.20	61.51	227.392	23.500	21875.00	96.200	69,231	1680.419
2	15.01	14.93	61.02	224.099	22.754	21562.50	96.219	55,500	1664.516
3	14.95	15.22	60.54	227.539	22.358	21250.00	93.391	51,334	1624.134
			เฉลี่ย	226.343	22.871	21,562.5	95.270	58,688	1656.356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กหน่วยน้ำหนัก 1800 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

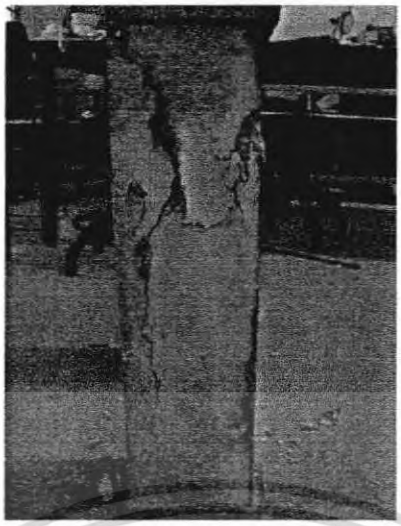
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	14.93	15.05	59.5	224.697	25.141	41666.67	185.435	67,223	1880.403
2	15.12	14.98	60.0	226.498	25.205	42083.33	185.800	73,685	1854.321
3	15.00	14.98	61.0	224.700	25.276	41875.00	186.360	84,211	1843.624
			เฉลี่ย	225.298	25.207	41,875.00	185.865	75,040	1859.449

เสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กหน่วยน้ำหนัก 1900 kg/m^3

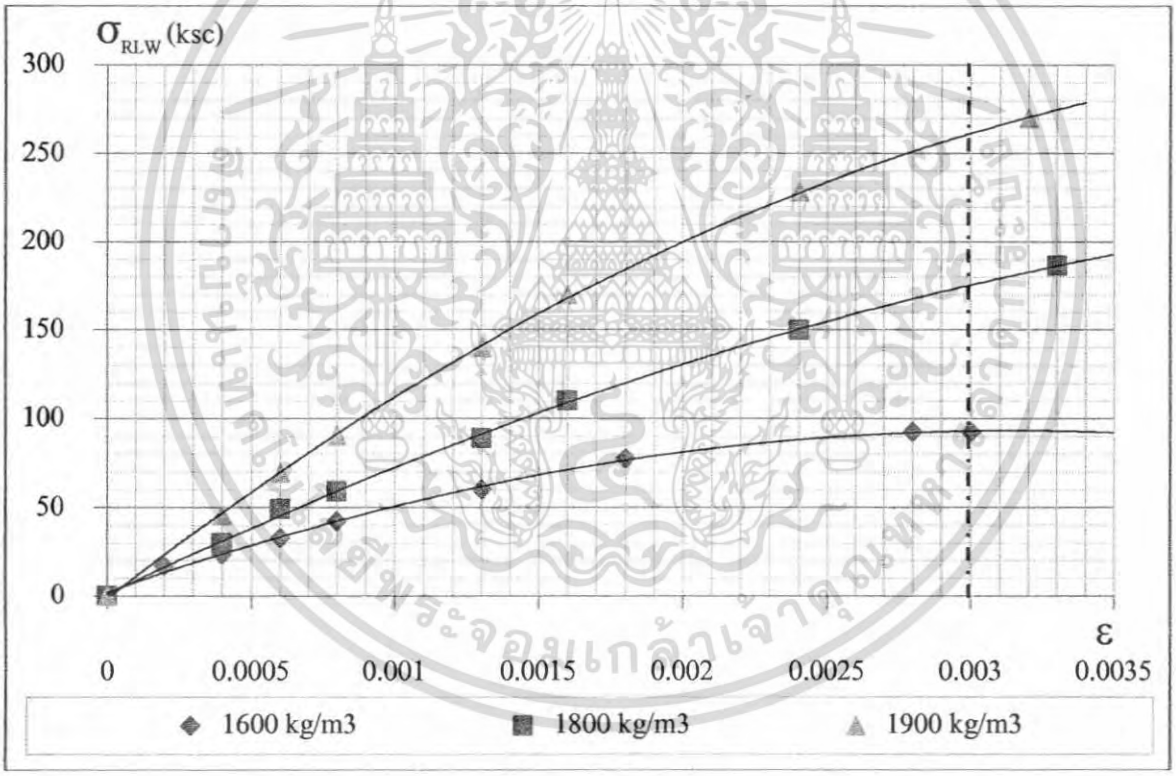
ตัวอย่างอายุ 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	15.40	15.20	59.89	234.080	26.70	61041.67	260.773	109,091	1904.551
2	14.89	15.10	60.00	224.839	26.76	61666.67	274.270	115,500	1983.642
3	14.98	14.98	60.05	224.400	26.46	62916.67	280.377	116,250	1963.604
			เฉลี่ย	227.773	26.64	61,875.00	271.807	113,614	1950.599

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงการวิบัติของเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กกับหน่วยการหดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลจากการแยกเหล็กออกจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาสั้นคอนกรีตหน่วยแรงอัด 180 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(ksc)	(ksc)
1	15.12	15.06	60.10	227.707	31862.09	139.926	85,385
2	14.99	15.02	59.80	225.150	31237.09	138.739	76,250
3	15.11	15.07	60.00	227.708	38528.76	169.202	95,000
			เฉลี่ย	226.855	33875.98	149.289	85,545

เสาสั้นคอนกรีตหน่วยแรงอัด 280 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

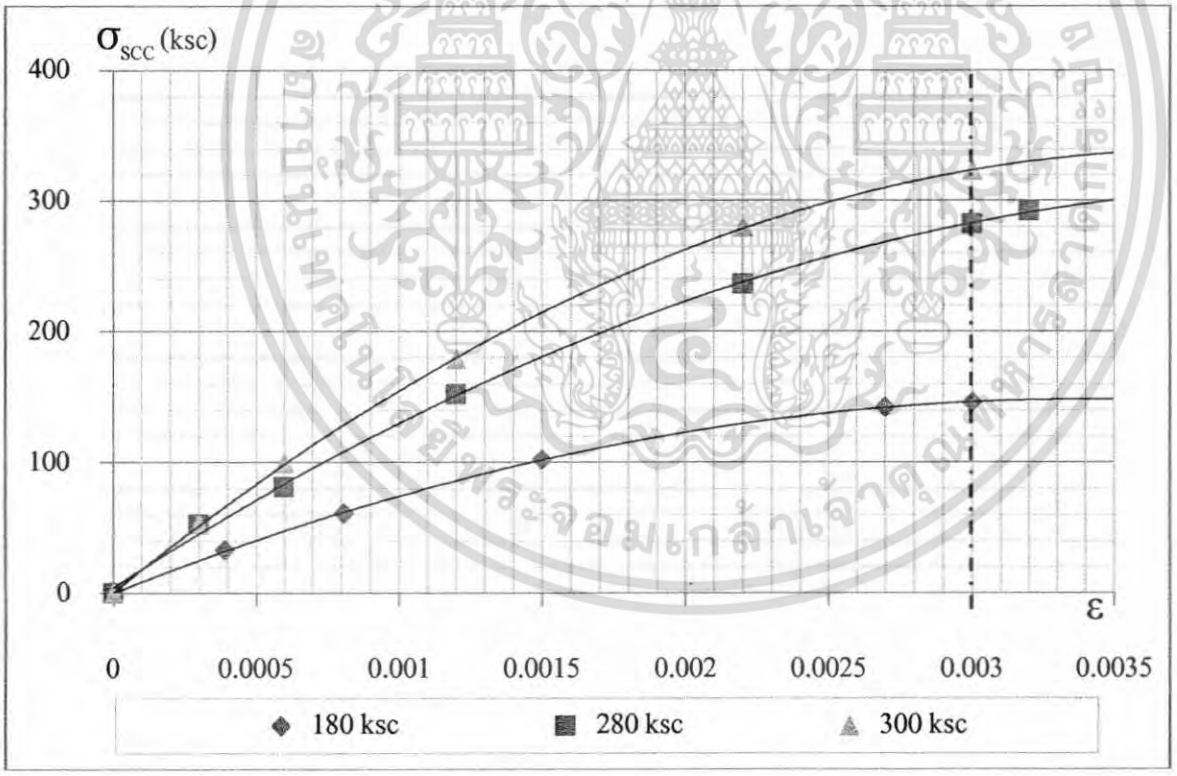
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(ksc)	(ksc)
1	15.19	14.9	60	226.331	63424.591	280.229	141,177
2	14.92	14.93	60.1	222.756	69570.424	312.317	145,910
3	15.17	15.02	59.9	227.853	69570.424	305.330	140,769
			เฉลี่ย	225.6467	67521.813	299.292	142,619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาสั้นคอนกรีตหน่วยแรงอัด 300 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(ksc)	(ksc)
1	14.98	14.92	60	223.502	71549.591	320.130	160,000
2	15.12	15.27	59.9	230.882	77591.257	336.065	180,000
3	15.06	15.04	60	226.502	76208.757	335.665	165,62
			เฉลี่ย	226.962	75116.535	330.620	170,000



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตกับหน่วยการหดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาคอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1600 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(ksc)	(ksc)
1	14.96	15.20	61.5	227.392	8320.424	36.591	18,056
2	15.01	14.93	61.0	224.099	8007.924	35.734	12,241
3	14.95	15.22	60.5	227.539	7695.424	33.820	13,400
			เฉลี่ย	226.343	8007.924	35.382	14,566

เสาคอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1800 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

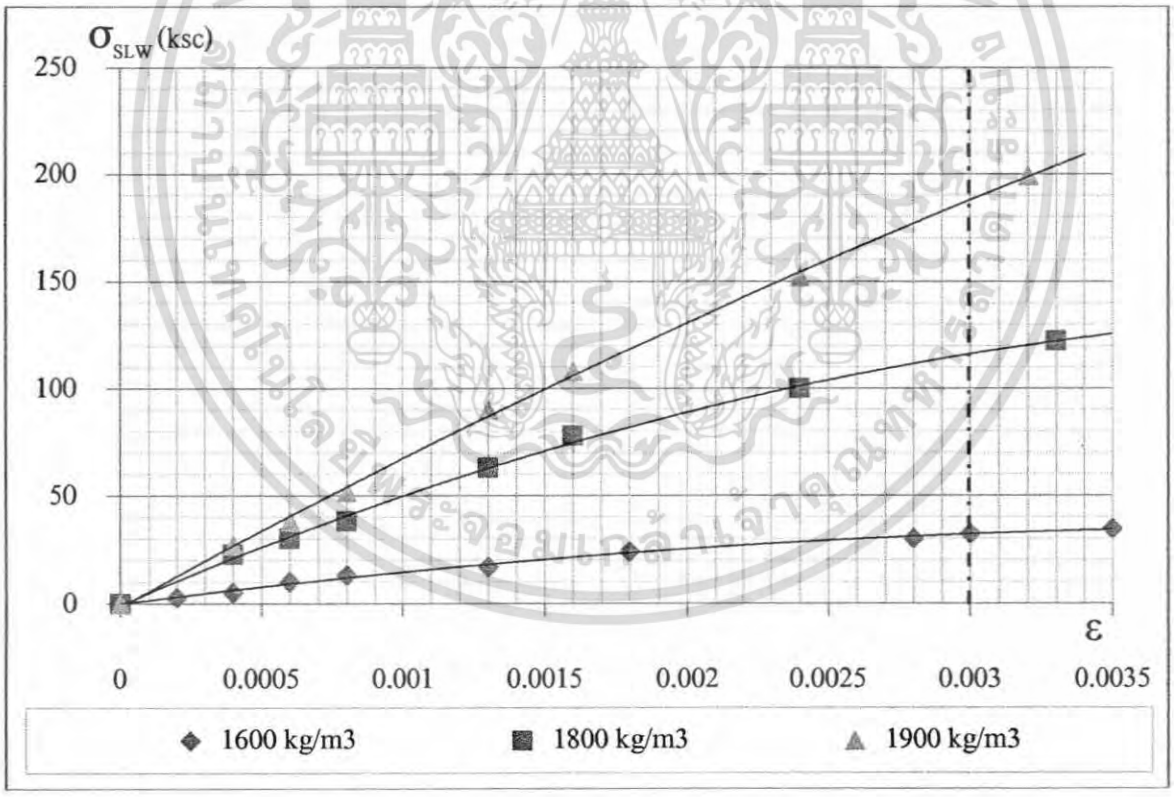
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(ksc)	(ksc)
1	14.93	15.05	59.5	224.697	28112.091	125.111	38,236
2	15.12	14.98	60.0	226.498	28528.757	125.956	60,556
3	15.00	14.98	61.0	224.700	28320.424	126.037	37,408
			เฉลี่ย	225.298	28320.42	125.701	45,400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาคอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1900 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(ksc)	(ksc)
1	15.4	15.20	59.89	234.080	47487.091	202.867	68,182
2	14.89	15.10	60.00	224.839	48112.091	213.985	65,217
3	14.98	14.98	60.05	224.400	49362.091	219.974	68,422
			เฉลี่ย	227.773	48320.42	212.275	67,274



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดเสาสั้นคอนกรีตมวลเบากับหน่วยการหดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

5.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อใช้ทำนายการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากผลการทดสอบได้ข้อมูล หน่วยแรงอัด หน่วยการหดตัวค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทรงกระบอกที่ใช้ทดสอบ ผลดังกล่าวนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่างๆเพื่อในการวิเคราะห์ผลการทดสอบต่อไปนี้

1. ในการที่จะทำนายกำลังรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเวลาผ่านไปนั้น จะใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนของคอนกรีตทรงกระบอกหน่วยแรงอัด 187, 329, 362 ksc ที่คำนวณได้จากสมการ $E_{ce}(t) = \frac{E_{ci}}{1+\Phi(t)}$ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ (5.1) และตารางที่ (5.2) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา ดังรูปที่ (5.1)
2. ยกตัวอย่างดังรูปที่ (5.1) เมื่อต้องการทำนายกำลังรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ 60 วัน จำเป็นต้องทราบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ 60 วัน ที่หน่วยแรงอัด 187 ksc คือให้ลากเส้นตรงขึ้นไปจนชนกับเส้นหน่วยแรงอัด 187 ksc อ่านค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 75,293.98 ksc

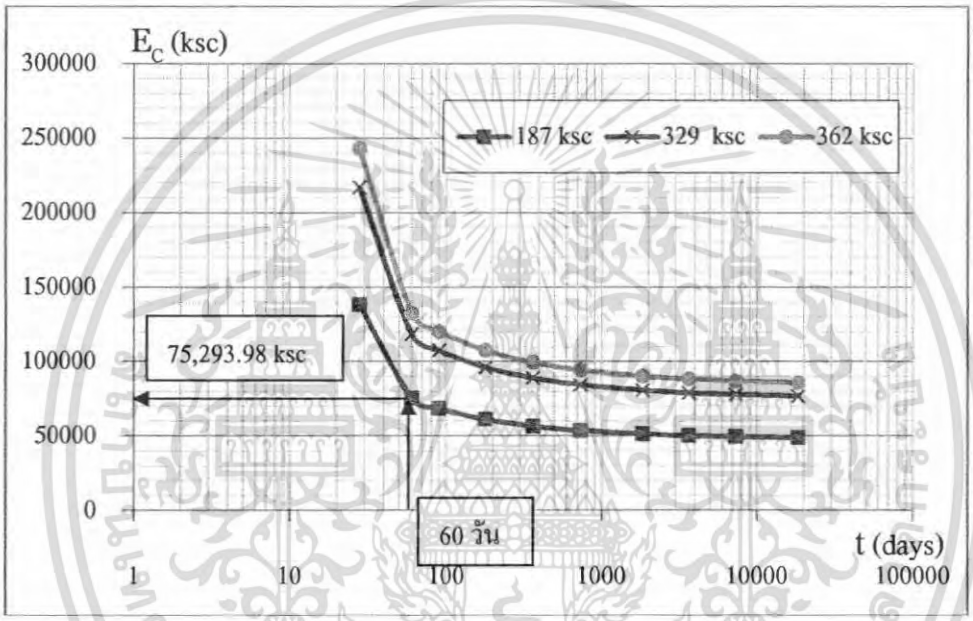
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่วันต่างๆ

หน่วยแรงอัด (ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (ksc)				
	28 วัน	60 วัน	90 วัน	180 วัน	365 วัน
187	138,449.00	75,293.98	68,357.28	61,099.93	56,582.45
329	216,931.00	118,458.83	107,593.85	96,216.15	89,128.46
362	243,237.00	132,586.92	120,402.44	107,648.10	99,705.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่วันต่างๆ

หน่วยแรงอัด (ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (ksc)				
	730 วัน	1,825 วัน	3,650 วัน	7,300 วัน	18,250 วัน
187	53,703.91	51,316.65	50,190.03	49,437.63	48,814.06
329	84,610.01	80,861.44	79,091.98	77,910.11	76,930.52
362	94,643.11	90,443.90	88,461.91	87,138.17	86,041.02



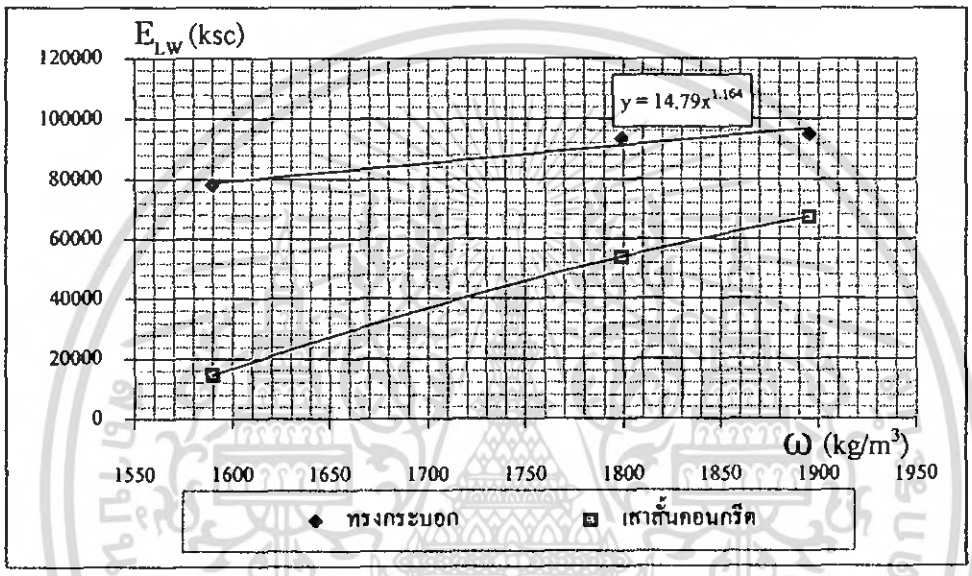
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตกับเวลา

3. จากการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหน่วยน้ำหนัก 1,590 , 1,799 , 1,895 kg/m^3 ดังตารางที่ (5.3) นำค่าไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกกับหน่วยน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.2 จากนั้นนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากข้อ (2) ที่เท่ากับ 75,293.98 ksc มาหาค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา โดยแทนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในสมการ $75,293.98 = 14.79\omega^{1.164}$ ได้ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,529.428 กำหนดเป็น ω_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกกับหน่วยน้ำหนัก

หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	โมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบา (ksc)
1,590	78,264
1,799	93,520
1,895	94,972



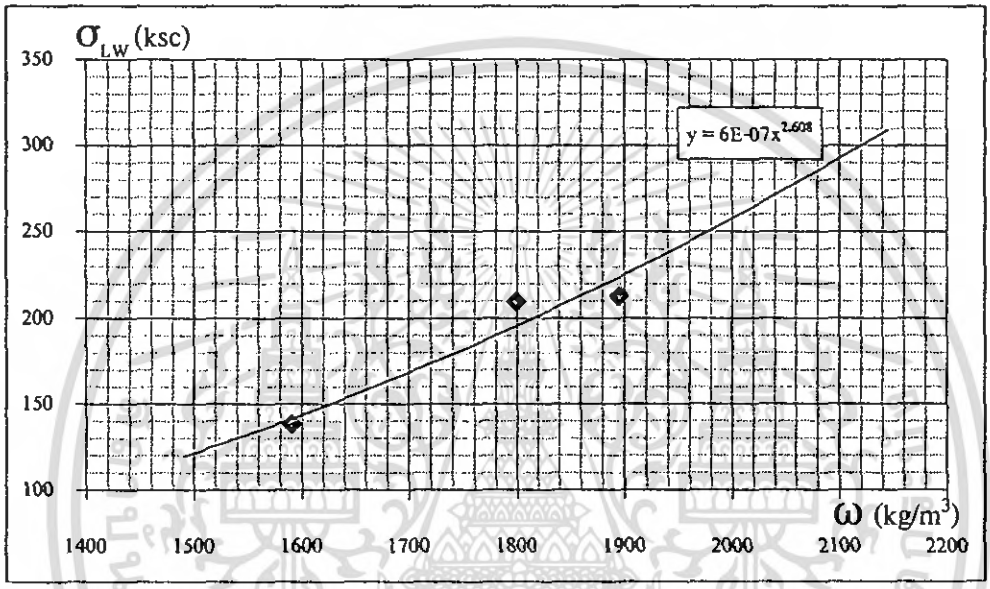
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกกับเสาสั้นคอนกรีต

4. จากการทดสอบคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกหน่วยน้ำหนัก 1,590 , 1,799 , 1,895 kg/m^3 ได้ค่าหน่วยแรงอัดที่ความเครียดเท่ากับ 0.003 ดังตารางที่ (5.4) จากนั้นนำค่าหน่วยแรงอัดที่เลือกในข้อ (2) ที่เท่ากับ 187 ksc มาหาค่าหน่วยน้ำหนักจากสมการ $187 = 6 \times 10^{-7}\omega^{2.608}$ ในรูปที่ (5.3) ได้ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,806.271 กำหนดเป็น ω_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าหน่วยแรงอัดที่ความเครียด 0.003 ของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอก

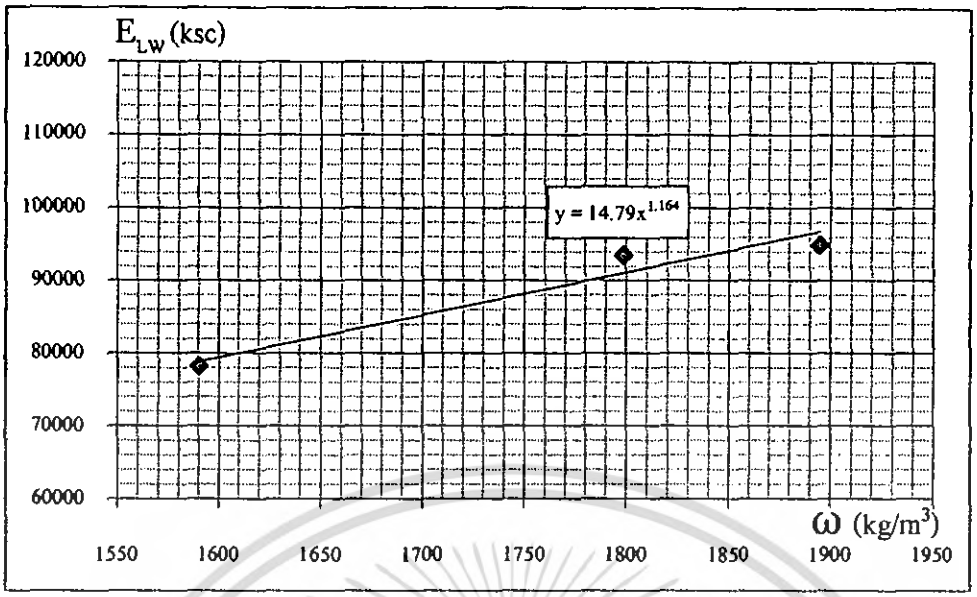
หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	หน่วยแรงอัด (ksc)
1,590	138.649
1,799	209.740
1,895	212.915



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงอัดคอนกรีตมวลเบากับหน่วยน้ำหนัก

5. นำค่าหน่วยน้ำหนัก ω_1 จากข้อ(3) และ ω_2 จากข้อ(4) มาหาค่าเฉลี่ย $\frac{1529.428+1806.271}{2}$ = 1667.850 kg/m^3 เพื่อใช้เป็นค่าหน่วยน้ำหนักในคอนกรีตมวล และมาหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้นจากรูปที่ (5.4) จากสมการ $E = 14.79 \times 1667.85^{1.164}$ ได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 82,626.806 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบากับหน่วยน้ำหนัก

6. จากการทดสอบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กจะพบว่าไม่สามารถนำไปเทียบค่ากับคอนกรีตทรงกระบอกได้ จึงทำการคำนวณแยกเหล็กออกจากคอนกรีตเสริมเหล็ก จะทำให้ได้ค่าหน่วยแรงและโมดูลัสยืดหยุ่นขึ้นมาใหม่ กราฟปรับแก้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นทำโดยหาสัดส่วนสัดส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีต และสัดส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีตมวลเบา แล้วนำค่ามาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับหน่วยแรงอัด จะใช้เส้นกราฟที่เฉลี่ยค่าสัดส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีต และค่าสัดส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีตมวลเบาเป็นตัวแปรในการปรับแก้

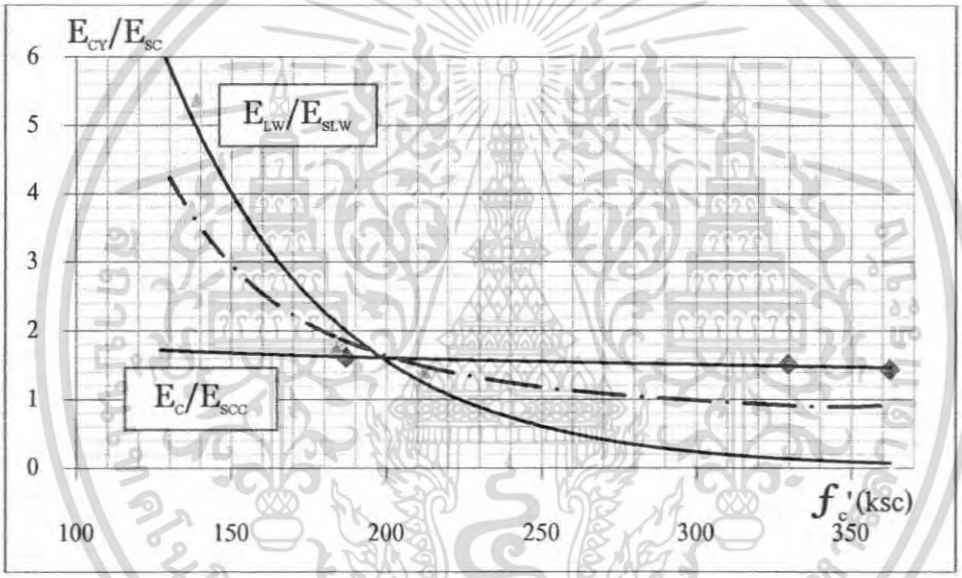
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าสัดส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีต

หน่วยแรงอัด (ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (ksc)		สัดส่วนทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีต
	ทรงกระบอก	เสาคอนกรีต	
187	138,449.00	14,565.67	1.618
329	216,931.00	53,764.00	1.521
362	243,237.00	67,273.67	1.443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าสัดส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีตมวลเบา

หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	หน่วยแรงอัด (ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบา (ksc)		สัดส่วนทรงกระบอกต่อเสาคอนกรีต
		ทรงกระบอก	เสาคอนกรีตมวลเบา	
1,590	138.649	78,264.00	85,545.00	5.373
1,799	209.740	93,520.00	14,2619.00	1.739
1,895	212.915	94,972.00	16,8542.00	1.411



รูปที่ 5.5 กราฟปรับแก้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

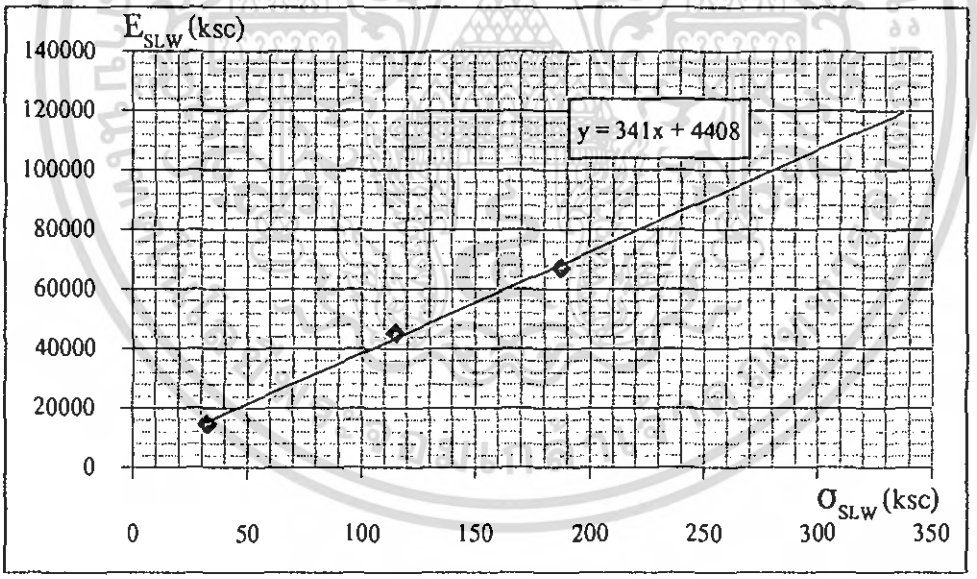
7. นำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากข้อ (5) ที่เท่ากับ 82,626.806 ksc มาปรับแก้จากรูปที่ (5.5) โดยใช้ค่าหน่วยแรงอัด 187 ksc ให้ลากเส้นตรงขึ้นไปจนชนกับเส้นเฉลี่ยซึ่งอ่านค่าได้เท่ากับ 1.8 นำไปหารกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะได้เท่ากับ 45,903.781 ksc ซึ่งจะใช่เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับเสาคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จากการคำนวณเสาสั้นคอนกรีตมวลเบาหน่วยน้ำหนัก 1,590 , 1,799 , 1,895 kg/m^3 ได้ค่าหน่วยแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ดังตารางที่ (5.7) นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับหน่วยแรงอัดซึ่งจะใช้ในการหาค่าหน่วยแรงอัดที่ใช้ในเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กจากสมการ $45903.781 = 341\sigma + 4408$ ได้หน่วยแรงอัดเท่ากับ 121.689 ksc ซึ่งเป็นค่าที่ 60 วันทำวนซ้ำอีกสำหรับหน่วยแรงอัดที่ 329, 362 ksc และที่วันต่างๆ กัน

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าหน่วยแรงอัดที่ความเครียด 0.003 และโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาสั้นคอนกรีตมวลเบา

หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	หน่วยแรงอัด (ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่น (ksc)
1,590	32.33	14,566
1,799	114.78	45,400
1,895	187.25	67,274



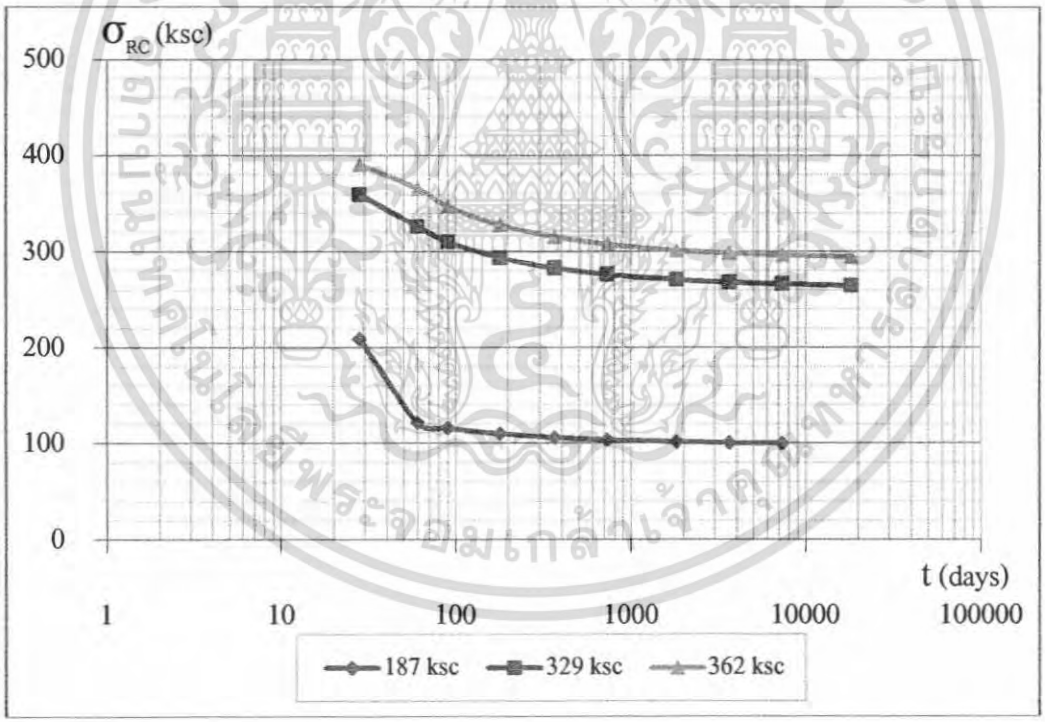
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่นเสาสั้นคอนกรีตมวลเบากับหน่วยแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ค่าหน่วยแรงอัดที่จากข้อ (8) ดังแสดงในตารางที่ 5.8 จะเป็นค่าที่ใช้แทนในเสาสั้นคอนกรีตที่วันต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังรับแรงตามแกนจากนั้นนำค่าหน่วยแรงอัดกับเวลาที่เปลี่ยนแปลง มาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าหน่วยแรงอัดของเสาสั้นคอนกรีตที่วันต่างๆ

หน่วยแรงอัดทรงกระบอก (ksc)	σ_{60} วัน	σ_{90} วัน	σ_{180} วัน	σ_{1} ปี	σ_{5} ปี	σ_{10} ปี	σ_{20} ปี
187	121.689	115.866	109.730	105.884	101.370	100.400	99.751
329	326.340	310.371	293.539	282.987	270.605	267.943	266.162
362	365.553	347.166	327.796	315.660	301.425	298.366	296.320



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับเวลาที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. นำค่าหน่วยแรงอัดจากข้อ (9) มาคำนวณเป็นกำลังรับแรงตามแกนดังนี้ (Ag × fc') + (fy × Ast) จะเท่ากับ (226.855×121.689) + (3000×1.13×4) = 41,165.64 kg เพื่อที่จะใช้ทำนายผลการรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กและมาเปรียบเทียบกับการออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กมาตรฐาน ว.ส.ท. เพื่อดูว่าผลที่ออกมามากหรือน้อยกว่าอย่างไร

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าแรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

หน่วยแรงอัด (ksc)	187	200	240	300	329	340	362
แรงอัดตามแกน Pu (ton)	27.225	28.589	32.787	39.084	41.183	3.281	45.380

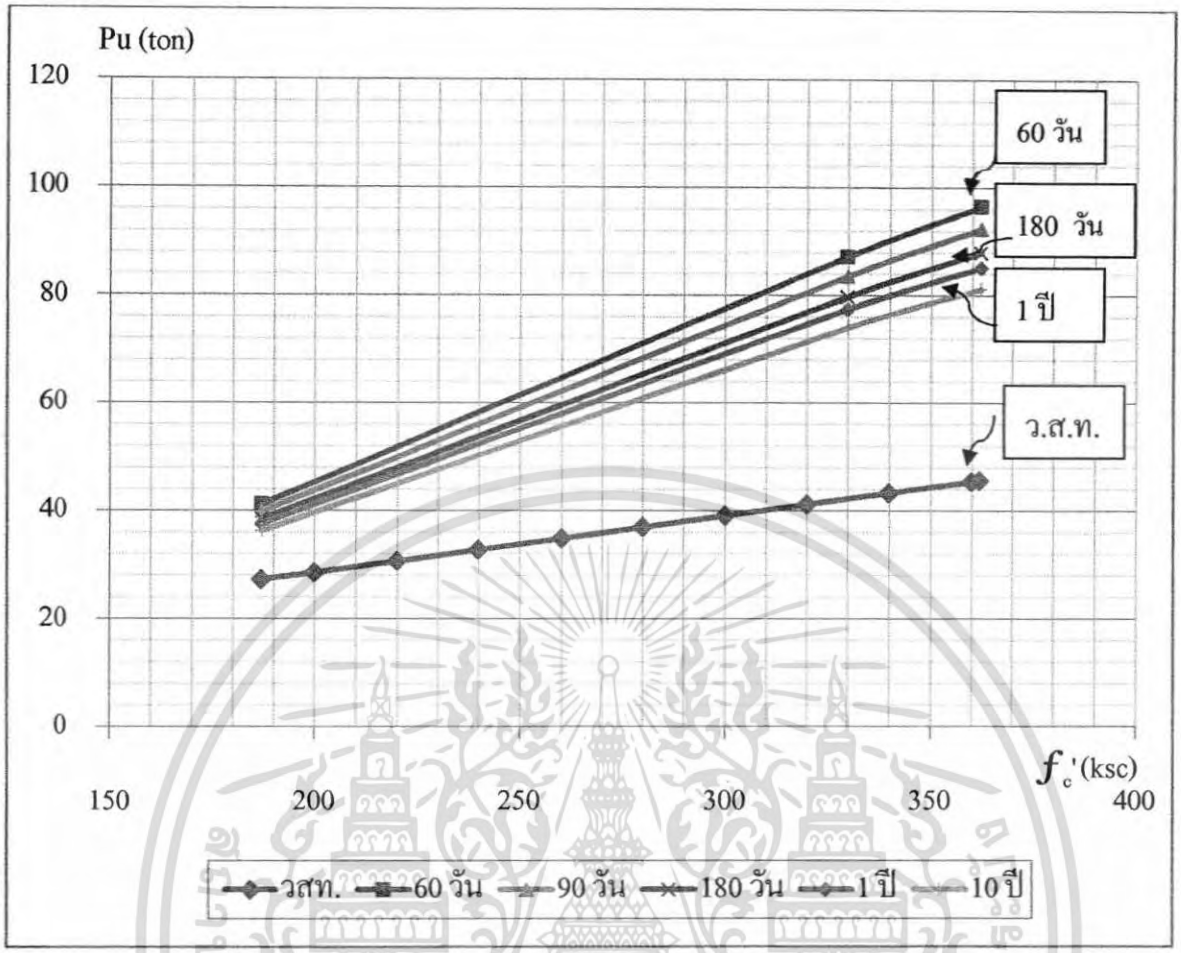
ตารางที่ 5.10 แสดงค่าแรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่วันต่างๆ

หน่วยแรงอัด (ksc)	แรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (ton)						
	P_{60} วัน	P_{90} วัน	P_{180} วัน	P_1 ปี	P_5 ปี	P_{10} ปี	P_{20} ปี
187	41.166	39.845	38.453	37.580	36.556	36.336	36.067
329	87.197	83.594	79.796	77.415	74.621	74.020	73.285
362	96.527	92.353	87.957	85.203	81.972	81.278	80.428

ตารางที่ 5.11 ค่าเปอร์เซ็นต์แรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กเทียบกับตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

หน่วยแรงอัด (ksc)	แรงอัดตามแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (ton)				
	$\%_{60\text{ วัน}}$	$\%_{90\text{ วัน}}$	$\%_{180\text{ วัน}}$	$\%_{1\text{ ปี}}$	$\%_{10\text{ ปี}}$
187	73.25	46.35	41.24	38.03	33.46
329	111.73	102.98	93.75	87.97	79.73
362	112.70	103.51	93.82	87.75	79.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงกำลังรับแรงตามแนวแกนของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อทำนายความสามารถรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 ปีค่าการรับแรงตามแกนจากผลการทดสอบมีค่ามากกว่าทุกๆหน่วยแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่ออกแบบโดยใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. โดยกำลังรับน้ำหนักเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ 60 วัน ที่หน่วยแรงอัดคอนกรีตทรงกระบอก 362 ksc สามารถรับน้ำหนักได้มากสุด 96.527 ตัน คิดเป็น 82.22 เปอร์เซ็นต์ ที่หน่วยแรงอัดคอนกรีตทรงกระบอก 187 ksc รับน้ำหนักได้น้อยสุด 41.166 ตันคิดเป็น 73.25 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ว.ส.ท. และกำลังรับน้ำหนักเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ 10 ปี ที่หน่วยแรงอัดคอนกรีตทรงกระบอก 362 ksc สามารถรับน้ำหนักได้มากสุด 81.278 ตัน คิดเป็น 79.10 เปอร์เซ็นต์ ที่หน่วยแรงอัดคอนกรีตทรงกระบอก 187 ksc รับน้ำหนักได้น้อยสุด 36.336 ตันคิดเป็น 33.46 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับมาตรฐาน 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 กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ยิ่งมีการรับน้ำหนักมากขึ้นการล้าของคอนกรีตก็จะเกิดขึ้นมากเช่นกัน

สำหรับผลจากการทำนายกำลังรับน้ำหนักของเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กในอนาคตมีประโยชน์เป็นอย่างมากเพื่อสำหรับประกอบการพิจารณาออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

วิจารณ์และเสนอแนะ

จากการคำนวณวิเคราะห์ผลได้ที่หน่วยแรงอัดที่ 187 ksc มีค่าหน่วยแรงอัดต่ำมากดังแสดงในรูปที่ 5.7 อาจเป็นเพราะหน่วยแรงอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมวลเบาได้ค่าน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ หน่วยแรงอัดต่ำอาจเกิดจากการผสมโฟมมากเกินไปทำให้คอนกรีตเกิดการเปราะ ดังนั้นการออกแบบมวลเบาควรจะต้องผสมโฟมลงไปอย่างพอเหมาะไม่ควรผสมมากเกินไป และอาจเกิดจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดลองได้น้อยกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากทฤษฎีจึงส่งผลต่อได้หน่วยแรงอัดให้น้อยลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 : ห้างหุ้นส่วนจำกัก ป. สัมพันธ์พานิชย์
- 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. วิธีการออกแบบส่วนผสม

ส่วนผสมคอนกรีตธรรมดา

หน่วยน้ำหนักหิน	1616.39	kg. / m.^{3}	Bulk Speacific Gravity		2.76
อัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	0.92	%	Bulk Speacific Gravity		2.68
อัตราการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	0.86	%			

ออกแบบกำลังอัดของคอนกรีต 180 ksc.

สำหรับโครงสร้างทั่วไปค่าการยุบตัว (Slump) 8 – 10 cm.

ขนาดโตสุดของหิน 25 mm.

ปริมาณน้ำ 195 kg. / m.^{3}

ค่า W /C 0.74

ค่าน้ำหนักของซีเมนต์ = 195 / 0.74 = 263.51 kg. / m.^{3}

ปริมาณมวลรวมหยาบเมื่อทรายมีค่า FM. 2.66 และขนาดโตสุดของหิน 25 mm.

ปริมาณหิน = 0.679 m.^{3}

น้ำหนักหิน = 0.679 × 1616.39 = 1097.5 kg. / m.^{3}

น้ำหนักทราย = 2375 – (195 + 263.51 + 1097.5) = 818.9 kg. / m.^{3}

ออกแบบกำลังอัดของคอนกรีต 280 ksc.

สำหรับโครงสร้างทั่วไปค่าการยุบตัว (Slump) 8 – 10 cm.

ขนาดโตสุดของหิน 25 mm.

ปริมาณน้ำ 195 kg. / m.^{3}

ค่า W /C 0.578

ค่าน้ำหนักของซีเมนต์ = 195 / 0.578 = 337.4 kg. / m.^{3}

ปริมาณมวลรวมหยาบเมื่อทรายมีค่า FM. 2.66 และขนาดโตสุดของหิน 25 mm.

ปริมาณหิน = 0.679 m.^{3}

น้ำหนักหิน = 0.679 × 1616.39 = 1097.5 kg. / m.^{3}

น้ำหนักทราย = 2375 – (195 + 337.4 + 1097.5) = 745.1 kg. / m.^{3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบกำลังอัดของคอนกรีต 300 ksc.

สำหรับโครงสร้างทั่วไปค่าการยุบตัว (Slump) 8 – 10 cm.

ขนาดโตสุดของหิน 25 mm.

ปริมาณน้ำ 175 kg. / $m.^3$

ค่า W /C 0.55

ค่าน้ำหนักของซีเมนต์ = 195 / 0.55 = 354.6 kg. / $m.^3$

ปริมาณมวลรวมหยาบเมื่อทรายมีค่า FM. 2.66 และขนาดโตสุดของหิน 25 mm.

ปริมาณหิน = 0.679 $m.^3$

น้ำหนักหิน = 0.679 × 1616.39 = 1097.5 kg. / $m.^3$

น้ำหนักทราย = 2375 – (195 + 354.6+ 1097.5) = 727.9 kg. / $m.^3$

ส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,600 kg / m^3 , 1,800 kg / m^3 , 1,900 kg / m^3

1. อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียด = 1 : 1
2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) = 0.4
3. น้ำยาสำหรับทำให้เกิดโฟมที่ใช้ผสมในคอนกรีตมวลเบา 5 % โดยปริมาณน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. เสาปลอกเดี่ยว 15×15×60 cm. เหล็กยืน 4 DB 12 เหล็กปลอก RB 6 คอนกรีต f'c 180 ksc. กำลังรับน้ำหนักประลัยใช้งานสูงสุด

$$P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$
$$= 0.85(180)(225 - 4.52) + (3000)(4.52)$$
$$= 47.29 \text{ ตัน}$$
$$P_u = (0.70)(0.80)[0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$
$$= (0.70)(0.80)[0.85(180)(225 - 4.52) + (3000)(4.52)]$$
$$= 26.48 \text{ ตัน}$$

ตรวจสอบเหล็กยืน มาตรฐาน ว.ส.ท.

ไม่น้อยกว่า 0.01 ของ Ag $= 0.01 \times 225 = 2.25 \text{ cm}^2$

ไม่มากกว่า 0.08 ของ Ag $= 0.08 \times 225 = 18 \text{ cm}^2$

เหล็กยืน Ø 12 mm 4 เส้น $A_{st} = 4.52 \text{ cm}^2 \Longrightarrow 2.25 < 4.52 < 18$ O.K.

โครงสร้างรับแรงอัดที่ถือเป็นเสา คือ มีความยาวมากกว่า 3 เท่าของด้านแคบ $3 \times 15 = 45 < 60$ cm O.K.

2. เสาปลอกเดี่ยว 15×15×60 cm. เหล็กยืน 4 DB 12 เหล็กปลอก RB 6 คอนกรีต f'c 280 ksc. กำลังรับน้ำหนักประลัยใช้งานสูงสุด

$$P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$
$$= 0.85(280)(225 - 4.52) + (3000)(4.52)$$
$$= 66.03 \text{ ตัน}$$
$$P_u = (0.70)(0.80)[0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$
$$= (0.70)(0.80)[0.85(280)(225 - 4.52) + (3000)(4.52)]$$
$$= 36.98 \text{ ตัน}$$

ตรวจสอบเหล็กยืน มาตรฐาน ว.ส.ท.

ไม่น้อยกว่า 0.01 ของ Ag $= 0.01 \times 225 = 2.25 \text{ cm}^2$

ไม่มากกว่า 0.08 ของ Ag $= 0.08 \times 225 = 18 \text{ cm}^2$

เหล็กยืน Ø 12 mm 4 เส้น $A_{st} = 4.52 \text{ cm}^2 \Longrightarrow 2.25 < 4.52 < 18$ O.K.

โครงสร้างรับแรงอัดที่ถือเป็นเสา คือ มีความยาวมากกว่า 3 เท่าของด้านแคบ $3 \times 15 = 45 < 60$ cm O.K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เสาปลอกเดี่ยว 15×15×60 cm. เหล็กยืน 4 DB 12 เหล็กปลอก RB 6 คอนกรีต f'c 300 ksc.
กำลังรับน้ำหนักประลัยใช้งานสูงสุด

Po = 0.85 f'c (Ag – Ast) + fy Ast

= 0.85(300)(225 – 4.52) + (3000) (4.52)

= 69.78 ตัน

Pu = (0.70)(0.80)[0.85 f'c (Ag – Ast) + fy Ast]

= (0.70)(0.80)[0.85 (300)(225 – 4.52) + (3000)(4.52)]

= 39.08 ตัน

ตรวจสอบเหล็กยืน มาตรฐาน ว.ส.ท.

ไม่น้อยกว่า 0.01 ของ Ag = 0.01×225 = 2.25 cm^2

ไม่มากกว่า 0.08 ของ Ag = 0.08×225 = 18 cm^2

เหล็กยืนØ 12 mm 4 เส้น Ast = 4.52 cm^2 $\Longrightarrow$ 2.25 < 4.52 < 18 O.K.

โครงสร้างรับแรงอัดที่ถือเป็นเสา คือ มีความยาวมากกว่า 3 เท่าของด้านแคบ 3×15 = 45 < 60 cm. O.K.

ตัวอย่างการคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ที่ fc' 180 ksc. ที่อายุ 100 วัน

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

ที่ w_c = 2.466 tons/m^3

เพราะฉะนั้น E_{ci} = 4270(2.466$^{1.5}$) $\sqrt{180}$ = 221847.08 ksc.

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

ที่ C_u = 2.35

K_a = 0.843617082 สำหรับการบ่มชื้นที่อายุ 28 วัน

K_h = 0.8340 สำหรับ

K_{th} = 1.00 สำหรับความหนาน้อยสุดของชิ้นส่วน 6 นิ้ว

K_s = 1.05 สำหรับค่าการยุบตัว 3.42 นิ้ว

K_f = 1.04656 สำหรับอัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบ 69.4%

K_e = 1.00 สำหรับปริมาณอากาศ 6%

เพราะฉะนั้น $\phi_\infty(t)$ = (2.35)(0.843617082)(0.8340)(1.00)(1.05)(1.04656)(1.00)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 1.816907044$

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

ที่ $t = 100$ วัน

$t_0 = 28$ วัน

เพราะฉะนั้น $\phi(t) = (100 - 28)^{0.6} / (10 + (100 - 28)^{0.6})$

$= 0.565475484$

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

เพราะฉะนั้น $E_{ce}(t) = (221847.08) / (1 + (0.565475484))$

$= 141715.27$ ksc.

แสดงว่าที่คอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. เมื่อเวลาผ่าน 100 วันไปจะเกิดล้าในคอนกรีตทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเหลือเพียง 141715.27 ksc. เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. ข้อมูลผลการทดสอบ

หน่วยแรงอัด 180 ksc.

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.95	29.97	175.538	12.823	25,993	148.081	81,250	2437.428
2	15.04	29.98	177.658	12.744	26,707	150.333	75,625	2392.706
3	14.98	30.03	176.243	12.857	27,013	153.273	78,948	2429.251
		เฉลี่ย	176.480	12.808	26,571	150.562	78,608	2419.795

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.92	29.95	174.834	12.838	30,071	172.033	111,111	2451.741
2	15.01	29.98	176.950	12.948	28,542	160.659	115,000	2440.734
3	14.96	30.02	175.773	12.932	28,542	162.163	110,909	2450.772
		เฉลี่ย	175.852	12.906	29,052	164.592	112,340	2447.749

อายุตัวอย่าง 28 วัน

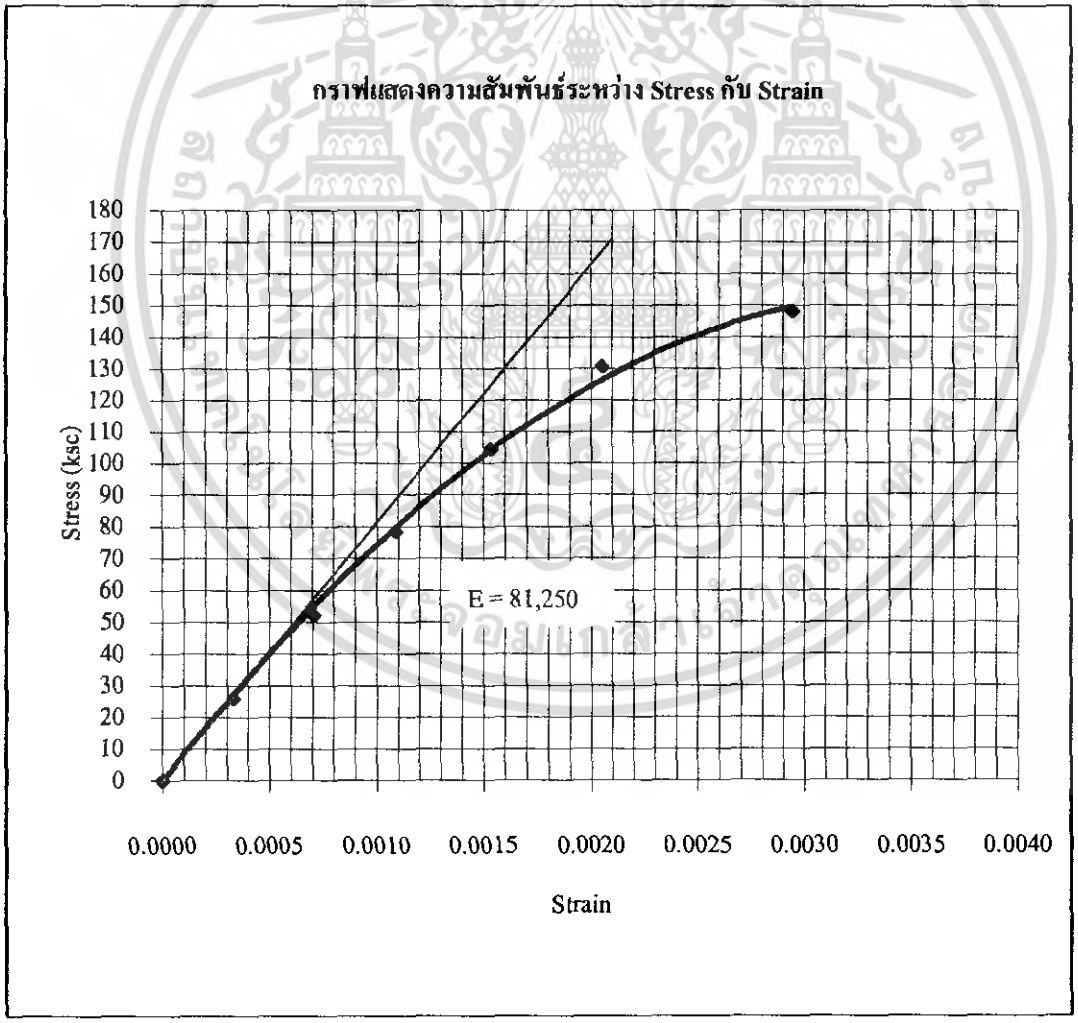
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	29.85	177.658	13.384	32,517	183.036	123,847	2523.811
2	14.98	29.92	176.244	12.873	33,843	192.024	149,000	2441.203
3	15.01	30.01	176.950	12.924	65,823	186.240	142,500	2433.775
		เฉลี่ย	176.617	13.060	44,061	187.100	138,449	2466.263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..153.273…….ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.3	0.000	0.0000
45	4587.156	9.86	0.0986	300.3	26.027	0.0003
90	9174.312	23.22	0.2322	300.3	52.055	0.0008
135	13761.468	34.82	0.3482	300.3	78.082	0.0012
180	18348.624	44.22	0.4422	300.3	104.110	0.0015
225	22935.780	61.18	0.6118	300.3	130.137	0.0020
265	27013.252	93.82	0.9382	300.3	153.273	0.0031



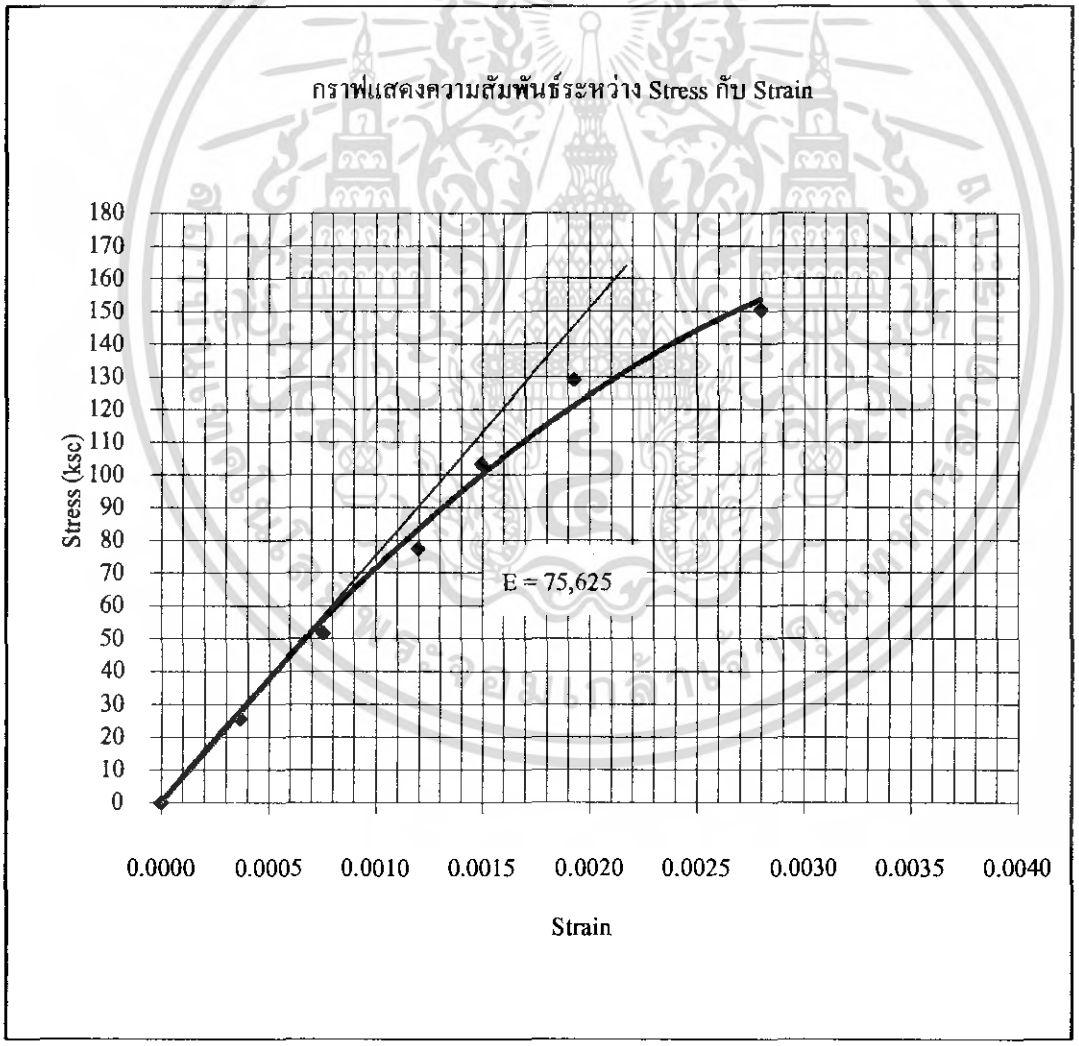
Initial Tangent Modulus Elastic = 81,250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….150.331…. .ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
45	4587.156	10.86	0.1086	299.8	25.820	0.0004
90	9174.312	22.72	0.2272	299.8	51.640	0.0008
135	13761.468	35.82	0.3582	299.8	77.460	0.0012
180	18348.624	44.78	0.4478	299.8	103.281	0.0015
225	22935.780	57.74	0.5774	299.8	129.101	0.0019
262	26707.441	83.78	0.8378	299.8	150.331	0.0028



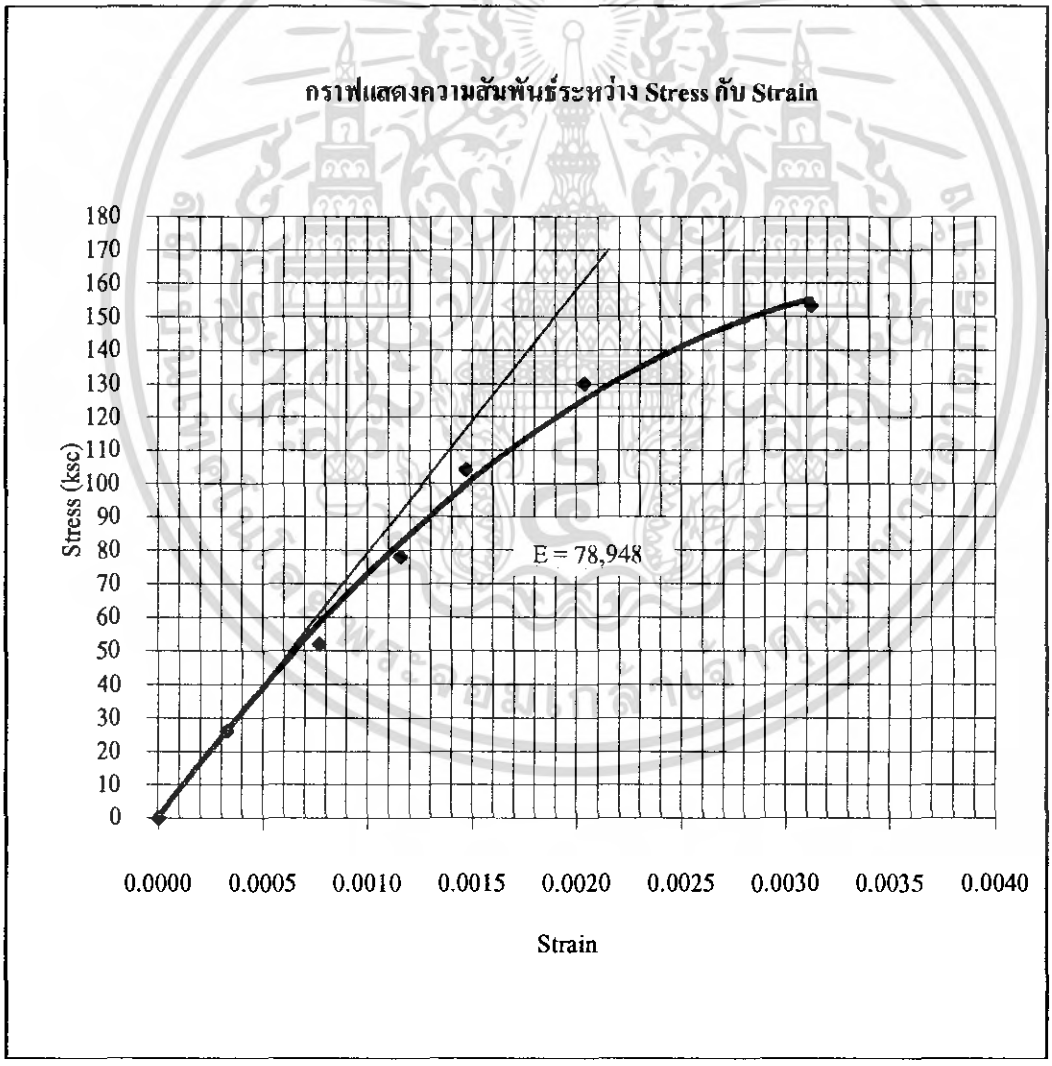
Initial Tangent Modulus Elastic = 75,625 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')……153.273… ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.3	0.000	0.0000
45	4587.156	9.86	0.0986	300.3	26.027	0.0003
90	9174.312	23.22	0.2322	300.3	52.055	0.0008
135	13761.468	34.82	0.3482	300.3	78.082	0.0012
180	18348.624	44.22	0.4422	300.3	104.110	0.0015
225	22935.780	61.18	0.6118	300.3	130.137	0.0020
265	27013.252	93.82	0.9382	300.3	153.273	0.0031



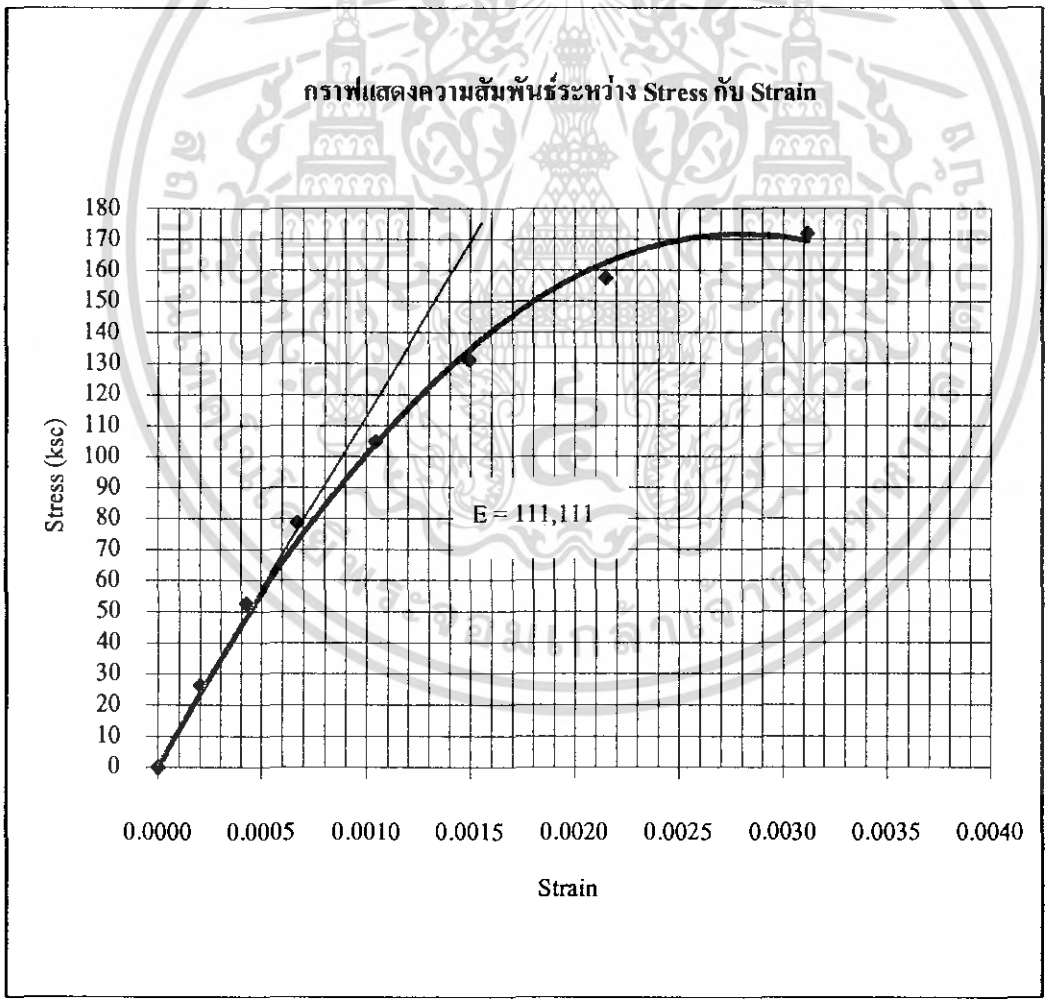
Initial Tangent Modulus Elastic = 78,948 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..172.033……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.5	0.000	0.0000
45	4587.156	6.06	0.0606	299.5	26.242	0.0002
90	9174.312	12.66	0.1266	299.5	52.485	0.0004
135	13761.468	20.16	0.2016	299.5	78.727	0.0007
180	18348.624	31.22	0.3122	299.5	104.969	0.0010
225	22935.780	44.68	0.4468	299.5	131.212	0.0015
270	27522.936	64.36	0.6436	299.5	157.454	0.0021
295	30071.356	93.46	0.9346	299.5	172.033	0.0031



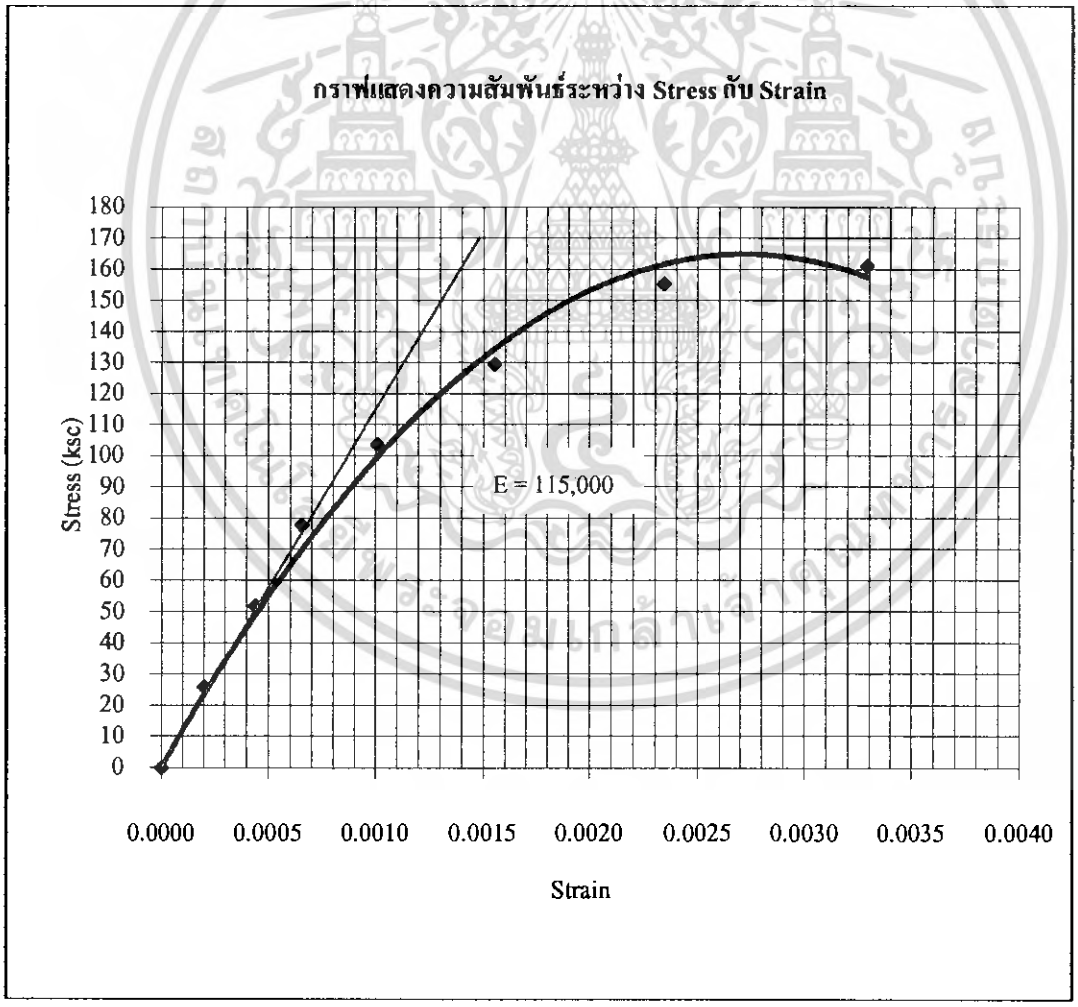
Initial Tangent Modulus Elastic = 111,111 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..160.302……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
45	4587.156	6.06	0.0606	299.8	25.923	0.0002
90	9174.312	13.22	0.1322	299.8	51.847	0.0004
135	13761.468	19.62	0.1962	299.8	77.770	0.0007
180	18348.624	30.28	0.3028	299.8	103.694	0.0010
225	22935.780	46.48	0.4648	299.8	129.617	0.0016
270	27522.936	70.26	0.7026	299.8	155.541	0.0023
280	28542.304	98.70	0.9870	299.8	161.302	0.0033



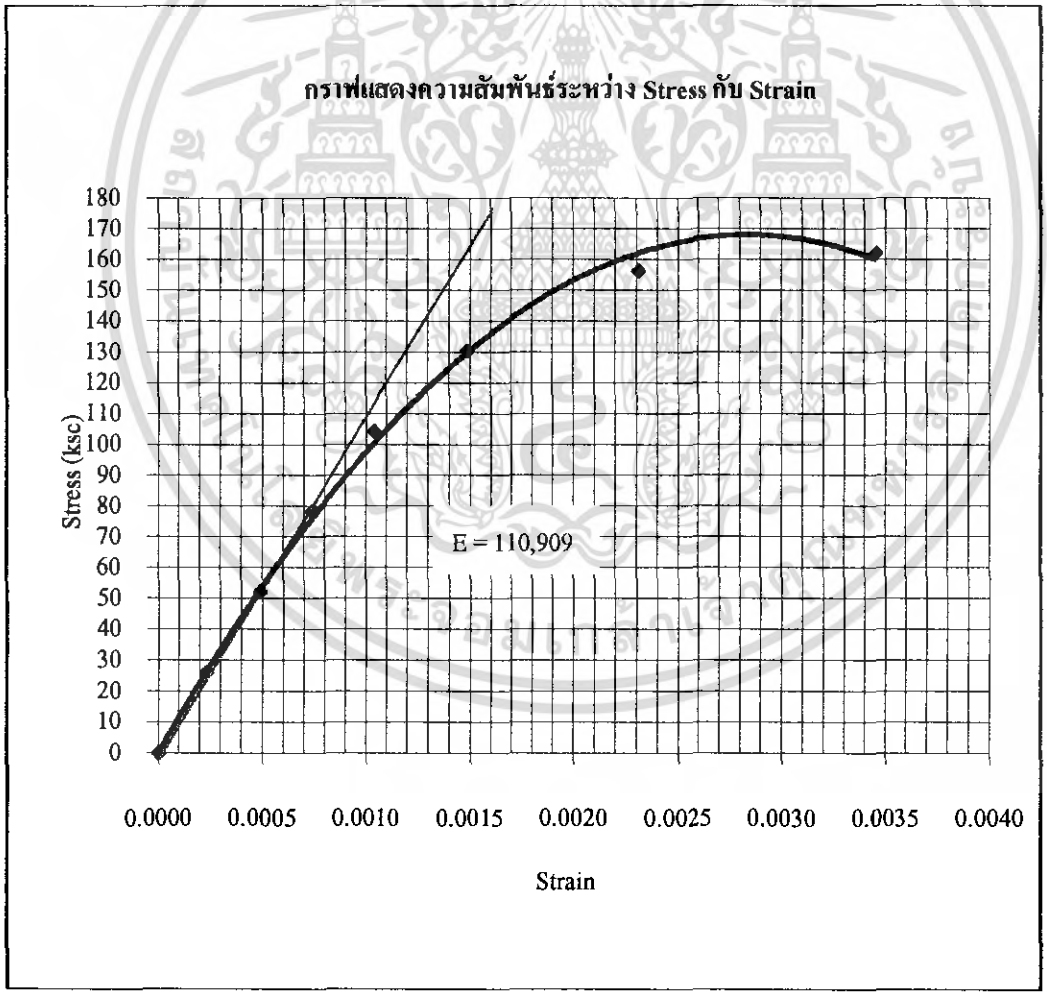
Initial Tangent Modulus Elastic = 115,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..162.163…….ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.2	0.000	0.0000
45	4587.156	7.06	0.0706	300.2	26.097	0.0002
90	9174.312	14.66	0.1466	300.2	52.195	0.0005
135	13761.468	22.22	0.2222	300.2	78.292	0.0007
180	18348.624	31.22	0.3122	300.2	104.390	0.0010
225	22935.780	44.68	0.4468	300.2	130.487	0.0015
270	27522.936	69.36	0.6936	300.2	156.371	0.0023
280	28542.304	103.64	1.0364	300.2	162.163	0.0035



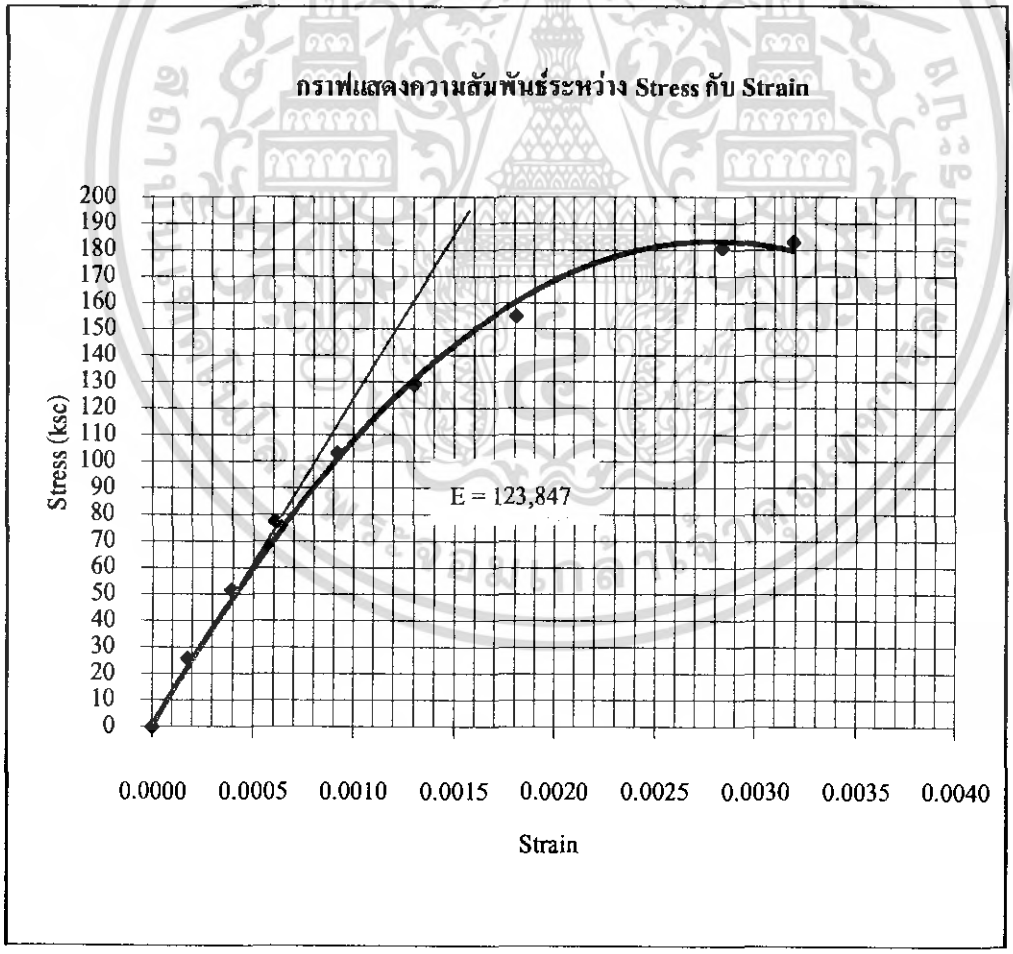
Initial Tangent Modulus Elastic = 110,909 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..183.036……ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	298.5	0.000	0.0000
45	4587.156	5.36	0.0536	298.5	25.820	0.0002
90	9174.3119	11.72	0.1172	298.5	51.640	0.0004
135	13761.468	18.22	0.1822	298.5	77.460	0.0006
180	18348.624	27.48	0.2748	298.5	103.281	0.0009
225	22935.78	38.84	0.3884	298.5	129.101	0.0013
270	27522.936	53.92	0.5392	298.5	154.921	0.0018
315	32110.092	84.74	0.8474	298.5	180.741	0.0028
319	32517.839	95.28	0.9528	298.5	183.036	0.0032



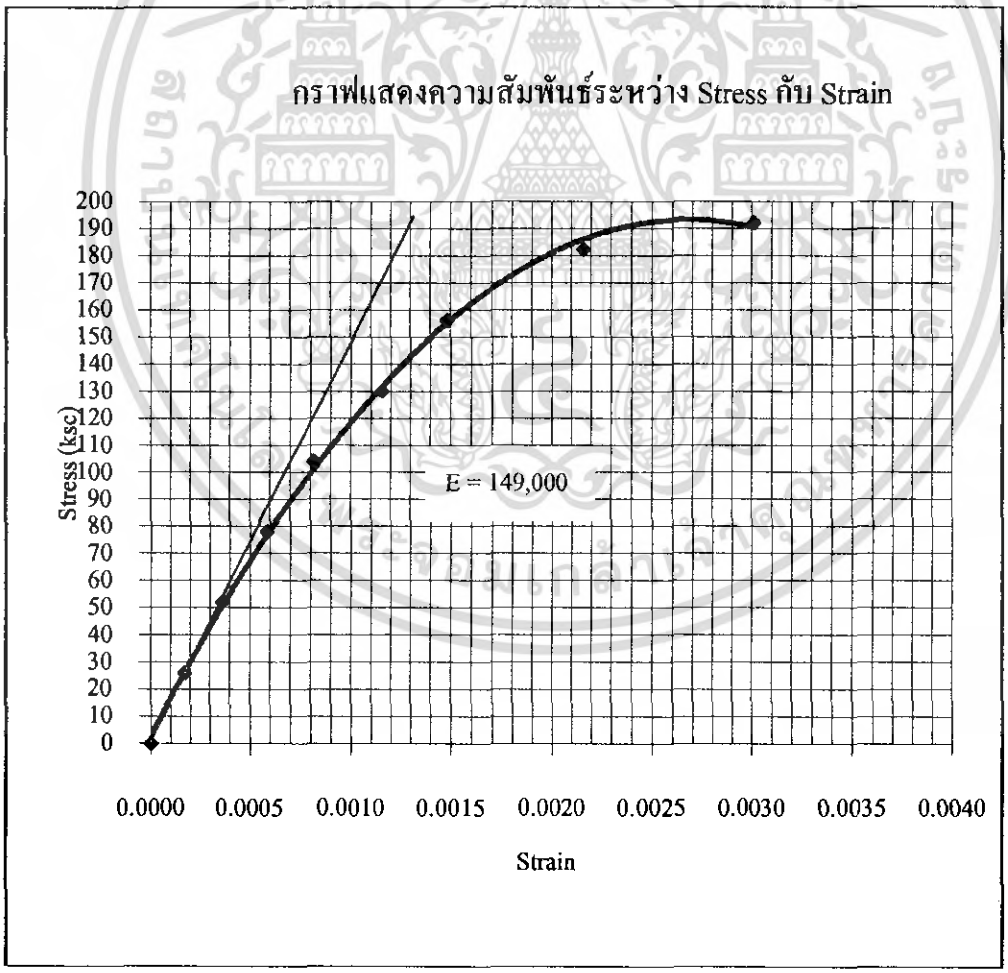
Initial Tangent Modulus Elastic = 123,847 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..192.024……ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.2	0.000	0.0000
45	4587.156	5.15	0.0515	299.2	26.027	0.0002
90	9174.312	10.80	0.1080	299.2	52.055	0.0004
135	13761.468	17.52	0.1752	299.2	78.082	0.0006
180	18348.624	24.42	0.2442	299.2	104.109	0.0008
225	22935.780	34.58	0.3458	299.2	130.137	0.0012
270	27522.936	44.36	0.4436	299.2	156.164	0.0015
315	32110.092	64.68	0.6468	299.2	182.191	0.0022
332	33843.017	90.10	0.9010	299.2	192.024	0.0030



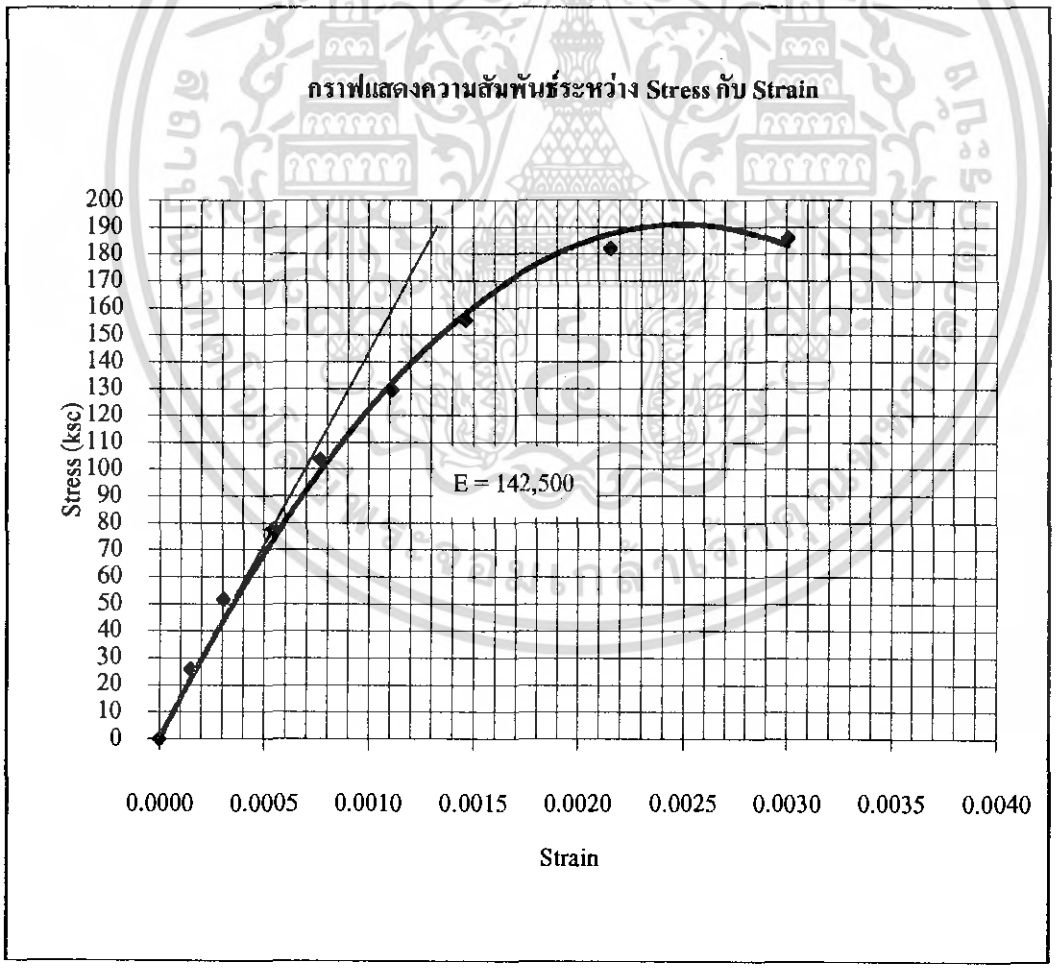
Initial Tangent Modulus Elastic = 149,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..186.240…….ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	(mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.1	0.000	0.0000
45	4587.156	4.46	0.0446	300.1	25.923	0.0001
90	9174.312	9.22	0.0922	300.1	51.847	0.0003
135	13761.468	16.32	0.1632	300.1	77.770	0.0005
180	18348.624	22.98	0.2298	300.1	103.694	0.0008
225	22935.780	33.38	0.3338	300.1	129.617	0.0011
270	27522.936	43.76	0.4376	300.1	155.541	0.0015
315	32110.092	64.68	0.6468	300.1	182.191	0.0022
322	32823.649	90.22	0.9022	300.1	186.240	0.0030



Initial Tangent Modulus Elastic = 142,500 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงอัด 280 ksc.

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	29.98	177.186	12.778	47,910.296	270.395	144,444	2405.481
2	14.91	30.17	174.600	12.993	47,400.612	271.481	166,666	2466.550
3	15.03	30.07	177.422	13.026	47,400.612	267.613	160,000	2441.576
		เฉลี่ย	176.402	12.932	47,570.51	269.830	157,037	2437.869

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	14.95	29.97	179.553	12.838	55,045.872	306.572	181,818	2385.712
2	15.03	29.90	177.422	12.941	50,458.716	284.399	169,231	2439.435
3	14.98	30.15	176.243	12.952	51,478.084	292.086	177,778	2437.461
		เฉลี่ย	177.739	12.610	52,327.56	294.352	176,276	2420.869

อายุตัวอย่าง 28 วัน

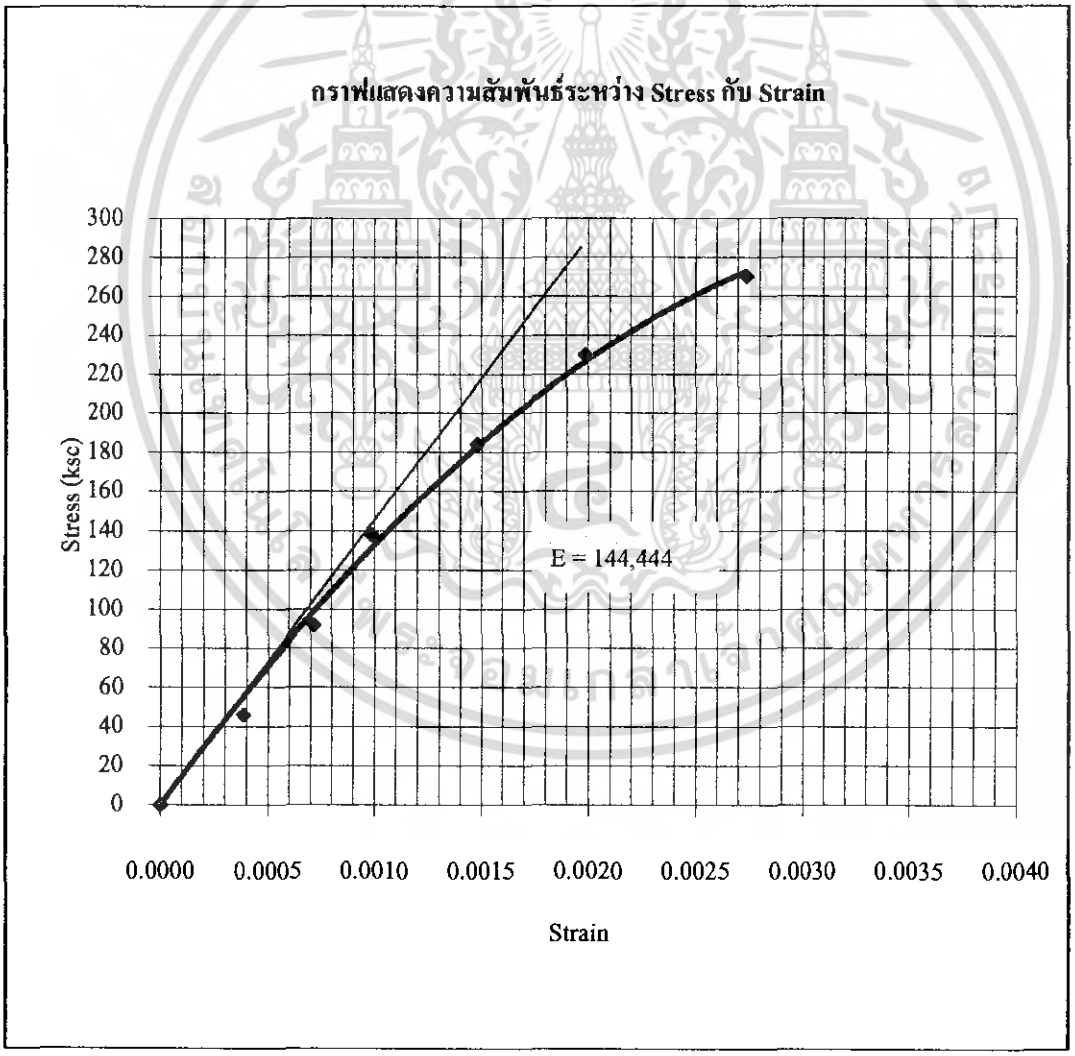
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	29.98	177.186	12.963	58,409	329.652	228,572	2440.307
2	14.97	30.02	176.008	12.941	57,594	327.225	200,000	2449.203
3	15.02	30.05	177.186	12.952	58,919	332.529	222,222	2432.557
		เฉลี่ย	176.633	12.952	58,307	329.802	216,931	2440.689

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 270.395.....ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
80	8154.9439	11.50	0.1150	299.8	46.025	0.0004
160	16309.888	21.52	0.2152	299.8	92.050	0.0007
240	24464.832	29.62	0.2962	299.8	138.074	0.0010
320	32619.776	44.28	0.4428	299.8	184.099	0.0015
400	40774.72	59.60	0.5960	299.8	230.124	0.0020
470	47910.296	82.12	0.8212	299.8	270.395	0.0027



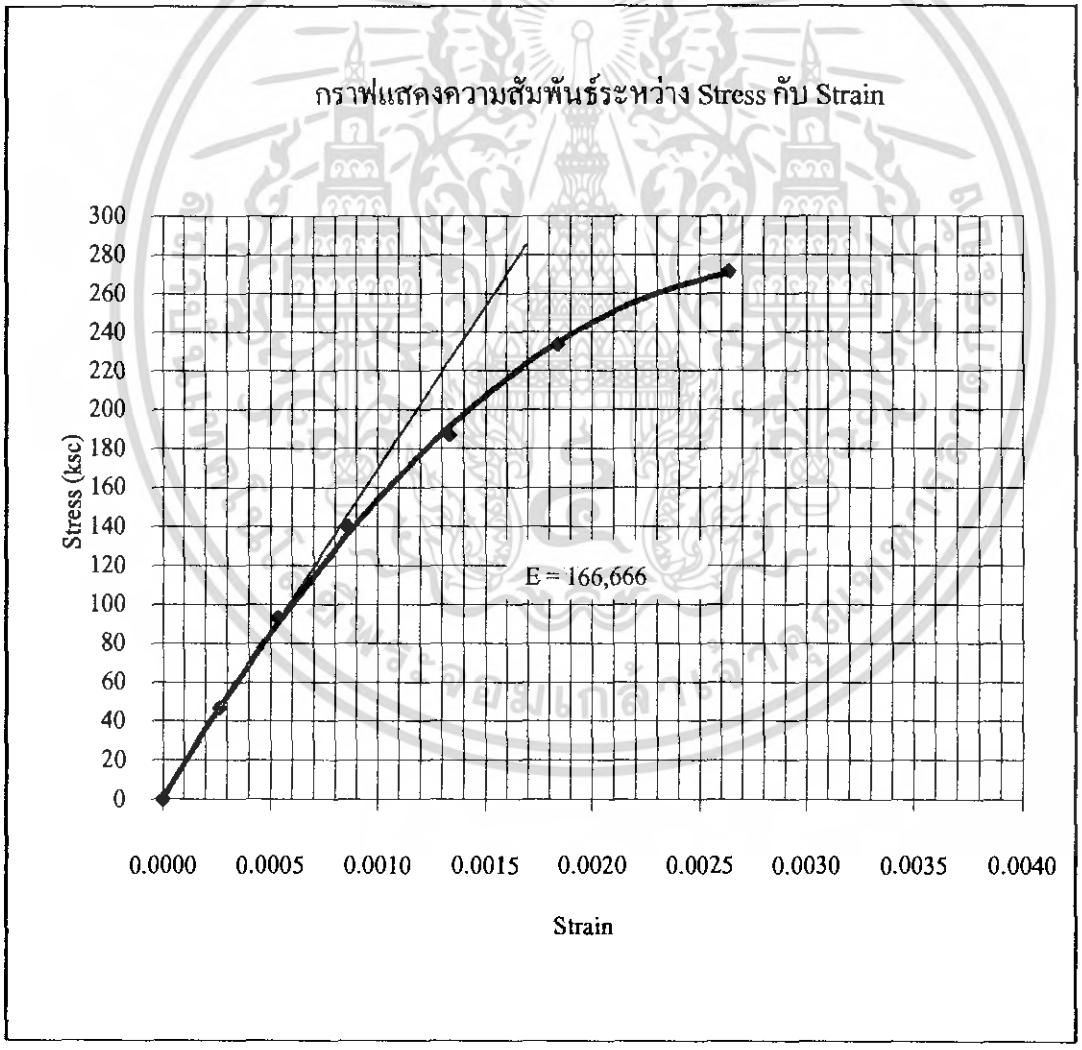
Initial Tangent Modulus Elastic = 144,444 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….271.481…. .ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.7	0.000	0.0000
80	8154.940	7.96	0.0796	301.7	46.706	0.0003
160	16309.890	16.16	0.1616	301.7	93.413	0.0005
240	24464.830	25.96	0.2596	301.7	140.119	0.0009
320	32619.780	40.22	0.4022	301.7	186.826	0.0013
400	40774.720	55.60	0.5560	301.7	233.532	0.0018
465	47400.610	79.56	0.7956	301.7	271.481	0.0026



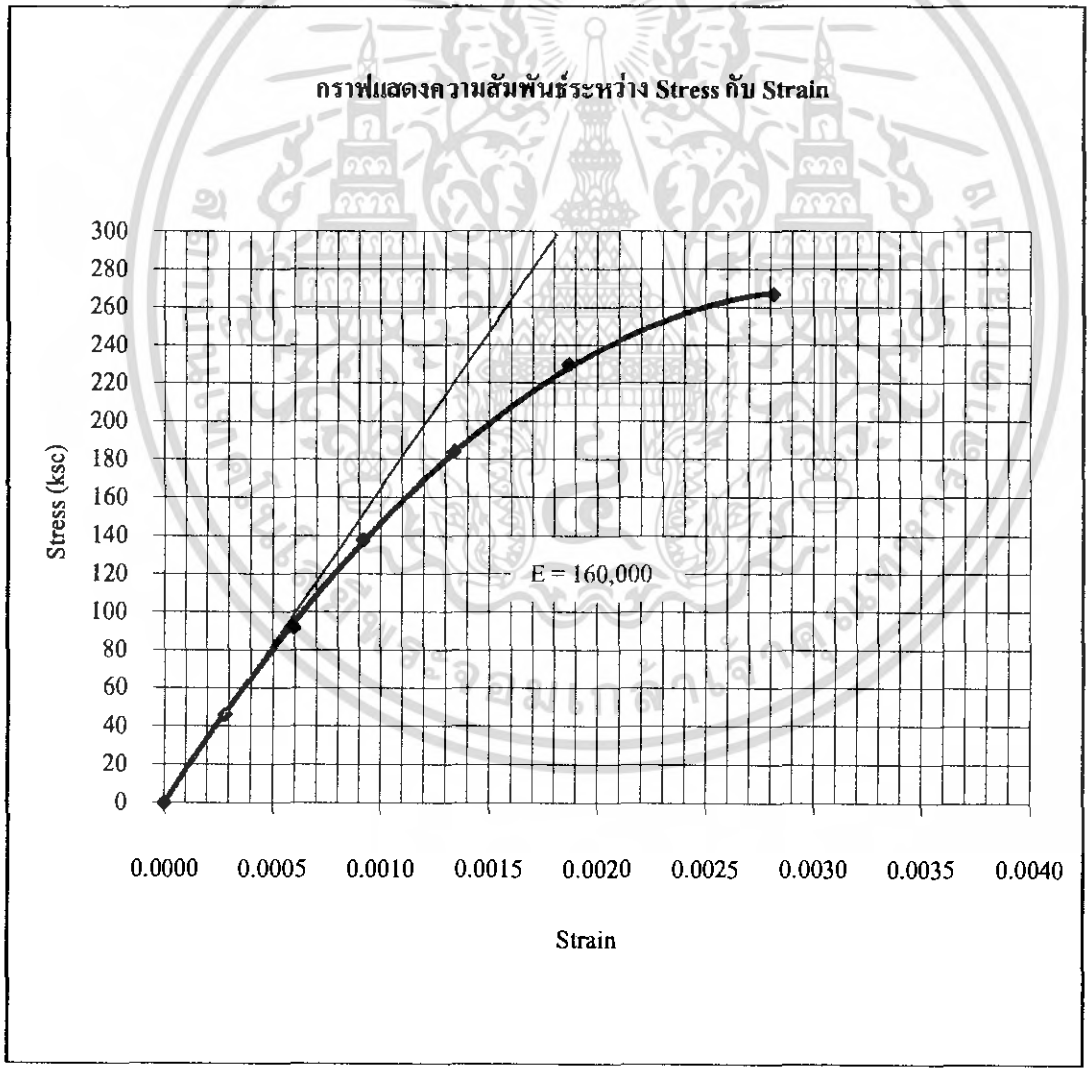
Initial Tangent Modulus Elastic = 166,666 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….267.163… ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.7	0.000	0.0000
80	8154.94393	8.46	0.0846	300.7	45.964	0.0003
160	16309.8879	18.02	0.1802	300.7	91.927	0.0006
240	24464.8318	27.62	0.2762	300.7	137.891	0.0009
320	32619.7757	40.28	0.4028	300.7	183.854	0.0013
400	40774.7197	56.16	0.5616	300.7	229.818	0.0019
465	47400.6116	84.62	0.8462	300.7	267.163	0.0028



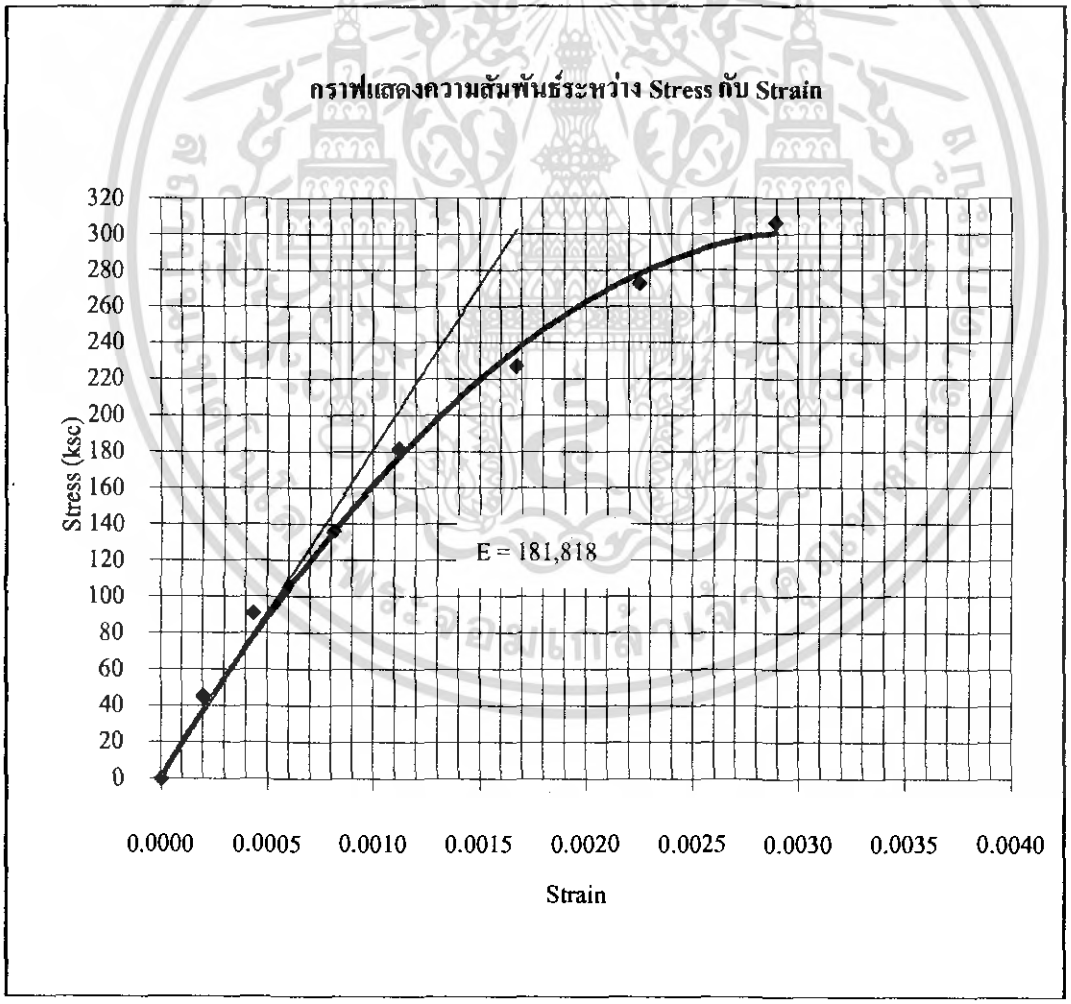
Initial Tangent Modulus Elastic = 160,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..306.572……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.5	0.000	0.0000
80	8154.944	5.96	0.0596	299.5	45.418	0.0002
160	16309.888	13.02	0.1302	299.5	90.836	0.0004
240	24464.832	24.32	0.2432	299.5	136.254	0.0008
320	32619.776	33.59	0.3359	299.5	181.672	0.0011
400	40774.720	50.16	0.5016	299.5	227.090	0.0017
480	48929.664	67.42	0.6742	299.5	272.508	0.0023
540	55045.872	86.62	0.8662	299.5	306.572	0.0029



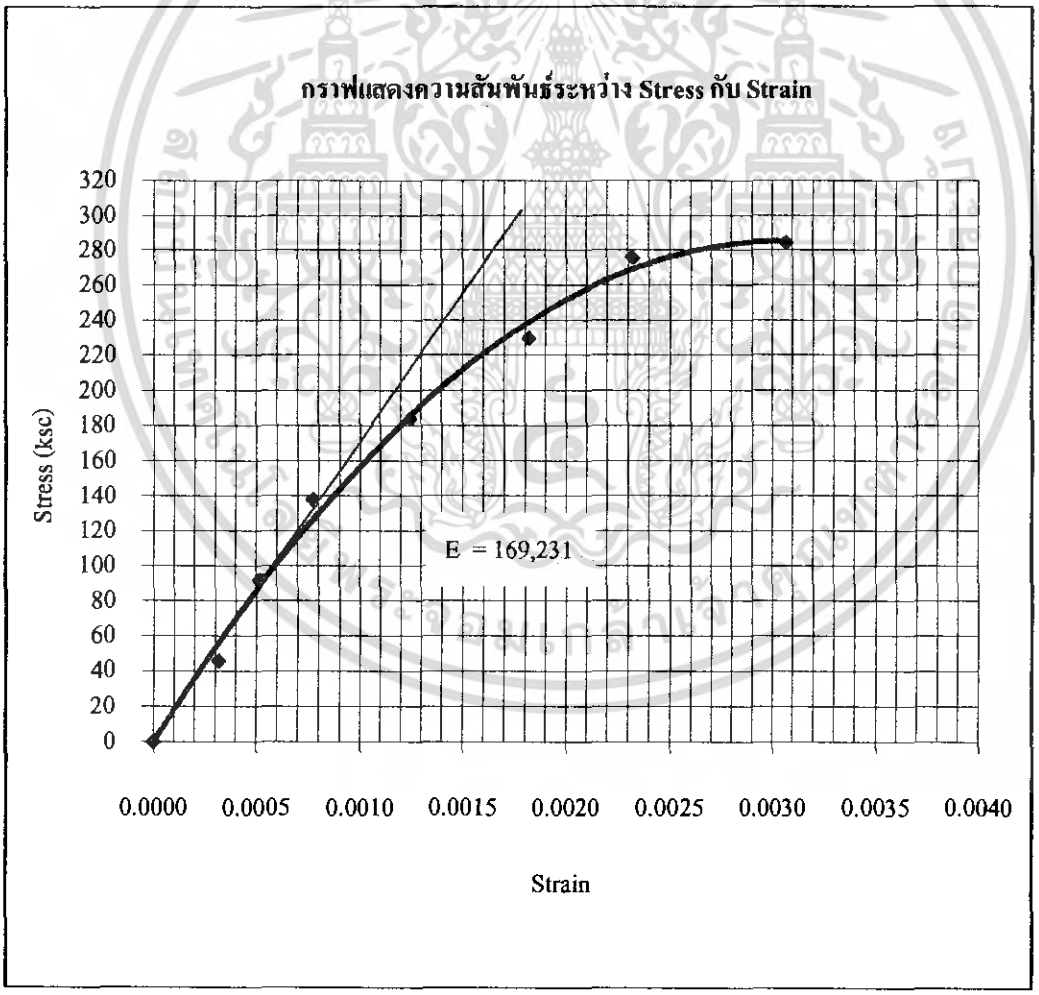
Initial Tangent Modulus Elastic = 181,818 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..284.399…….ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.0	0.000	0.0000
80	8154.944	9.46	0.0946	299.0	45.964	0.0003
160	16309.888	15.52	0.1552	299.0	91.927	0.0005
240	24464.832	23.12	0.2312	299.0	137.891	0.0008
320	32619.776	37.28	0.3728	299.0	183.854	0.0012
400	40774.720	54.41	0.5441	299.0	229.818	0.0018
480	48929.664	69.42	0.6942	299.0	275.781	0.0023
495	50458.716	91.80	0.9180	299.0	284.399	0.0031



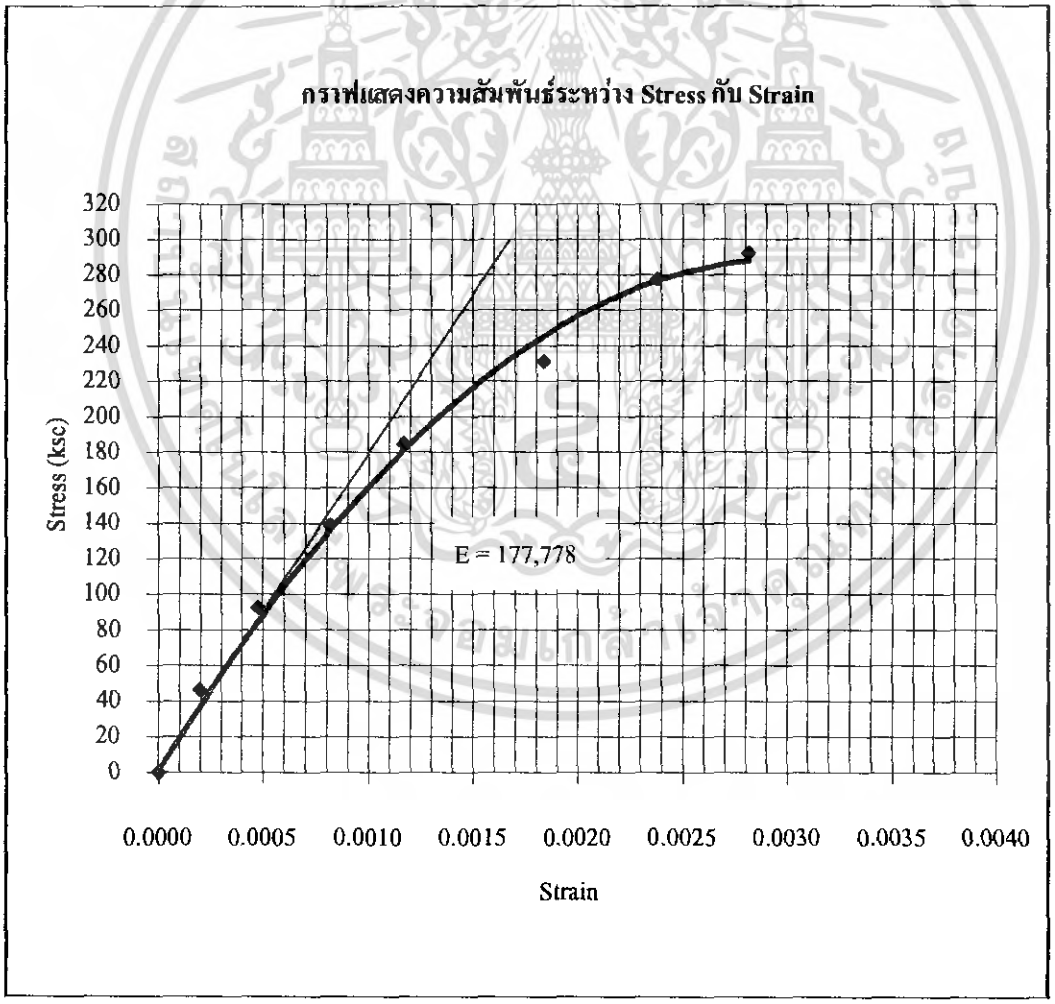
Initial Tangent Modulus Elastic = 169,231 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..292.086……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.5	0.000	0.0000
80	8154.944	5.96	0.0596	301.5	46.271	0.0002
160	16309.888	14.46	0.1446	301.5	92.542	0.0005
240	24464.832	24.72	0.2472	301.5	138.813	0.0008
320	32619.776	35.28	0.3528	301.5	185.084	0.0012
400	40774.720	55.40	0.5540	301.5	231.355	0.0018
480	48929.664	71.86	0.7186	301.5	277.626	0.0024
505	51478.084	84.94	0.8494	301.5	292.086	0.0028



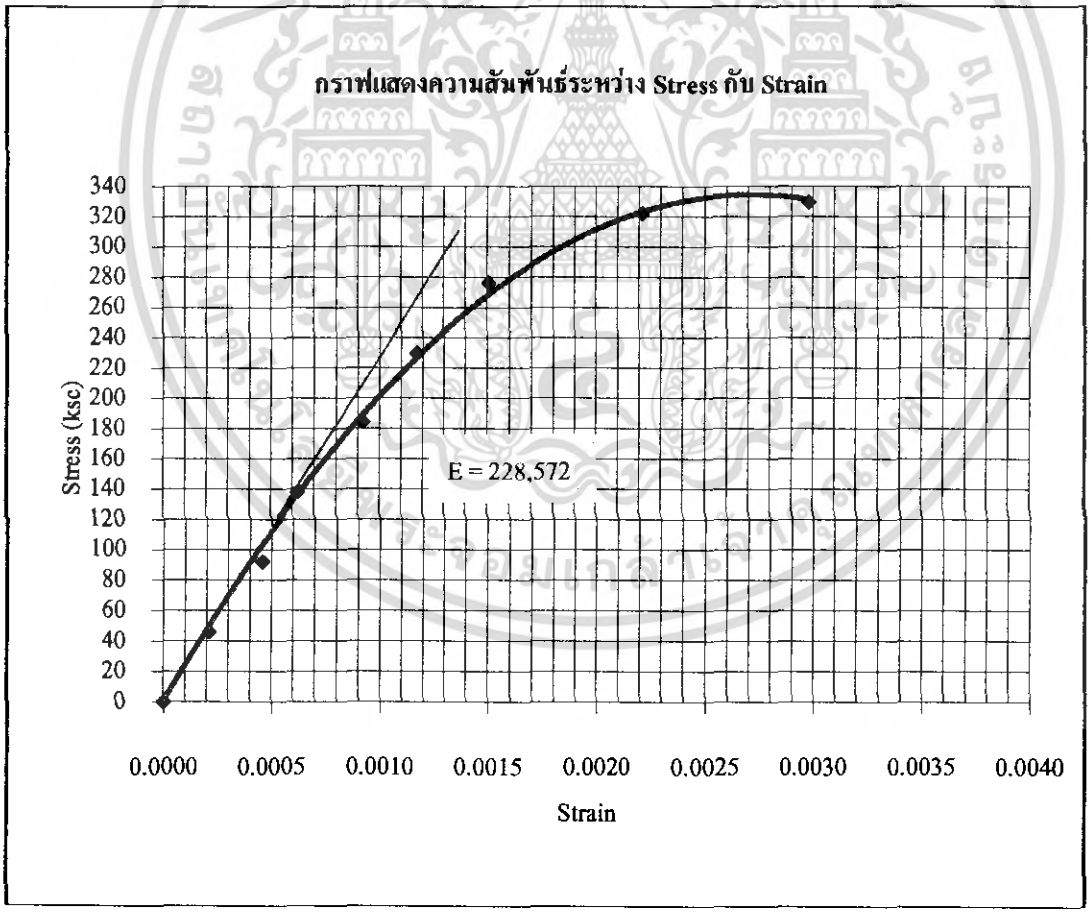
Initial Tangent Modulus Elastic = 177,778 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 329.652.....ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
80	8154.944	6.36	0.0636	299.8	46.025	0.0002
160	16309.888	13.72	0.1372	299.8	92.050	0.0005
240	24464.832	18.72	0.1872	299.8	138.074	0.0006
320	32619.776	27.68	0.2768	299.8	184.099	0.0009
400	40774.720	35.10	0.3510	299.8	230.124	0.0012
480	48929.664	45.26	0.4526	299.8	276.149	0.0015
560	57084.608	66.44	0.6644	299.8	322.173	0.0022
573	58409.786	89.38	0.8938	299.8	329.652	0.0030



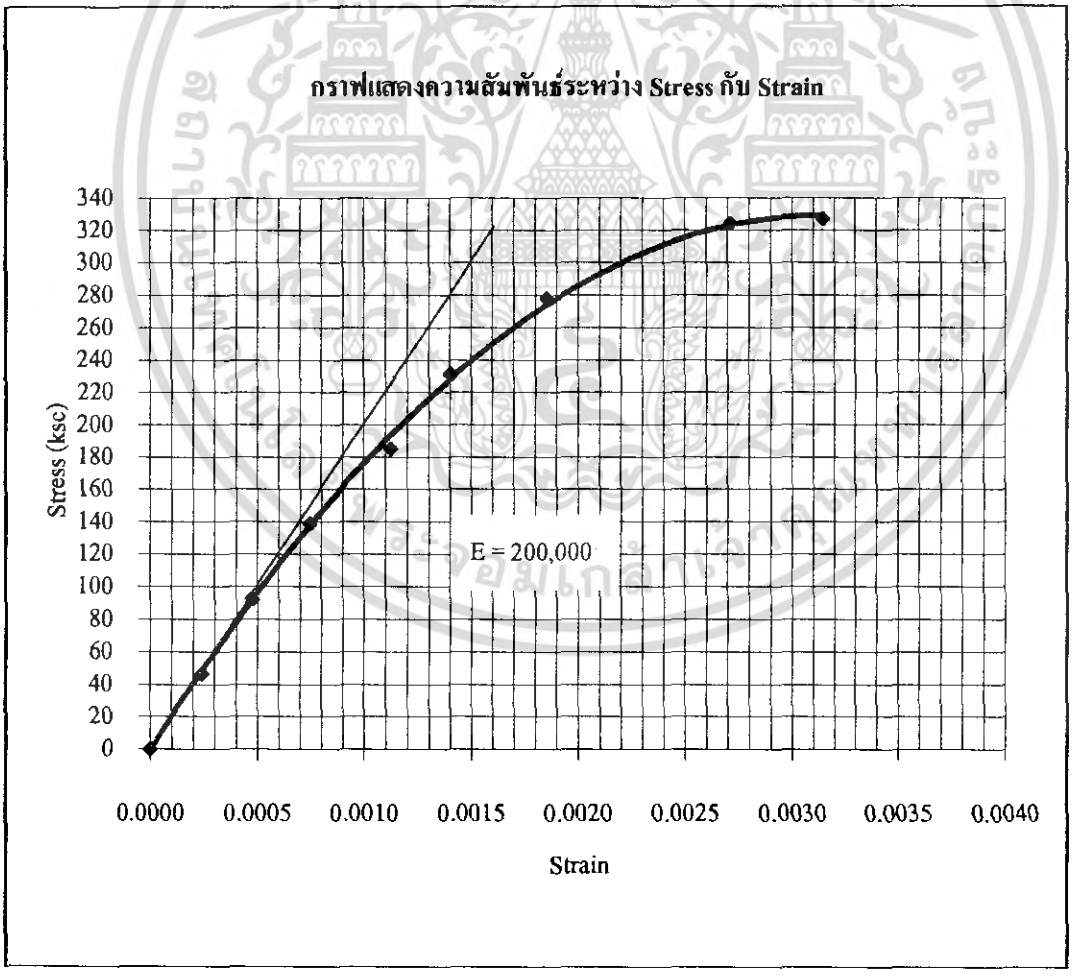
Initial Tangent Modulus Elastic = 228,572 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..327.225…….ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.2	0.000	0.0000
80	8154.944	7.26	0.0726	300.2	46.333	0.0002
160	16309.888	14.26	0.1426	300.2	92.666	0.0005
240	24464.832	22.42	0.2242	300.2	138.998	0.0007
320	32619.776	33.72	0.3372	300.2	185.331	0.0011
400	40774.720	42.10	0.4210	300.2	231.664	0.0014
480	48929.664	55.66	0.5566	300.2	277.997	0.0019
560	57084.608	81.44	0.8144	300.2	324.330	0.0027
565	57594.292	94.44	0.9444	300.2	327.225	0.0031



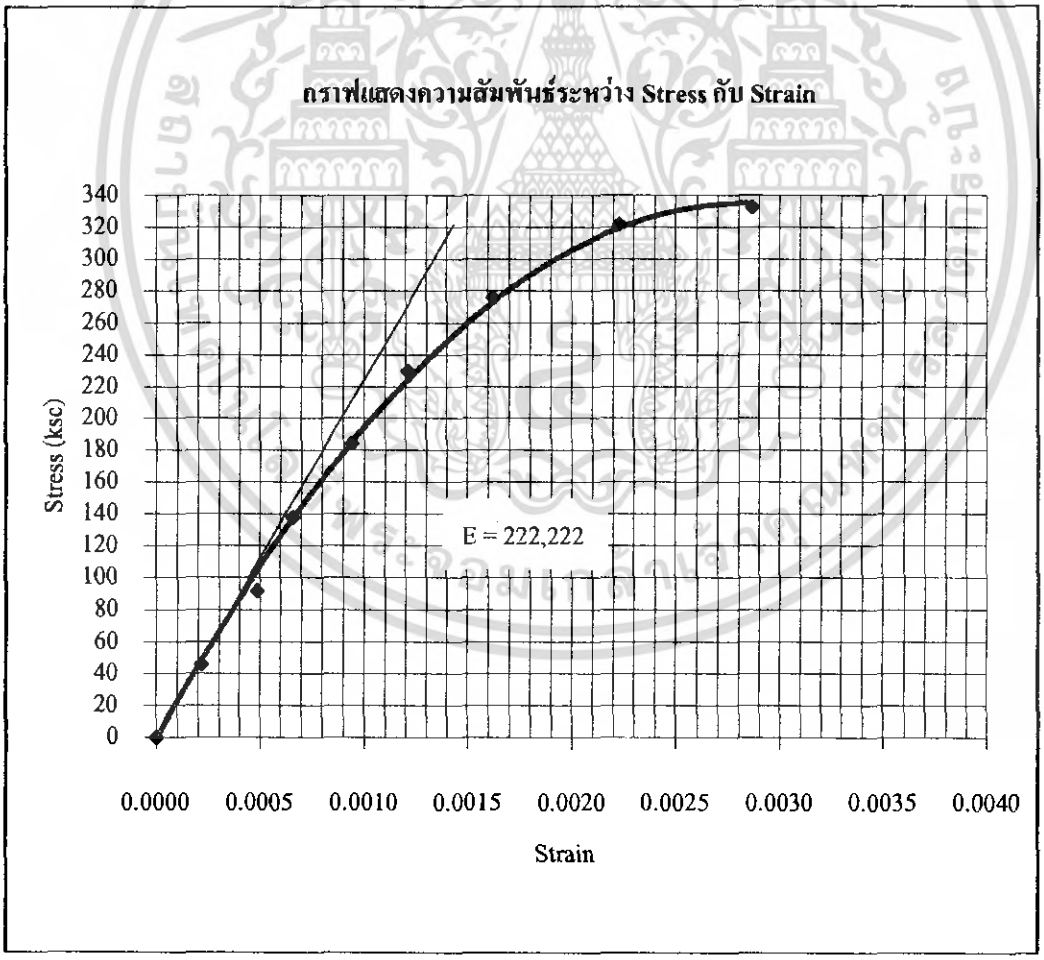
Initial Tangent Modulus Elastic = 200,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..332.529…….ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.5	0.000	0.0000
80	8154.944	6.46	0.0646	300.5	46.025	0.0002
160	16309.888	14.62	0.1462	300.5	92.050	0.0005
240	24464.832	19.92	0.1992	300.5	138.074	0.0007
320	32619.776	28.28	0.2828	300.5	184.099	0.0009
400	40774.720	36.40	0.3640	300.5	230.124	0.0012
480	48929.664	48.86	0.4886	300.5	276.149	0.0016
560	57084.608	67.04	0.6704	300.5	322.173	0.0022
578	58919.470	86.18	0.8618	300.5	332.529	0.0029



Initial Tangent Modulus Elastic = 222,222 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงอัด 300 ksc.

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	30.15	177.658	13.046	48,929	275.415	185,000	2432.365
2	14.98	29.98	176.244	12.836	48,929	280.518	184,616	2413.185
3	15.02	29.95	177.186	12.957	54,536	308.201	187,693	2444.877
		เฉลี่ย	177.029	12.946	50,798	288.045	185,770	2430.142

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	30.07	177.895	13.067	51,478	289.375	216,667	2442.762
2	15.03	29.87	177.422	12.765	54536	307.381	200,000	2408.675
3	15.01	30.05	176.950	13.052	54,536	308.201	204,445	2454.607
		เฉลี่ย	177.422	12.961	53,517	301.652	207,307	2435.348

อายุตัวอย่าง 28 วัน

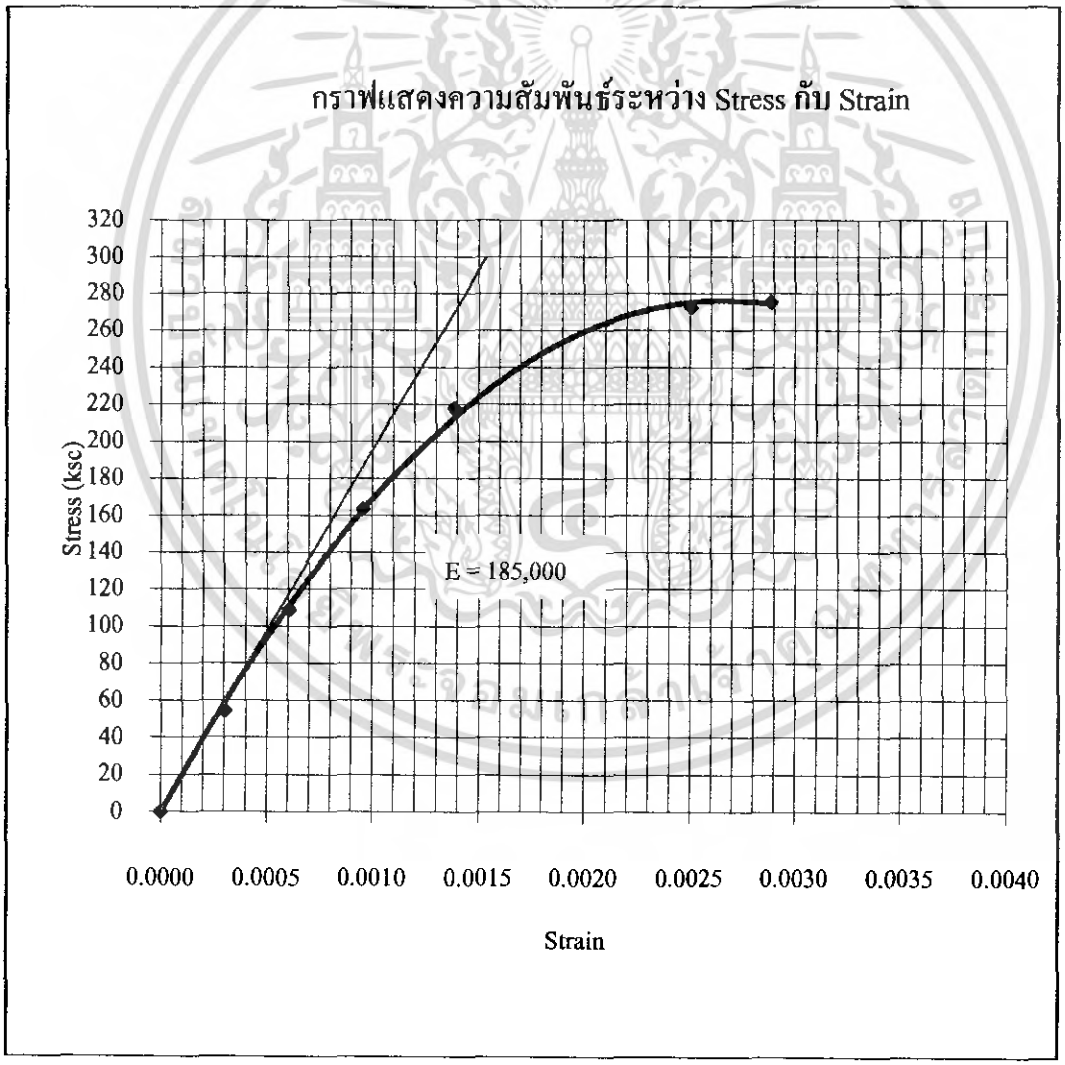
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.04	30.10	177.658	13.114	62,487	351.728	240,000	2452.358
2	14.96	30.00	175.773	12.932	65,953	375.303	254,546	2452.405
3	14.98	29.98	176.244	12.892	63,404	359.755	236,364	2439.913
		เฉลี่ย	176.558	12.979	63,948	362.262	243,237	2448.226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..275.415……ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.5	0.000	0.0000
95	9683.996	9.10	0.0910	301.5	54.509	0.0003
190	19367.992	18.26	0.1826	301.5	109.018	0.0006
285	29051.988	28.89	0.2889	301.5	163.528	0.0010
380	38735.984	51.78	0.4178	301.5	218.037	0.0014
475	48419.980	75.52	0.7552	301.5	272.546	0.0025
480	48929.664	86.92	0.8692	301.5	275.415	0.0029



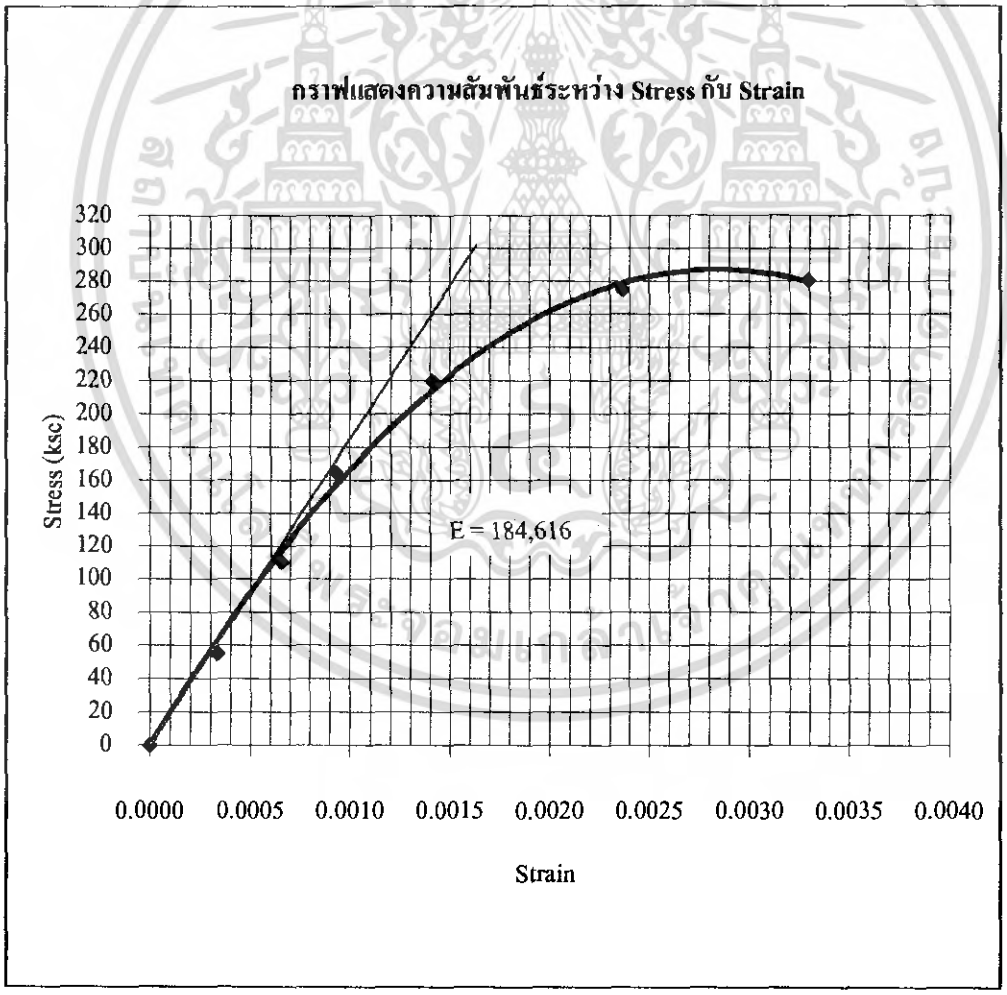
Initial Tangent Modulus Elastic = 200,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..280.518……ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
95	9683.996	10.04	0.1004	299.8	54.947	0.0003
190	19367.992	19.70	0.1970	299.8	109.894	0.0007
285	29051.988	27.89	0.2789	299.8	164.841	0.0009
380	38735.984	42.28	0.4228	299.8	219.787	0.0014
475	48419.980	70.92	0.7092	299.8	274.734	0.0024
485	49439.348	98.86	0.9886	299.8	280.518	0.0033



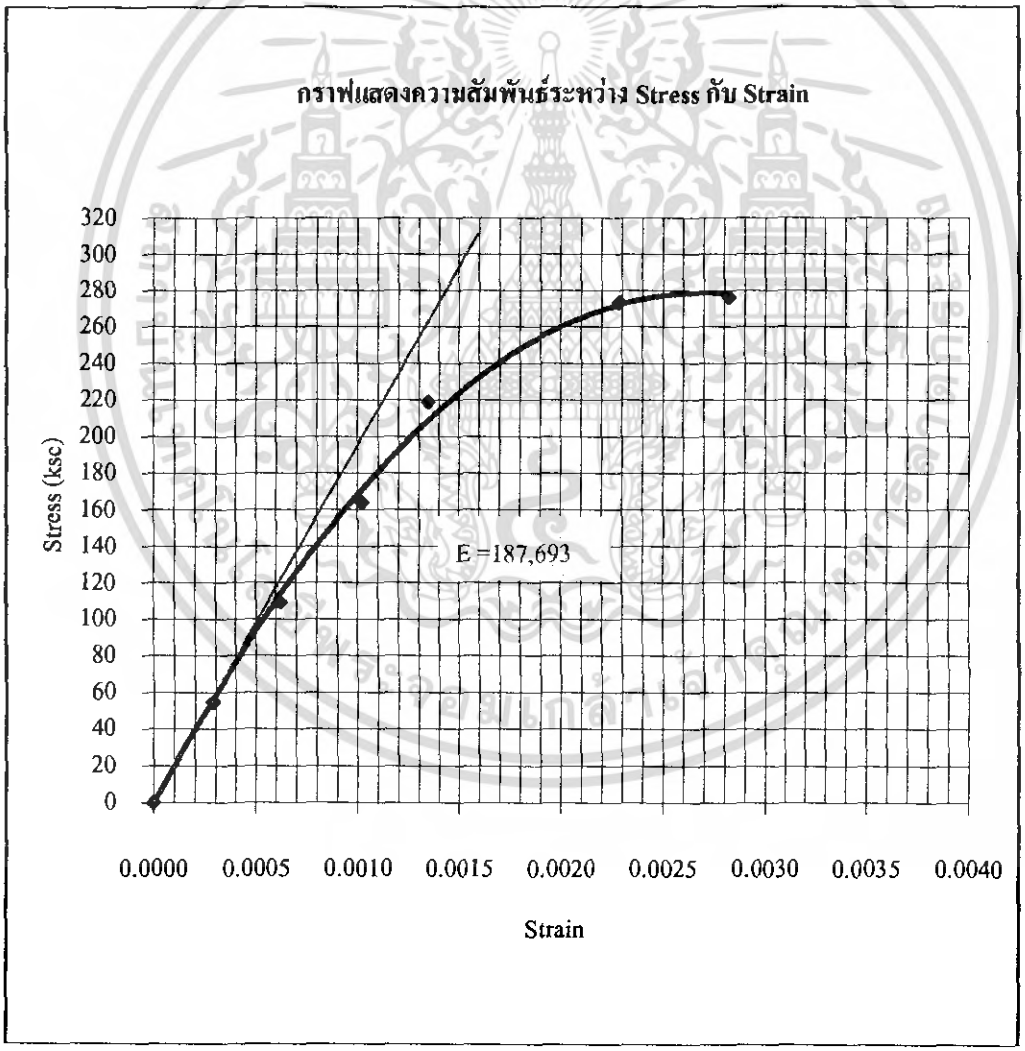
Initial Tangent Modulus Elastic = 184,616 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..276.149……ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.5	0.000	0.0000
95	9683.9959	8.60	0.0860	299.5	54.654	0.0003
190	19367.992	18.63	0.1863	299.5	109.309	0.0006
285	29051.988	30.64	0.3064	299.5	163.963	0.0010
380	38735.984	40.28	0.4028	299.5	218.618	0.0013
475	48419.98	68.42	0.6842	299.5	273.272	0.0023
480	48929.664	84.46	0.8446	299.5	276.149	0.0028



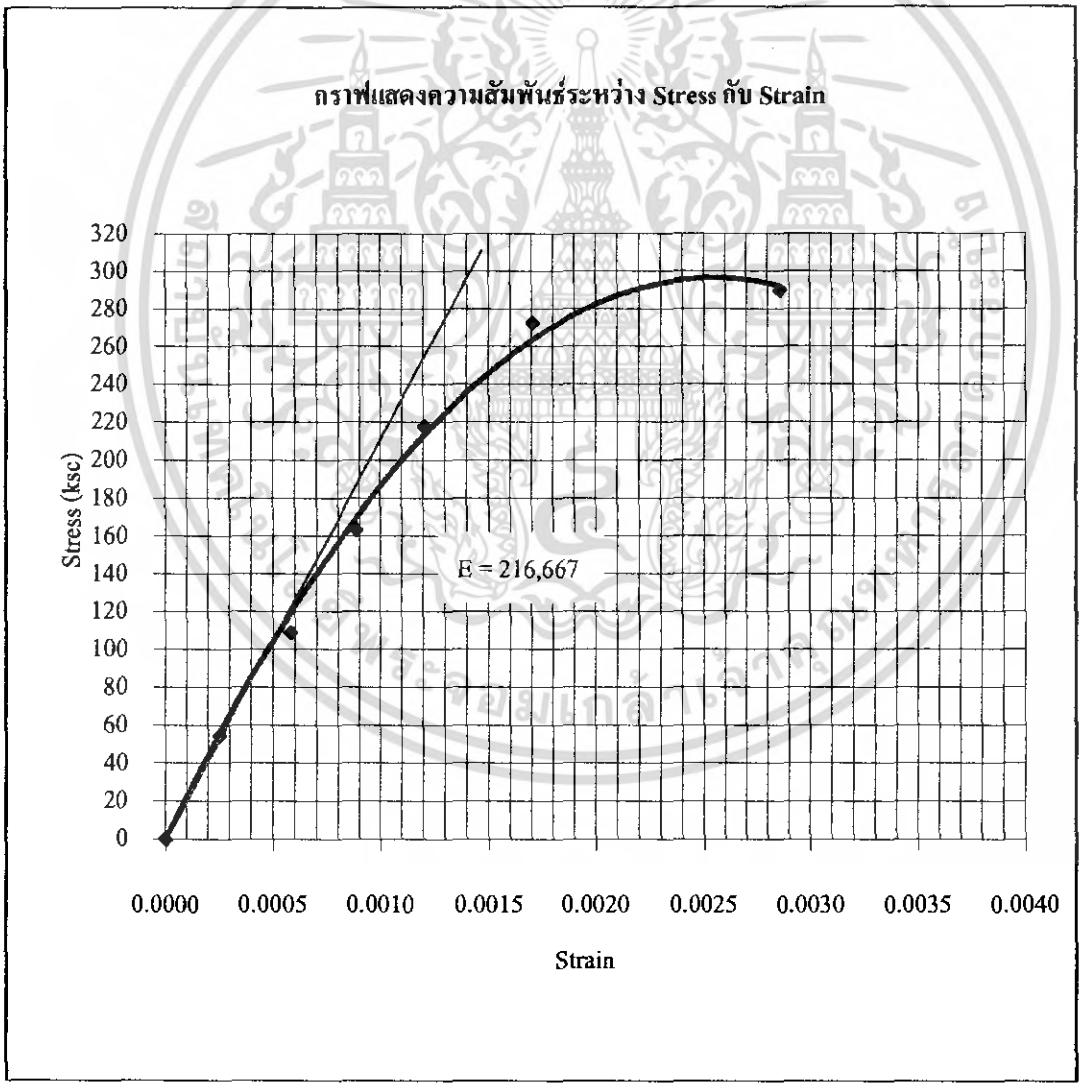
Initial Tangent Modulus Elastic = 200,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..289.375……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.7	0.000	0.0000
95	9683.996	7.59	0.0759	300.7	54.437	0.0003
190	19367.992	17.44	0.1744	300.7	108.874	0.0006
285	29051.988	26.65	0.2665	300.7	163.311	0.0009
380	38735.984	36.19	0.3619	300.7	217.748	0.0012
475	48419.980	51.23	0.5123	300.7	272.184	0.0017
505	51478.084	85.94	0.8594	300.7	289.375	0.0029



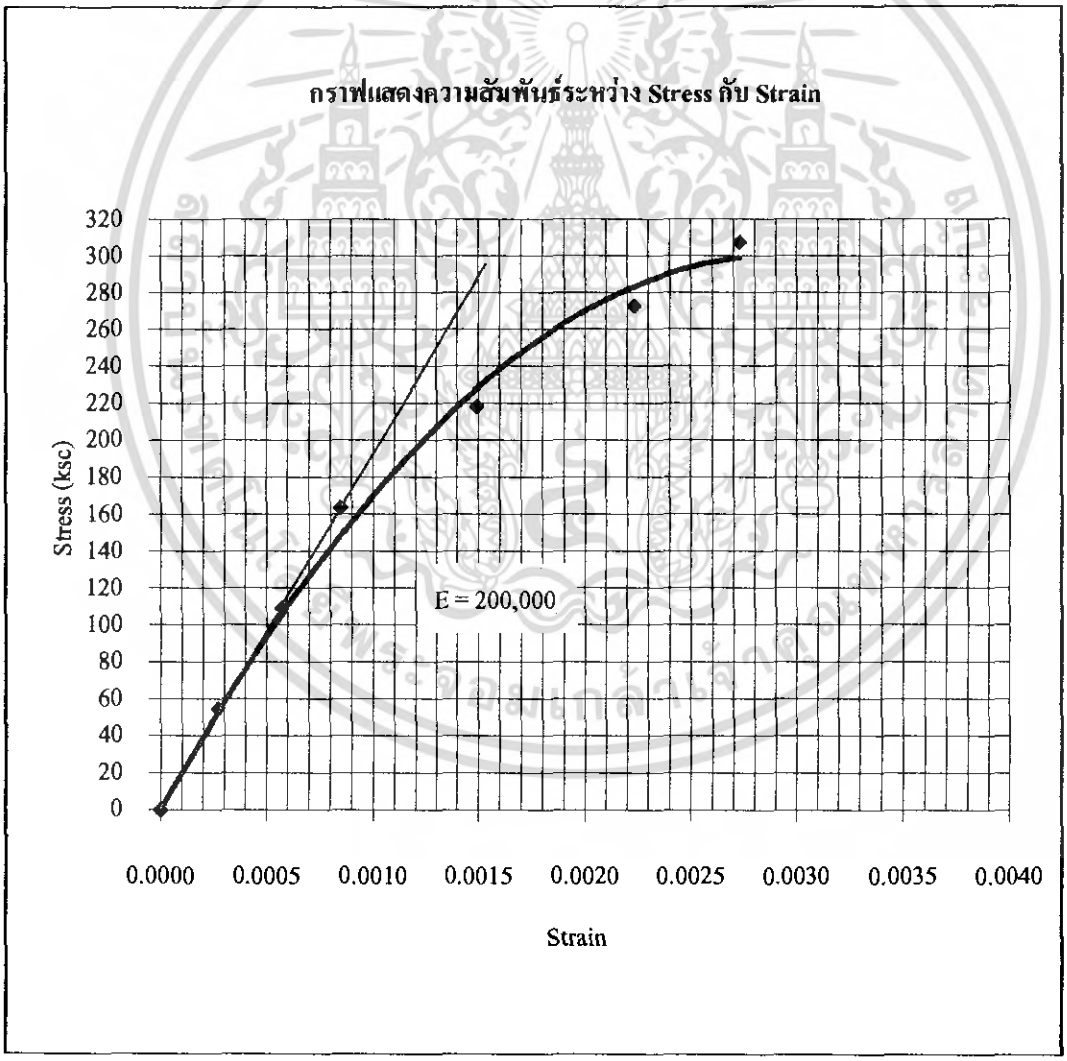
Initial Tangent Modulus Elastic = 216,667 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc').....307.381.... .ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง (mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	298.7	0.000	0.0000
95	9683.996	8.08	0.0808	298.7	54.582	0.0003
190	19367.992	17.14	0.1714	298.7	109.163	0.0006
285	29051.988	25.24	0.2524	298.7	163.745	0.0008
380	38735.984	44.58	0.4458	298.7	218.327	0.0015
475	48419.980	66.72	0.6672	298.7	272.909	0.0022
535	54536.188	81.62	0.8162	298.7	307.381	0.0027



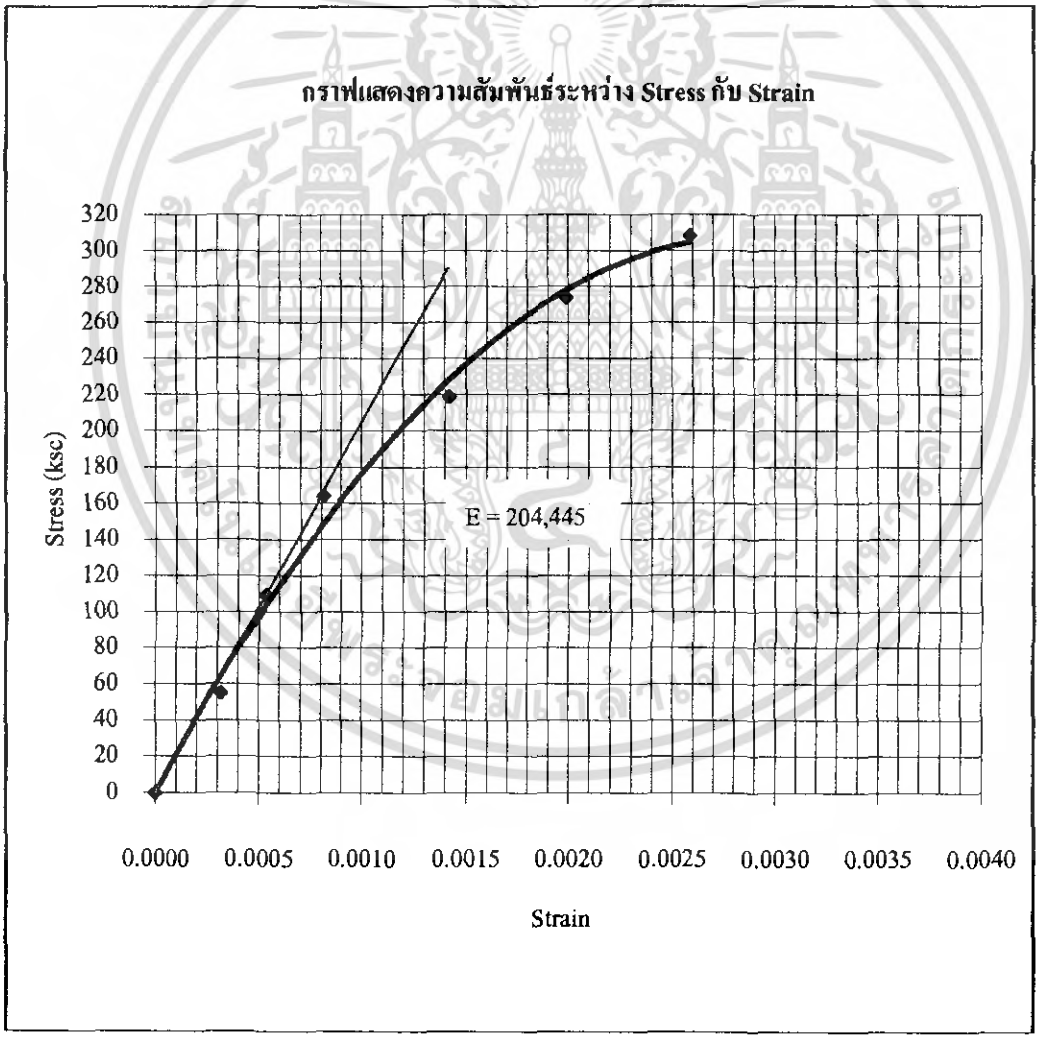
Initial Tangent Modulus Elastic = 200,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')……308.201… ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.2	0.000	0.0000
95	9683.996	9.58	0.0958	300.2	54.727	0.0003
190	19367.992	16.13	0.1613	300.2	109.455	0.0005
285	29051.988	24.53	0.2453	300.2	164.182	0.0008
380	38735.984	42.58	0.4258	300.2	218.909	0.0014
475	48419.980	59.71	0.5971	300.2	273.637	0.0020
535	54536.188	77.72	0.7772	300.2	308.201	0.0026



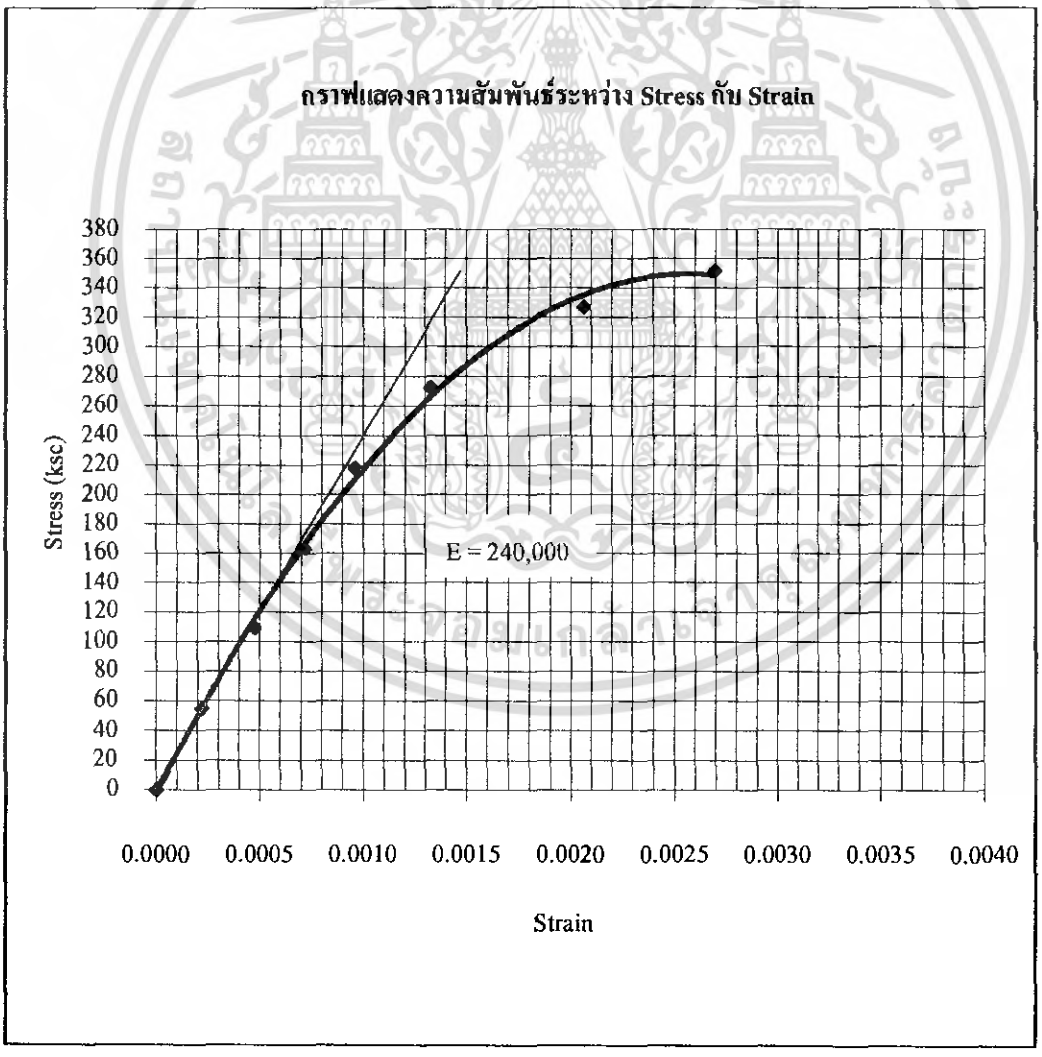
Initial Tangent Modulus Elastic = 204,445 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 351.728.....ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.0	0.000	0.0000
95	9683.996	6.59	0.0659	301.0	54.509	0.0002
190	19367.992	14.34	0.1434	301.0	109.018	0.0005
285	29051.988	21.64	0.2164	301.0	163.528	0.0007
380	38735.984	28.89	0.2889	301.0	218.037	0.0010
475	48419.980	39.92	0.3992	301.0	272.546	0.0013
570	58103.976	62.14	0.6214	301.0	327.055	0.0021
613	62487.258	81.20	0.8120	301.0	351.728	0.0027



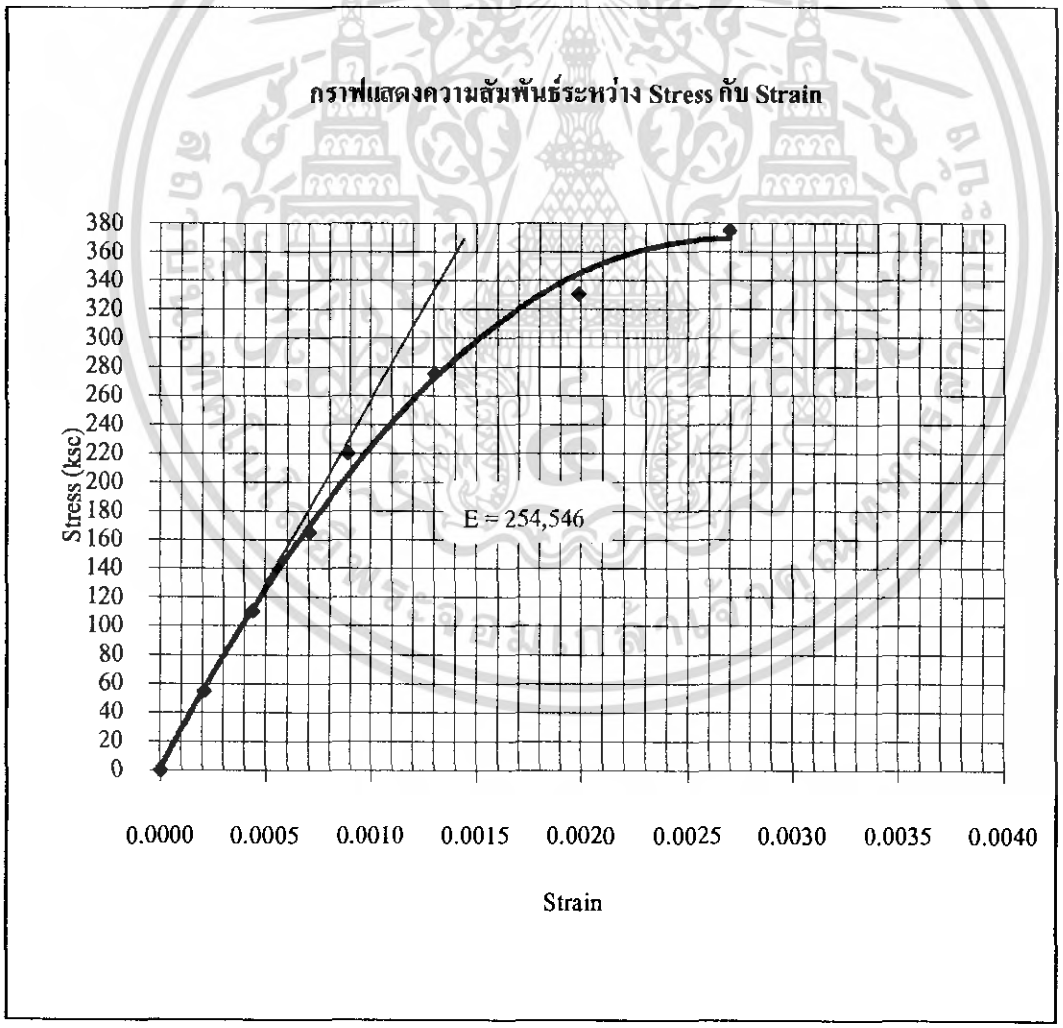
Initial Tangent Modulus Elastic = 240,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….375.303…. .ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.0	0.000	0.0000
95	9683.996	6.36	0.0636	300.0	55.106	0.0002
190	19367.992	13.11	0.1311	300.0	110.213	0.0004
285	29051.988	21.21	0.2121	300.0	165.319	0.0007
380	38735.984	26.66	0.2666	300.0	220.425	0.0009
475	48419.980	39.19	0.3919	300.0	275.532	0.0013
570	58103.976	59.68	0.5968	300.0	330.638	0.0020
647	65953.109	80.96	0.8096	300.0	375.303	0.0027



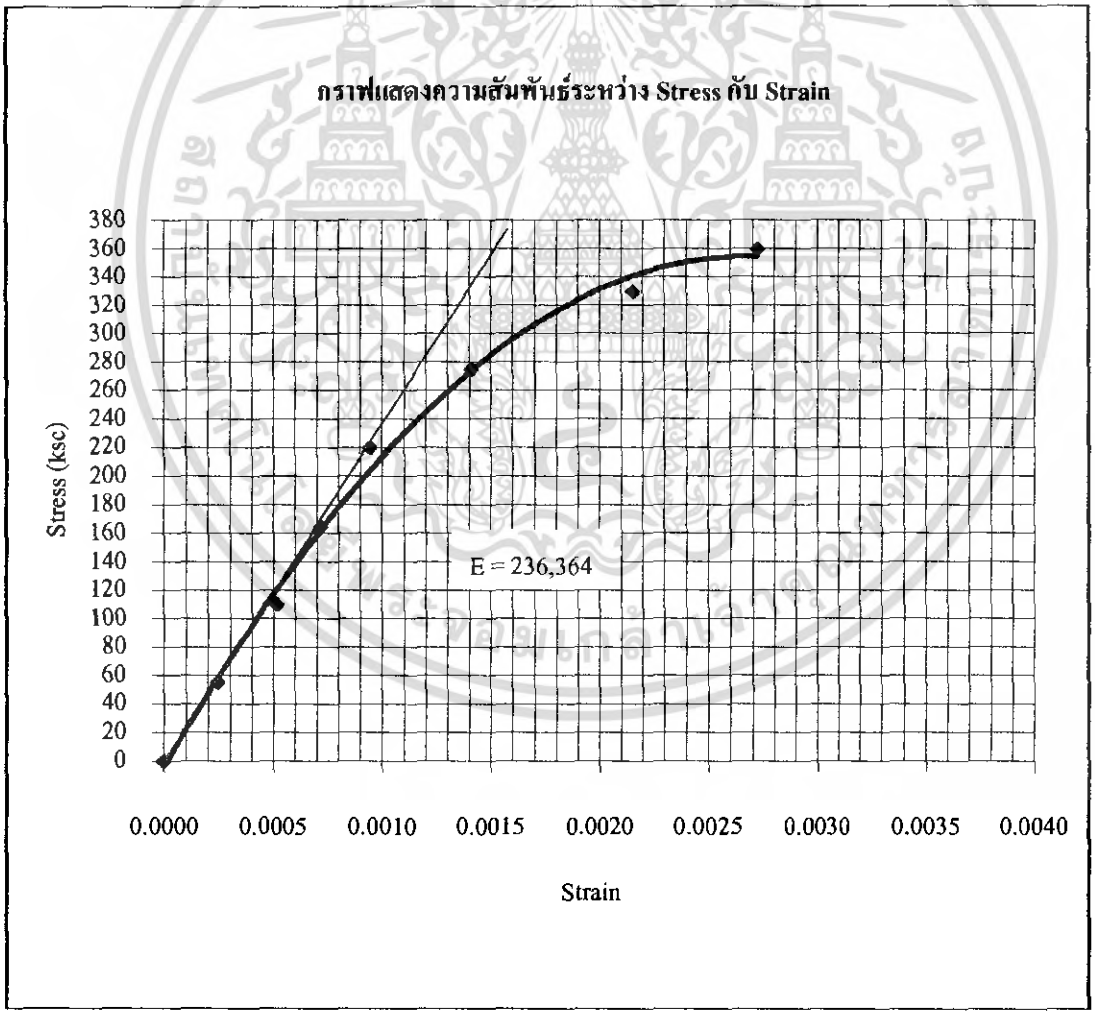
Initial Tangent Modulus Elastic = 254,546ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')……359.755… ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
95	9683.996	7.37	0.0737	299.8	54.947	0.0002
190	19367.992	15.52	0.1552	299.8	109.893	0.0005
285	29051.988	21.62	0.2162	299.8	164.840	0.0007
380	38735.984	28.37	0.2837	299.8	219.786	0.0009
475	48419.980	42.30	0.4230	299.8	274.733	0.0014
570	58103.976	64.58	0.6458	299.8	329.679	0.0022
622	63404.689	81.62	0.8162	299.8	359.755	0.0027



Initial Tangent Modulus Elastic = 236,364 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยน้ำหนัก 1,600 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	30.10	177.894	8.253	18,858	106.011	44,348	1541.289
2	15.08	30.06	178.604	8.406	18,348	102.736	44,200	1565.702
3	15.04	30.02	177.658	8.365	21,508	120.494	39,750	1568.449
		เฉลี่ย	178.052	8.341	19,571	120.494	42,766	1558.480

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.02	29.96	177.186	8.192	22,936	129.4	55,556	1543.188
2	15.05	29.92	177.894	8.216	23,445	131.8	51,740	1543.61
3	15.10	29.98	179.078	8.265	23,955	133.8	54,546	1539.462
		เฉลี่ย	178.052	8.224	23,445	131.667	53,947	1542.087

อายุตัวอย่าง 28 วัน

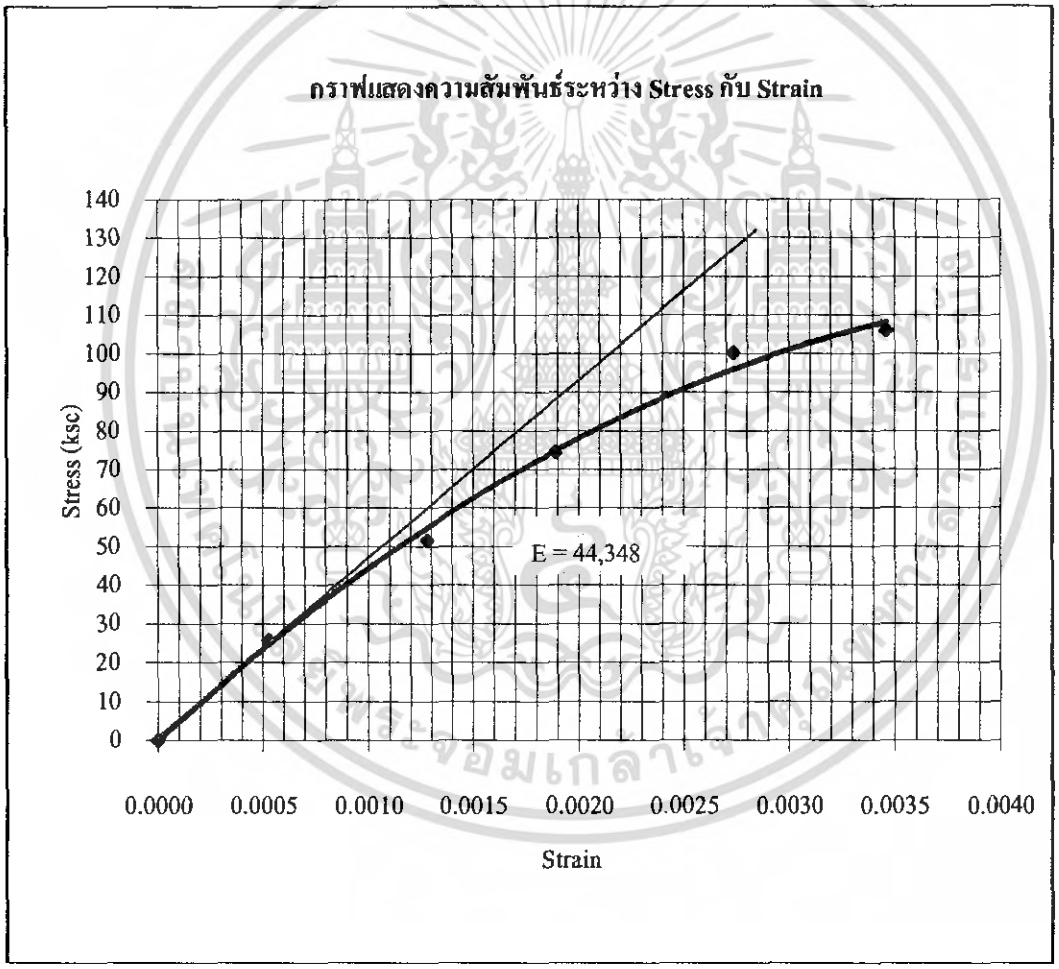
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.09	30.20	178.841	8.524	23,955	133.947	71,667	1578.227
2	14.98	30.10	176.243	8.540	22,974	141.705	81,250	1609.828
3	15.08	30.12	178.604	8.516	25,993	145.539	81,875	1583.031
		เฉลี่ย	177.896	8.527	24,307	140.397	78,264	1590.362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..106.011……ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.0	0.000	0.0000
45	4587.156	15.86	0.1586	301.0	25.786	0.0005
90	9174.311	38.52	0.3852	301.0	51.573	0.0013
130	13251.784	56.87	0.5687	301.0	74.494	0.0019
175	17838.940	82.22	0.8222	301.0	100.281	0.0027
185	18858.308	104.20	1.0420	301.0	106.011	0.0035



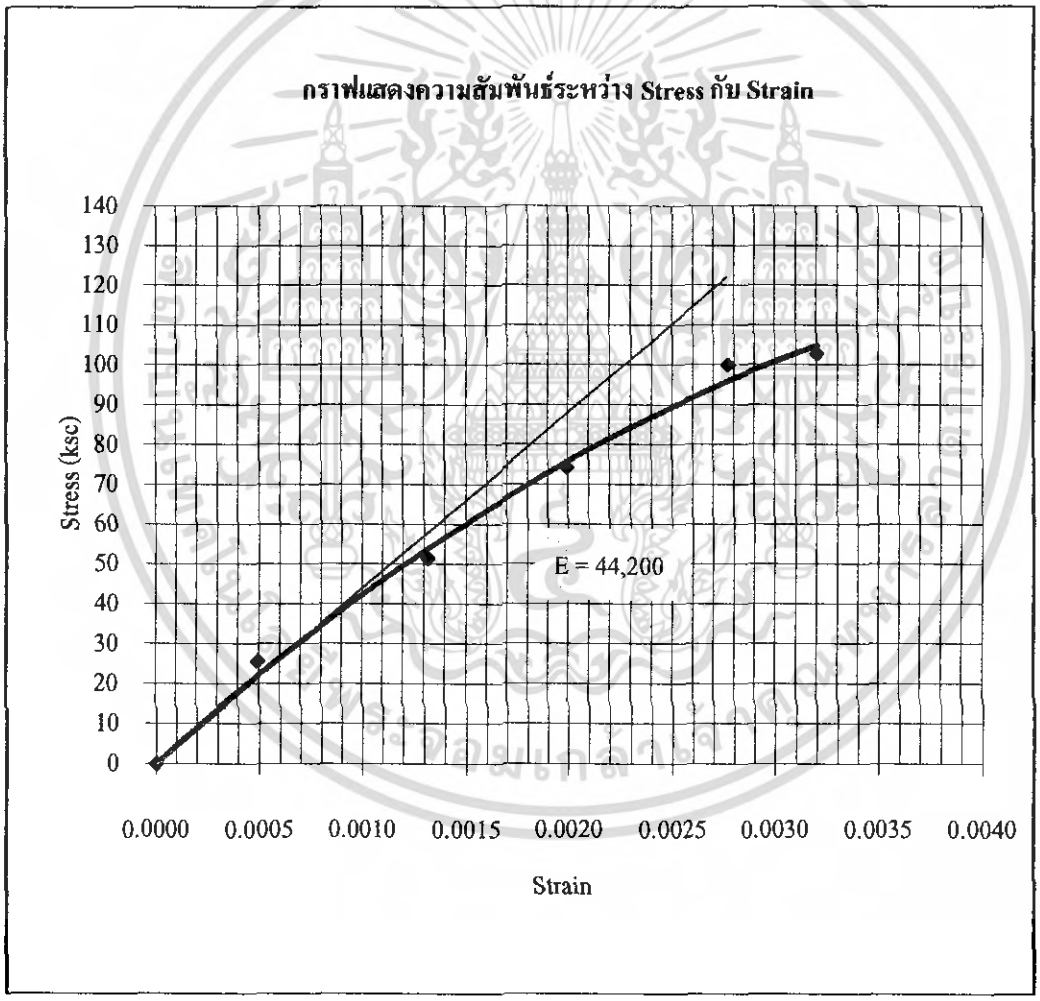
Initial Tangent Modulus Elastic = 44,348 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…....102.736…. .ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.6	0.000	0.0000
45	4587.156	14.86	0.1486	300.6	25.684	0.0005
90	9174.3119	39.63	0.3963	300.6	51.368	0.0013
130	13251.784	59.88	0.5988	300.6	74.198	0.0020
175	17838.94	83.33	0.8333	300.6	99.882	0.0028
180	18348.624	96.27	0.9627	300.6	102.736	0.0032



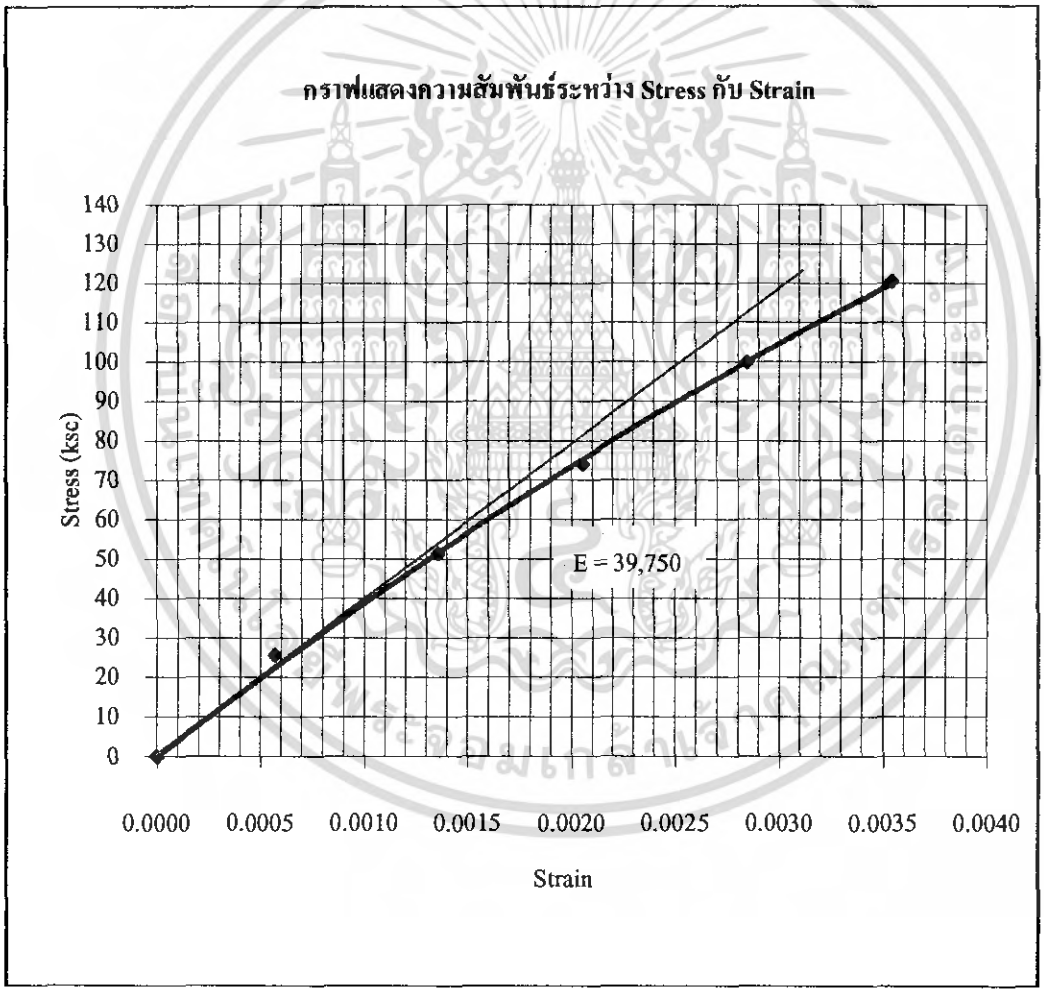
Initial Tangent Modulus Elastic = 44,200 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….120.494… ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.2	0.000	0.0000
45	4587.156	17.06	0.1706	300.2	25.684	0.0006
90	9174.311	40.73	0.4073	300.2	51.368	0.0014
130	13251.784	61.68	0.6168	300.2	74.198	0.0021
175	17838.94	85.33	0.8533	300.2	99.882	0.0028
211	21508.665	106.40	1.0640	300.2	120.429	0.0035



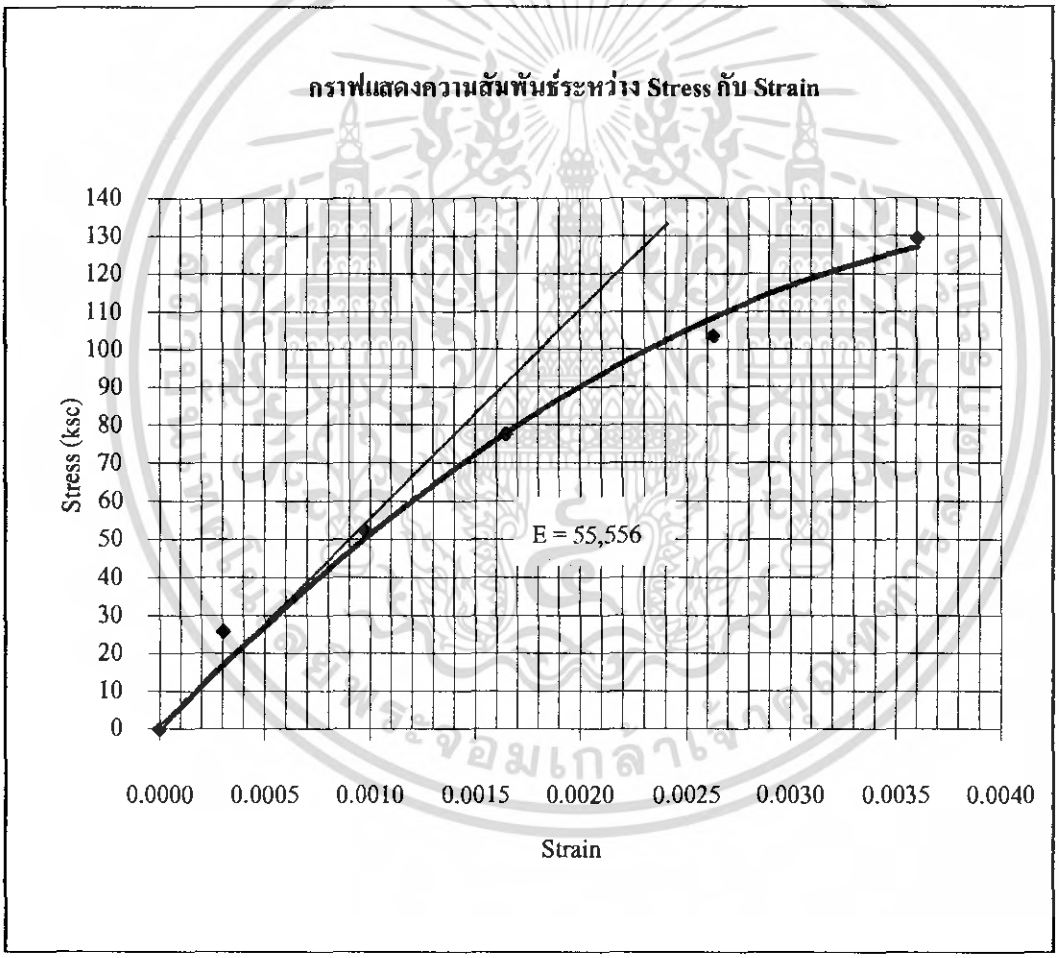
Initial Tangent Modulus Elastic = 39,750 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..129.445….ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.6	0.000	0.00000
45	4587.15596	9.05	0.0905	299.6	25.889	0.00030
90	9174.31193	29.41	0.2941	299.6	51.778	0.00098
135	13761.4679	49.31	0.4931	299.6	77.667	0.00165
180	18348.6239	78.75	0.7875	299.6	103.556	0.00263
225	22935.7798	108.00	1.0800	299.6	129.445	0.00360



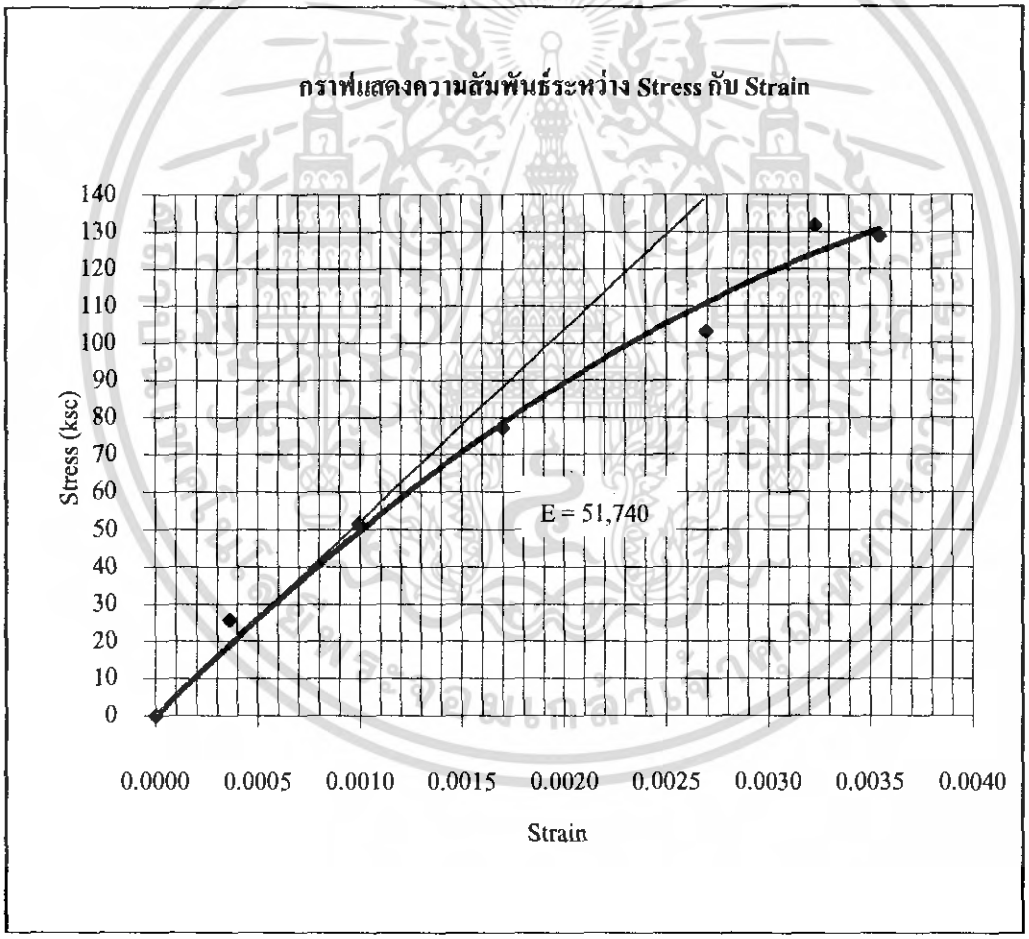
Initial Tangent Modulus Elastic = 55,556 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..131.794……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.2	0.000	0.00000
45	4587.15596	10.86	0.1086	299.2	25.786	0.00036
90	9174.31193	29.72	0.2972	299.2	51.571	0.00099
135	13761.4679	50.81	0.5081	299.2	77.357	0.00170
180	18348.6239	80.56	0.8056	299.2	103.143	0.00269
225	22935.7798	106.02	1.0602	299.2	128.929	0.00354
230	23445.4638	111.0	1.110	299.2	131.794	0.00323



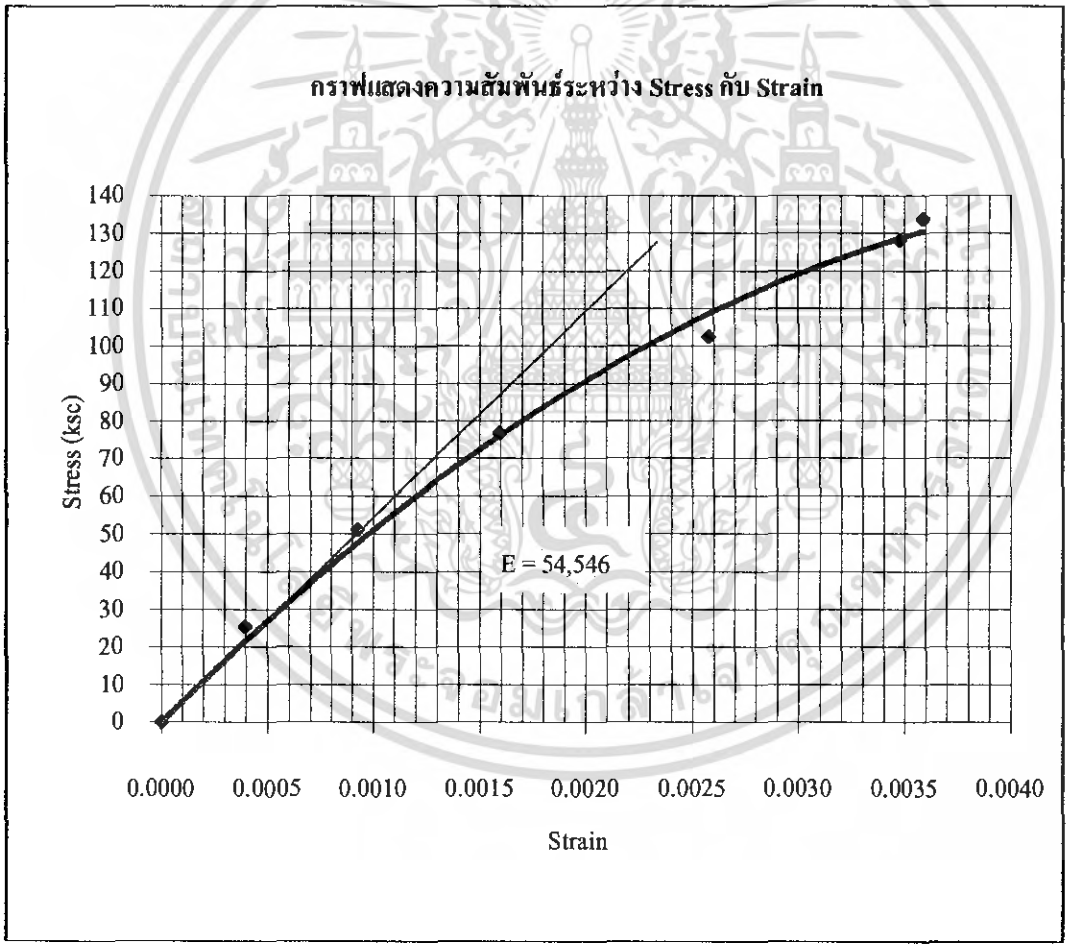
Initial Tangent Modulus Elastic = 51,740 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..133.769……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
45	4587.155	11.87	0.1187	299.8	25.615	0.0004
90	9174.311	27.73	0.2773	299.8	51.231	0.0009
135	13761.467	47.82	0.4782	299.8	76.846	0.0016
180	18348.623	77.28	0.7728	299.8	102.461	0.0026
225	22935.779	104.23	1.0423	299.8	128.077	0.0035
235	23955.147	107.61	1.0761	299.8	133.769	0.0036



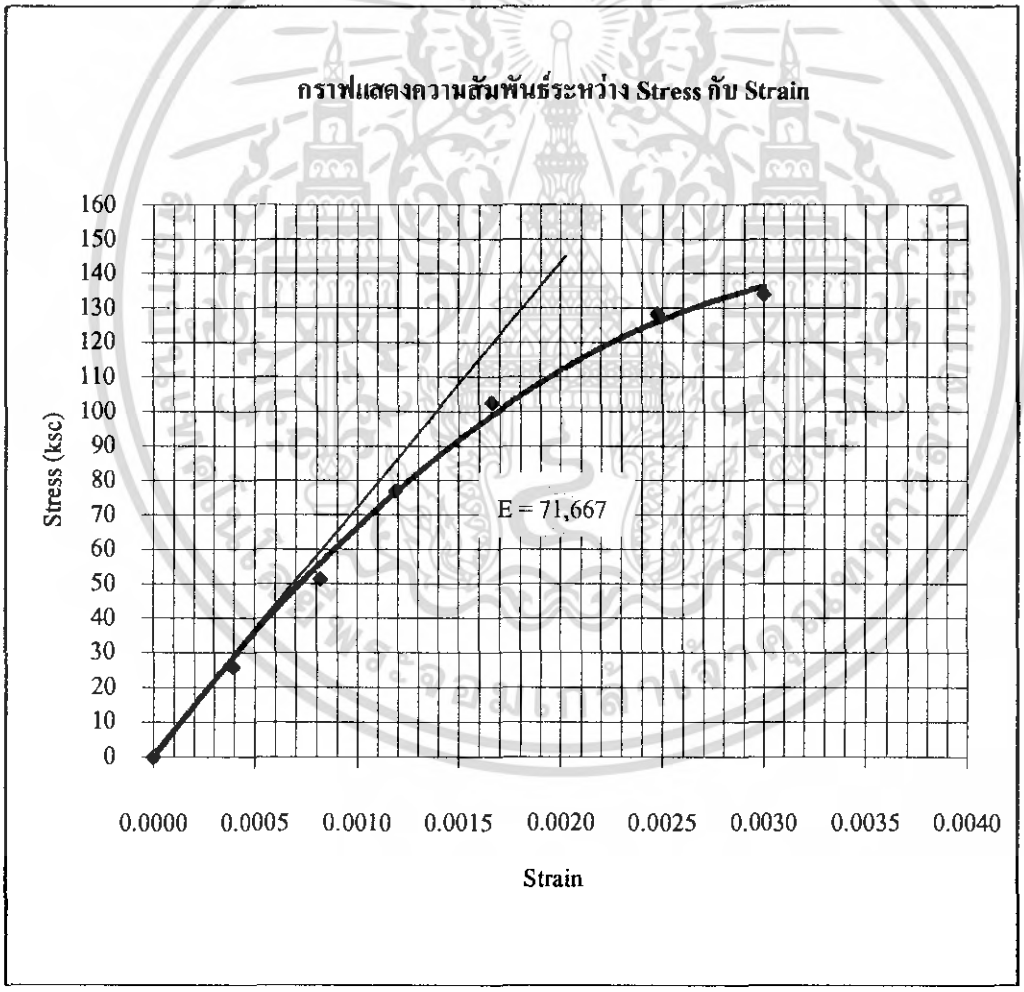
Initial Tangent Modulus Elastic = 54,546 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')……133.947…….ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	302.0	0.000	0.0000
45	4587.155	11.86	0.1186	302.0	25.649	0.0004
90	9174.311	24.73	0.2473	302.0	51.299	0.0008
135	13761.467	35.82	0.3582	302.0	76.948	0.0012
180	18348.623	50.28	0.5028	302.0	102.597	0.0017
225	22935.779	74.73	0.7473	302.0	128.247	0.0025
235	23955.147	90.61	0.9061	302.0	133.947	0.0030



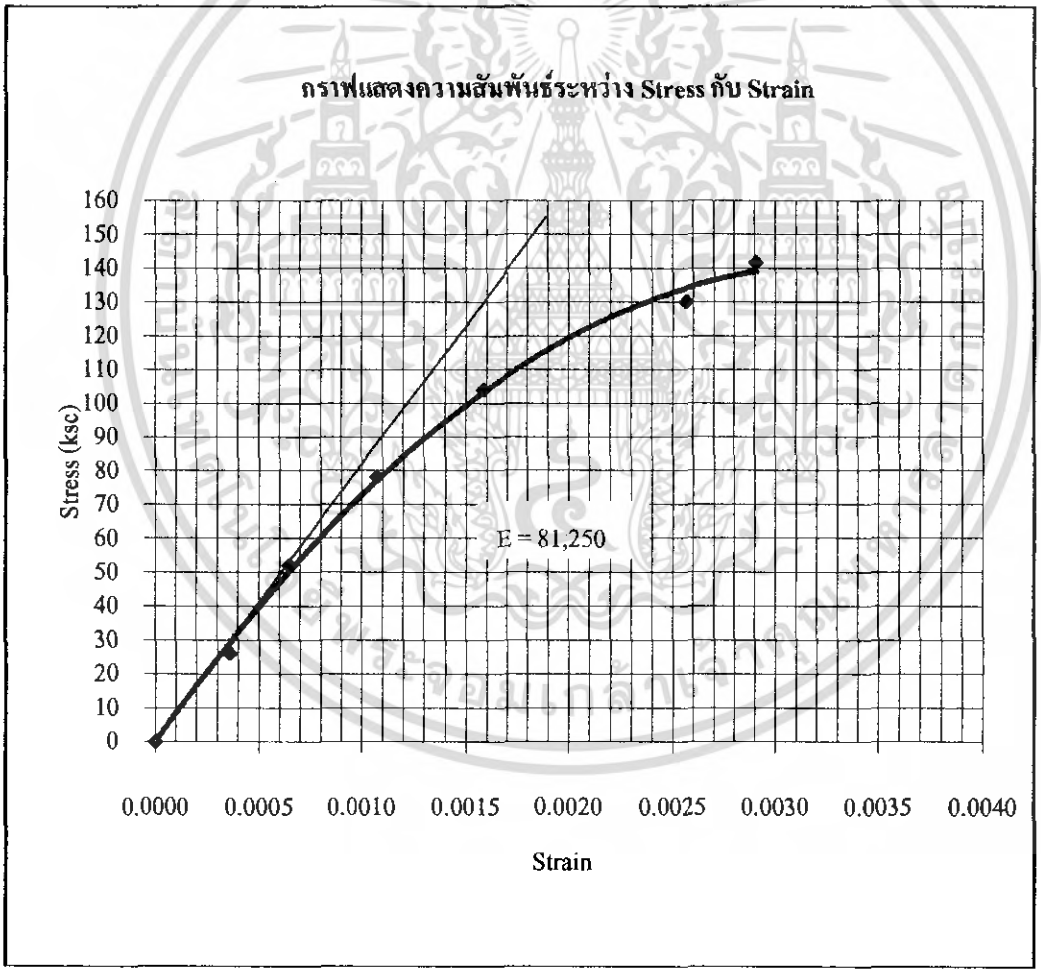
Initial Tangent Modulus Elastic = 71,667 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc').....141.705 .....ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.0	0.000	0.0000
45	4587.156	10.85	0.1085	301.0	26.027	0.0004
90	9174.312	19.50	0.1950	301.0	52.055	0.0006
135	13761.468	32.30	0.3230	301.0	78.082	0.0011
180	18348.624	47.74	0.4774	301.0	104.110	0.0016
225	22935.780	77.19	0.7719	301.0	130.137	0.0026
245	24974.516	87.54	0.8754	301.0	141.705	0.0029



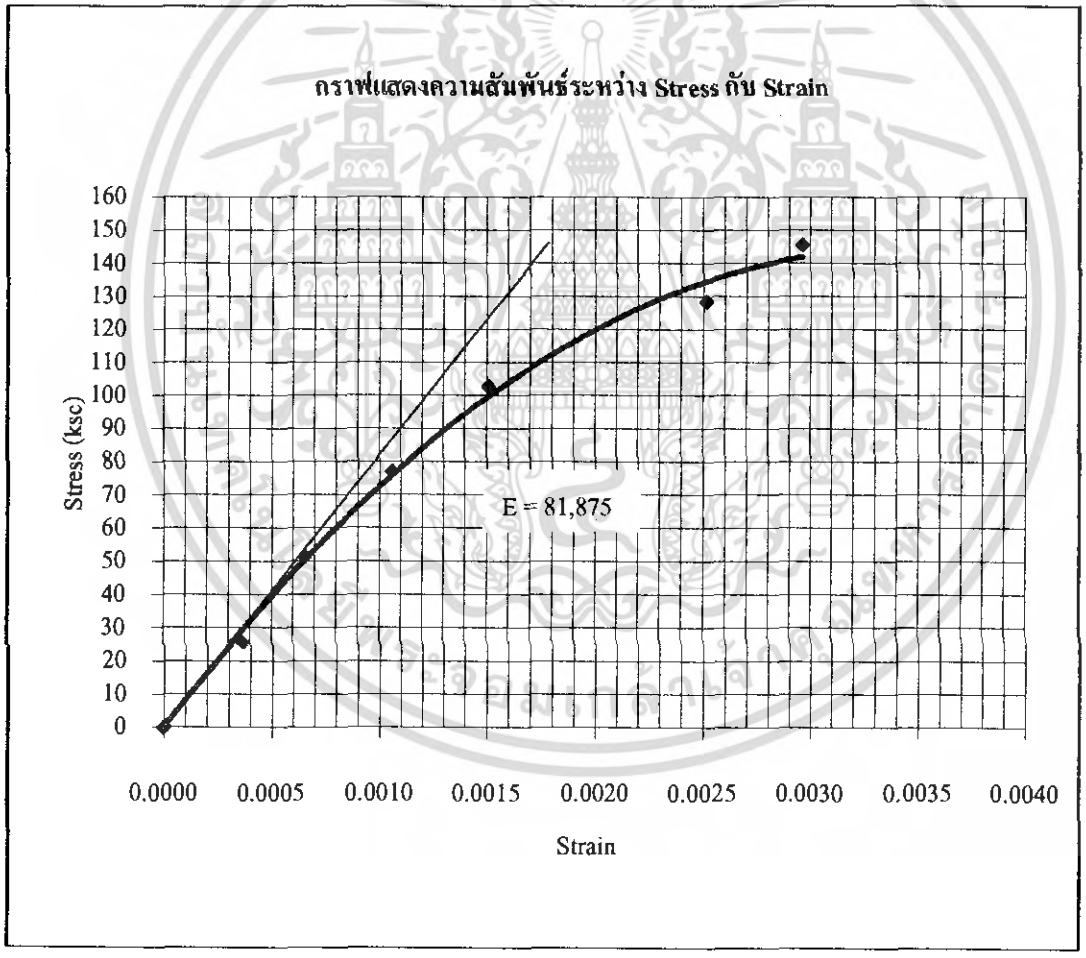
Initial Tangent Modulus Elastic = 81,250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….145.539 …….ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.2	0.000	0.0000
45	4587.155	10.86	0.1086	301.2	25.683	0.0004
90	9174.311	19.73	0.1973	301.2	51.367	0.0007
135	13761.467	31.82	0.3182	301.2	77.050	0.0011
180	18348.623	45.47	0.4547	301.2	102.734	0.0015
225	22935.779	75.73	0.7573	301.2	128.417	0.0025
255	25993.883	89.27	0.8927	301.2	145.539	0.0030



Initial Tangent Modulus Elastic = 81,875 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยน้ำหนัก 1800 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.13	30.04	179.791	9.218	38,226	212.615	72,476	1706.746
2	15.01	29.95	176.950	9.425	37,717	213.148	71,990	1778.418
3	14.97	30.05	176.008	9.258	36,697	208.497	73,686	1750.412
		เฉลี่ย	177.583	9.300	37,547	211.420	72,717	1745.192

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.01	29.54	176.920	9.275	38,736	218.909	82,480	1774.706
2	15.00	30.10	176.715	9.453	37,717	213.438	77,938	1777.173
3	15.04	29.86	177.658	9.286	39,246	220.906	77,919	1750.468
		เฉลี่ย	177.098	9.338	38,556	217.751	79,446	1767.449

อายุตัวอย่าง 28 วัน

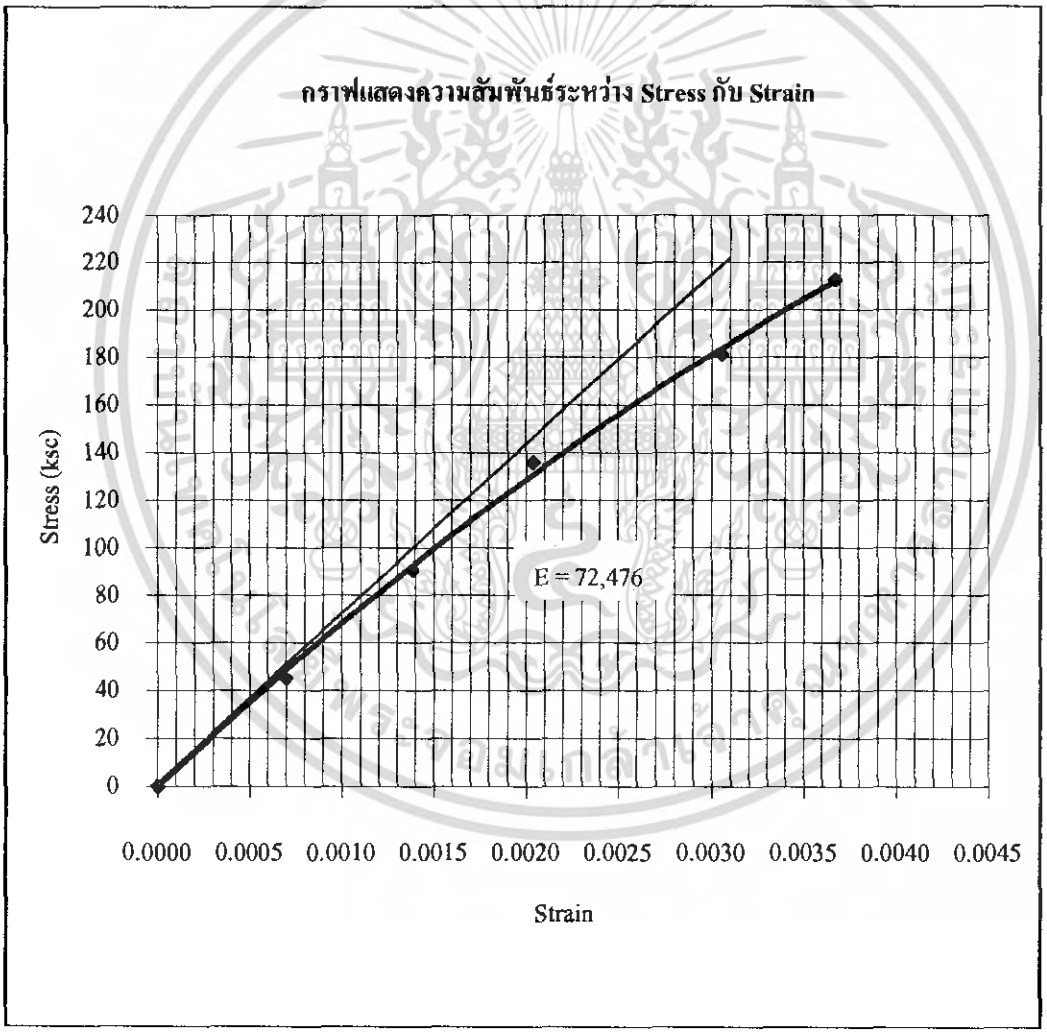
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.11	29.98	179.316	9.417	41,284	230.233	90,909	1788.168
2	15.02	30.11	177.186	9.445	41,590	234.726	96,316	1803.912
3	15.14	30.01	180.029	9.569	42,813	237.816	93,334	1805.033
		เฉลี่ย	178.844	9.477	41,896	234.258	93,520	1799.038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..212.615……ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.4	0.000	0.0000
80	8154.944	20.99	0.2099	300.4	45.358	0.0007
160	16309.888	41.53	0.4153	300.4	90.716	0.0014
240	24464.832	61.14	0.6114	300.4	136.074	0.0020
320	32619.776	91.62	0.9162	300.4	181.432	0.0030
375	38226.300	110.36	1.1036	300.4	212.615	0.0037



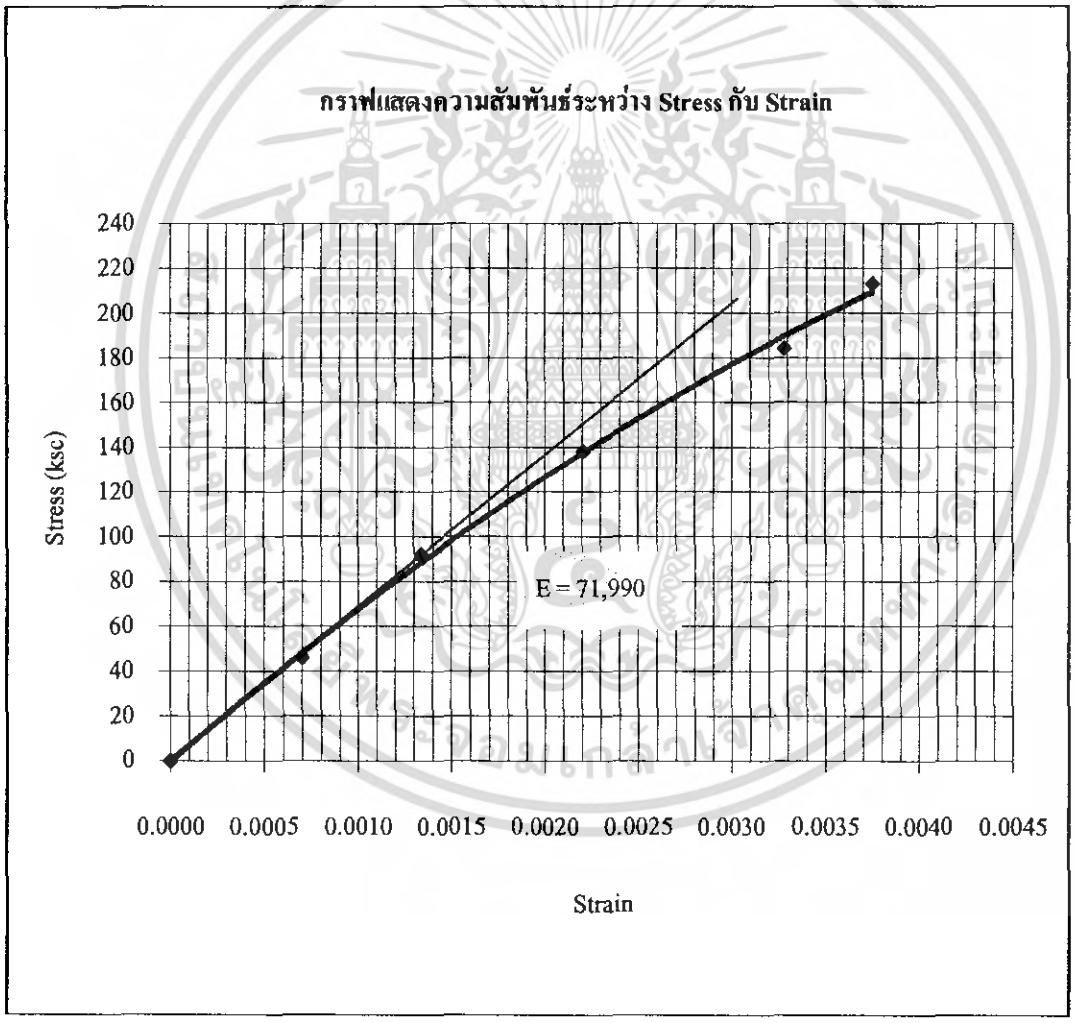
Initial Tangent Modulus Elastic = 72,476 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..213.148…….ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.5	0.000	0.0000
80	8154.944	20.96	0.2096	299.5	46.086	0.0007
160	16309.888	40.00	0.4000	299.5	92.172	0.0013
240	24464.832	66.10	0.6610	299.5	138.258	0.0022
320	32619.776	98.26	0.9826	299.5	184.345	0.0033
370	37716.616	112.35	1.1235	299.5	213.148	0.0038



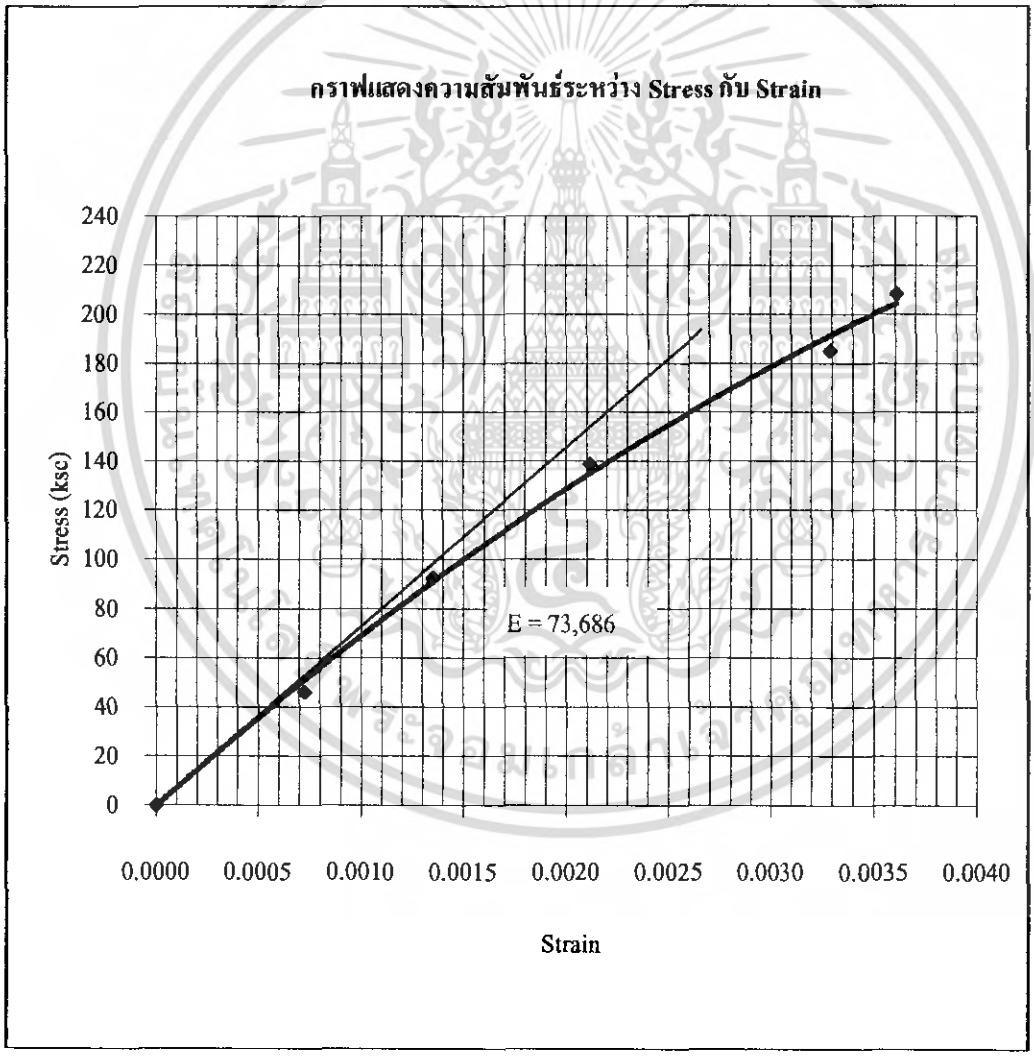
Initial Tangent Modulus Elastic = 71,990 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..208.497……ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.5	0.000	0.0000
80	8154.944	21.95	0.2195	300.5	46.332	0.0007
160	16309.888	40.59	0.4059	300.5	92.665	0.0014
240	24464.832	63.59	0.6359	300.5	138.997	0.0021
320	32619.776	98.85	0.9885	300.5	185.329	0.0033
360	36697.248	108.41	1.0841	300.5	208.495	0.0036



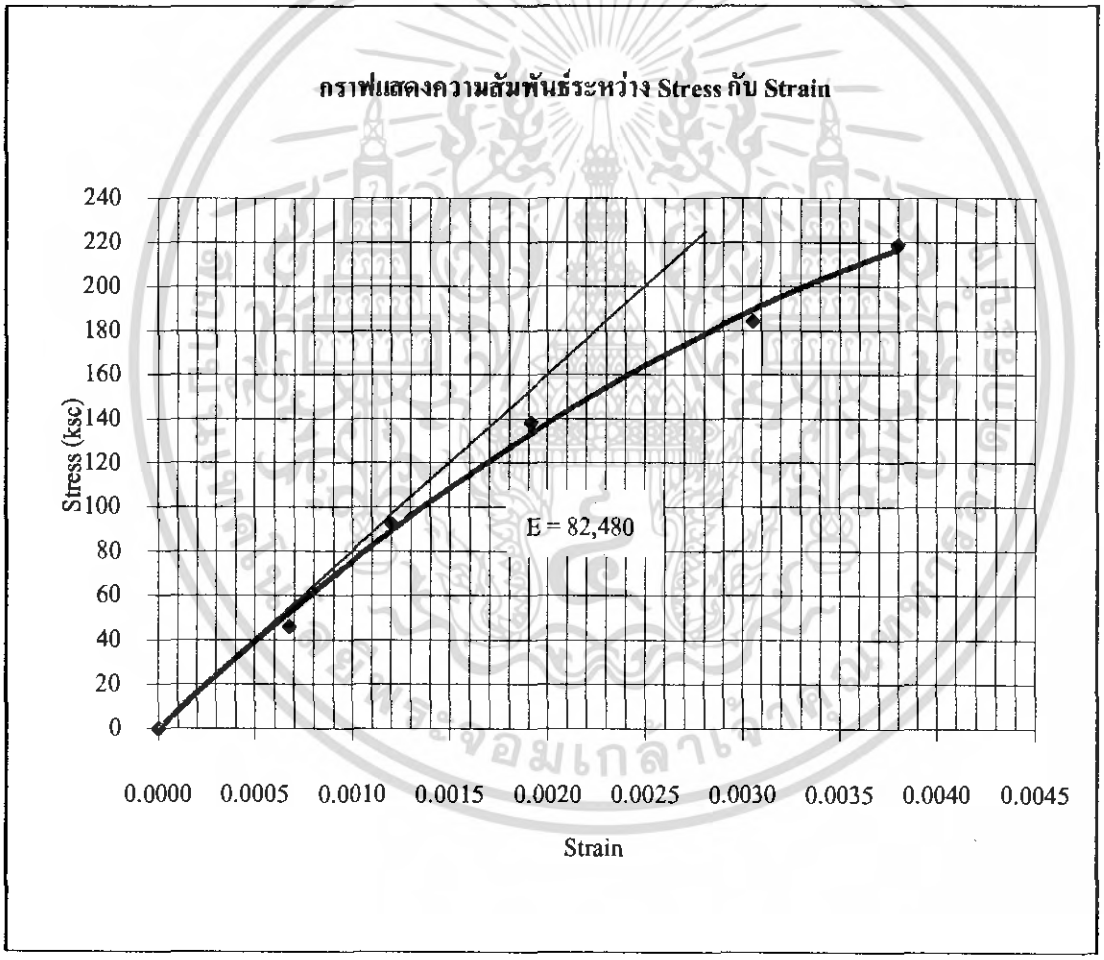
Initial Tangent Modulus Elastic = 73,686 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..218.909….. ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	295.4	0.000	0.0000
80	8154.944	19.96	0.1996	295.4	46.086	0.0007
160	16309.888	35.50	0.3550	295.4	92.172	0.0012
240	24464.832	56.60	0.5660	295.4	138.258	0.0019
320	32619.776	90.26	0.9026	295.4	184.345	0.0031
380	38735.984	112.28	1.1228	295.4	218.909	0.0038



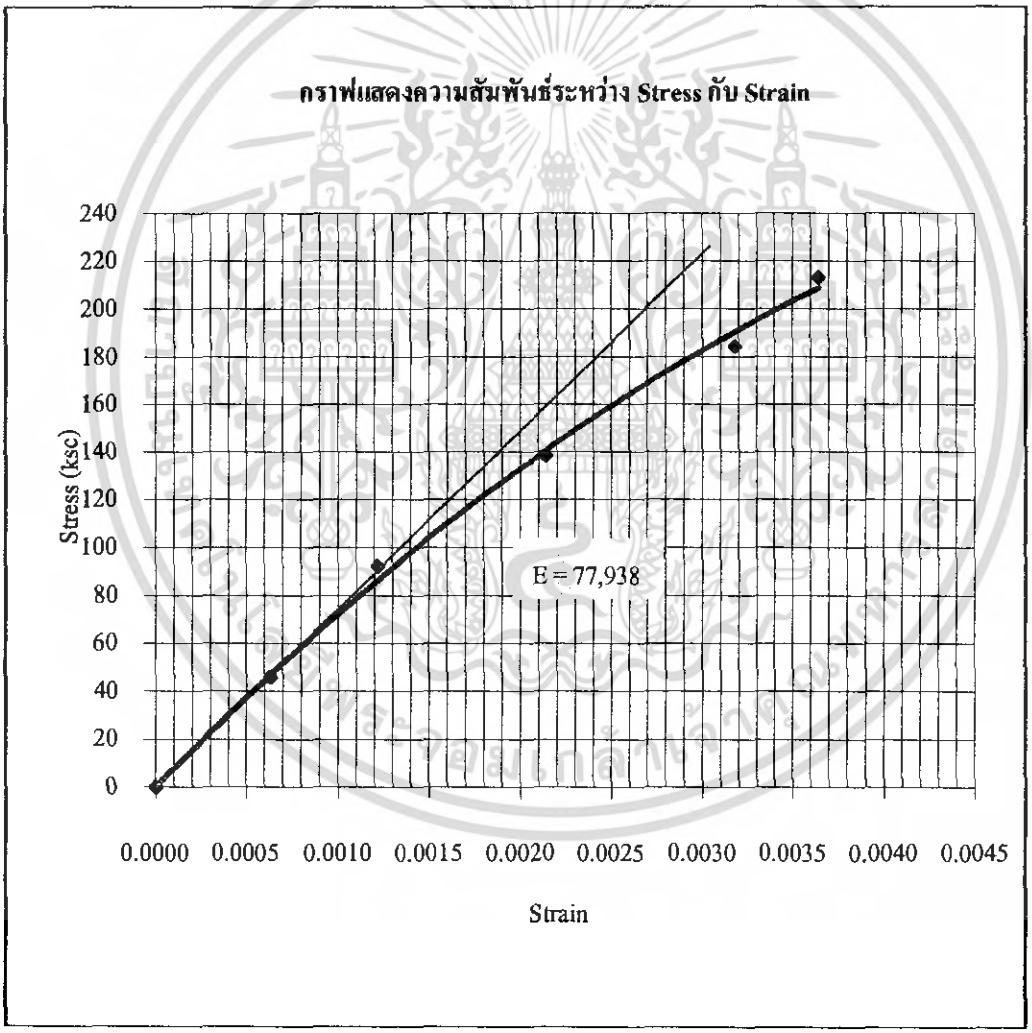
Initial Tangent Modulus Elastic = 82,480 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc').....213.148.....ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.1	0.000	0.0000
80	8154.944	18.96	0.1896	300.1	46.149	0.0006
160	16309.888	36.49	0.3649	300.1	92.297	0.0012
240	24464.832	64.10	0.6410	300.1	138.446	0.0021
320	32619.776	95.36	0.9536	300.1	184.595	0.0032
370	37716.616	109.35	1.0935	300.1	213.438	0.0036



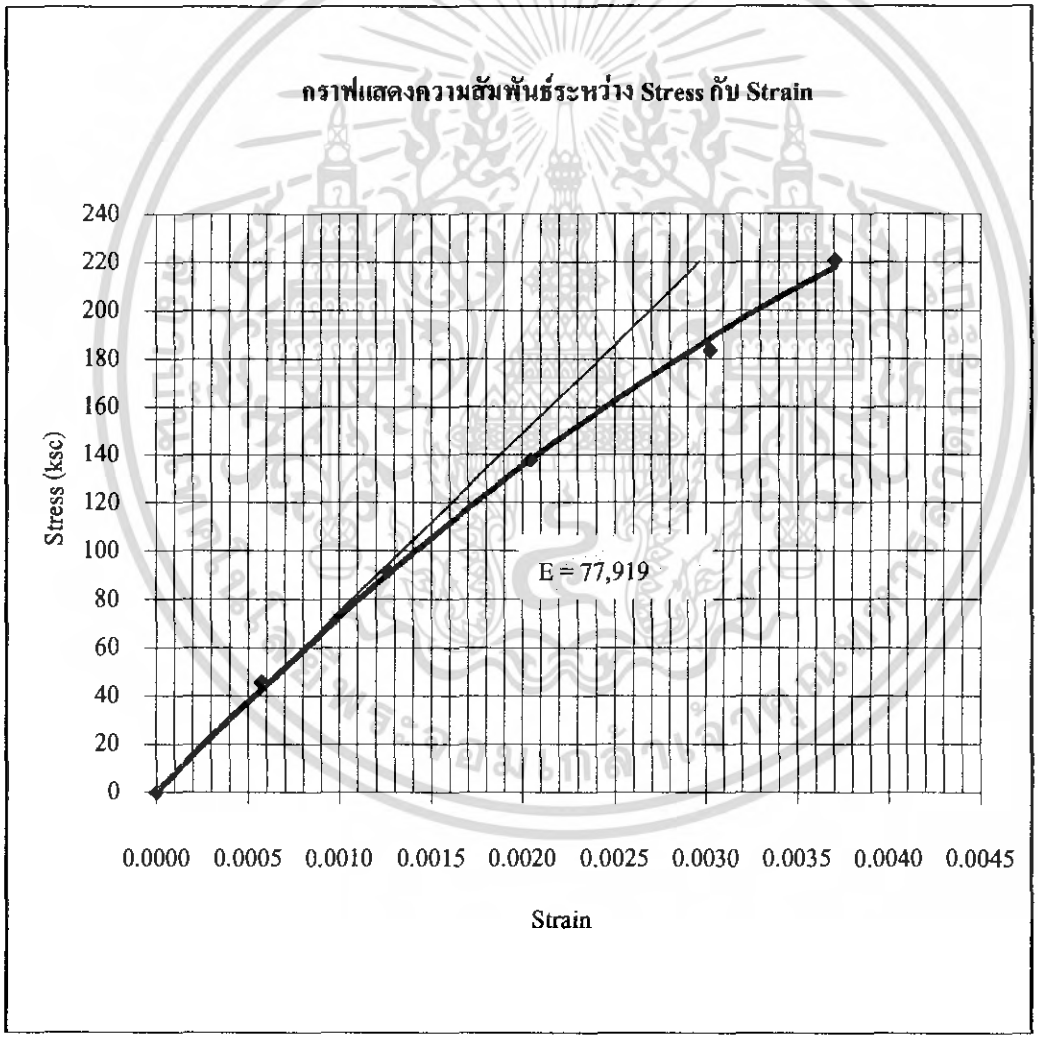
Initial Tangent Modulus Elastic = 77,938 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…...…220.906……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	298.6	0.000	0.0000
80	8154.944	16.97	0.1697	298.6	45.902	0.0006
160	16309.888	37.80	0.3780	298.6	91.805	0.0013
240	24464.832	61.11	0.6111	298.6	137.707	0.0020
320	32619.776	90.28	0.9028	298.6	183.610	0.0030
385	39245.668	110.75	1.1075	298.6	220.906	0.0037



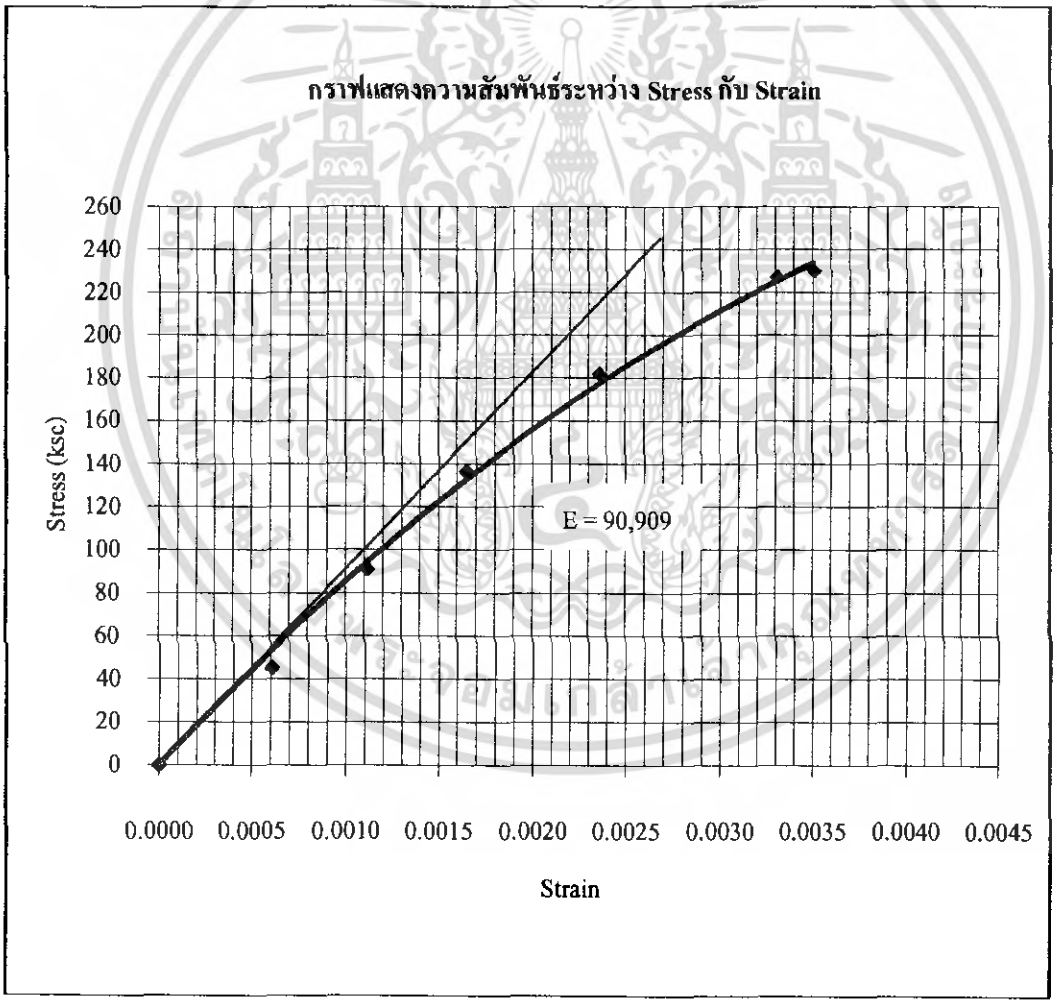
Initial Tangent Modulus Elastic = 77,919 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..230.233……ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.8	0.000	0.0000
80	8154.944	18.19	0.1819	299.8	45.478	0.0006
160	16309.888	33.52	0.3352	299.8	90.956	0.0011
240	24464.832	49.44	0.4944	299.8	136.434	0.0016
320	32619.776	70.81	0.7081	299.8	181.912	0.0024
400	40774.720	99.07	0.9907	299.8	227.390	0.0033
405	41284.404	105.13	1.0513	299.8	230.233	0.0035



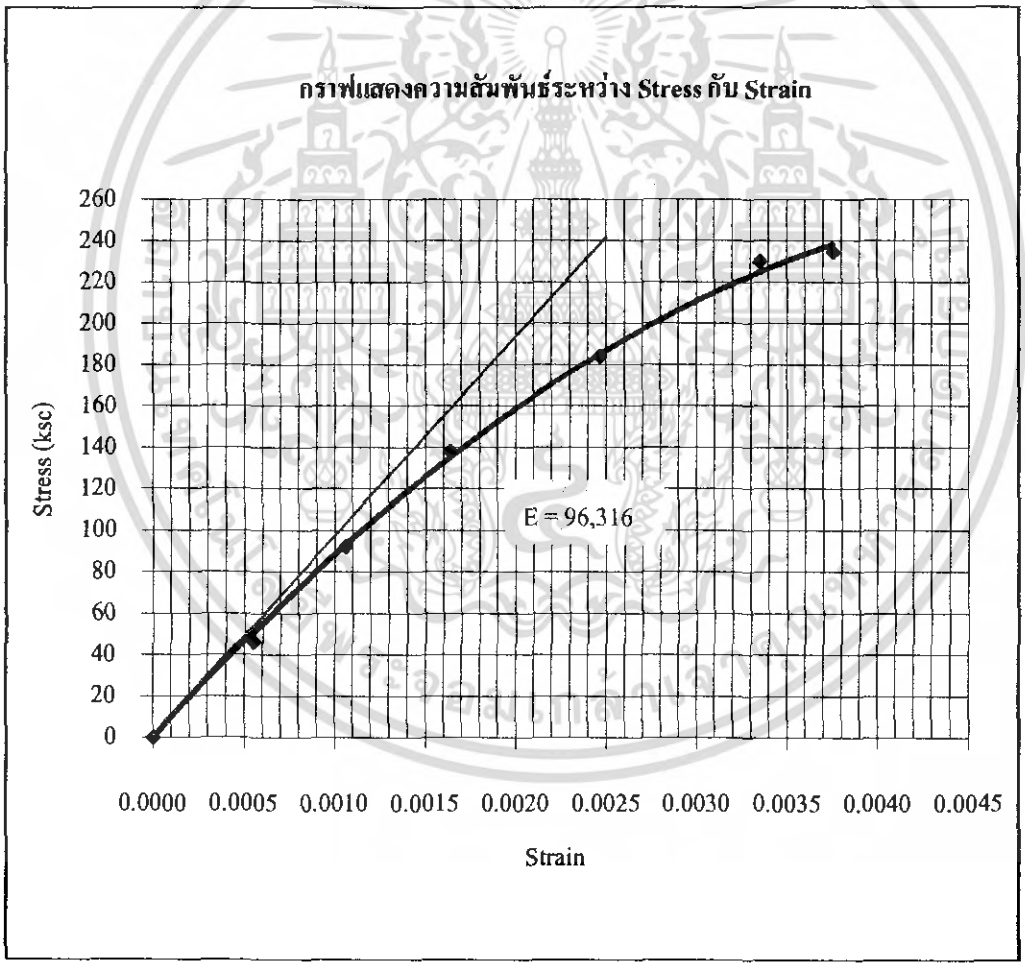
Initial Tangent Modulus Elastic = 90,909 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 234.726.....ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.1	0.000	0.0000
80	8154.944	16.66	0.1666	301.1	46.025	0.0006
160	16309.888	32.00	0.3200	301.1	92.050	0.0011
240	24464.832	49.31	0.4931	301.1	138.074	0.0016
320	32619.776	74.27	0.7427	301.1	184.099	0.0025
400	40774.720	100.93	1.0093	301.1	230.124	0.0034
408	41590.214	113.07	1.1307	301.1	234.726	0.0038



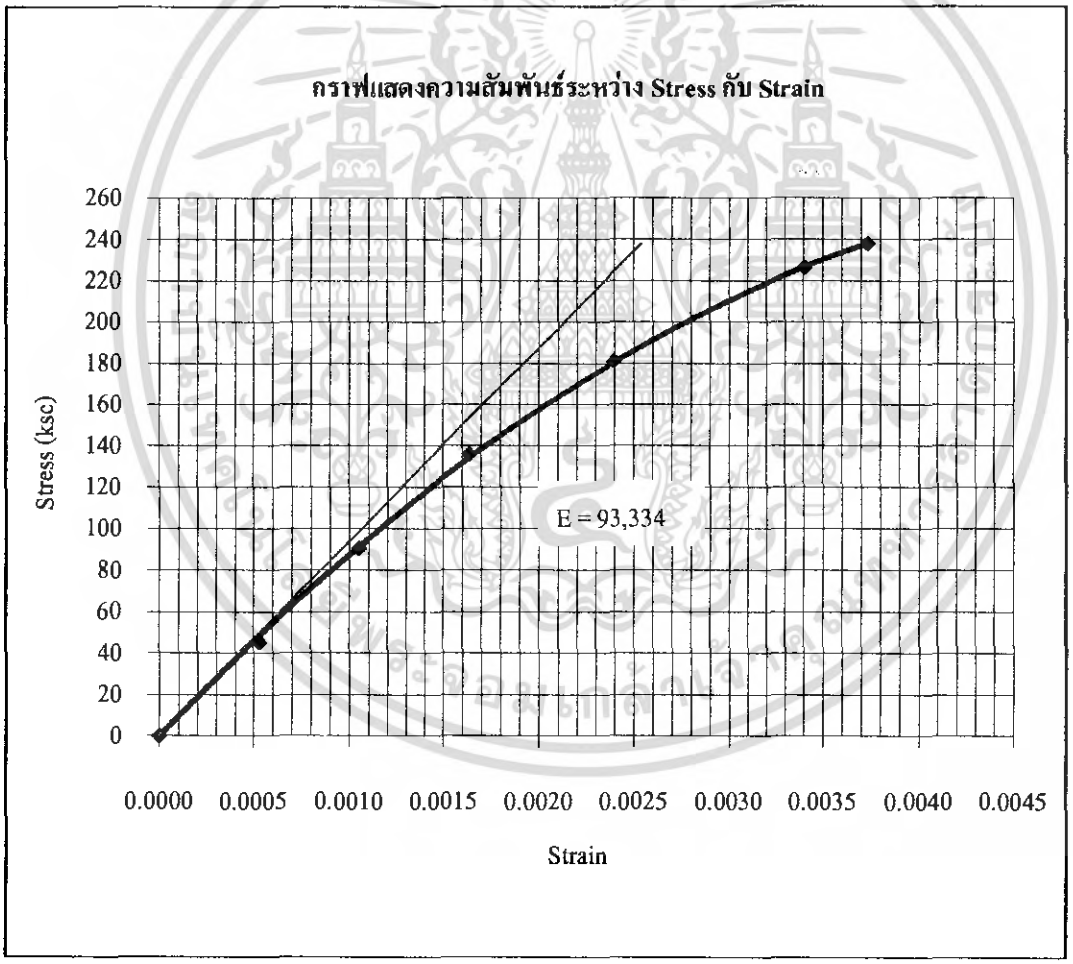
Initial Tangent Modulus Elastic = 96,316 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..237.816 ……ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.1	0.000	0.0000
80	8154.944	15.99	0.1599	300.1	45.298	0.0005
160	16309.888	31.53	0.3153	300.1	90.596	0.0011
240	24464.832	49.15	0.4915	300.1	135.894	0.0016
320	32619.776	71.82	0.7182	300.1	181.192	0.0024
400	40774.720	102.18	1.0218	300.1	226.490	0.0034
420	42813.456	112.03	1.1203	300.1	237.814	0.0037



Initial Tangent Modulus Elastic = 93,334 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยน้ำหนัก 1,900 kg/m^3

อายุตัวอย่าง 3 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.08	30.00	178.604	10.018	39,245	219.734	82,063	1869.686
2	15.07	29.90	178.367	9.984	39,755	222.881	84,615	1872.056
3	15.04	30.05	177.658	9.894	39,245	220.906	82,353	1853.287
		เฉลี่ย	178.230	9.965	39,415	221.174	83,010	1865.010

อายุตัวอย่าง 7 วัน

No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.03	29.90	177.422	10.008	41,794	235.563	92,606	1886.551
2	15.08	30.03	178.605	10.127	39,755	222.588	91,942	1888.13
3	15.10	30.10	179.079	10.146	39,755	221.999	92,502	1882.278
		เฉลี่ย	178.369	10.094	40,435	226.717	92,350	1885.653

อายุตัวอย่าง 28 วัน

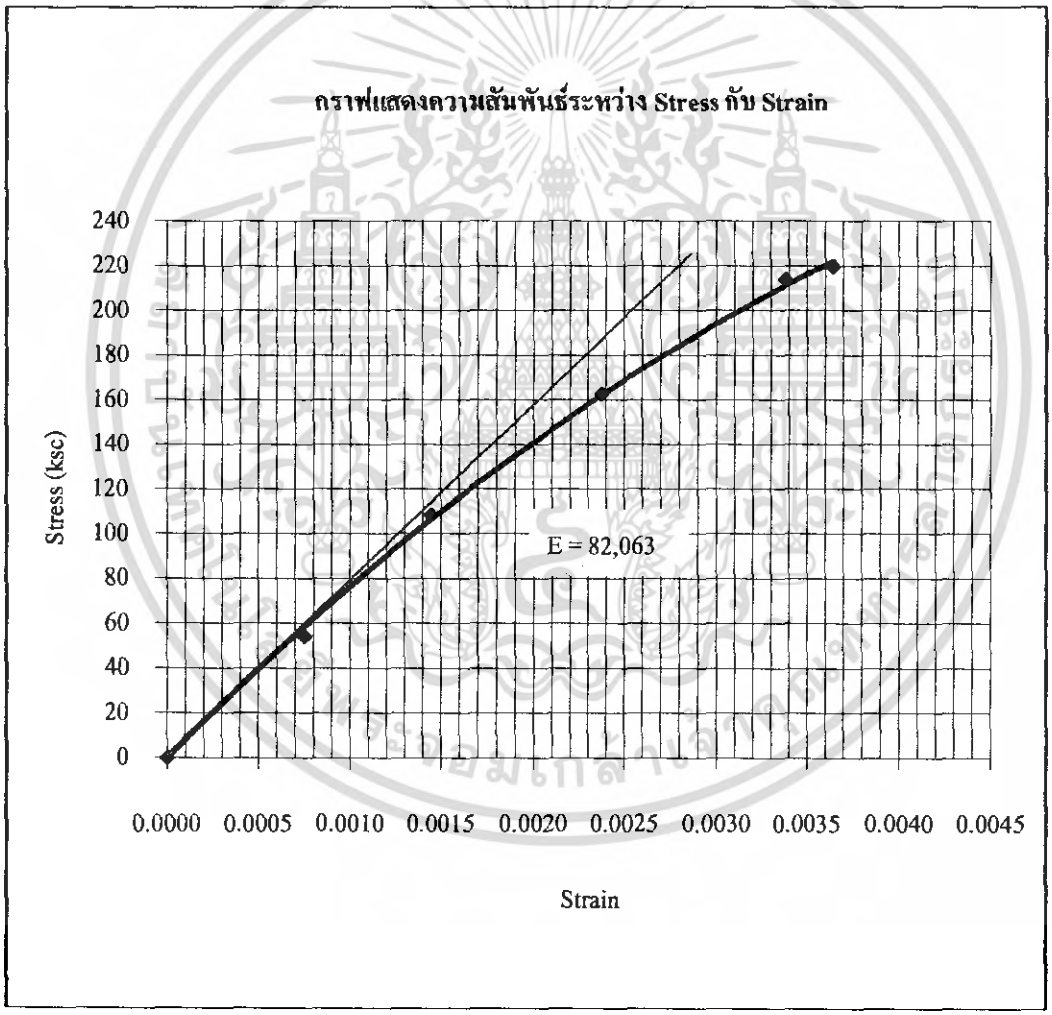
No.	ขนาด		พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg.)	กำลังอัด (kg.)	หน่วยแรงอัด (ksc)	Modulus of Elasticity (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	สูง (cm)						
1	15.05	29.90	177.895	10.023	41,794	235.563	95,704	1884.355
2	15.04	30.02	177.658	10.128	42,405	238.693	92,519	1899.014
3	15.08	30.05	178.605	10.214	42,303	236.857	96,694	1903.083
		เฉลี่ย	178.053	10.092	42,167	237.038	94,972	1895.484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 219.736.....ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.0	0.000	0.0000
95	9683.996	22.60	0.2260	300.0	54.220	0.0008
190	19367.992	43.35	0.4335	300.0	108.440	0.0014
285	29051.988	71.26	0.7126	300.0	162.661	0.0024
375	38226.300	101.34	1.0134	300.0	214.027	0.0034
385	39245.668	109.27	1.0927	300.0	219.734	0.0036



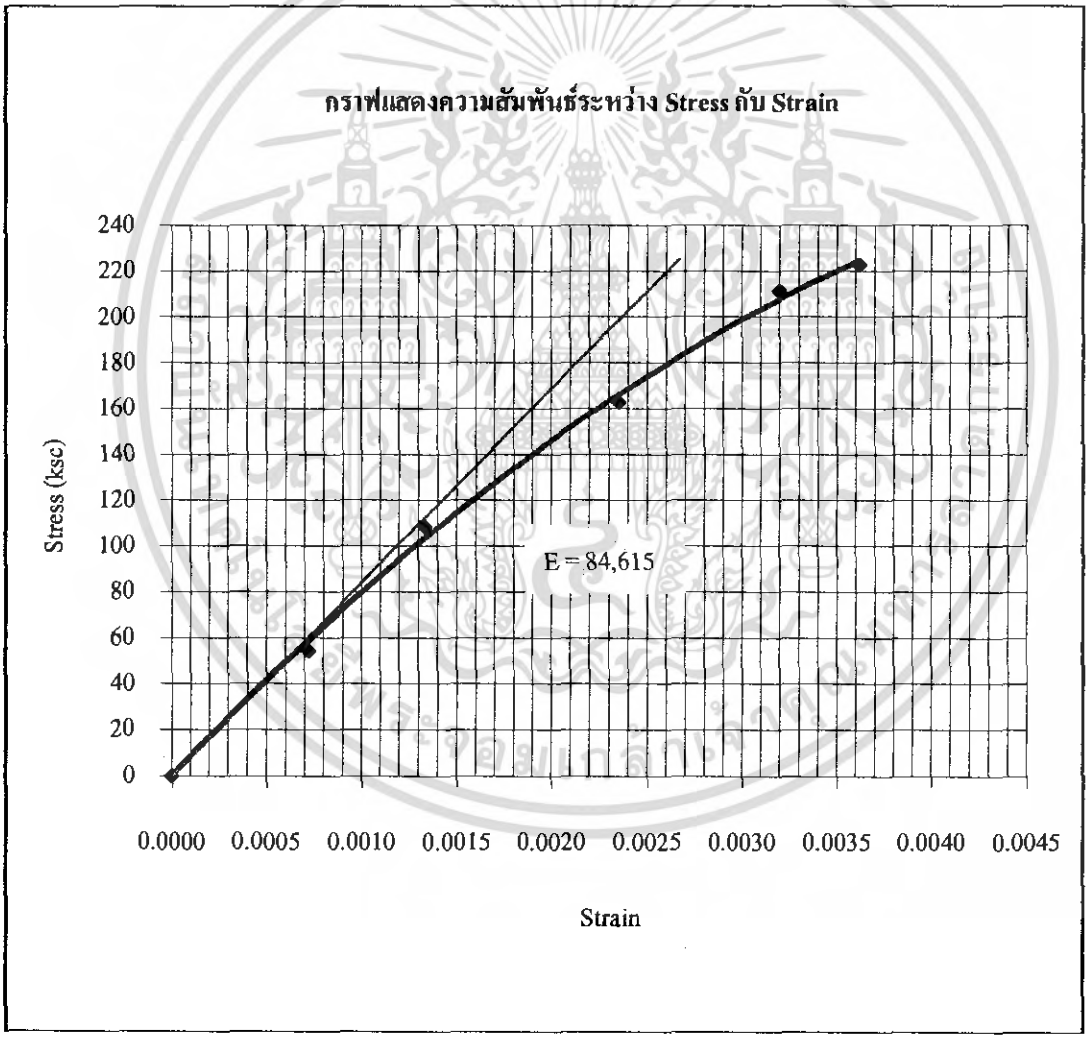
Initial Tangent Modulus Elastic = 82,063 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 222.881.....ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.0	0.000	0.0000
95	9683.996	21.60	0.2160	299.0	54.292	0.0007
190	19367.992	39.95	0.3995	299.0	108.583	0.0013
285	29051.988	70.36	0.7036	299.0	162.875	0.0024
370	37716.616	95.67	0.9567	299.0	211.452	0.0032
390	39755.352	108.22	1.0822	299.0	222.881	0.0036



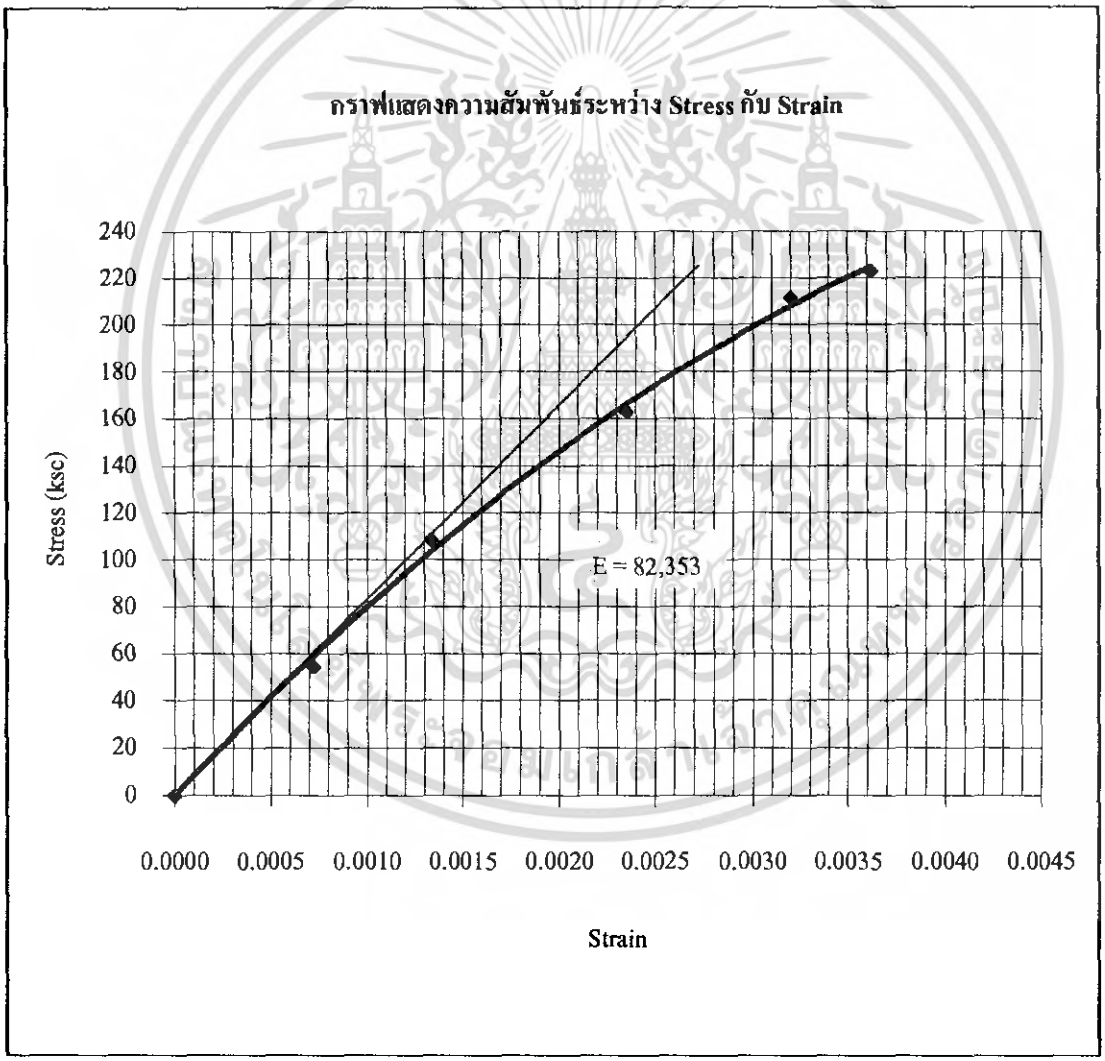
Initial Tangent Modulus Elastic = 84,615 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 220.906.....ksc

อายุตัวอย่าง 3 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.5	0.000	0.0000
95	9683.996	21.59	0.2159	300.5	54.509	0.0007
190	19367.992	43.44	0.4344	300.5	109.018	0.0014
285	29051.988	66.14	0.6614	300.5	163.528	0.0022
380	38735.984	100.29	1.0029	300.5	218.037	0.0033
385	39245.668	108.25	1.0825	300.5	220.906	0.0036



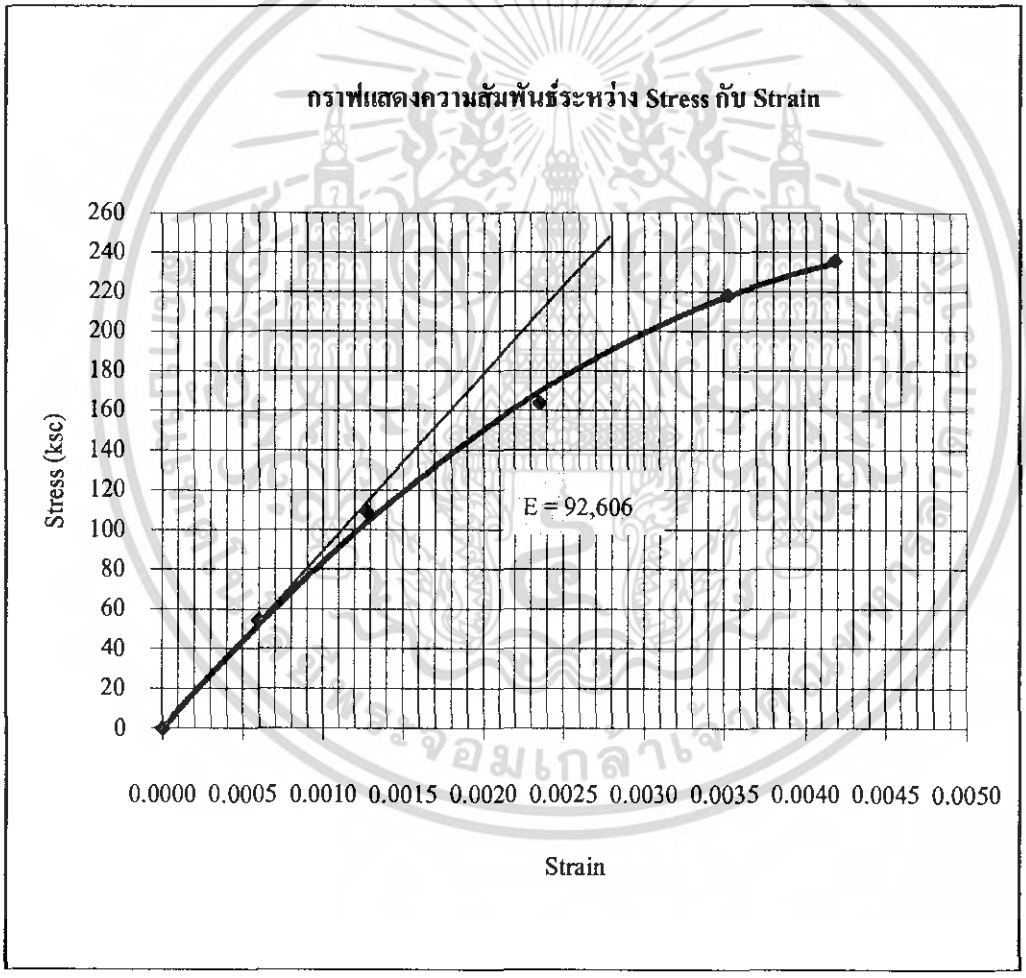
Initial Tangent Modulus Elastic = 82,353 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 235.563.....ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.0	0.000	0.0000
95	9683.996	17.88	0.1788	299.0	54.582	0.0006
190	19367.992	38.14	0.3814	299.0	109.163	0.0013
285	29051.988	70.44	0.7044	299.0	163.745	0.0024
380	38735.984	105.28	1.0528	299.0	218.327	0.0035
410	41794.088	125.06	1.2506	299.0	235.563	0.0042



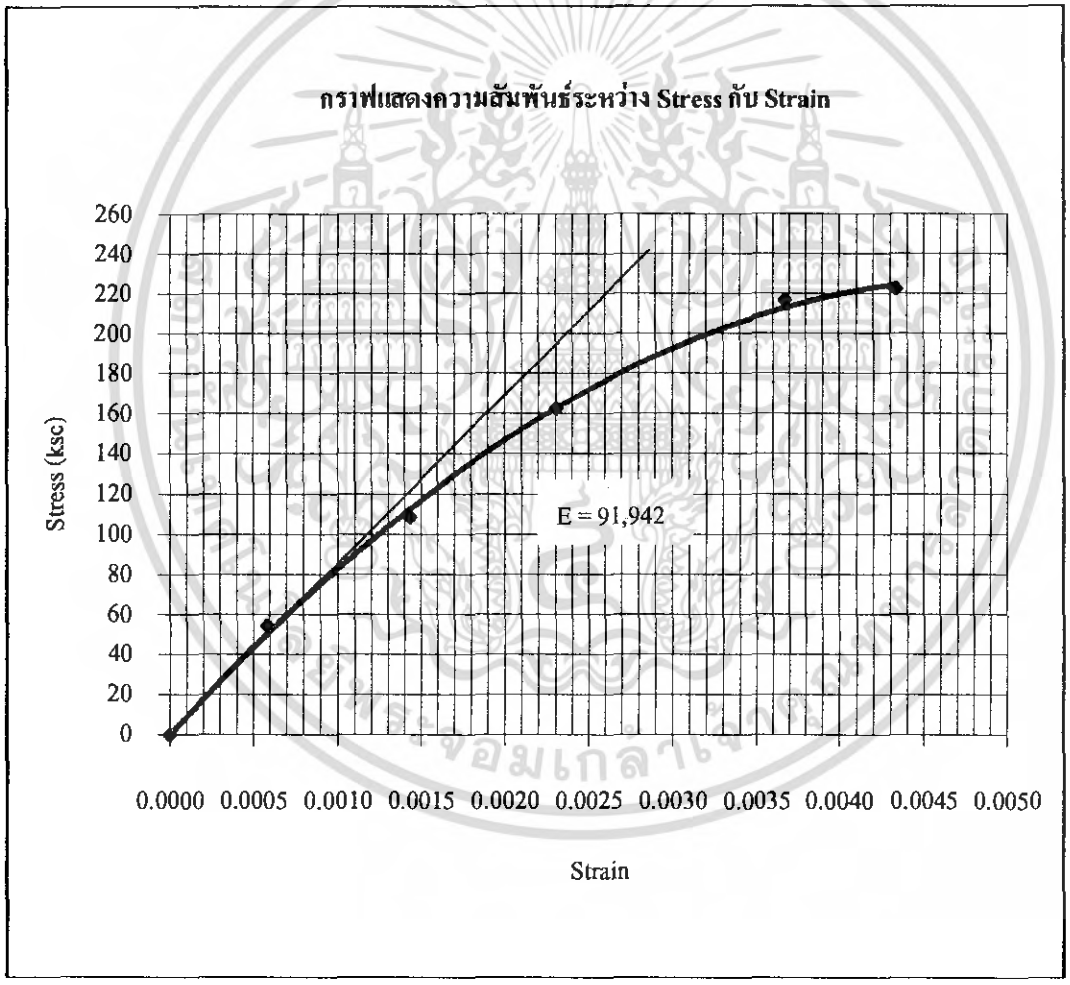
Initial Tangent Modulus Elastic = 92,606 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 222.588.....ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง (mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.3	0.000	0.0000
95	9683.996	17.50	0.1750	300.3	54.220	0.0006
190	19367.992	42.95	0.4295	300.3	108.440	0.0014
285	29051.988	69.16	0.6916	300.3	162.661	0.0023
380	38735.984	110.30	1.1030	300.3	216.881	0.0037
390	39755.352	130.23	1.3023	300.3	222.588	0.0043



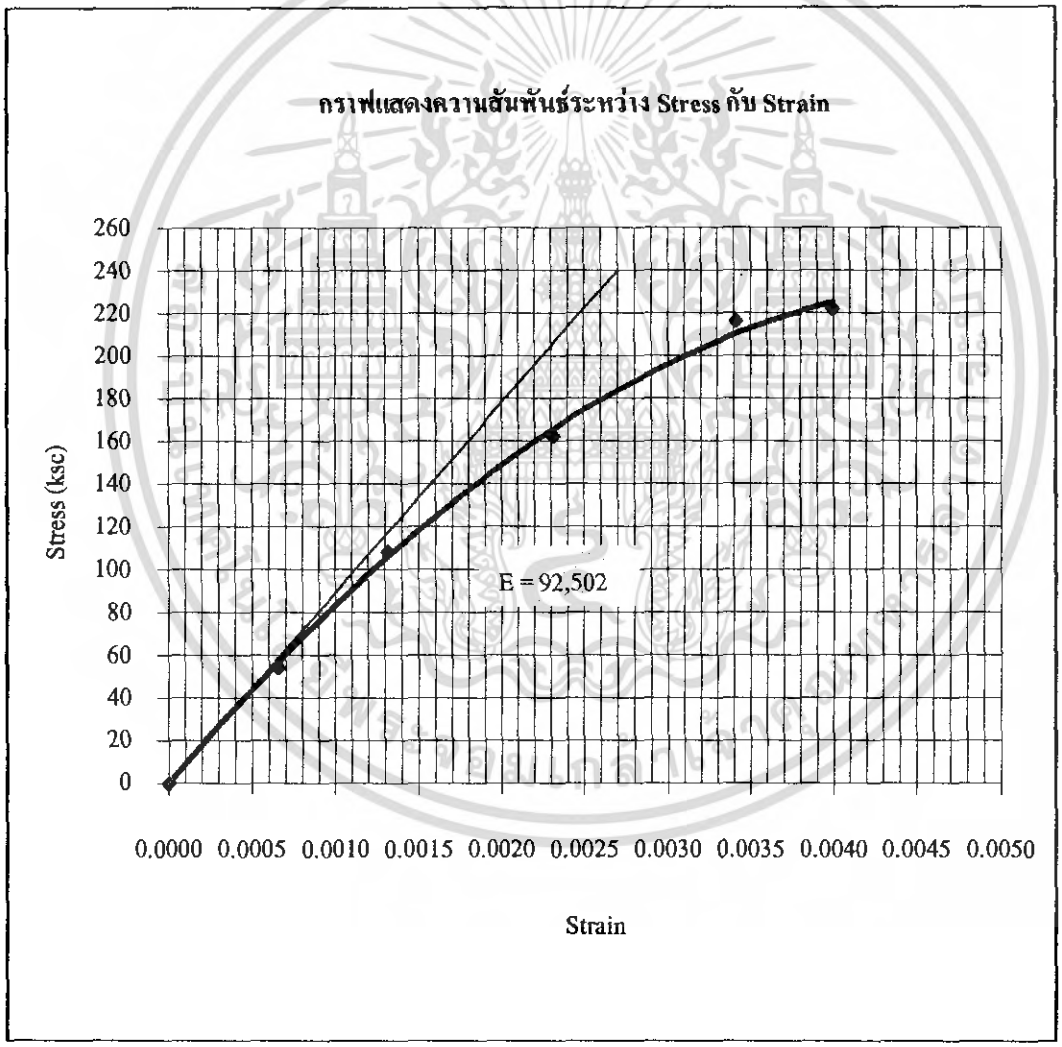
Initial Tangent Modulus Elastic = 91,942 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')….. 221.999……ksc

อายุตัวอย่าง 7 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	301.0	0.000	0.0000
95	9683.996	19.61	0.1961	301.0	54.077	0.0007
190	19367.992	39.66	0.3966	301.0	108.153	0.0013
285	29051.988	69.67	0.6967	301.0	162.230	0.0023
380	38735.984	102.81	1.0281	301.0	216.307	0.0034
390	39755.352	120.24	1.2024	301.0	221.999	0.0040



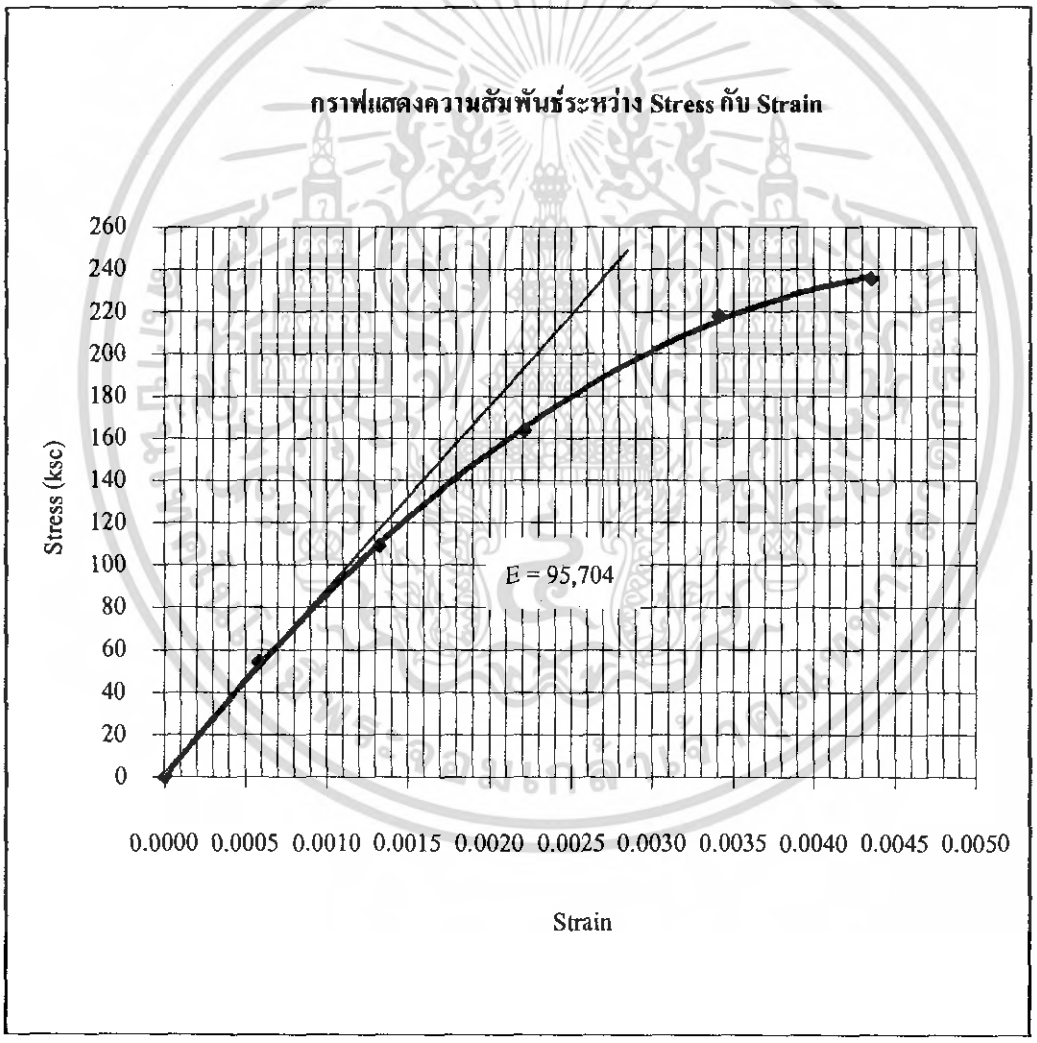
Initial Tangent Modulus Elastic = 92,502 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 235.563.....ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	299.0	0.000	0.0000
95	9683.996	17.48	0.1748	299.0	54.582	0.0006
190	19367.992	39.74	0.3974	299.0	109.163	0.0013
285	29051.988	66.14	0.6614	299.0	163.745	0.0022
380	38735.984	101.88	1.0188	299.0	218.327	0.0034
410	41794.088	130.06	1.3006	299.0	235.563	0.0043



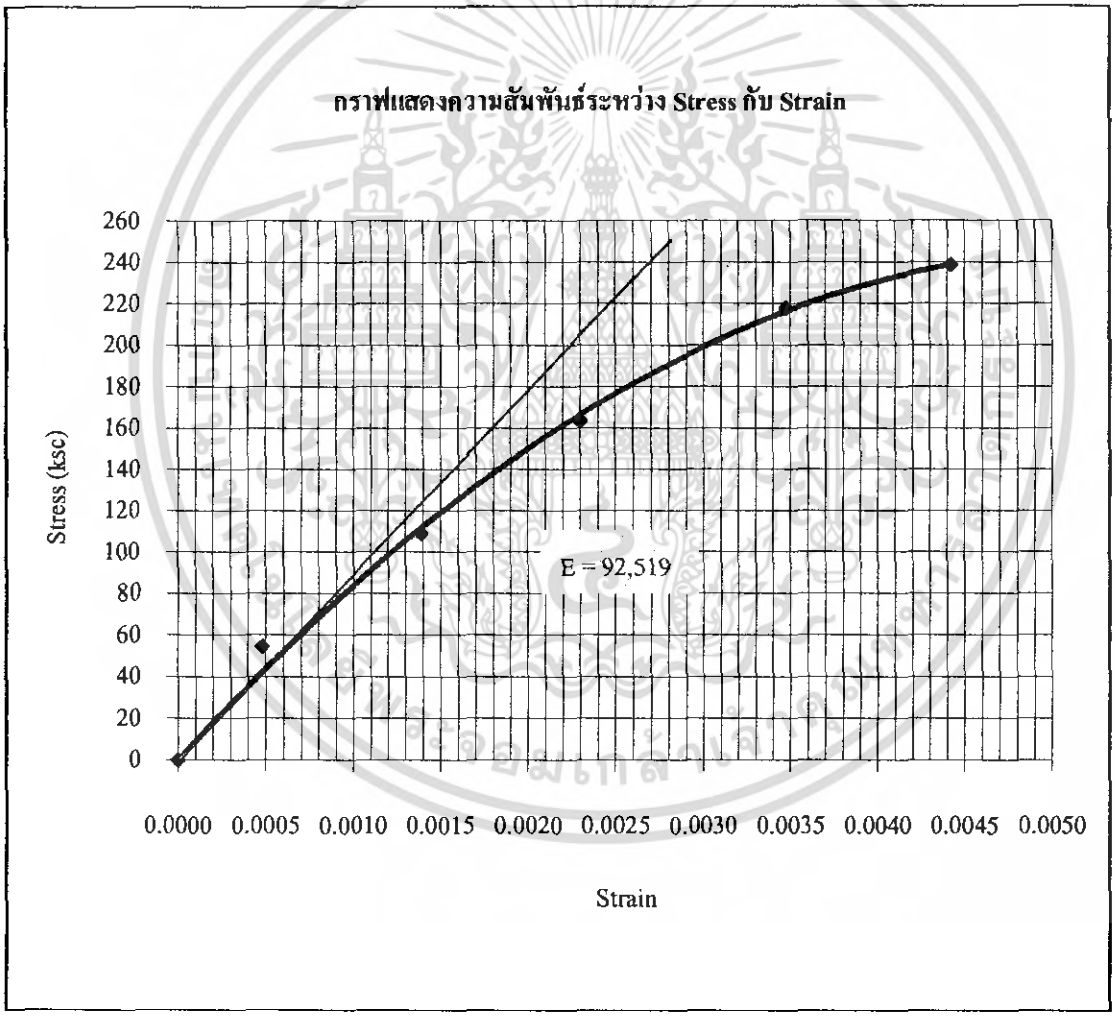
Initial Tangent Modulus Elastic = 95,704 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…….238.693……ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.2	0.000	0.0000
95	9683.996	14.39	0.1439	300.2	54.509	0.0005
190	19367.992	41.84	0.4184	300.2	109.018	0.0014
285	29051.988	69.14	0.6914	300.2	163.528	0.0023
380	38735.984	104.29	1.0429	300.2	218.037	0.0035
416	42405.708	132.82	1.3282	300.2	238.693	0.0044



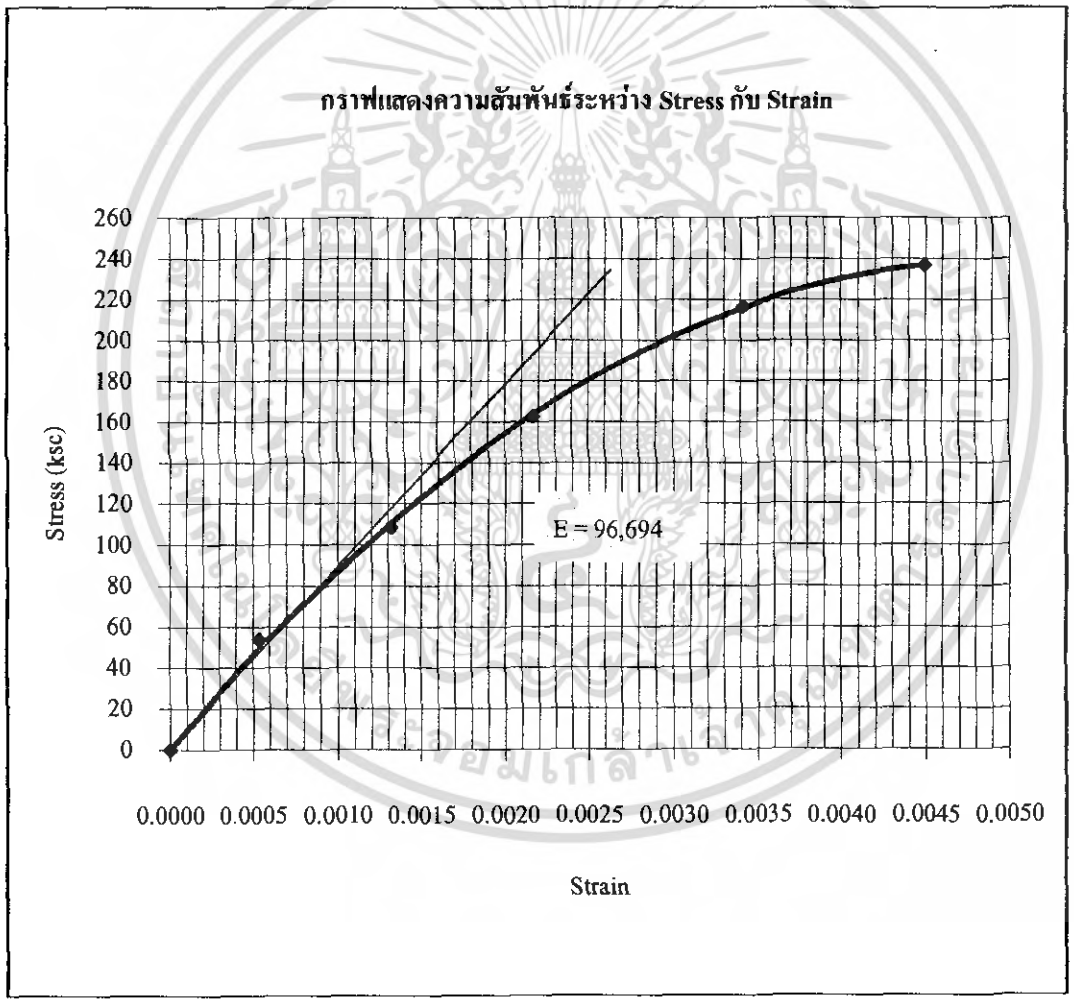
Initial Tangent Modulus Elastic = 92,519 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')…..236.857 …….ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (kN)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	300.5	0.000	0.0000
95	9683.996	16.10	0.1610	300.5	54.220	0.0005
190	19367.992	39.65	0.3965	300.5	108.440	0.0013
285	29051.988	65.16	0.6516	300.5	162.661	0.0022
380	38735.984	102.60	1.0260	300.5	216.881	0.0034
415	42303.772	135.04	1.3504	300.5	236.857	0.0045



Initial Tangent Modulus Elastic = 96,694 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน่วยแรงอัด 180 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

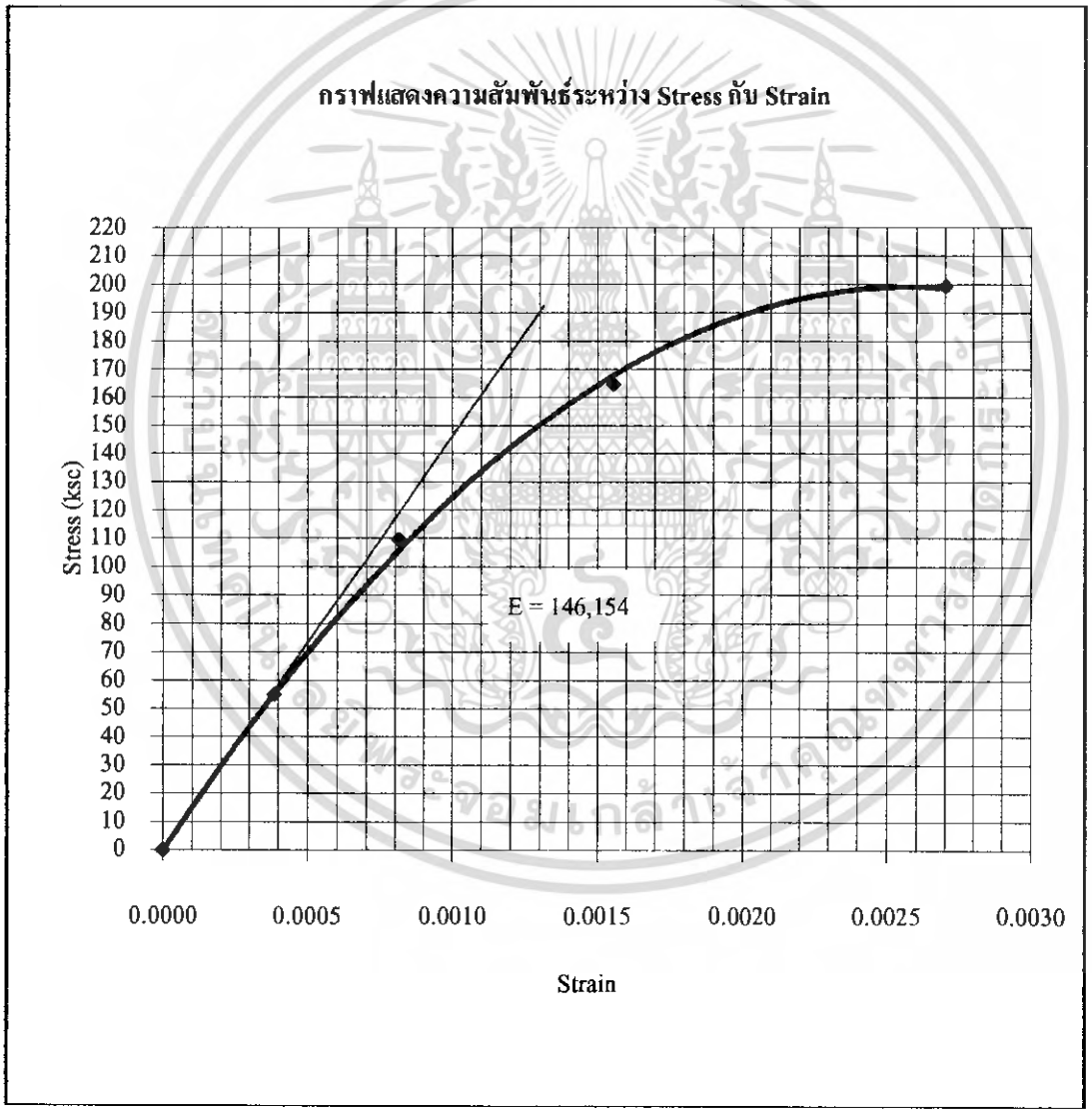
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	15.12	15.06	60.10	227.707	34.241	45416.67	199.452	146,154	2501.97
2	14.99	15.02	59.80	225.150	34.009	44791.67	198.941	135,715	2525.25
3	15.11	15.07	60.00	227.708	34.041	52083.33	228.729	165,455	2491.49
			เฉลี่ย	226.855	34.091	47,430.56	209.041	149,108	2506.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 199.452... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0.00	0	0	600.1	0.000	0.00000
12.50	12,500.00	23.13	0.2313	600.1	54.895	0.00039
25.00	25,000.0	48.63	0.4863	600.1	109.790	0.00081
37.50	37,500.00	93.39	0.9339	600.1	164.685	0.00156
45.42	45,416.67	16223	1.6223	600.1	199.452	0.00270



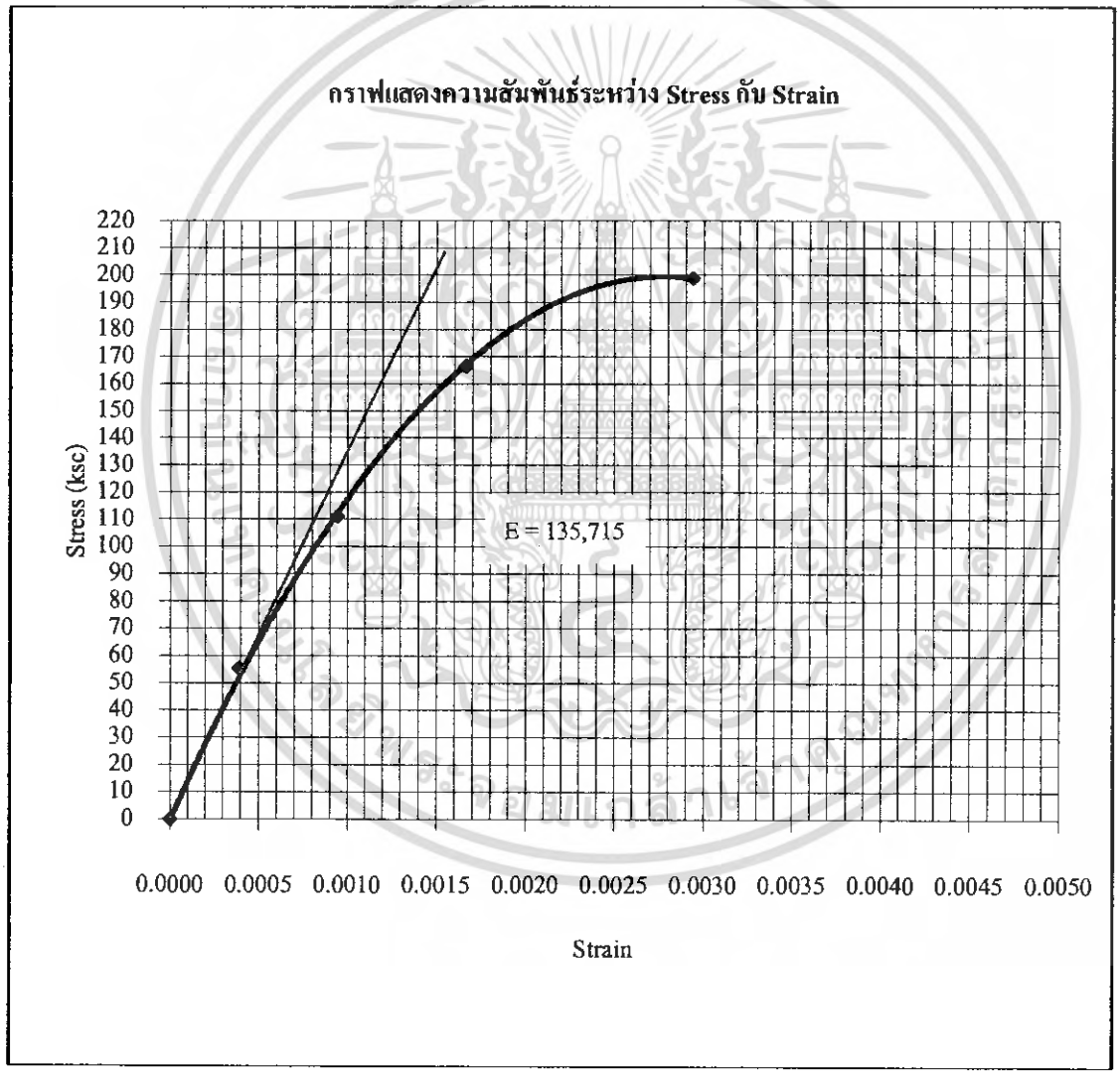
Initial Tangent Modulus Elastic = 146,154 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 190.984... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0.00	0	0	598.0	0.000	0.0000
12.50	12,500.00	23.29	0.2329	598.0	55.519	0.0004
25.00	25,000.00	56.28	0.5628	598.0	111.037	0.0009
37.50	37,500.00	99.22	0.9922	598.0	166.556	0.0017
44.79	44,791.67	175.66	1.7566	598.0	198.941	0.0029



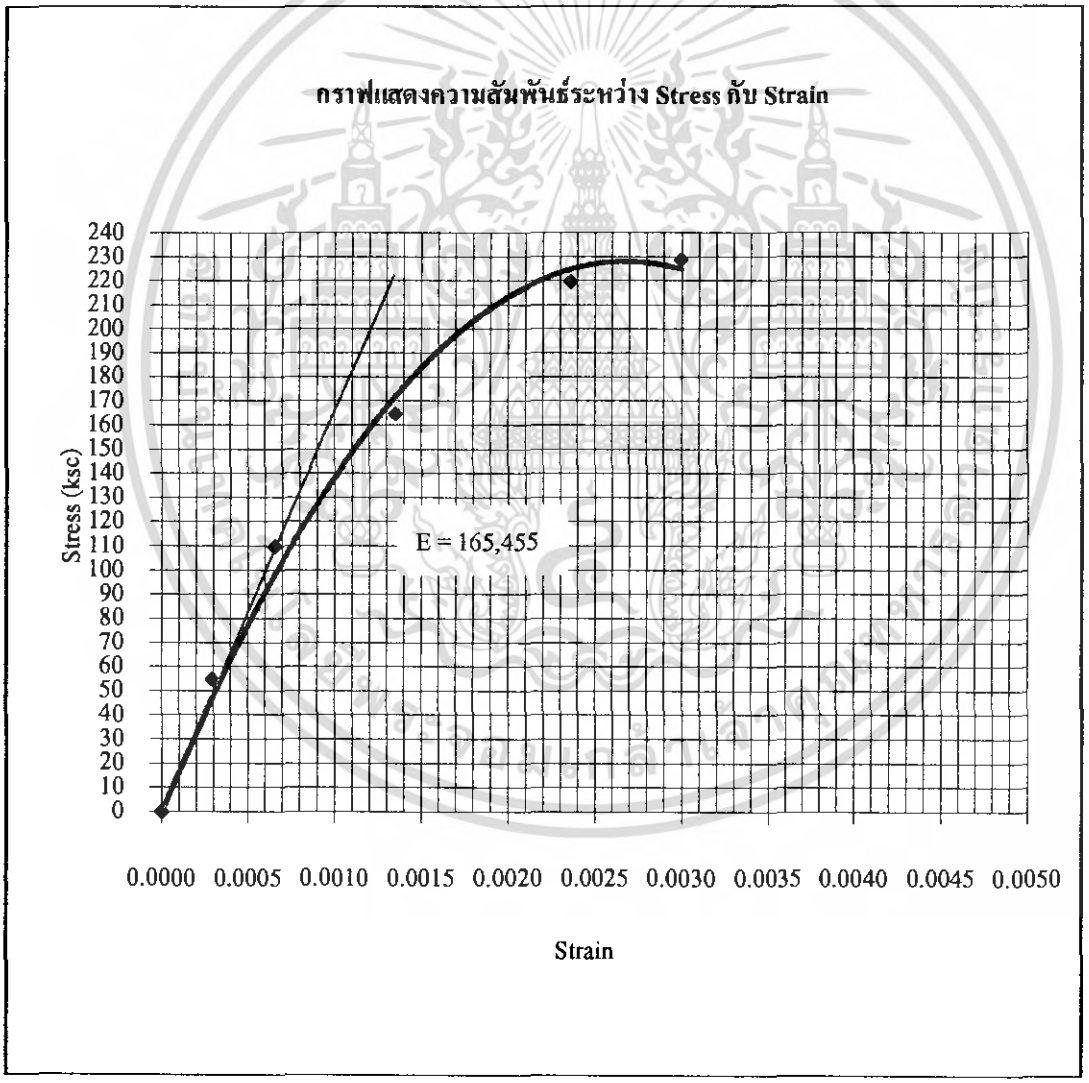
Initial Tangent Modulus Elastic = 135,715 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 219.579... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0.00	0	0	600.0	0.000	0.00000
12.50	12,500.00	17.53	0.1753	600.0	54.895	0.00029
25.00	25,000.00	39.44	0.3944	600.0	109.790	0.00066
37.50	37,500.00	81.10	0.8110	600.0	164.685	0.00135
50.00	50,000.00	141.40	1.4140	600.0	219.579	0.00236
52.08	52,083.33	179.81	1.7981	600.0	228.729	0.00300



Initial Tangent Modulus Elastic = 165,455 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงอัด 280 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

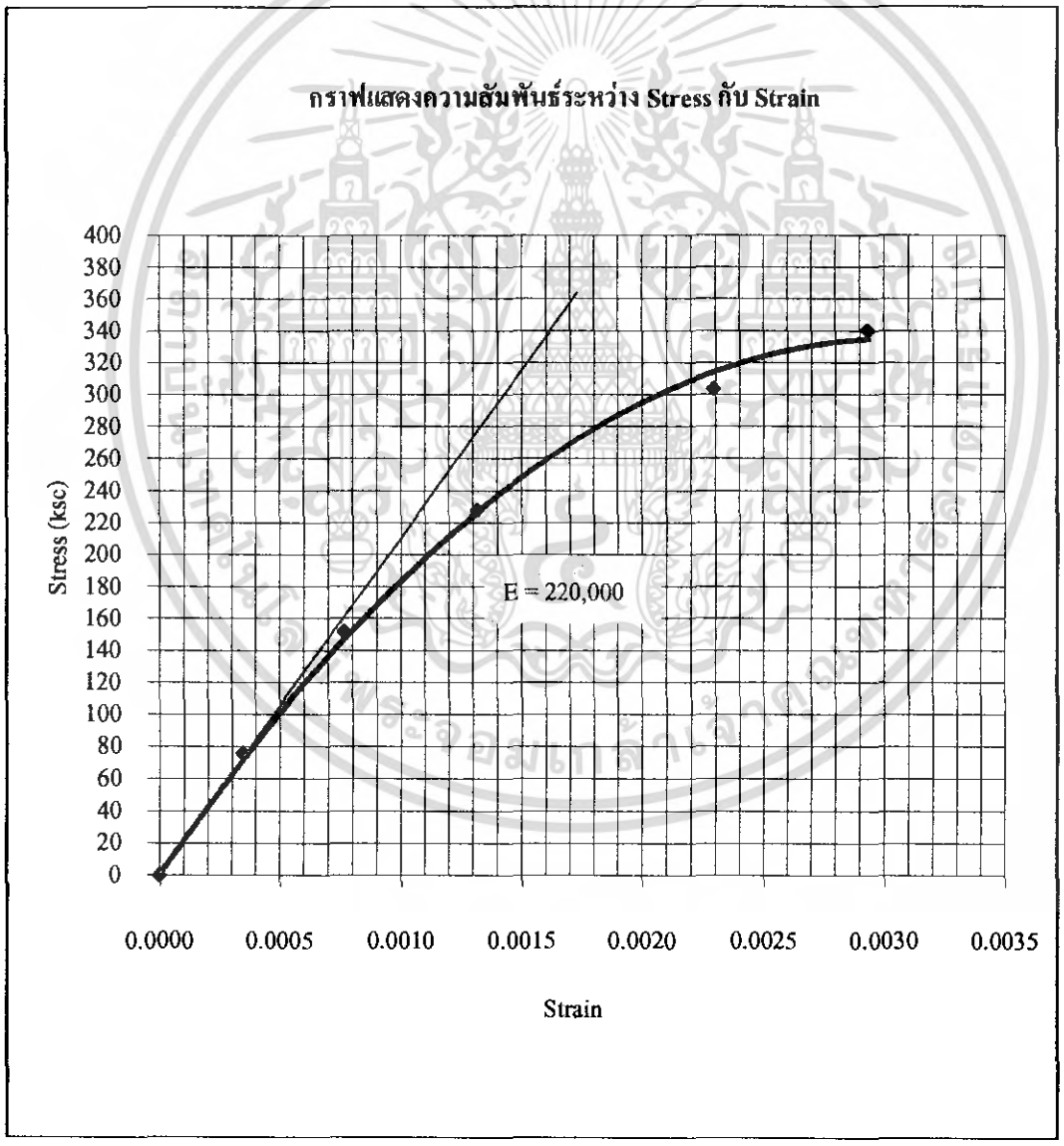
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	15.19	14.90	60.0	226.331	34.254	76979.17	340.118	220,000	2522.412
2	14.92	14.93	60.1	222.756	34.176	83125.00	373.166	223,530	2552.803
3	15.17	15.02	59.9	227.853	34.224	83125.00	364.819	213,750	2507.548
			เฉลี่ย	225.647	34.218	81,076.39	359.368	219,093	2527.588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 340.118... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	600.0	0.000	0.00000
17.19	17,187.50	20.64	0.2064	600.0	75.940	0.00034
34.38	34,375.00	45.95	0.4595	600.0	151.879	0.00077
51.56	51,562.50	79.05	0.7905	600.0	227.819	0.00132
68.75	68,750.00	137.43	1.3743	600.0	303.759	0.00229
76.98	76,979.17	176.06	1.7606	600.0	340.118	0.00293



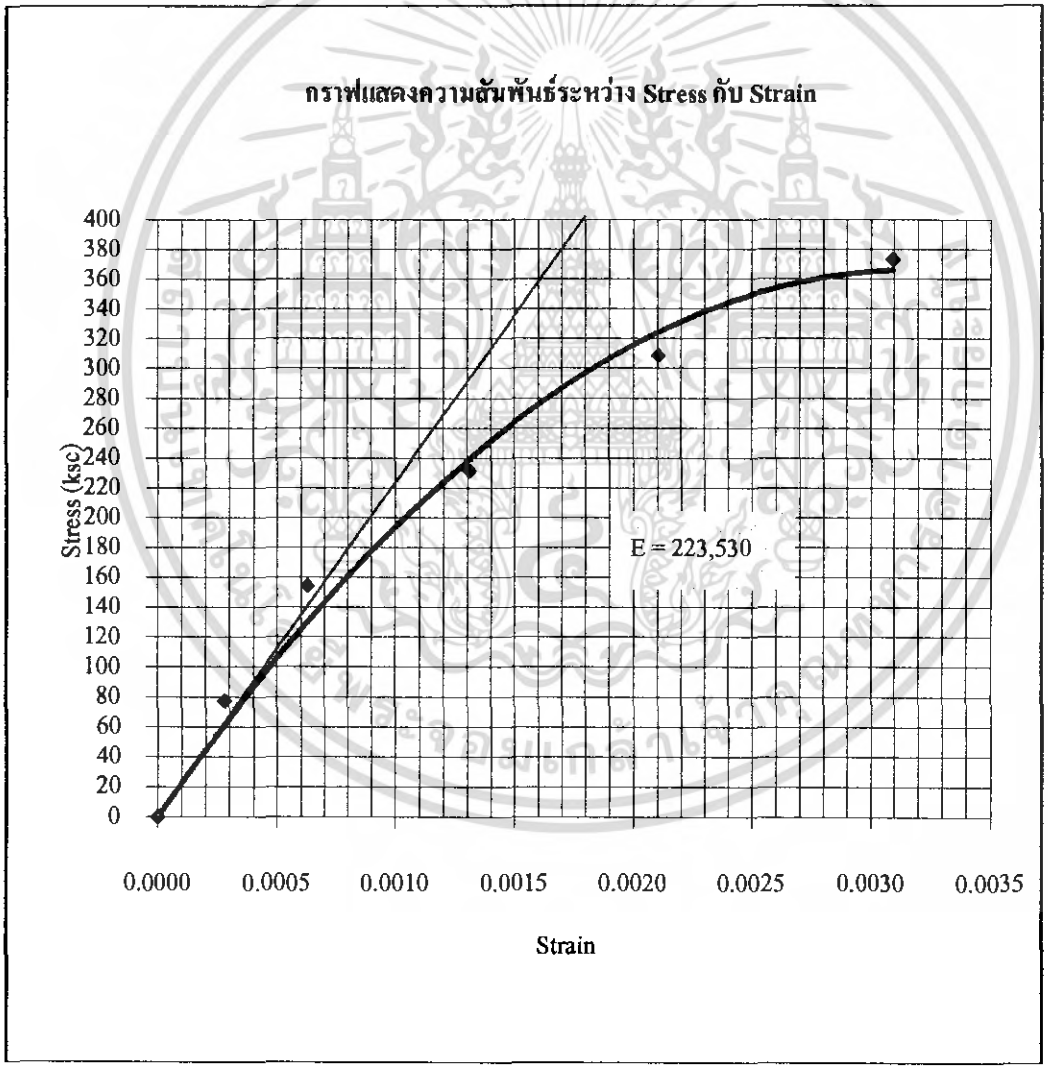
Initial Tangent Modulus Elastic = 220,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 373.166.... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	601.0	0.000	0.0000
17.19	17,187.50	16.86	0.1686	601.0	77.158	0.0003
34.38	34,375.00	37.71	0.3771	601.0	154.317	0.0006
51.56	51,562.50	78.56	0.7856	601.0	231.475	0.0013
68.75	68,750.00	126.48	1.2648	601.0	308.634	0.0021
83.13	83,125.00	186.02	1.8602	601.0	373.166	0.0031



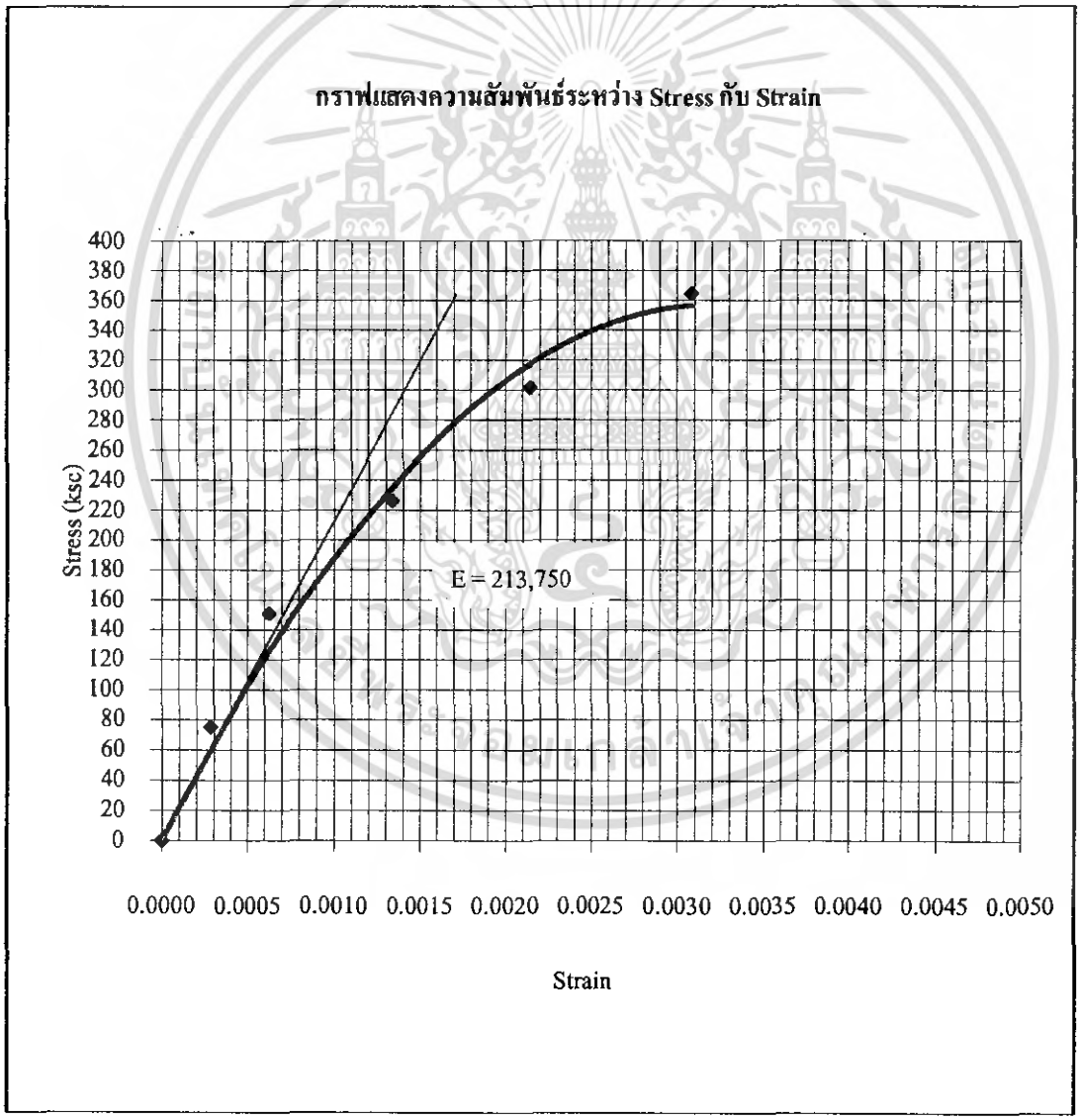
Initial Tangent Modulus Elastic = 223,530 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 364.819.... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	599.0	0.000	0.00000
17.19	17,187.50	16.71	0.1671	599.0	75.432	0.00028
34.38	34,375.00	37.50	0.3750	599.0	150.865	0.00063
51.56	51,562.50	79.97	0.7997	599.0	226.297	0.00133
68.75	68,750.00	128.40	1.2840	599.0	301.730	0.00214
83.13	83,125.00	184.58	1.8458	599.0	364.819	0.00308



Initial Tangent Modulus Elastic = 213,750 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงอัด 300 ksc.

อายุตัวอย่าง 28 วัน

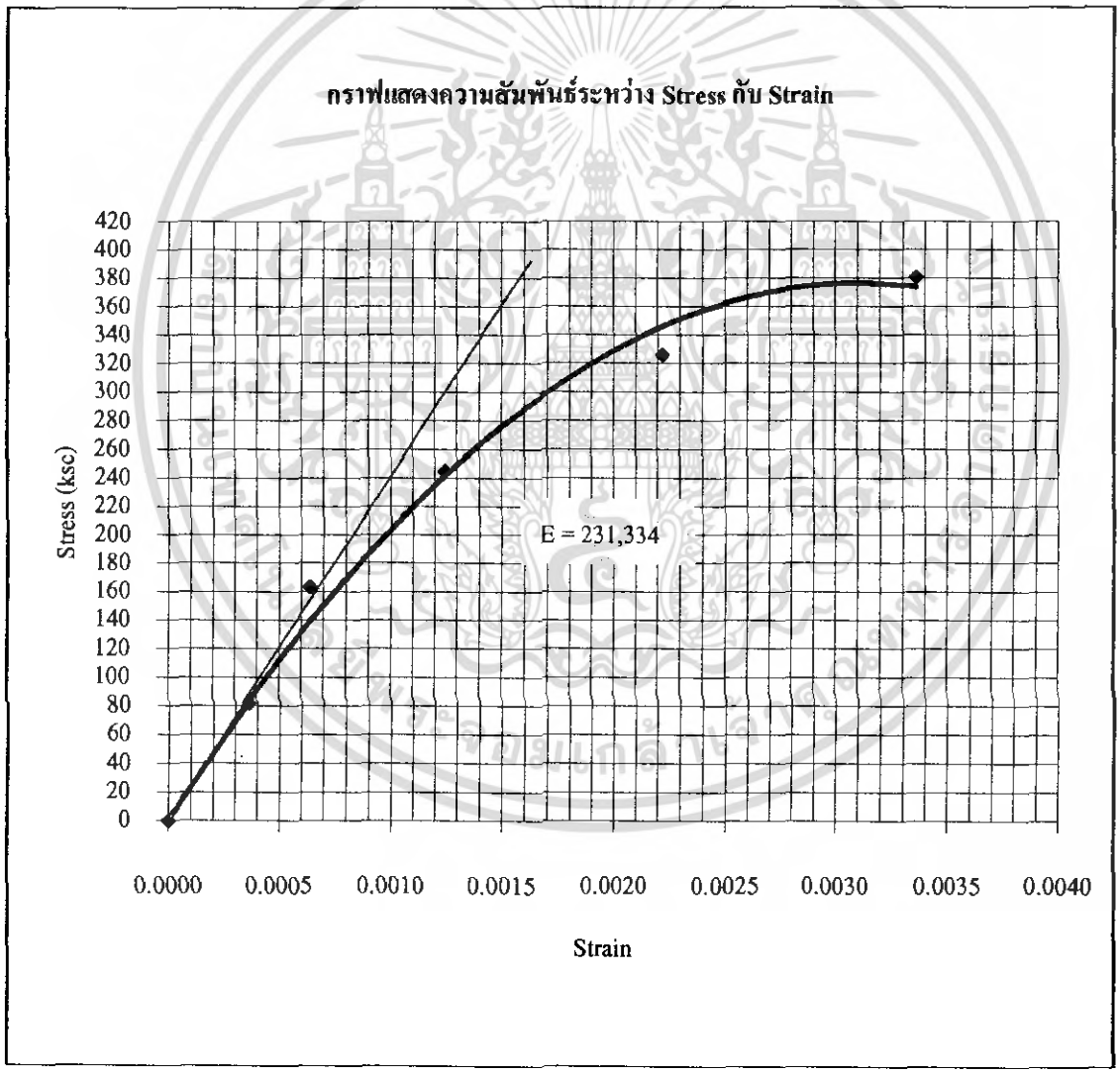
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	14.98	14.92	60.0	223.502	33.862	85104.17	380.776	231,334	2524.959
2	15.12	15.27	59.9	230.882	35.267	91145.83	394.772	265,000	2549.561
3	15.06	15.04	60.0	226.502	34.603	86,000.00	395.508	246,154	2545.967
			เฉลี่ย	226.962	35.577	87,416.67	390.352	247,496	2540.162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 380.776...ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	600.0	0.000	0.00000
18.23	18,229.17	21.56	0.2156	600.0	81.562	0.00036
36.46	36,458.33	38.33	0.3833	600.0	163.123	0.00064
54.69	54,687.50	74.76	0.7476	600.0	244.685	0.00125
72.92	72,916.67	133.18	1.3318	600.0	326.246	0.00222
85.10	85,104.17	201.67	2.0167	600.0	380.776	0.00336



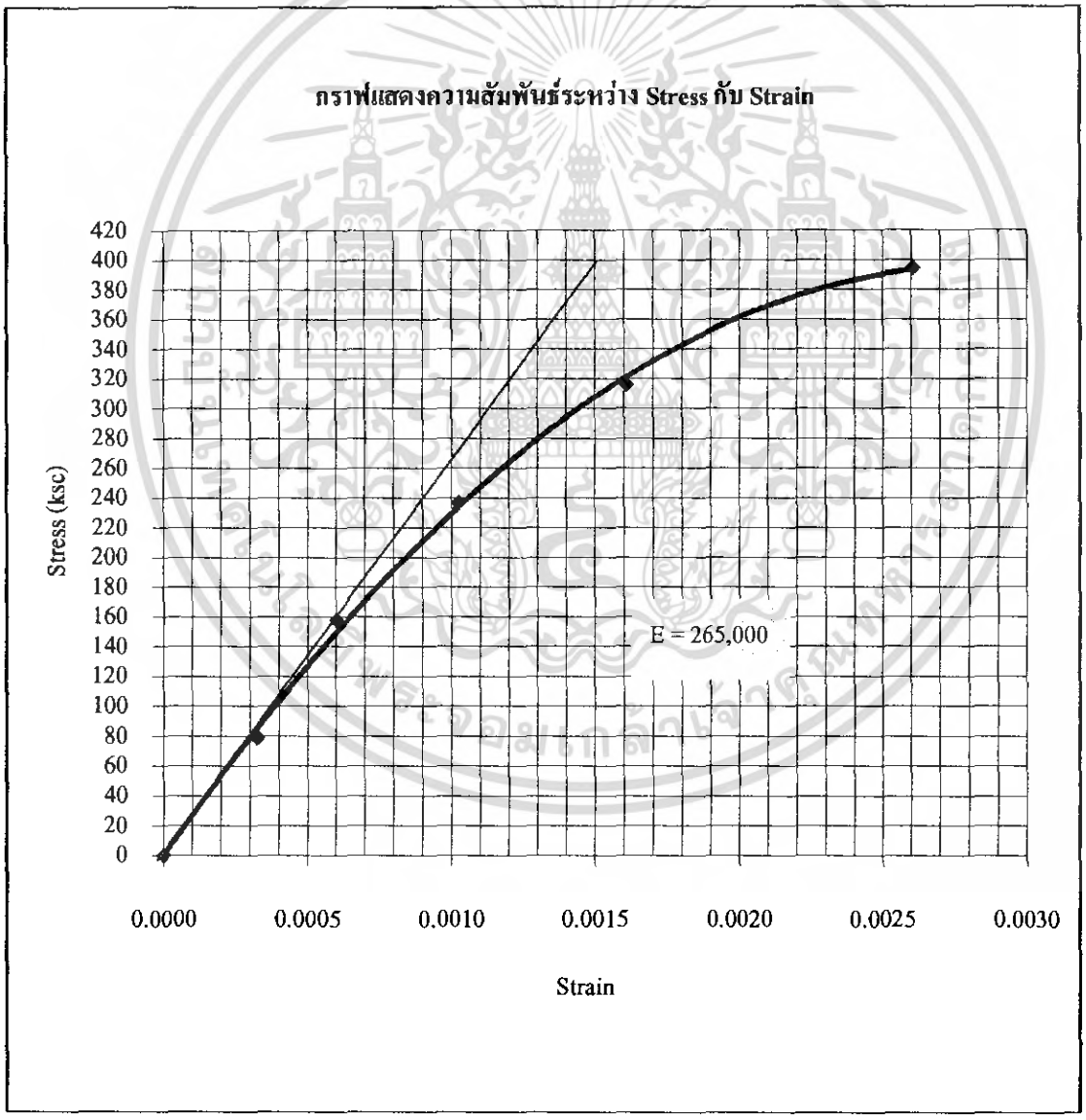
Initial Tangent Modulus Elastic = 231,334 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 394.772....ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	599.0	0.000	0.0000
18.23	18,229.17	19.53	0.1953	599.0	78.954	0.0003
36.46	36,458.33	35.95	0.3595	599.0	157.909	0.0006
54.69	54,687.50	61.39	0.6139	599.0	236.863	0.0010
72.92	72,916.67	96.32	0.9632	599.0	315.818	0.0016
91.15	91,145.83	156.09	1.5609	599.0	394.772	0.0026



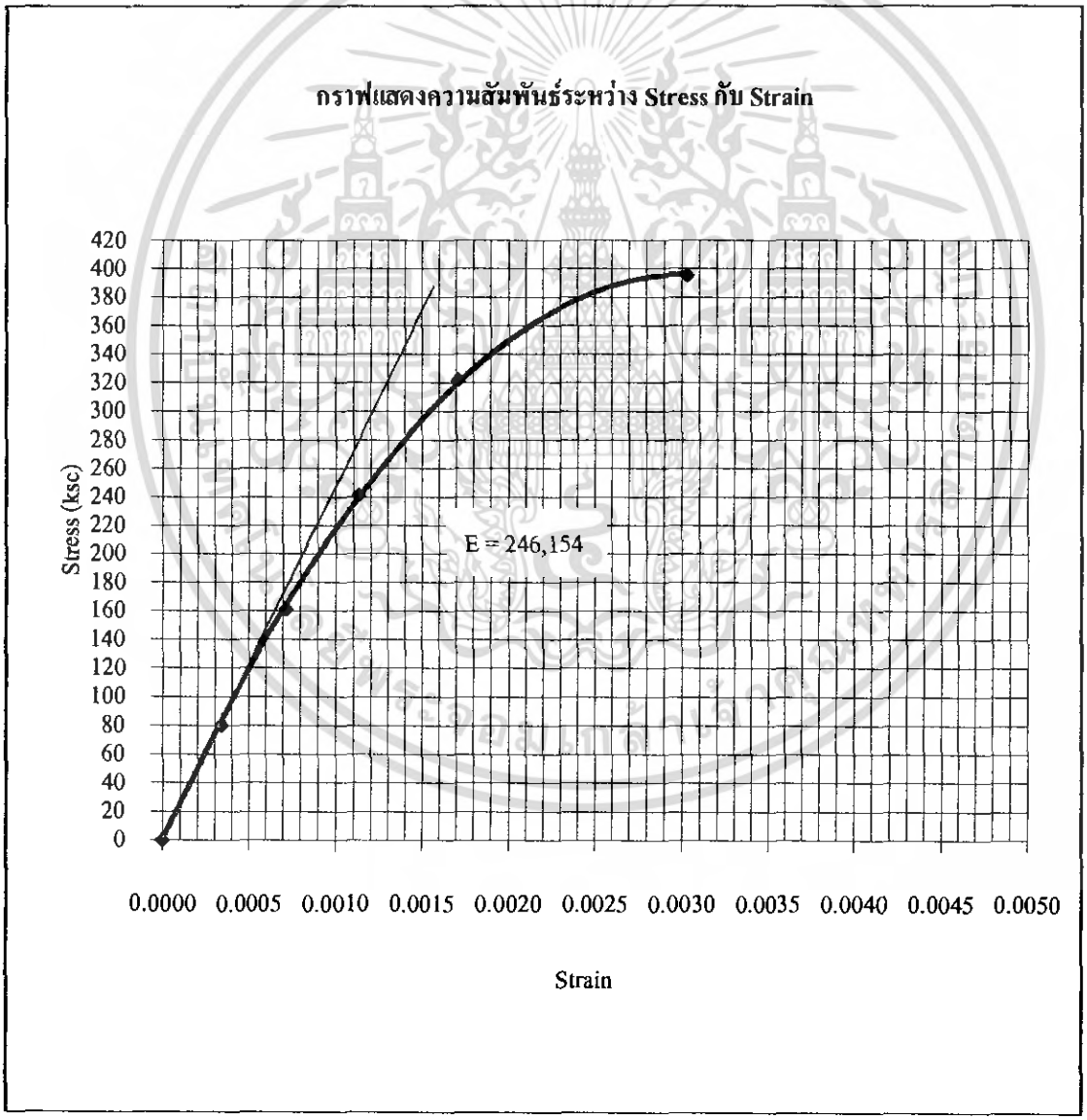
Initial Tangent Modulus Elastic = 265,000 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 379.688... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0	0	0	0	600.0	0.000	0.00000
18.23	18,229.17	20.36	0.2036	600.0	80.481	0.00034
36.46	36,458.33	43.03	0.4303	600.0	160.963	0.00072
54.69	54,687.50	67.84	0.6784	600.0	241.444	0.00113
72.92	72,916.67	102.45	1.0245	600.0	321.925	0.00171
89.58	89,583.33	181.72	1.8172	600.0	395.508	0.00303



Initial Tangent Modulus Elastic = 246,154 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

หน่วยน้ำหนัก 1600 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

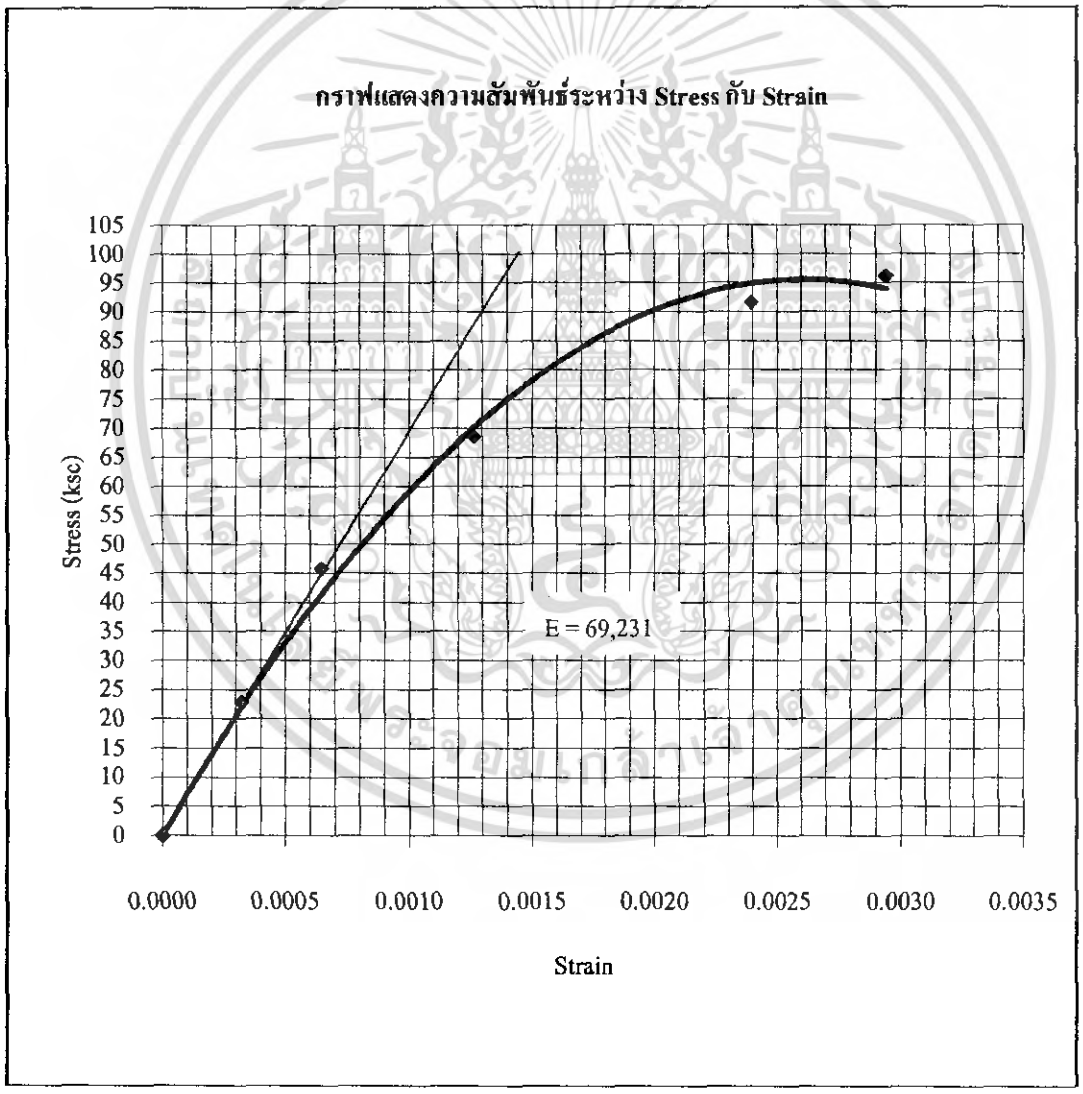
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	
1	14.96	15.20	61.51	227.392	23.500	21875.00	96.200	69,231	1680.419
2	15.01	14.93	61.02	224.099	22.754	21562.50	96.219	55,500	1664.516
3	14.95	15.22	60.54	227.539	22.358	21250.00	93.391	51,334	1624.134
			เฉลี่ย	226.343	22.871	21,562.5	95.270	58,688	1656.356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 96.200.... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	615.0	0.000	0.00000
5.21	5,208.33	19.89	0.1989	615.0	22.905	0.00032
10.42	10,416.67	39.69	0.3969	615.0	45.809	0.00065
15.63	15,625.00	77.62	0.7762	615.0	68.714	0.00126
20.83	20,833.33	147.14	1.4714	615.0	91.619	0.00239
21.88	21,875.00	180.83	1.8083	615.0	96.200	0.00294



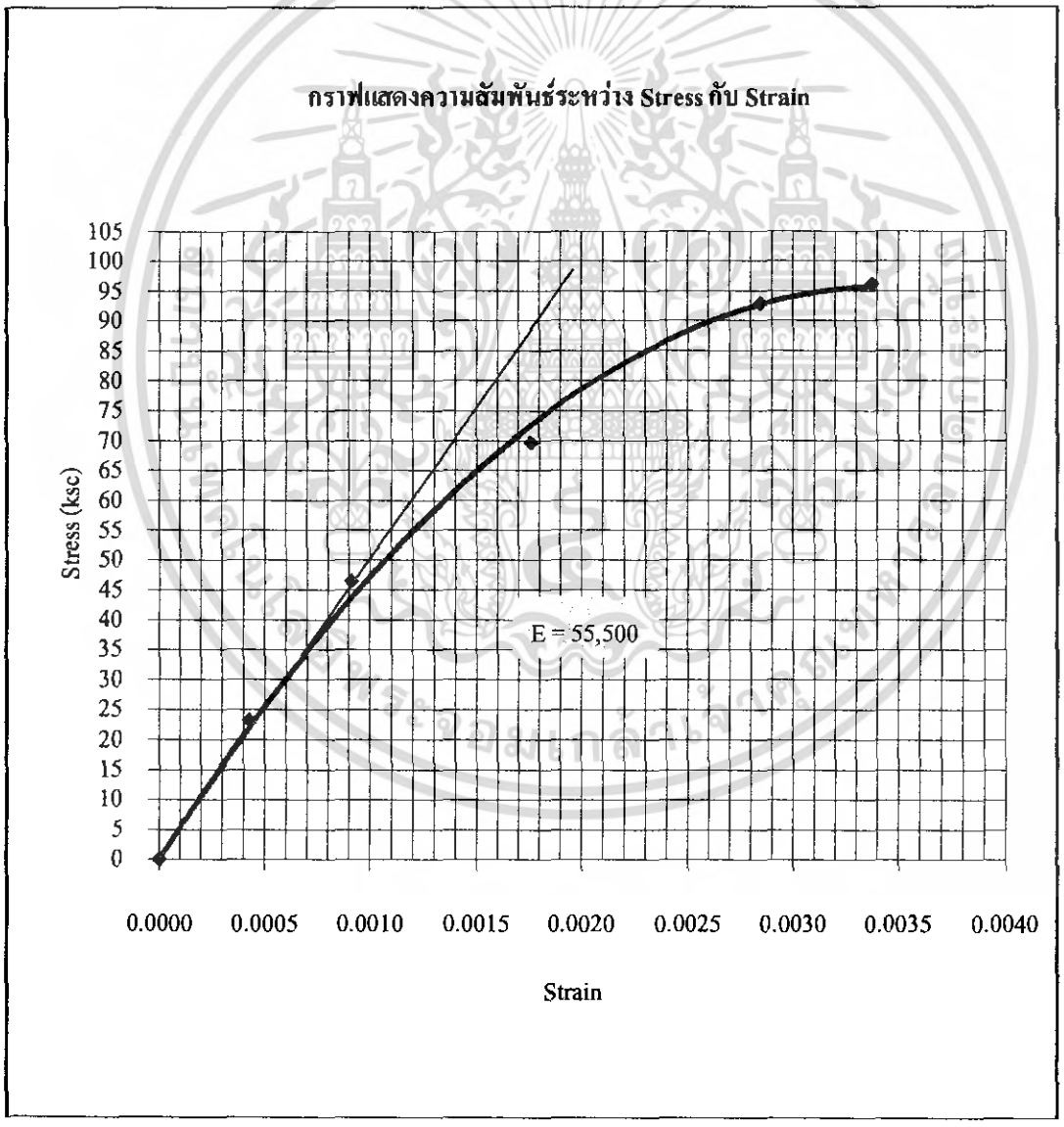
Initial Tangent Modulus Elastic = 69,231 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 96.219... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	610.0	0.000	0.0000
5.21	5,208.33	25.94	0.2594	610.0	23.241	0.0004
10.42	10,416.67	55.48	0.5548	610.0	46.482	0.0009
15.63	15,625.00	107.28	1.0728	610.0	69.724	0.0018
20.83	20,833.33	173.56	1.7356	610.0	92.965	0.0028
21.56	21,562.50	206.03	2.0603	610.0	96.219	0.0034



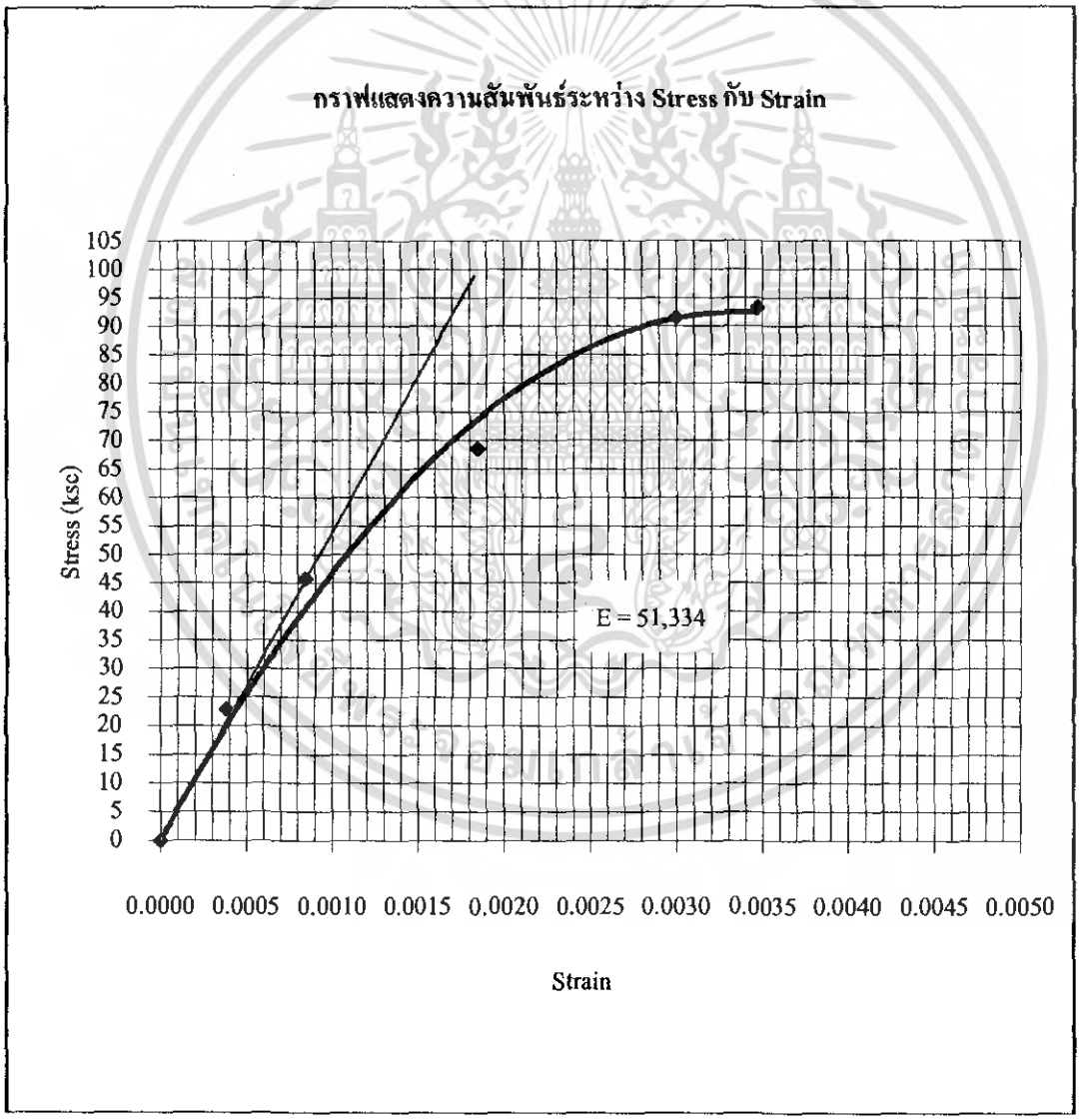
Initial Tangent Modulus Elastic = 55,500 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 93.391... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง (mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	605.0	0.000	0.00000
5.21	5,208.33	23.20	0.2320	605.0	22.890	0.00038
10.42	10,416.67	51.00	0.5100	605.0	45.780	0.00084
15.63	15,625.00	111.83	1.1183	605.0	68.670	0.00185
20.83	20,833.33	181.56	1.8156	605.0	91.559	0.00300
21.25	21,250.00	210.04	2.1004	605.0	93.391	0.00347



Initial Tangent Modulus Elastic = 51,334 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยน้ำหนัก 1800 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

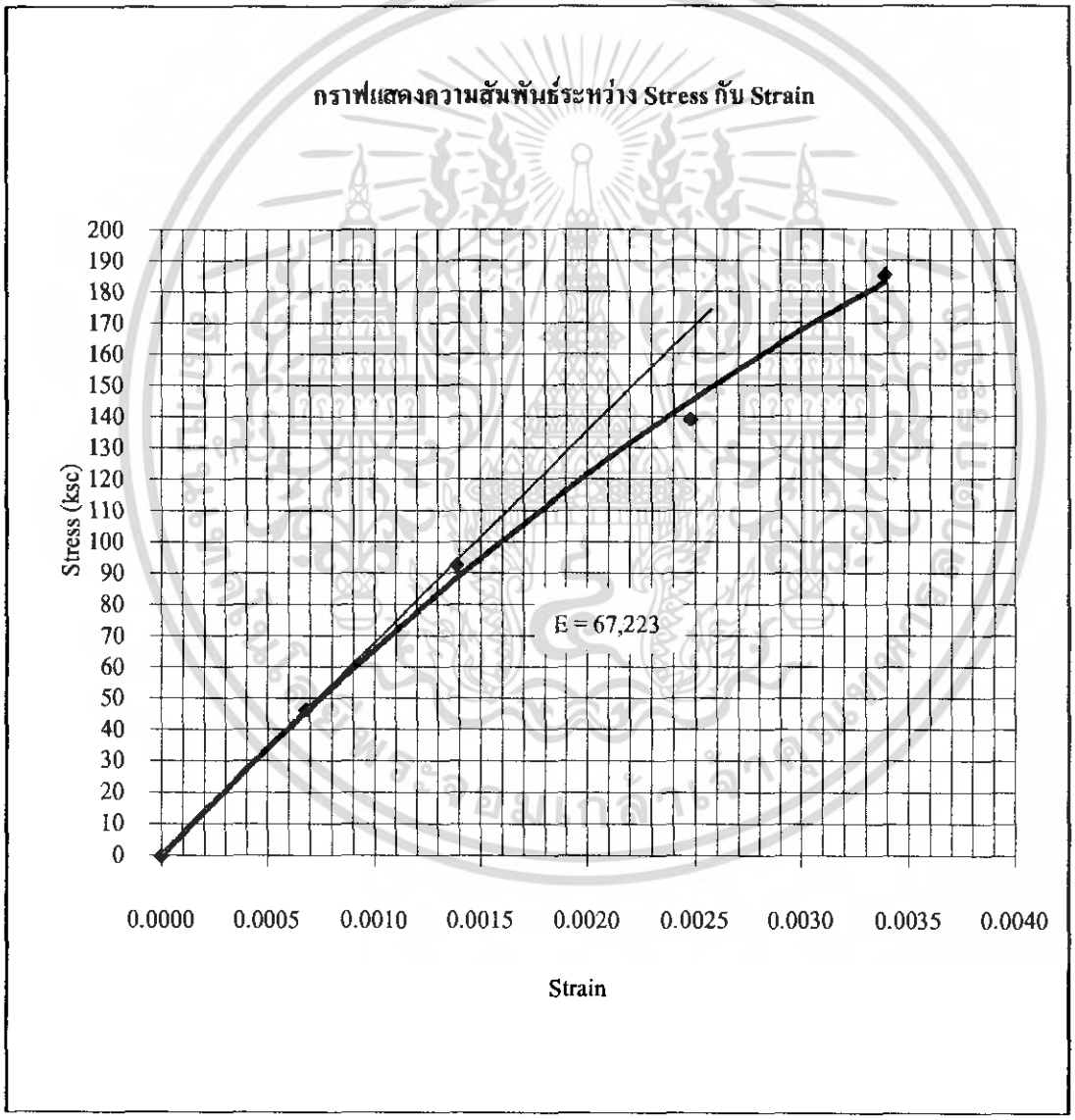
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	14.93	15.05	59.5	224.697	25.141	41666.67	185.435	67,223	1880.403
2	15.12	14.98	60.0	226.498	25.205	42083.33	185.800	73,685	1854.321
3	15.00	14.98	61.0	224.700	25.276	41875.00	186.360	84,211	1843.624
			เฉลี่ย	225.298	25.207	41,875.00	185.865	75,040	1859.449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 185.435.... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	595.0	0.000	0.00000
10.42	10,416.67	40.52	0.4052	595.0	46.359	0.00068
20.83	20,833.33	82.53	0.8253	595.0	92.717	0.00139
31.25	31,250.00	147.31	1.4731	595.0	139.076	0.00248
41.67	41,666.67	201.54	2.0154	595.0	185.435	0.00339



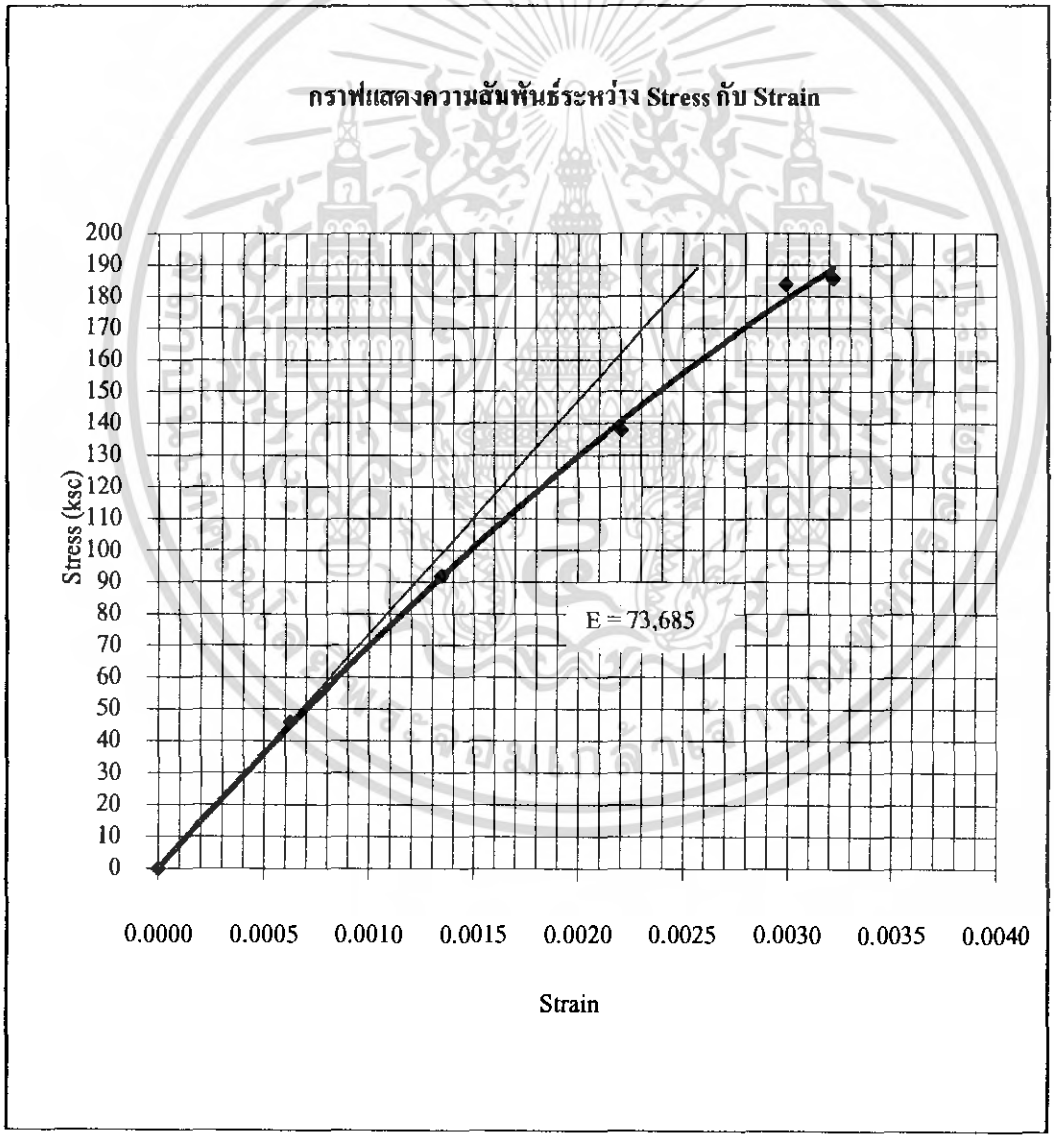
Initial Tangent Modulus Elastic = 67,223 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 185.800... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	600.0	0.000	0.0000
10.42	10,416.67	37.53	0.3753	600.0	45.990	0.0006
20.83	20,833.33	80.64	0.8064	600.0	91.980	0.0013
31.25	31,250.00	132.31	1.3231	600.0	137.970	0.0022
41.67	41,666.67	179.54	1.7954	600.0	183.960	0.0030
42.08	42,083.33	193.03	1.9303	600.0	185.800	0.0032



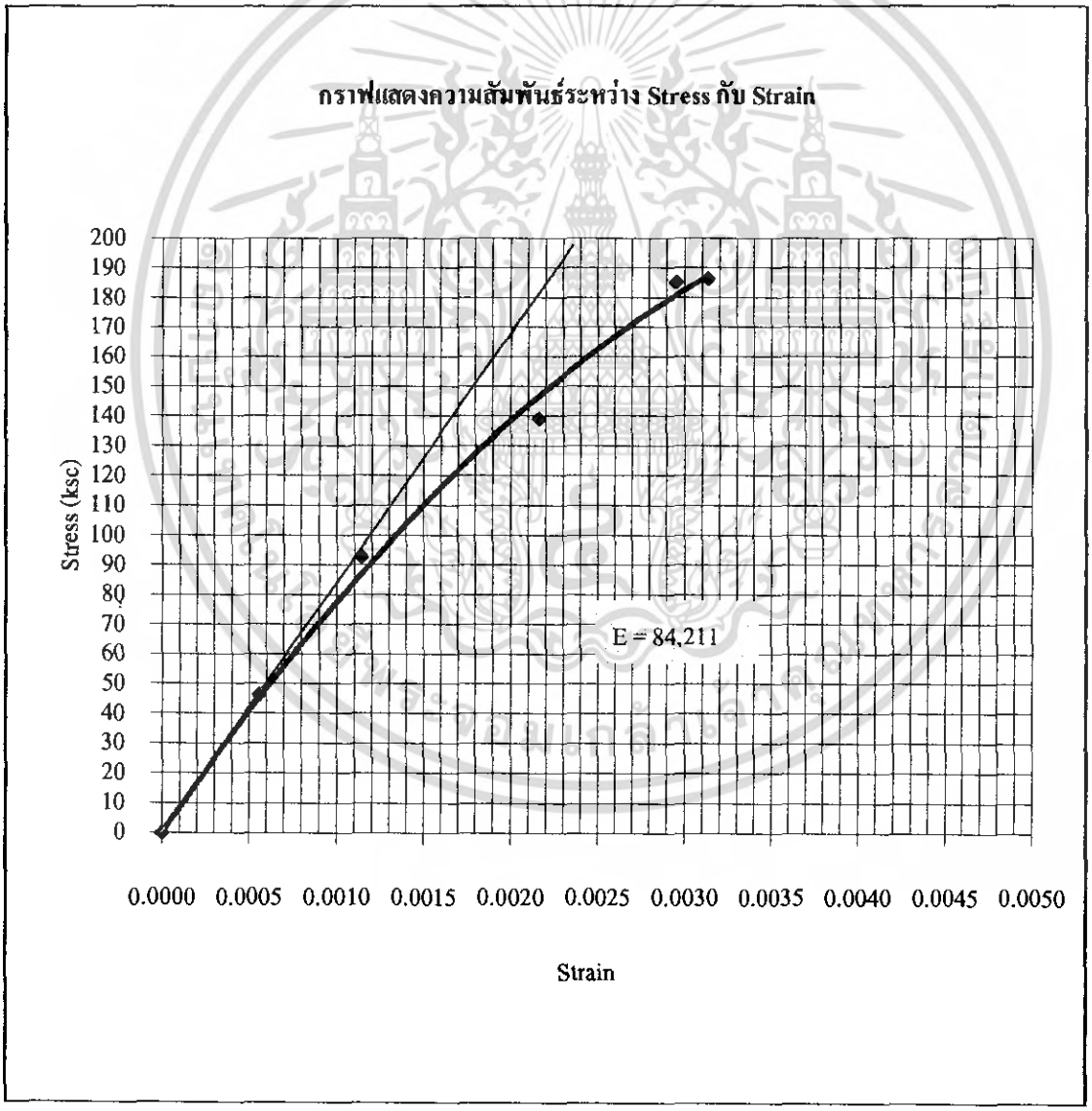
Initial Tangent Modulus Elastic = 73,685 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 186.360... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	610.0	0.000	0.00000
10.42	10,416.67	33.92	0.3392	610.0	46.358	0.00056
20.83	20,833.33	69.53	0.6953	610.0	92.716	0.00114
31.25	31,250.00	132.01	1.3201	610.0	139.074	0.00216
41.67	41,666.67	180.13	1.8013	610.0	185.432	0.00295
41.88	41,875.00	191.07	1.9107	610.0	186.360	0.00313



Initial Tangent Modulus Elastic = 84,211 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยน้ำหนัก 1900 kg/m^3

ตัวอย่างอายุ 28 วัน

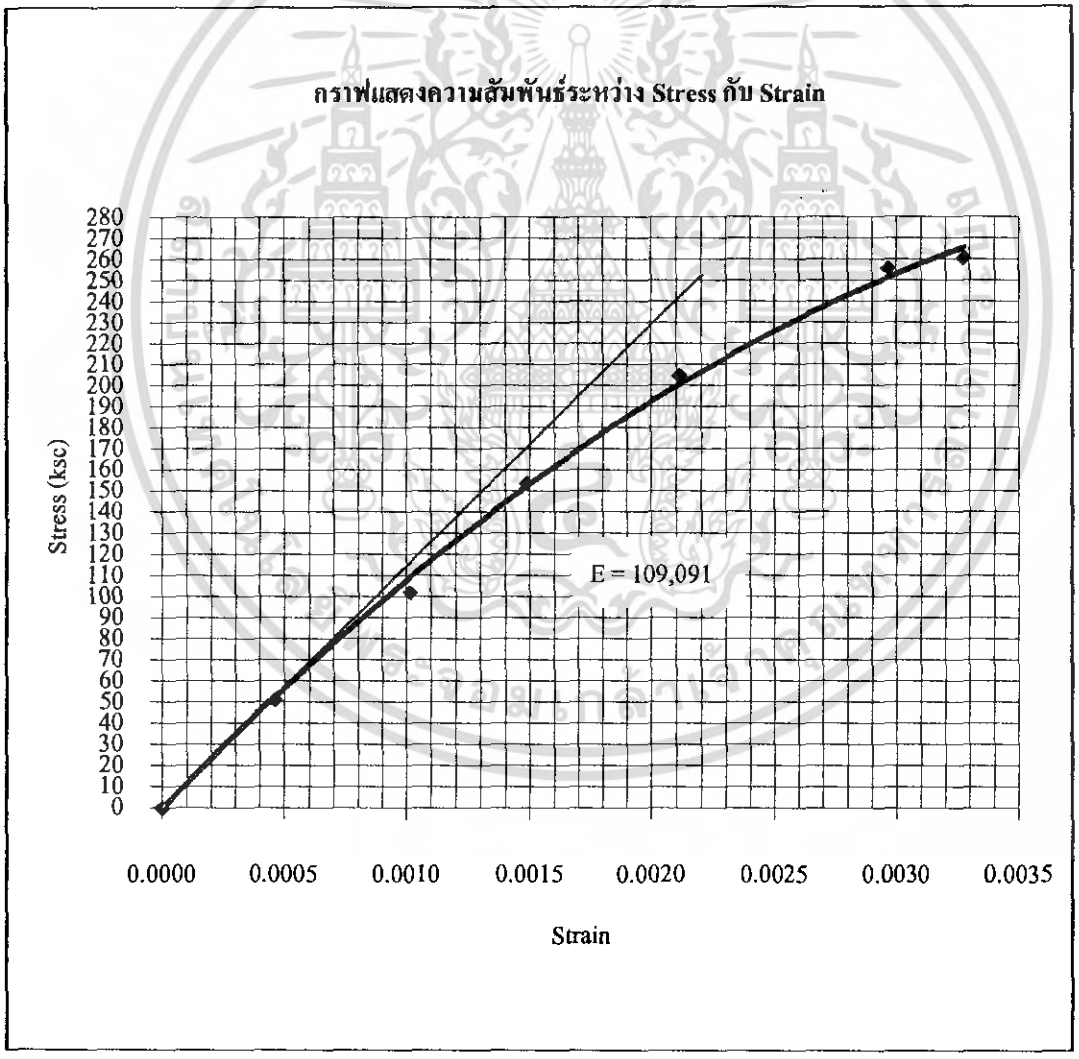
No.	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	หน่วยแรงอัด	Modulus of Elasticity	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	(cm^2)	(kg.)	(kg.)	(ksc)	(ksc)	(kg/m^3)
1	15.40	15.20	59.89	234.080	26.70	61041.67	260.773	109,091	1904.551
2	14.89	15.10	60.00	224.839	26.76	61666.67	274.270	115,500	1983.642
3	14.98	14.98	60.05	224.400	26.46	62916.67	280.377	116,250	1963.604
			เฉลี่ย	227.773	26.64	61,875.00	271.807	113,614	1950.599

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 260.773.... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 1

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	598.9	0.000	0.00000
11.98	11,979.17	27.68	0.2768	598.9	51.176	0.00046
23.96	23,958.33	60.77	0.6077	598.9	102.351	0.00101
35.94	35,937.50	89.07	0.8907	598.9	153.527	0.00149
47.92	47,916.67	126.45	1.2645	598.9	204.702	0.00211
59.90	59,895.83	177.53	1.7753	598.9	255.878	0.00296
61.04	61,041.67	196.20	1.9620	598.9	260.773	0.00328



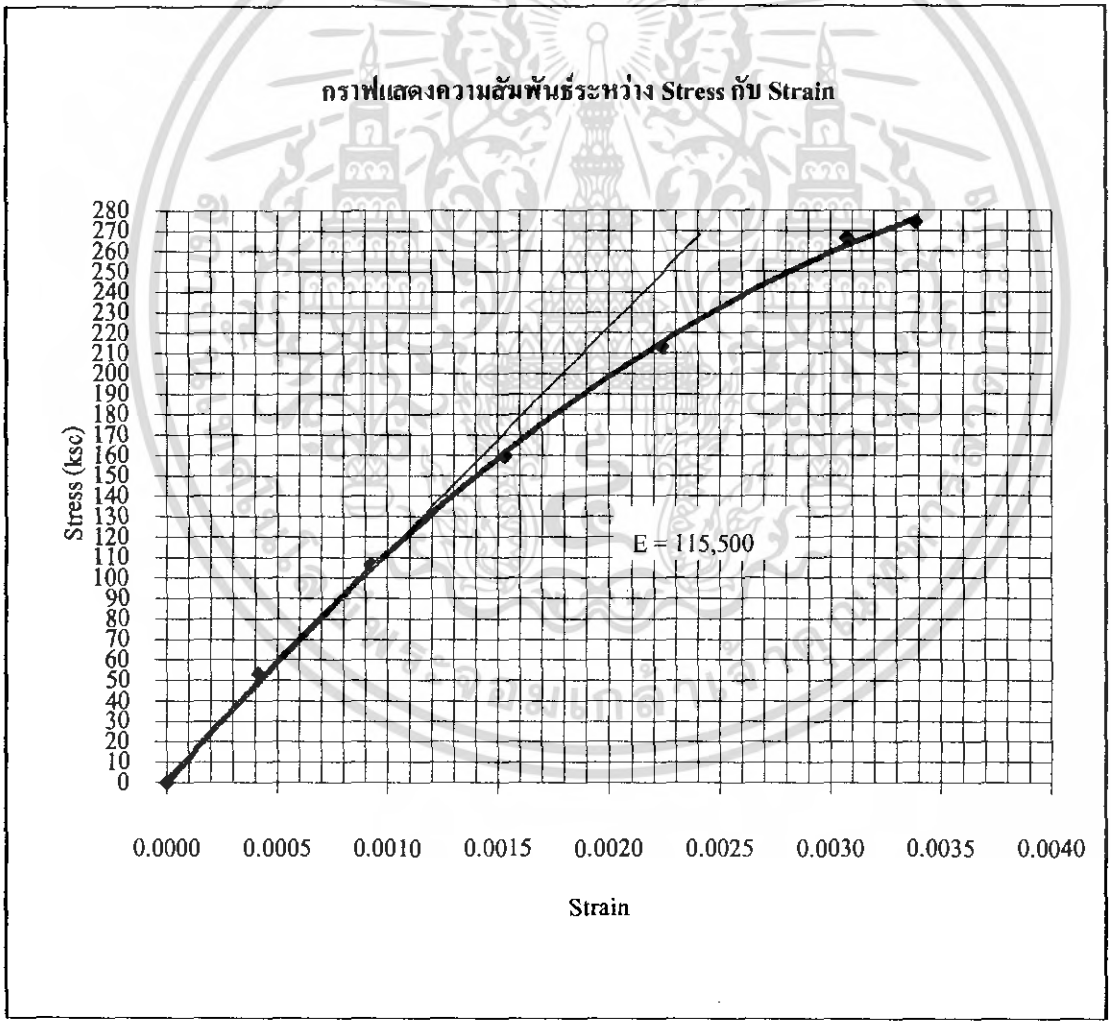
Initial Tangent Modulus Elastic = 109,091 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 274.270... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 2

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	600.0	0.000	0.0000
11.98	11,979.17	24.82	0.2482	600.0	53.279	0.0004
23.96	23,958.33	55.55	0.5555	600.0	106.558	0.0009
35.94	35,937.50	91.84	0.9184	600.0	159.837	0.0015
47.92	47,916.67	134.36	1.3436	600.0	213.115	0.0022
59.90	59,895.83	184.54	1.8454	600.0	266.394	0.0031
61.67	61,666.67	203.63	2.0363	601.0	274.270	0.0034



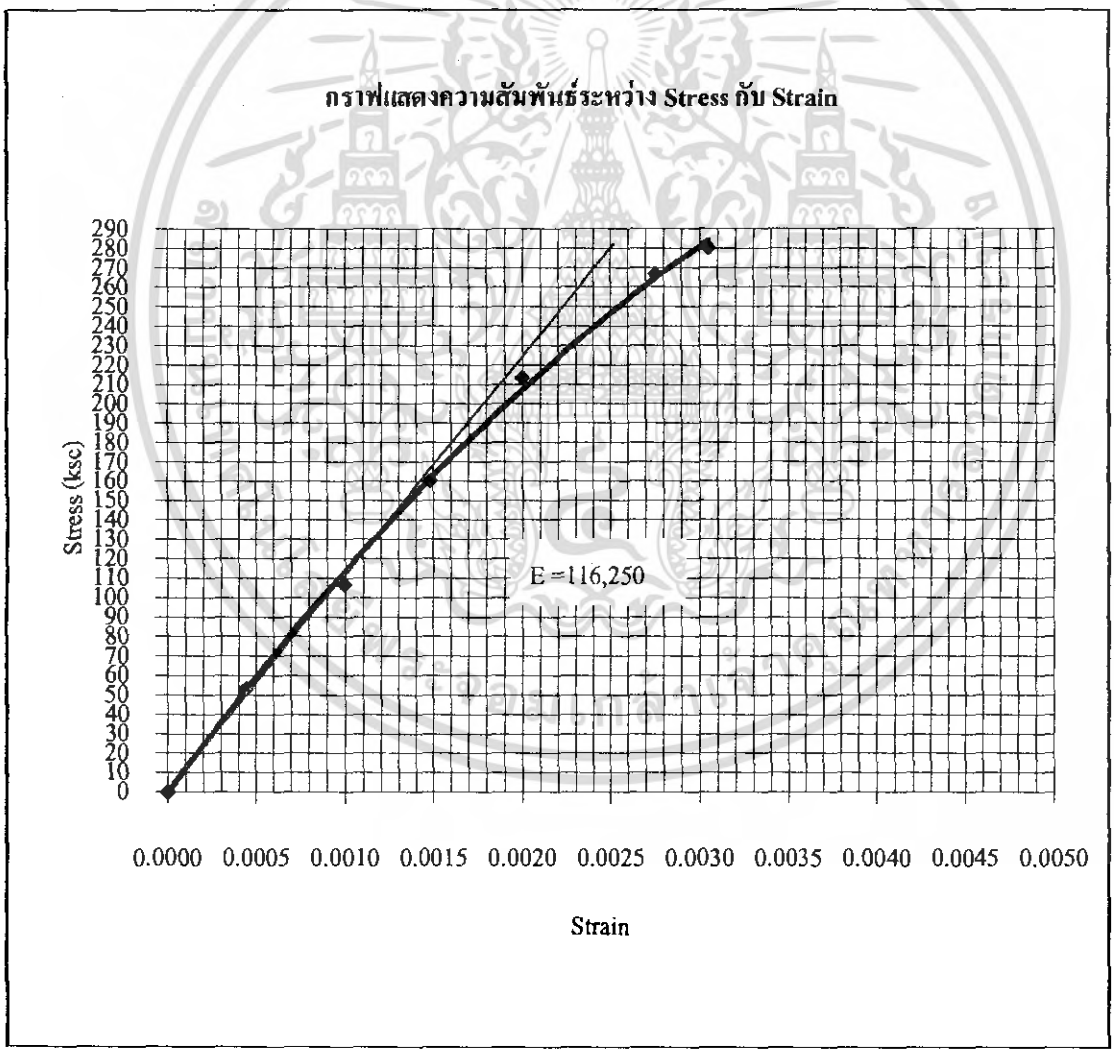
Initial Tangent Modulus Elastic = 115,500 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดประลัย (fc')..... 280.377... ksc

อายุตัวอย่าง 28 วัน ตัวอย่างที่ 3

Load (T)	Load (kg)	Dial Gauge	ΔL (mm)	ความสูง(mm)	Stress	Strain
0.00	0	0	0	600.5	0.000	0.00000
11.98	11,979.17	26.58	0.2658	600.5	53.383	0.00044
23.96	23,958.33	59.66	0.5966	600.5	106.766	0.00099
35.94	35,937.50	89.12	0.8912	600.5	160.149	0.00148
47.92	47,916.67	119.90	1.1990	600.5	213.532	0.00200
59.90	59,895.83	165.34	1.6534	600.5	266.915	0.00275
62.92	62,916.67	183.05	1.8305	600.5	280.377	0.00305



Initial Tangent Modulus Elastic = 116,250 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้