การศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ
A STUDY IN FAILURE BEHAVIORS OF A CONCRETE BEAM REINFORCED WITH SUPER DUCTILE STEEL

พิทย์รดา เพ็ชร์สุวรรณ์
เศวตฉัตร พรประเสริฐ
สุวิสิษฏ์ บานแย้ม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ

A STUDY IN FAILURE BEHAVIORS OF A CONCRETE BEAM REINFORCED WITH SUPER DUCTILE STEEL

พิทย์รดา เพ็ชร์สุวรรณ์

เศวตฉัตร พรประเสริฐ

สุวิสิษฏ์ บานแย้ม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY IN FAILURE BEHAVIORS OF A CONCRETE BEAM REINFORCED WITH SUPER DUCTILE STEEL

PHITRADA PETCHSUWANN

SAWETTACHAT PORNPASERT

SUVISIT BANYAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ
A STUDY IN FAILURE BEHAVIORS OF A CONCRETE BEAM REINFORCED WITH SUPER DUCTILE STEEL

นักศึกษา นางสาวพิทย์รดา เพ็ชร์สุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 57010901
นายเศวตฉัตร พรประเสริฐ รหัสนักศึกษา 57011288
นายสุวิสิษฏ์ บานแย้ม รหัสนักศึกษา 57011433

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. อำพน	จรัสจรุงเกียรติ	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์	
ผศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 4/6/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ

นางสาวพิทย์รดา เพ็ชร์สุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 57010901
นายเศวตฉัตร พรประเสริฐ รหัสนักศึกษา 57011288
นายสุวิสิษฏ์ บานแย้ม รหัสนักศึกษา 57011433
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

เนื่องจากประเทศไทยมีแนวโน้มได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมากขึ้น เมื่อไม่นานมานี้จึงมีการนำเหล็กเสริมยืดพิเศษมาใช้ประยุกต์กับงานวิศวกรรมโครงสร้าง โดยเหล็กดังกล่าวสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าเหล็กทั่วไป คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเรื่องคุณสมบัติของเหล็กดังกล่าว และต้องการตรวจสอบ ว่าคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมยืดพิเศษสามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของสภาวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยหรือไม่ โดยการสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมด้วยเหล็กเสริมทั่วไปกับเหล็กเสริมยืดพิเศษ จากนั้นก็ทำการทดสอบคานด้วยการกดแรงและปล่อยแรงต่อเนื่องกันไป ภายใต้การควบคุมการเสียรูป จนกระทั่งคานถึงจุดวิบัติ แล้วจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของคานทั้งสองชนิด พบว่า คานที่เสริมด้วยเหล็กเสริมยืดพิเศษ สามารถรับพลังงานสะสมได้สูงกว่า และ จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวนี้จะเป็นทางเลือกให้แก่วิศวกรผู้ออกแบบในการเลือกพิจารณาเลือกสำหรับการออกแบบ

คำสำคัญ : เหล็กเสริมยืดพิเศษ,มาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก , การควบคุมการเสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Factors for creating the competitive advantage of housing development organizations

Miss Phitrada Petchsywann Student ID. 57010901
Mr. Sawattachat Pronprasert Student ID. 57011288
Mr. Suvisi Banyam Student ID. 57011433
Advisor : Assoc.Prof.Dr.-Ing. Amphon Jarasjarungkiat
Academic Year 2017

ABSTRACT

Due to increasing earthquake hazards in Thailand, Super ductile steel has been recently introduced into the structural engineering applications. This study was aimed to investigate two aspects; the first one is an amount of energy in which super ductile steel can absorb and the second one is verifying the validity of the Reinforce Concrete (RC) building design standard of EIT for super ductile steel. Researchers prepared ten concrete beam specimens divided into two groups one of which was reinforced with normal mild steel while another with super ductile steel, respectively. Later, a three-point load test was employed by a continuous loading and unloading process with displacement control until the specimens collapsed. From the record data, relations between the applied load and deflection at the middle length of each beam specimen are plotted. Thereby, an amount of energy absorption by each type of reinforcement and other attributes can be compared. Hopefully, this study may introduce an alternative for seismic resistance design.

Keyword : Super ductile steel, Building design standard, Displacement control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

พิทย์รดา เพ็ชร์สุวรรณ์
เศวตฉัตร พรประเสริฐ
สุวิสิษฏ์ บานแย้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 บทนำ..... 1

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 2

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย..... 3

1.4 สมมุติฐานการวิจัย..... 3

1.5 ขอบเขตการวิจัย..... 3

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 4

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานบทวนวรรณกรรม..... 6

2.1 คอนกรีตเสริมเหล็ก..... 6

2.1.1 คอนกรีต..... 6

2.1.2 เหล็กเสริม..... 15

2.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่..... 17

2.3 น้ำหนักบรรทุกจร..... 18

2.4 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง..... 20

2.4.1 น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว..... 21

2.4.2 กำลังที่ต้องการ..... 22

2.4.3 กำลังที่ใช้ออกแบบ..... 23

2.4.4 ตัวคูณลดกำลัง..... 23

2.5 วิธีการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว..... 24

2.6 วิธีการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมทางขวางในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก..... 26

2.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต..... 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.1 การเตรียมแบบหล่อ 29
2.7.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต 29
2.7.3 การคำนวณกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 29
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย 31
3.1 แผนการดำเนินงาน 31
3.2 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 32
3.3 ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 33
3.3.1 การสมมติค่าสำหรับการออกแบบคาน 33
3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบคาน 33
3.3.3 การออกแบบเหล็กปลอก 34
3.3.4 การวิเคราะห์กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด 36
3.3.5 การวิเคราะห์หาแรงที่ทำให้เกิดกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด 36
3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง 38
3.4.1 การตัดและตัดเหล็กเสริม 38
3.4.2 การผูกเหล็กเสริมรับแรงเข้ากับเหล็กปลอกขนาด 10x10 cm 40
3.4.3 การติด strain gauge ลงบนตัวอย่าง 42
3.4.4 การหล่อคานคอนกรีตตัวอย่าง 48
3.5 ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง 52
3.5.1 การเตรียมการทดสอบตัวอย่าง 52
3.5.2 การทดสอบตัวอย่าง 52
3.6 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบ 53
3.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 54
3.7.1 การเตรียมแบบหล่อ 54
3.7.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต 54
3.8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย 56
3.8.1 การเตรียมตัวอย่าง 56
3.8.2 วิธีการทดลอง 56
3.9 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การศึกษาและวิเคราะห์ผล..... 59

4.1 ผลการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด..... 59

4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย..... 60

4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต..... 67

4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก..... 68

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 74

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 74

5.2 ปัญหาและอุปสรรค..... 74

5.3 ข้อเสนอแนะ..... 74

เอกสารอ้างอิง..... 75

ภาคผนวก ก 1.นิยามศัพย์เฉพาะ..... 76

ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าที่บันทึกได้จากการทดลอง..... 77

ประวัติผู้เขียน..... 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	4
2.1	ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	9
2.2	ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและมวลรวมขนาดต่างๆ	9
2.3	อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง	10
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต.	11
2.5	ปริมาตรมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	12
2.6	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	13
2.7	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม	14
2.8	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม	16
2.9	น้ำหนักบรรทุกคงที่	17
2.10	น้ำหนักบรรทุกจร	18
3.1	ปริมาณวัสดุในการหล่อคานคอนกรีต	32
ข.1	ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด	77
ข.2	ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป	77
ข.3	ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ	78
ข.4	ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและความเครียด ระหว่างเหล็กทั้งสองชนิด	1
2.1	ผังการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว	25
2.2	ผังการออกแบบเหล็กเสริมทางขวางในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	27
3.1	แผนการดำเนินงานการทดสอบชิ้นงาน	31
3.2	การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง และเสริมเหล็กเสริมต้านแผ่นดินไหว จำนวน 5 ตัวอย่าง	35
3.3	ไดอะแกรมแรงอิสระ(Free Body Diagram) ของคานทดสอบ	36
3.4	ไดอะแกรมแรงอิสระ(Free Body Diagram) ที่กึ่งกลางของคานทดสอบ	37
3.5	การดัดเหล็กเสริมในคอนกรีต	38
3.6	การตัดเหล็กเสริมคอนกรีต	39
3.7	การผูกเหล็กเสริมรับแรงเข้ากับเหล็กปลอก	40
3.8	ชิ้นงานที่ผูกเหล็กเสริมเข้ากับเหล็กปลอก	41
3.9	การเจียรชิ้นงานเพื่อติด strain gauge	42
3.10	อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง strain gauge	43
3.11	การทากาวเพื่อติด stain gauge ลงบนเหล็กเสริม	44
3.12	การเคลือบ strain gauge ด้วยวัสดุเคลือบ material coating	45
3.13	การติด SB tape เพื่อป้องกันน้ำจากคอนกรีต	46
3.14	การติด vm tape เพื่อป้องกันการลัดวงจรของสายไฟ	47
3.15	การผสมมวลรวมลงในเครื่องผสมคอนกรีต	48
3.16	การเทคอนกรีตที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อตัวอย่าง	49
3.17	ชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการแกะออกจากแบบหล่อคอนกรีต	50
3.18	การบ่มชิ้นงานตัวอย่าง	51
3.19	การจัดวางตัวอย่างเพื่อเตรียมการทดสอบ	53
3.20	ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบหากำลังรับแรงอัดประลัย	55
3.21	ตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย	57
4.1	ผลการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด	59
4.2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 1	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 2.....	61
4.4	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 3.....	62
4.5	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยึดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 1.....	63
4.6	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยึดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 2.....	64
4.7	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยึดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 3.....	65
4.8	ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 14 วัน.....	67
4.9	ลักษณะการวิบัติของคานคอนกรีต.....	68
4.10	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกับค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยึดพิเศษ.....	69
4.11	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉลี่ยกับค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยึดพิเศษ.....	70
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเครียดของเหล็กเสริมทั่วไปและเหล็กเสริมยึดพิเศษ.....	71
4.13	ค่าความเครียดสูงสุดเฉลี่ยของคานเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับคานเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยยึดพิเศษในคาน.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

จากการทดสอบแรงดึงของเหล็กนั้น ทำให้ทราบว่าเหล็กเสริมยึดพิเศษ (ยกตัวอย่างเช่น เหล็กเสริมต้านแผ่นดินไหวของบริษัท TATA Tiscon) ที่มีสัดส่วนกำลังรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ต่อกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากการทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.20-2543,24-2548) [1] ที่มีมากกว่าเหล็กเกรดปกติทั่วไป ทำให้ค่าความยืดที่จุดรับแรงสูงสุดมีมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ

จากรูปที่1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นเป็นแกนตั้งและความเครียดเป็นแกนนอน เปรียบเทียบกันระหว่างเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษพบว่า ค่ามีค่าหน่วยแรงเค้นเท่ากัน แต่เหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษมีค่าความเครียดที่มากกว่าและยังเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานจากภายนอก เป็นผลให้โครงสร้างเนื้อเหล็กมีความเหนียว และลดความเสี่ยงจากการขาดของเส้นเหล็ก ที่เป็นสาเหตุให้โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารพังทลายอย่างฉับพลัน โดยการศึกษาพลังงานที่คอนกรีตรับได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลายคน อาทิเช่น Kozłowski, et al. [2] ซึ่งได้ทำการทดลองศึกษาพลังงานแตกหักที่คานคอนกรีตบากจะรับได้

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ประเทศที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวได้มีการออกแบบโครงสร้างอาคารที่รองรับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว สำหรับในประเทศไทยนั้นมีภูมิประเทศที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวเป็นบางส่วน จึงมีการออกแบบโครงสร้างอาคารที่รองรับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวไม่มากนัก แต่ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมานั้น ประเทศไทยกลับได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมากขึ้น ทั้งจากประเทศเพื่อนบ้านและรอยเลื่อนมีพลังภายในประเทศ ทำให้บริษัทผลิตวัสดุก่อสร้างในประเทศไทยเริ่มทำการคิดค้นและผลิตวัสดุที่ใช้สำหรับการก่อสร้างอาคาร ที่มีคุณสมบัติรองรับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เช่น เหล็กยืดพิเศษ โดยมีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้มากกว่าเหล็กเสริมทั่วไป

เหล็กเสริมยืดพิเศษ ที่มีสัดส่วน Ultimate Tensile Strength ต่อ Yield Strength ที่มีมากกว่าเหล็กเกรดปกติทั่วไป ทำให้ค่าความยืดที่จุดรับแรงสูงสุดมีมากขึ้น เป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานจากภายนอก เป็นผลให้โครงสร้างเนื้อเหล็กมีความเหนียว และลดความเสี่ยงจากการขาดของเส้นเหล็ก ที่เป็นสาเหตุให้โครงสร้างอาคารพังทลายอย่างฉับพลัน

เนื่องจากทางคณะวิจัยสนใจศึกษาเรื่องการนำเหล็กยืดพิเศษมาใช้ในโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการทราบว่าการใช้มาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของสภาวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยนั้นสามารถใช้ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษด้วยวิธีกำลังได้หรือไม่ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตเสริมด้วยเหล็กเสริมทั่วไปว่ามีคุณสมบัติต่างกันอย่างไร เพื่อเป็นทางเลือกในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำหรับต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะแอ่นตัว ซึ่งแสดงถึงพลังงานความเครียด (Strain Energy) ของคานคอนกรีตเสริมด้วยเหล็กยืดพิเศษกับคานคอนกรีตเสริมด้วยเหล็กเสริมทั่วไป
2. เพื่อตรวจสอบว่ามาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของสภาวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยสามารถรองรับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษด้วยวิธีกำลังได้หรือไม่

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะแอ่นตัว ซึ่งแสดงถึงพลังงานความเครียด (Strain Energy) ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นอยู่กับระยะการแอ่นตัวของคานคอนกรีต
2. มาตรฐานการออกแบบของการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังสามารถใช้ได้ตามเกณฑ์ที่สร้างขึ้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้จะทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำลงบนคานกับระยะการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการกดแรงแบบให้แรงกระทำ 3 จุด (Three Point Load) จนกระทั่งคานถึงจุดวิบัติ โดยใช้ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดด้านละ 0.15 เมตร ยาว 0.60 เมตร ซึ่งตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิด คือ คานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษจำนวน 5 ตัวอย่าง และคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยเหล็กเสริมทั้งสองชนิดนั้น กลุ่มหนึ่งใช้เหล็กข้ออ้อยปกติ และอีกกลุ่มเสริมด้วยเหล็กยืดพิเศษ โดยที่เหล็กทั้งสองกลุ่มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร (DB12) ค่าต้านทานแรงดึง 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (SD40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

	ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.			
1. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเหล็กเสริมยึดพิเศษ																																
2. ออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการคำนวณและออกแบบตัวอย่างให้เหมาะสมกับการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคานที่เสริมด้วยเหล็กเสริมยึดพิเศษและกลุ่มที่เสริมด้วยเหล็กธรรมดา																																
3. สร้างชิ้นงานตัวอย่างให้ครบตามจำนวน																																
4. นำชิ้นงานที่ทำการบ่มแล้วไปทำการทดสอบการรับแรงกดจนกระทั่งวิบัติ																																
5. บันทึกผลการทดลองและลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทุกชิ้น																																
6. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างเหล็กทั้งสองชนิด																																
7. สรุปผลและระบุข้อเสนอแนะ ปัญหาที่พบเจอระหว่างการดำเนินงาน																																
8. รวมรวบข้อมูลเพื่อนำเสนอต่อไป																																

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นทางเลือกในการออกแบบโครงสร้างอาคารสำหรับต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
2. สามารถใช้มาตรฐานการออกแบบของการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังร่วมกับเหล็กเสริมยึดพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

2.1 คอนกรีตเสริมเหล็ก

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถพบเห็นได้ทั่วไป เช่น เสา คาน และ พื้นของอาคาร ถนน สะพาน เขื่อน เป็นต้น โครงสร้างคอนกรีตข้างต้นเกิดจากการนำคอนกรีตและเหล็กเสริมมารวมกันเพื่อให้ได้ส่วนโครงสร้างที่มีพฤติกรรมรับน้ำหนักบรรทุกได้ที่ตามต้องการ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพภูมิอากาศต่างๆได้ดี สามารถต้านทานเพลิงไหม้ได้ดี เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย แต่ข้อด้อยของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคือมีน้ำหนักของตัวโครงสร้างมากกว่าโครงสร้างประเภทอื่น

2.1.1 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ในงานเป็นโครงสร้าง สามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างได้ตามต้องการ คอนกรีตเกิดจากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย หินหรือกรวดซึ่งเรียกวัสดุผสม และน้ำ โดยที่น้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เพสท์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานซึ่งจะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดทรายและก้อนหิน และจะเคลือบเม็ดทรายกับก้อนหินให้เกาะรวมกันเป็นก้อนแข็ง คอนกรีตจะแข็งตัวเมื่อมีอายุประมาณ 24 ชั่วโมง และเมื่อได้รับการบ่มชื้น กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามอายุ ทั้งนี้ความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีตขึ้นกับอัตราส่วนของการผสมที่ใช้ด้วย

2.1.1.1 ส่วนผสมคอนกรีต

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญสำหรับงานทางวิศวกรรม โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องมีคุณภาพตรงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 15) คือเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวได้

2) วัสดุผสม (Aggregates) ได้แก่ หิน กรวด และทราย วัสดุผสมที่ดีควรมีคุณสมบัติคือ ต้องแข็งแกร่ง ทนทาน สามารถรับแรงอัดได้ดี ไม่ขยายตัวมาก สะอาด ปราศจากสารที่ทำให้คอนกรีตคุณภาพต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ดิน หรือ ฝุ่นผง นอกจากนี้วัสดุผสมควรมีขนาดเล็ก ใหญ่ คละกัน เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอและมีช่องว่างระหว่างก้อนน้อย ส่งผลให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์น้อยลง

3) น้ำ น้ำที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ต้องเป็นน้ำที่สะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ไม่มีความเป็นกรดหรือด่าง ไม่ปนเปื้อนน้ำมันหรือสารอินทรีย์อื่นๆที่จะเป็นอันตรายต่อเหล็กเสริมและคอนกรีต

4) สารผสมเพิ่ม (Admixture) อาจนำมาใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อปรับปรุงให้คอนกรีตมีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเทได้ดีขึ้นเมื่อใช้สารผสมเพิ่มทำให้คอนกรีตสดก่อตัวช้าลง เป็นต้น

2.1.1.2 กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) เป็นคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุดในโครงสร้างคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยสามารถทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตตามวิธี ASTM C39 [3] โดยการกดตามแนวแกนของแท่งทดสอบมาตรฐานอย่างช้าๆด้วยเครื่องทดสอบจนกระทั่งคอนกรีตแตก ซึ่งเมื่อนำน้ำหนักกดสูงสุดมาหารด้วนพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างจะได้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต จากความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัวของแท่งคอนกรีตมาตรฐานที่กำลังต้านทานแรงอัดต่างๆกันเมื่อรับแรงกดอัดตามแนวแกนอย่างเดียว (Uniaxial Stress) จนกระทั่งคอนกรีตตัวอย่างถูกอัดแตก ซึ่งพบว่าที่หน่วยแรงอัดจากจุดเริ่มต้นถึงที่ประมาณ 40-50% ของกำลังต้านแรงอัดสูงสุด (f_c') กราฟจะมีลักษณะดูเหมือนเป็นเส้นตรง และเมื่อหน่วยแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายโค้งพาราโบลา ซึ่งจะพบว่าที่หน่วยแรงอัดสูงสุดคอนกรีตจะมีหน่วยการหดตัวประมาณ 0.002 มม./มม. และหน่วยแรงอัดจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งวิบัติที่หน่วยการหดตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.003 - 0.004 มม./มม.ซึ่งมาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดให้ใช้หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตเท่ากับ 0.003 มม./มม. และจากความสัมพันธ์ยังสังเกตได้ว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่าจะมีความเหนียว (Ductility) มากกว่าคอนกรีตที่กำลังสูงกว่า

โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดสูตรสำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโดยให้ขึ้นกับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ดังสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_c = w^{1.5}\ 4270(f_c')^{0.5} \quad (2.1)$$

โดยที่ E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต กก./ซม.^{2}

w = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตัน/ลบ.เมตร

f_c' = กำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน กก./ซม^2

สำหรับคอนกรีตธรรมดา (หน่วยน้ำหนัก w = 2.323 ตัน/ลบ.เมตร) จะได้ว่า โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับสมการที่ 2.2

$$E_c = 15100(fc')^{0.5} \quad (2.2)$$

2.1.1.3 กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต

กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตมีค่าต่ำมาก โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 10% ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติเปราะง่ายเมื่อรับแรงดึง ดังนั้นในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจึงไม่นำกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตมาพิจารณา โดยให้เหล็กเสริมทำหน้าที่รับแรงดึงแทน

2.1.1.4 การคำนวณส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบคำนวณหาส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปซึ่งหล่อกับที่นั้นอาจดำเนินได้หลายขั้นตอน โดยจะนำเสนอในวิธีการของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI) ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอน ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และถูกต้อง โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1) เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทงาน

ค่าความยุบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความข้นเหลวพอทำงานได้สะดวก ในกรณีที่มิได้กำหนดค่าความยุบตัวมาให้ หรือไม่มีข้อมูลในอดีต ให้เลือกใช้จากตารางที่ 2.1 ซึ่งให้ค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด*	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	8.0	2.0

* อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีอื่น ที่นอกเหนือไปจากการใช้เครื่องสั่น

2) เลือกขนาดโตสุดของหิน

ขนาดโตสุดของหิน ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบ หรือ 1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ 3/4 ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ขนาดโตสุดของหินที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ อาจเลือกได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม			
	คาน ผนังและเสาค.ส.ล.	ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	พื้นถนนค.ส.ล. รับน้ำหนักมาก	พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย
(เซนติเมตร)	มม.	มม.	มม.	มม.
5.0 - 15.0	12.5 - 20	20	20 - 25	20 - 40
15.0 - 30.0	20 - 40	40	40	40 - 75
30.0 - 75.0	40 - 75	75	40 -75	75
มากกว่า 75.0	40 - 75	150	40 -75	75 - 150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของหิน รูปร่างและส่วนขนาดคละของส่วนผสม ในตารางดังกล่าวยังให้ปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมสำหรับคอนกรีตที่มีและไม่มีสารทำให้เกิดการกระจายกักฟองอากาศ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและมวลรวมขนาดต่างๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. สำหรับมวลรวมขนาดต่างๆ							
	10 มม.	12.5 มม.	20 มม.	25 มม.	40 มม.	50 มม.	75 มม.	150 มม.
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3 - 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 - 10	225	215	200	195	175	170	160	140
10 - 15	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3 - 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 - 10	200	190	180	175	160	155	150	135
10 - 15	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุข้อกำหนด

- ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาตรสูงสุดสำหรับหินรูปร่างดี ช่วยให้ทำงานง่ายและลดหลั่นดีตาม
- ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม จะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์คงที่ นอกจากผลทดสอบแสดงว่าคอนกรีตมีกำลังสูงเกินต้องการ
- ถ้าส่วนผสมต้องการน้ำน้อยกว่ากำหนด ยังไม่ควรลดปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตให้กำลังสูงกว่ากำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement Ratio : WCR)

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับสภาพของคอนกรีตที่จะนำไปใช้งาน และกับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตสำหรับวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอนกรีต ให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางที่ 2.4 และ 2.5 โดยตารางที่ 2.4 ให้ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับประเภทงานและสภาวะแวดล้อมต่างๆ ส่วนตารางที่ 2.4 แสดงถึงค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ต้องการและให้เลือกค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่ต่ำที่สุดซึ่งหาได้จากสองตารางนี้

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็มหรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.50	0.45*

* ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (ประเภทสองหรือประเภทห้า) อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ซม.^{2})	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน ⌀ 15 x 30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

5) คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรก็สามารถหาได้จาก

ปริมาณปูนซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ(จากข้อ3) / อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (จากข้อ4)

6) คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ

ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาตรของมวลรวมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและขนาดโตสุดของหินที่ใช้ โดยปริมาณของมวลรวมหยาบสามารถคำนวณได้จาก

ปริมาณของมวลรวมหยาบ = ปริมาตรของมวลรวมหยาบ x ความหนาแน่นของมวลรวมหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ปริมาตรมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน (มม.)	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด (กก./ลบ.ม.)	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
10	2,285	2,190
12.5	2,315	2,235
20	2,355	2,280
25	2,375	2,315
40	2,420	2,355
50	2,445	2,375
75	2,465	2,400
150	2,505	2,435

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้นี้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วๆไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10%

7) คำนวณปริมาณมวลรวมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่างๆของส่วนผสมทั้งหมดแล้ว ปริมาณของมวลรวมละเอียดจะหาได้ 2 แบบ ดังนี้

ก) ประมาณจากหน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด (Weight Method)

น้ำหนักทราย = น้ำหนักคอนกรีตสด - น้ำหนักส่วนผสมต่างๆ (ยกเว้นทราย)

โดยที่น้ำหนักของคอนกรีตสดสามารถหาได้จากตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของหิน (มม.)	ปริมาตรของมวลรวมหยาบในสภาพแห้งและอัดแนนในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ข) ประมาณจากปริมาตรเนื้อแท้ของมวลรวม (Absolute Volume Method)

ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) คำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ (G) น้ำหนักของวัสดุ (W) และหน่วยน้ำหนักของน้ำ (γ_w) ดังนี้

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = \frac{W}{G \times \gamma_w} \qquad (2.3)$$

ปริมาตรเนื้อแท้ของทราย = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมทั้งหมด

8) ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของมวลรวม

เมื่อมวลรวมที่จะนำมาใช้งานมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง จะต้องปรับแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของมวลรวมขึ้นเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ติดมาและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 เหล็กเสริม

เหล็กเสริม (Reinforcing Bar) สำหรับงานก่อสร้างทั่วไปเป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0 - 0.3% ผลิตโดยวิธีการรีดร้อน (Hot Roll) โดยการหลอมเหลวเหล็กแท่งแล้วรีดออกมาด้วยลูกกลิ้งให้มีขนาดได้ตามต้องการ เหล็กเสริมที่ผลิตออกมามีน้ำหนักประมาณ 7850 กก./ม.^{3} มีความยาวมาตรฐาน 10 และ 12 เมตร

2.1.2.1 เหล็กกลมแบบผิวเรียบ (Round Bars) เป็นเหล็กที่มีหน้าตัดกลม มีผิวเรียบตลอดความยาวของเหล็ก สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และ 9 มม. มาตรฐาน มอก. 20 กำหนดให้เหล็กกลมแบบผิวเรียบมีชั้นคุณภาพเดียว คือ SR24 หมายถึงมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 2400 กก./ซม.^{2} การเรียกชื่อใช้สัญลักษณ์ RB เช่น RB6 RB9 เป็นต้น

2.1.2.2 เหล็กกลมแบบข้ออ้อย (Deformed Bars) เป็นเหล็กเส้นที่มีหน้าตัดกลม แต่ผิวตามแนวความยาวของเหล็กมีลักษณะเป็นบั้งหรือปล้องหรือครีบเกลียวซึ่งผลิตตามที่มาตรฐานกำหนด สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง DB12 DB16 DB20 และ DB25 มาตรฐาน มอก. 24 กำหนดให้เหล็กกลมแบบข้ออ้อยมี 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD30 SD40 และ SD50 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงมีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กไม่น้อยกว่า 3000 กก./ซม.^{2} 4000 กก./ซม.^{2} และ5000 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ การเรียกชื่อใช้สัญลักษณ์ DB เช่น DB12 DB16 เป็นต้น

2.1.2.3 เหล็กยืดพิเศษ หมายถึง เหล็กที่ถูกผลิตขึ้นมาให้มีสัดส่วนกำลังรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ต่อกำลังรับแรงดึงคราก (Yield Strength) และค่าความยืดที่จุดรับแรงสูงสุดมีค่าสูงกว่าเหล็กเสริมปกติ ทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานจากภายนอก ส่งผลให้ลดความเสี่ยงจากการขาดของเส้นเหล็ก อันจะส่งผลให้ลดการพังทลายอย่างฉับพลันของโครงสร้างอาคาร

2.1.2.4 คุณสมบัติของเหล็กเสริม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2527 และ มอก. 24-2527 ให้ข้อกำหนดที่ต้องการทางด้านคุณสมบัติทางกลของเหล็กกลมแบบผิวเรียบและแบบข้ออ้อยตามชั้นคุณภาพต่างๆ ดังตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม

ชนิดของเหล็กเสริม	ชั้นคุณภาพ	กำลังจุดคราก (กก./ซม.^{2}) ไม่น้อยกว่า	กำลังดึงประลัย (กก./ซม.^{2}) ไม่น้อยกว่า	ความยืด (%) ไม่น้อยกว่า	การทดสอบการดัดโค้งเย็น	
					มุมดัดโค้งเย็น (องศา)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในส่วนโค้งของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก
เหล็กกลมเรียบ	SR 24	2400	3900	21	180	1.5 เท่า
เหล็กข้ออ้อย	SD 30	3000	4900	17	180	4 เท่า
	SD 40	4000	5700	15	180	5 เท่า
	SD 50	5000	6300	13	90	5 เท่า

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือโมดูลัสของยังก์ (Young's Modulus) ของเหล็กเสริม ใช้สัญลักษณ์ E_s เหล็กเสริมทุกชั้นคุณภาพจะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นคงที่เท่ากับ 2.04×10^6 กก./ซม.^{2}

2.1.2.5 การดัดเหล็กเสริม มาตรฐาน ว.ส.ท. ระบุถึงระยะยื่นปลายของการงอเหล็กดังนี้

ของอมาตรฐานสำหรับเหล็กเสริมเอก

- ของอครึ่งวงกลมให้มีส่วนที่ยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น แต่ไม่น้อยกว่า 6 ซม.

- ของอมุมฉากให้มีส่วนที่ยื่นต่อออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก

ของอมาตรฐานสำหรับเหล็กปลอก

ปลายเหล็กปลอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16 มม. อาจดัดงอเป็นมุมฉาก หรือ 135 องศา โดยมีส่วนยื่นต่อออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางของเหล็กนั้น และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงโค้งที่เล็กที่สุดเท่ากับ 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

2.1.2.6 การจัดวางเหล็กเสริม

การจัดวางเหล็กเสริมสำหรับคาน ระยะห่างระหว่างเหล็กเส้น ต้องไม่ต่ำกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้น หรือ 1.34 เท่าของขนาดโตสุดของหิน หรือ 2.5 ซม. และ ระยะห่างระหว่างเหล็กเส้นกับผิวคอนกรีต เมื่ออยู่ในร่ม ไม่สัมผัสกับดิน หรือ ไม่ถูกแดด ฝน ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ซม. และเมื่อต้องถูกแดด ฝน ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ซม. เมื่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นไม่เกิน 16 มม. และต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 5 ซม. เมื่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นเกิน 16 มม.

2.2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนักและกระทำคงที่ถาวรตลอดเวลา มีแนวกระทำในแนวดิ่งเสมอ ค่าประมาณของน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งานที่ใช้ในการคำนวณออกแบบทั่วไป ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 น้ำหนักบรรทุกคงที่

ประเภทของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วย
คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	1,600 - 2,400	กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เหล็ก	7,850	กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ไม้	800 – 900	กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
อิฐ	1,900	กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
วัสดุมุงหลังคา	5 – 18	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
แป้ไม้	5	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วย
โครงหลังคาไม้	10 – 20	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ฝ้าเพดาน	14 – 26	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
กำแพงอิฐมอญ	180 – 350	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
กำแพงอิฐบล็อก	100 – 200	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
กำแพงคอนกรีตบล็อก	100 – 240	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ฝาไม้ ไม้อัด รวมเคร่า	12 – 30	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
พื้นไม้ รวมตง	30	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

2.3 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่กระทำชั่วคราวและอาจเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนักได้ จากข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544 ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ซึ่งกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำสำหรับใช้คำนวณออกแบบโครงอาคารประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 น้ำหนักบรรทุกจร

ประเภทของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกจร	หน่วย
หลังคา	50	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
กันสาด หรือ หลังคาคอนกรีต	100	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกจร	หน่วย
สำนักงาน ธนาคาร	250	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน	300	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ห้องโถง บันได ทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงาน และธนาคาร	300	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์นั่ง	400	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ห้องโถง บันได ทางเดินอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ห้องโถง บันได ทางเดินของห้องสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร และหอสมุด	500	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่น	800	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกจร	หน่วย
แรงลมสำหรับส่วนของอาคาร		
- ที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
- ที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
- ที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร
- ที่สูงกว่า 40 เมตร	160	กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

2.4 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method : SDM)

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง[4] เป็นการพิจารณาหาขนาดของส่วนโครงสร้างคอนกรีตและปริมาณของเหล็กเสริมที่สภาวะก่อนที่ส่วนโครงสร้างนั้นจะเกิดการวิบัติจากการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่าที่คาดไว้ ทั้งนี้ยังเป็นการวิเคราะห์หาค่าแรงภายในต่างๆที่กระทำต่อส่วนของโครงสร้างโดยอาศัยทฤษฎีอิลาสติก ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีอิลาสติกให้ความปลอดภัยเพียงพอและช่วยให้การคำนวณออกแบบง่ายขึ้น

การคำนวณการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังมีหลักเกณฑ์ดังนี้ คือ ในภาวะที่ส่วนโครงสร้างจะเกิดการวิบัติจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored Load) หรือกำลังที่ต้องการ (Required Strength) ต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังที่ใช้ออกแบบ (Design Strength) ซึ่งเป็นกำลังต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้างนั้นหรือกำลังต้านทานที่ระบุ (Nominal Strength) ที่ถูกคูณให้ลดลงด้วยตัวคูณกำลังต้านทาน (Strength Reduction Factor) และ ในภาวะที่ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ค่าการโก่งตัวหรือความกว้างของรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัด (Flexural Crack) ต้องไม่มากเกินกว่าที่กำหนด

$$M_u < \emptyset M_n \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored Load)

น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว เป็นน้ำหนักที่สมมติขึ้นที่คาดว่าจะทำให้ส่วนโครงสร้างนั้นเริ่มเกิดการวิบัติหรือชำรุดเสียหายและไม่สามารถใช้งานได้อีก โดย มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้พิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วดังต่อไปนี้

สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว $U = 1.4D + 1.7L$

สำหรับอาคารที่คิดรับแรงลมด้วย $U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W)$

$U = 0.9D + 1.3W$

สำหรับอาคารที่คิดรับแรงจากแผ่นดินไหว $U = 1.05D + 1.28L + 1.4E$

$U = 0.9D + 1.43E$

สำหรับข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครที่ออกตามความใน พรบ. ควบคุมอาคาร กำหนดให้หาน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว ดังนี้

สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว $U = 1.7D + 2.0L$

สำหรับอาคารที่คิดรับแรงลมด้วย $U = 0.75(1.7D + 2.0L + 2.0W)$

$U = 0.9D + 1.3W$

มาตรฐาน ACI ของประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้พิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วดังต่อไปนี้

$U = 1.4(D + F)$

$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$

$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$

$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$

$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H$

$U = 0.9D + 1.0E + 1.6H$

โดยที่ U = น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน

L = น้ำหนักบรรทุกจรใช้งานที่กำหนด บวกด้วยแรงกระแทก (ถ้ามี)

W = น้ำหนักบรรทุกจากแรงลม

E = น้ำหนักบรรทุกจากแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว

F = น้ำหนักบรรทุกจากแรงของไหล

H = แรงดันทางด้านข้างของดินและน้ำใต้ดิน

L_r = น้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำบนหลังคา

R = น้ำหนักบรรทุกจากฝน

S = น้ำหนักบรรทุกจากหิมะ

T = น้ำหนักบรรทุกจากการยืดของวัสดุโดยอุณหภูมิ

2.4.2 กำลังที่ต้องการ (Required Strength)

กำลังที่ต้องการ หมายถึงกำลังที่ส่วนโครงสร้าง ค.ส.ล. ต้องต้านทานอันเนื่องมาจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 กำลังที่ใช้ออกแบบ (Design Strength)

กำลังที่ใช้ออกแบบ เป็น กำลังต้านทานสูงสุดที่ระบุ (Nominal) ของส่วนโครงสร้าง ซึ่งคำนวณหาค่าได้ทางทฤษฎีภายใต้ข้อสมมติฐานที่กำหนด แต่ถูกลดค่าลงด้วยตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Faction)

2.4.4 ด้วยตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Faction)

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าของตัวคูณลดกำลัง (Ø) สำหรับการก่อสร้างที่มีการควบคุมงานและคุณภาพของวัสดุเป็นอย่างดี ดังต่อไปนี้

Ø = 0.9 สำหรับแรงดัด (ไม่มีแรงตามแนวแกนกระทำ)

= 0.9 สำหรับแรงดึงตามแนวแกน หรือ แรงดึงตามแนวแกนร่วมกับแรงดัด

= 0.85 สำหรับแรงเฉือน และแรงบิด

Ø = 0.75 สำหรับแรงอัด หรือ แรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเกลียว

= 0.70 สำหรับแรงอัด หรือ แรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเดี่ยว

= 0.70 สำหรับแรงกดหรือแรงแบกทานบนคอนกรีต

= 1.00 สำหรับระยะฝังยึดเหล็กเสริม (เพราะได้พิจารณาส่วนปลอดภัยไว้แล้วในตัว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

1) วิเคราะห์โครงสร้างโดยการนำน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วมาวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ต้านทานสูงสุด (M_u) จากนั้นนำโมเมนต์ประลัยหารด้วยตัวคูณลดกำลัง ($\emptyset$) จะได้โมเมนต์ต้านทานสูงสุดที่ระบุ (M_n)

2) ประมาณหน้าตัดคาน สำหรับคานช่วงเดียว สมมติขนาดความลึกได้ประมาณเท่ากับความยาวของคานหารด้วยสิบ และประมาณความกว้างคานได้เท่ากับ 0.4 ถึง 0.6 เท่าของความลึกคาน

3) คำนวนหาค่าสัมประสิทธิ์ต้านทานโมเมนต์ดัด (R_u) จากสมการที่ 2.4

$$R_u = M_n/(bd^2) \tag{2.5}$$

4) คำนวนหาค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล (ρ) จากสมการที่ 2.6

$$\rho = \frac{1-\sqrt{1-\frac{2mRu}{fy}}}{m} \tag{2.6}$$

$$\text{โดยที่} \quad m = f_y/(0.85f_c') \tag{2.7}$$

5) เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล (ρ) กับค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลต่ำสุด (ρ_{min}) จากสมการที่ 2.8

$$\rho_{min} = 14/f_y \tag{2.8}$$

ซึ่งถ้า ρ น้อยกว่า ρ_{min} ให้ใช้ ρ_{min} แทนในการออกแบบ

6) เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล (ρ) กับค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผลสูงสุด (ρ_{max}) จากสมการที่ 2.9

$$\rho_{max} = 0.75\left(\frac{0.85\beta fc'(6120)}{fy(6120+fy)}\right) \tag{2.9}$$

ซึ่งถ้า ρ มากกว่า ρ_{max} ให้เปลี่ยนหน้าตัดคานให้ใหญ่ขึ้น

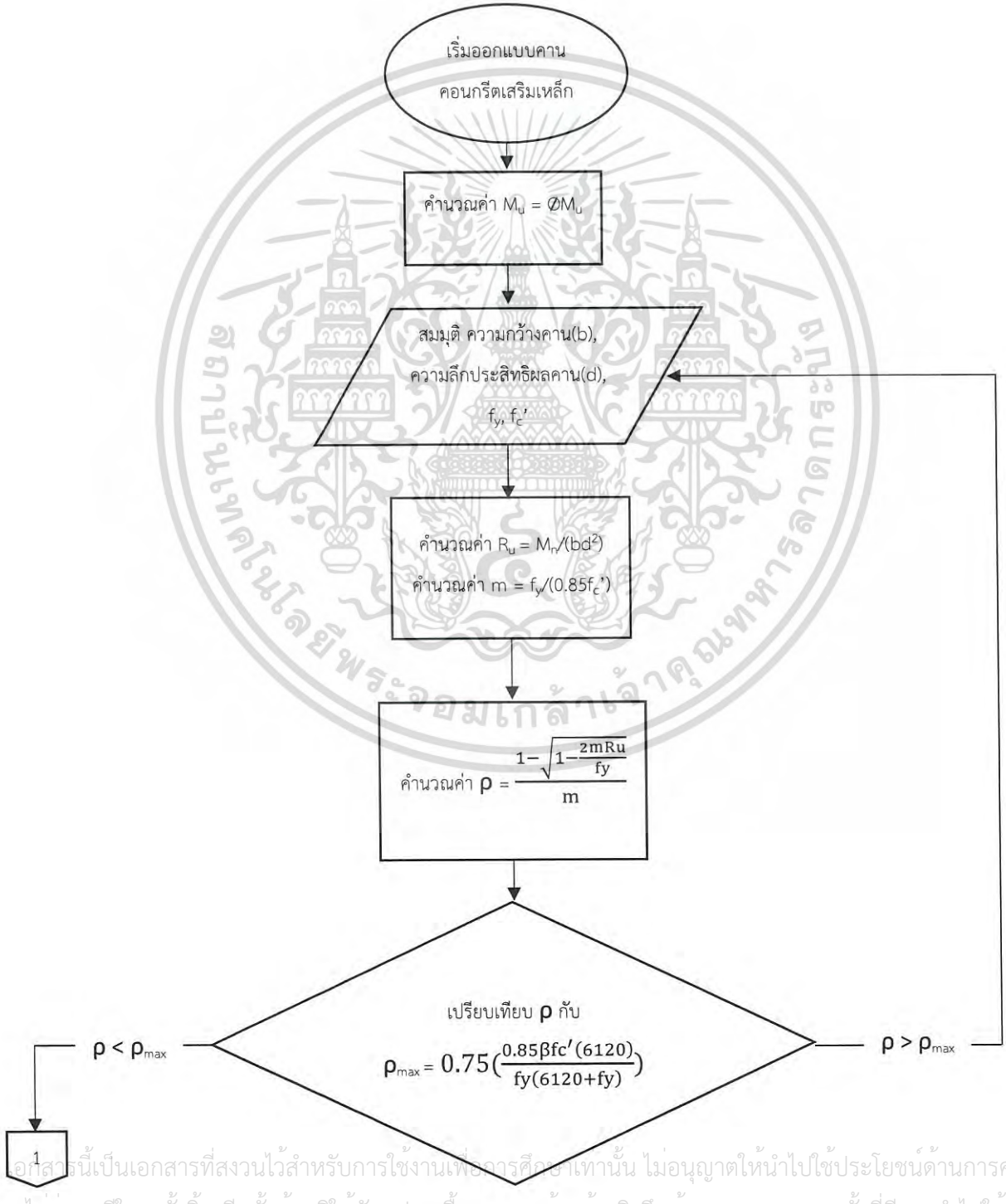
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หาปริมาณหน้าตัดเหล็กที่ต้องการเสริมจากสมการที่ 2.10

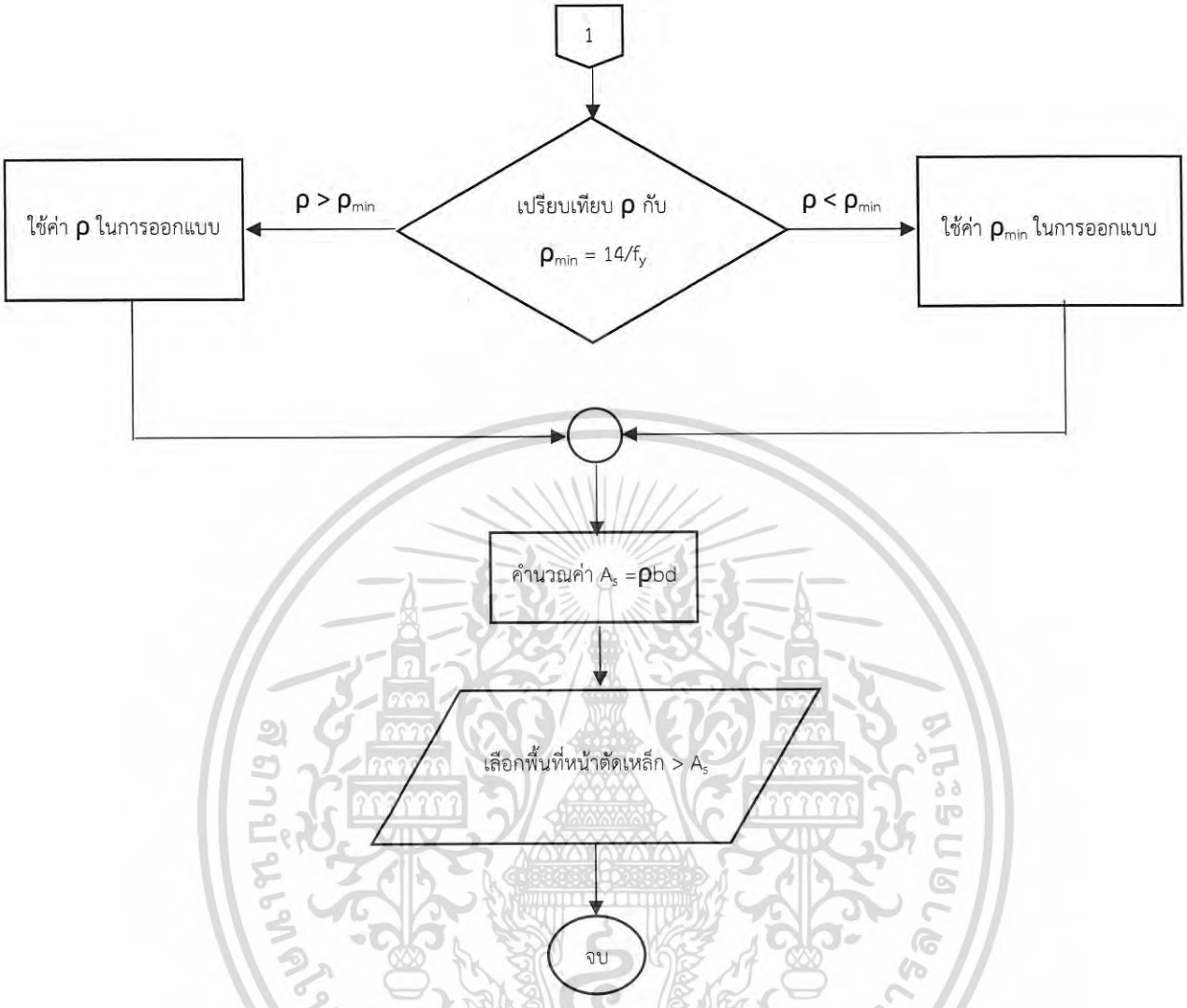
$$A_s = \rho bd \tag{2.10}$$

จากนั้นเลือกขนาดเหล็กและจำนวนให้เพียงพอกับปริมาณหน้าตัดเหล็กที่ต้องการเสริม

รูปที่ 2.1 ผังการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.6 วิธีการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมทางขวางในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1) วิเคราะห์โครงสร้างโดยการนำน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วมาวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือนประลัย ณ หน้าตัดวิกฤต (V_{max}) จากนั้นนำค่าแรงเฉือนประลัย ณ หน้าตัดวิกฤต กับระยะจากผิวคอนกรีตส่วนที่รับแรงอัดถึงจุดเสริมเหล็ก (d) จากนั้นใช้สมบัติสามเหลี่ยมคล้าย จะได้ค่าแรงเฉือนประลัยที่ระยะ d (V_u)

2) คำนวณหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตล้วน (V_c) จากสมการที่ 2.11

$$V_c = 0.53bd(f_c')^{0.5} \qquad (2.11)$$

จากนั้นนำค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตล้วนคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง (Ø) จะได้เป็นค่า $ØV_c$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คำนวณหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมขวางทาง (V_s) ที่คูณด้วยตัวคูณลดกำลัง (Ø) จากสมการที่ 2.12

$$ØV_s = V_u - ØV_c \quad (2.12)$$

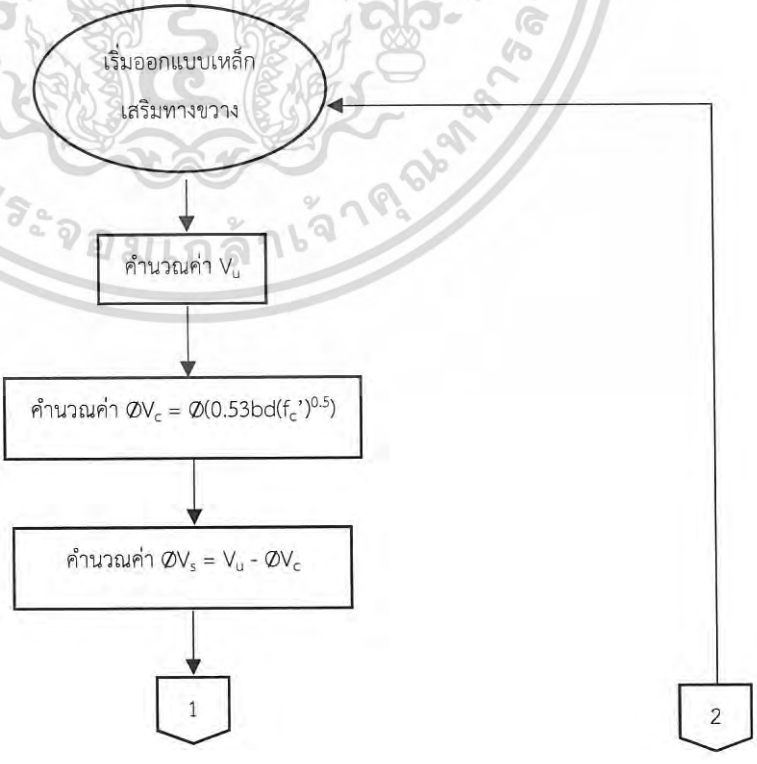
ตรวจสอบว่าค่า $ØV_s$ ต้องน้อยกว่า $2.1bd(f_c')^{0.5}$ ซึ่งถ้ามากกว่าต้องเพิ่มขนาดหน้าตัดคาน

4) สมมติพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมขวางทาง (A_v) จากนั้นหาระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมขวางทางในแต่ละเส้น (S) จากสมการที่ 2.13

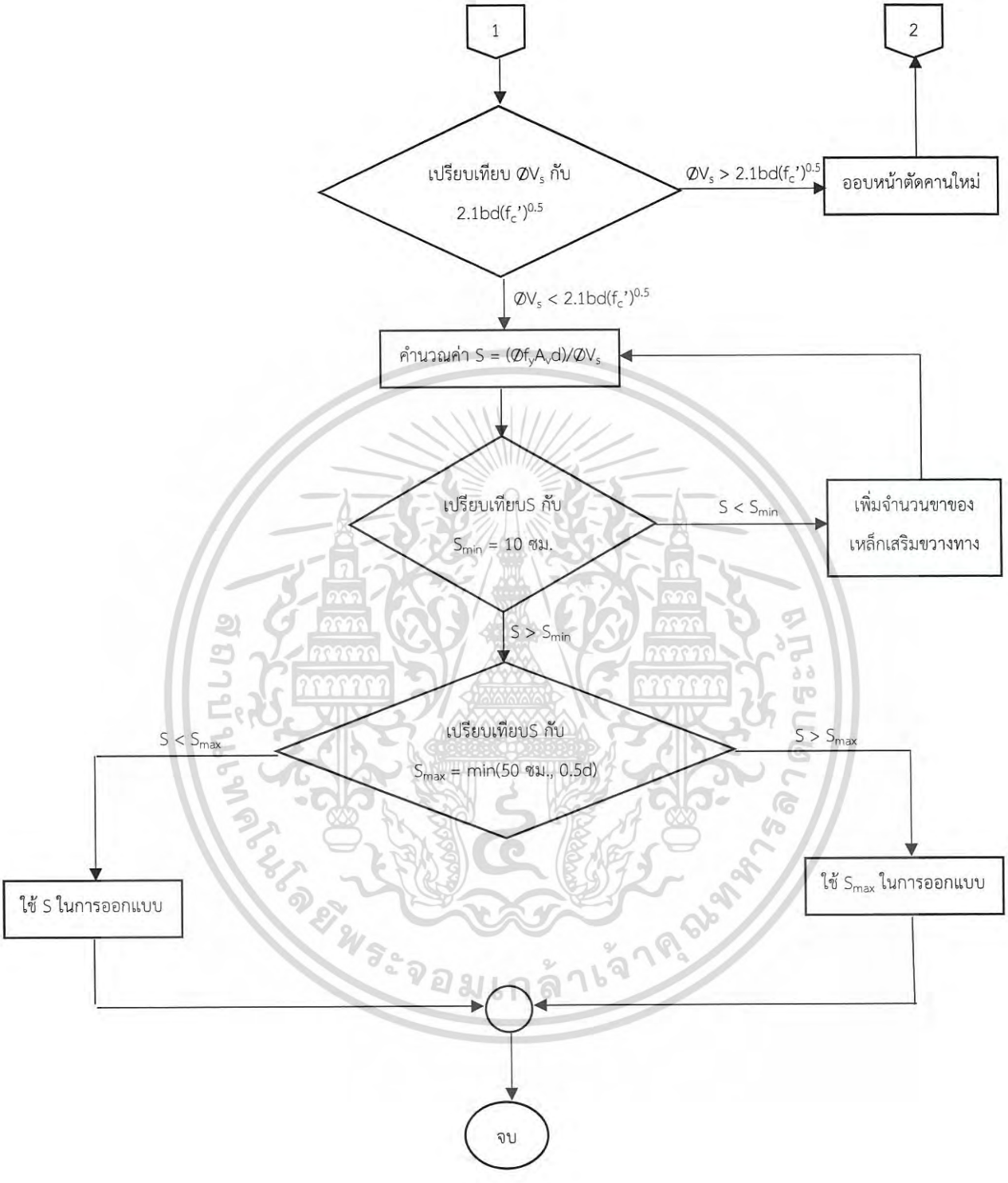
$$S = (Øf_yA_vd)/ØV_s \quad (2.13)$$

ตรวจสอบ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมขวางทางในแต่ละเส้นมากสุดที่ยอมรับได้ (S_{max}) เท่ากับค่าที่น้อยระหว่าง 60 ซม. กับ 0.5d ซึ่งถ้า S มากกว่า S_{max} ใช้ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมขวางทางเท่ากับ S_{max} และตรวจสอบ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมขวางทางในแต่ละเส้นน้อยสุดที่ยอมรับได้ (S_{min}) เท่ากับ 10 ซม. ซึ่งถ้า S น้อยกว่า S_{min} ให้เพิ่มจำนวนขาของเหล็กเสริมขวางทาง

รูปที่ 2.2 ผังการออกแบบเหล็กเสริมทางขวางในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

2.7.1 การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

2.7.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

2. เทคอนกรีตส่วนแรกดังกล่าวลงในแบบ ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

4. นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ทำการหล่อหมวกหัวท้ายตามมาตรฐาน ASTM C 617-84

2.7.3 การคำนวณกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต หาได้จากสมการที่ 2.14

$$F_c' = P/A \qquad (2.14)$$

โดยที่ f_c' = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต, กก./ซม^2

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

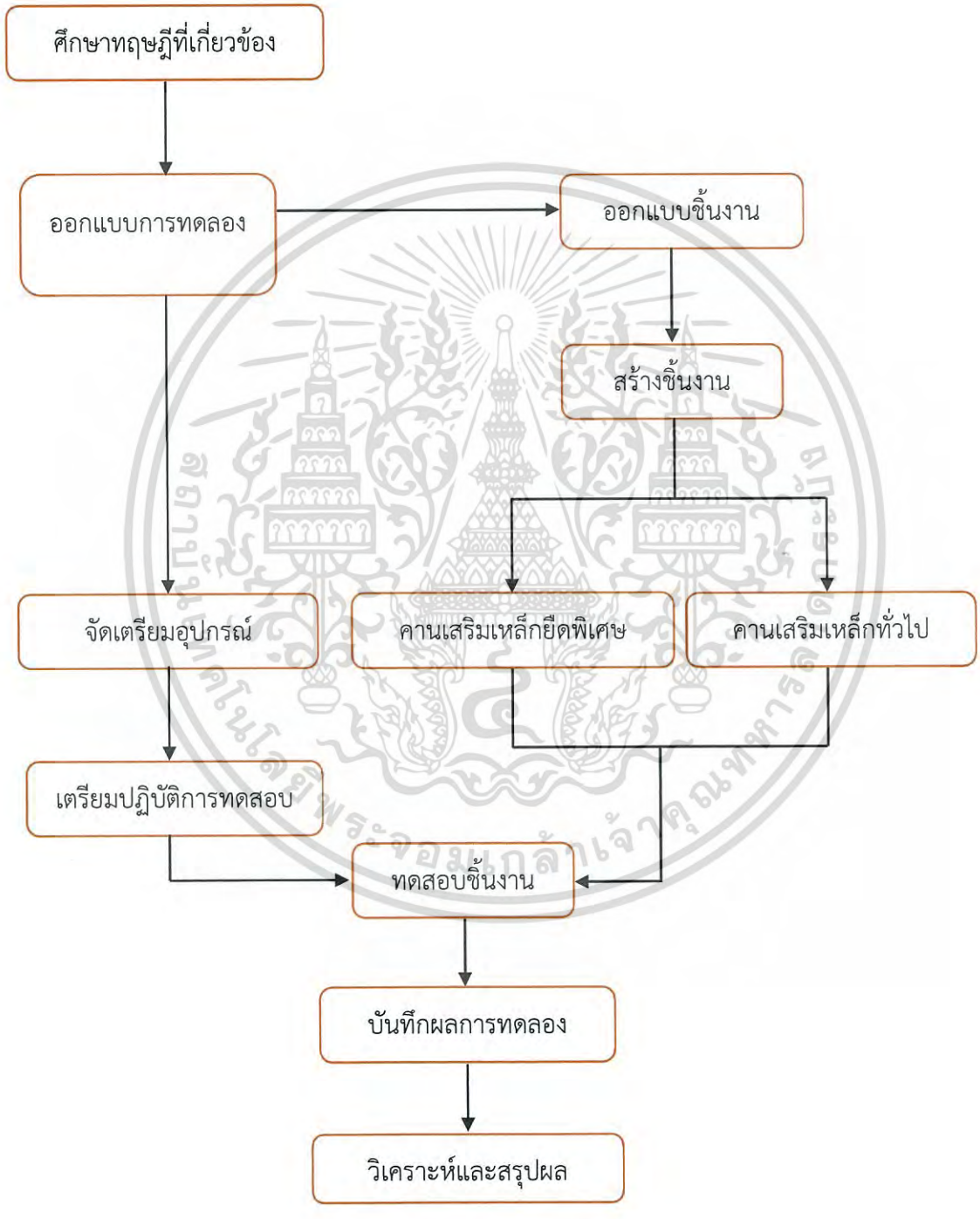
A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

$= (\frac{\pi D^2}{4})$, ซม^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

กำหนดให้ f'c = 180 ksc

ใช้คานขนาด 0.15 x 0.15 x 0.60 m ชนิดละ 5 ชิ้นในการทดลอง

จะได้ปริมาณคอนกรีตเป็น 0.0675 m^3 หรือประมาณ 0.1 m^3

หลังจากคำนวณแล้ว จะได้ส่วนผสมดังตาราง

ตารางที่ 3.1 ปริมาณวัสดุในการหล่อคานคอนกรีต

ลำดับ	รายการ		น้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	น้ำหนักจริง (กก.)	หมายเหตุ
1	Slump	8 – 10 ซม.		-	
2	ขนาดโตสุดของหิน	1 ซม.		-	
3	ปริมาณน้ำ		225 liter	22.5	
4	WCR	0.74		-	
5	ซีเมนต์		304	30.4	
6	หิน		684	68.4	
7	คอนกรีตสด		2285	228.5	
8	ทราย		1072	107.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3.1 สมมุติค่าสำหรับการออกแบบคาน

f_y =	4000	กก./ซม.^{2}
$f_{c'}$ =	180	กก./ซม.^{2}
b =	0.15	ม.
t =	0.15	ม.
d =	0.115	ม.
L =	0.6	ม.

น้ำหนักบรรทุกคงที่(DL) จากน้ำหนักคาน 2400 x 0.15 x 0.15 = 54 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป(LL) = 6750 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกใช้งานสูงสุด =1.4(DL) + 2.0(LL) = 1.4(54) + 1.7(45000x0.15) = 11550.6 กก./ม.

3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบคาน

$$M_u = \frac{wL^2}{8} = \frac{11550.6\times0.6^2}{8} = 519.777 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{519.777}{0.9} = 577.53 \text{ กก.-ม.}$$

$$m = \frac{fy}{0.85fc'} = \frac{4000}{0.85 \times 180} = 26.144$$

$$R_u = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{577.53}{15 \times 11.5^2} = 29.113$$

$$\rho = \frac{1-\sqrt{1-\frac{2mRu}{fy}}}{m} = \frac{1-\sqrt{1-\frac{2\times26.144\times0.29113}{4000}}}{26.144} = 0.008146$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy} = \frac{14}{4000} = 0.0035$$

$$\rho_{max} = 0.75\left(\frac{0.85\beta fc'(6120)}{fy(6120+fy)}\right) = 0.75\left(\frac{0.85 \times 0.85 \times 180(6120)}{4000(6120+4000)}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\rho_{max} = 0.01474$

เพราะฉะนั้น $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

ดังนั้น ใช้ ρ = 0.008146

$A_s = \rho bd = 0.008146 \times 15 \times 11.5 = 1.405$ ซม.^{2}

ดังนั้น ใช้เหล็กแกน DB12 2 เส้น

3.3.3 ออกแบบเหล็กปลอก

$$V_u = \frac{wL}{2} = \frac{11550.6 \times 0.60}{2} = 3{,}465.18 \text{ กก.}$$

$$V_n = \frac{Vu}{\emptyset} = \frac{3465.18}{0.85} = 4{,}076.6824 \text{ กก.}$$

$$V_c = 0.53\sqrt{fc'}bd = 0.53 \times \sqrt{180} \times 15 \times 11.5 = 1{,}226.5951 \text{ กก.}$$

$$\emptyset V_c = 1226.5951 \times 0.85 = 1{,}042.6058 \text{ กก.}$$

$$\frac{\emptyset Vc}{2} = \frac{1042.6058}{2} = 521.3029 \text{ กก.}$$

$$\emptyset V_s = V_u - \emptyset V_c = 3{,}465.18 - 1{,}042.6058 = 521.3029 \text{ กก.}$$

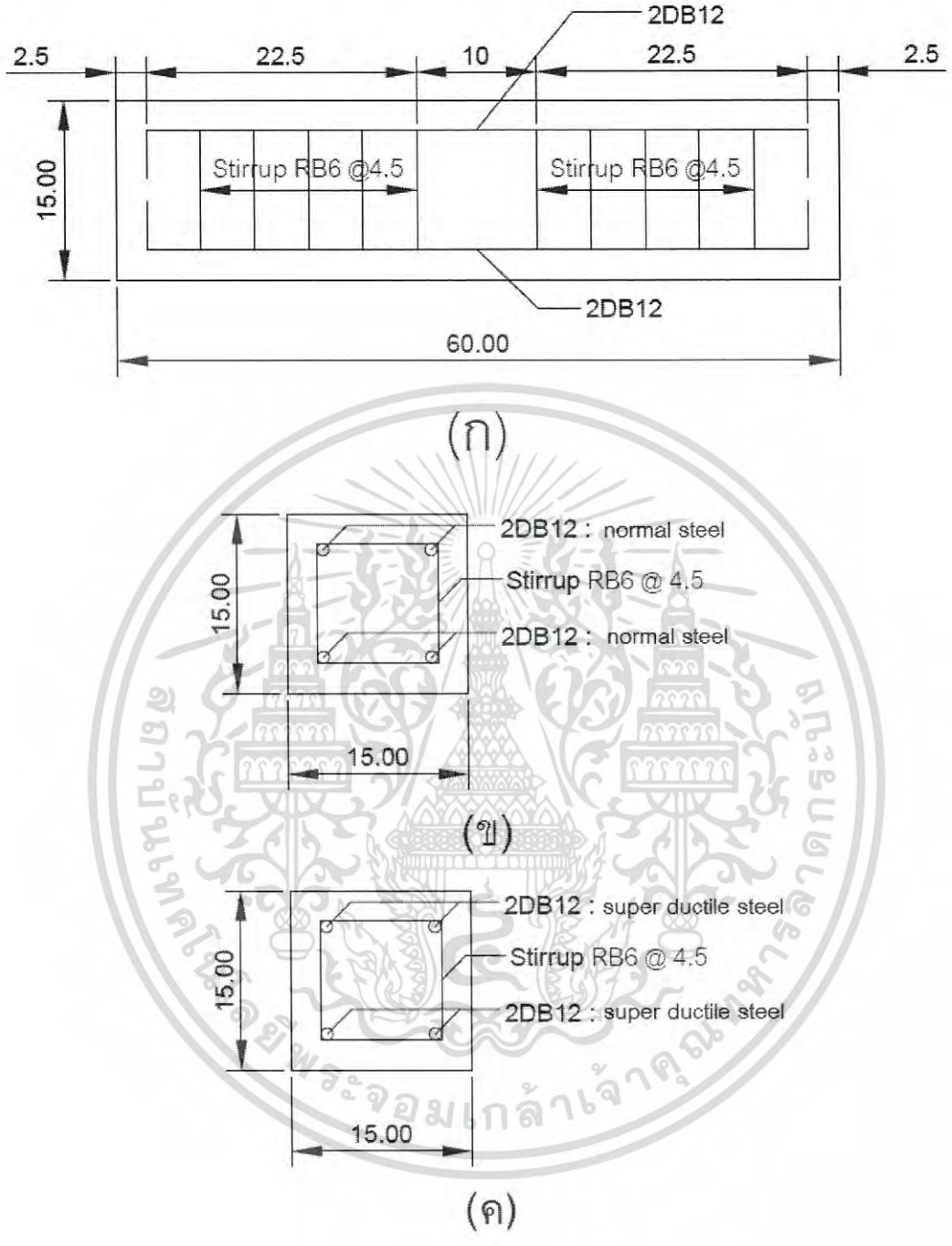
$$2.1\sqrt{fc'}bd = 2.1 \times \sqrt{180} \times 15 \times 11.5 = 4{,}131.0797 > \emptyset V_s$$

เพราะฉะนั้นเสริมเหล็กปลอกตามระยะ S

$$S = \frac{\emptyset fy(Av)d}{\emptyset Vs} = \frac{0.85 \times 4000 \times 0.283 \times 2 \times 11.5}{2422.5742} = 9.135 \text{ ซม.}$$

ดังนั้นใช้เหล็กปลอก RB6 2 ขา ระยะห่าง 5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หน่วย : เซนติเมตร

รูปที่ 3.2 แบบขยายการเสริมเหล็กของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมทั่วไป และเสริมเหล็กยืดพิเศษ โดยที่

(ก) ภาพตัดด้านข้างของตัวอย่าง

(ข) ภาพหน้าตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมทั่วไป

(ค) ภาพหน้าตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การวิเคราะห์หากำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด

$$\rho = \frac{As}{bd} = \frac{2.26}{15x11.5} = 0.013101$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy} = \frac{14}{4000} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{\beta 1 \bullet 0.85 \bullet fc' \bullet 6120}{fy(fy+6120)} = \frac{0.85 \bullet 0.85 \bullet 180 \bullet 6120}{4000(4000+6120)} = 0.019662$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_b$ แสดงว่าเป็นการวิบัติแบบคราก

a = ระยะความลึกของการกระจายหน่วยแรงอัดเทียบเท่า

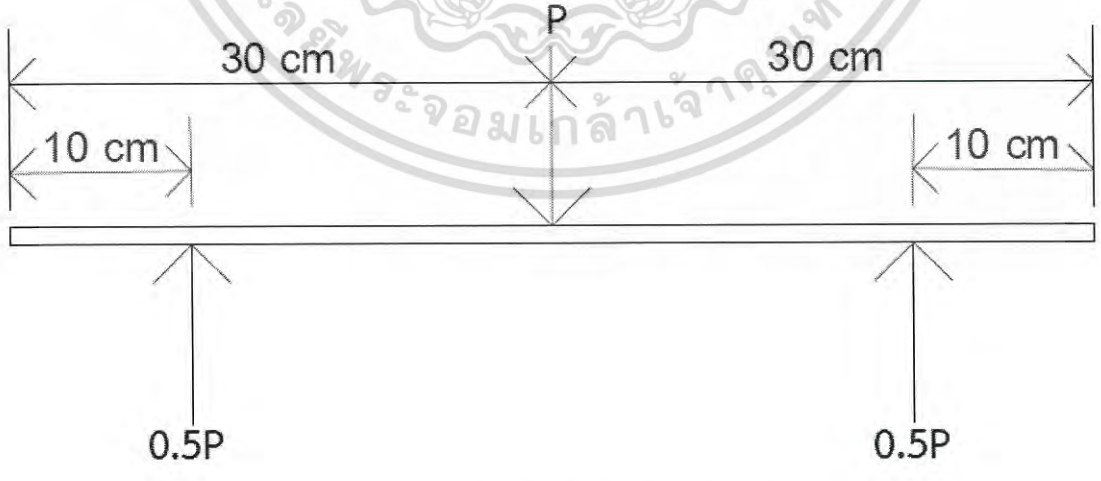
$$a = \frac{As \bullet fy}{0.85fc' \bullet b} = \frac{2.26 \bullet 4000}{0.85 \bullet 180 \bullet 15} = 3.9390 \text{ ซม.}$$

$$M_n = As \bullet fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 2.26 \bullet 4000\left(11.5 - \frac{3.939}{2}\right) = 86{,}155.75 \text{ kgซม.}$$

$$M_n = 861.5573 \text{ kgm}$$

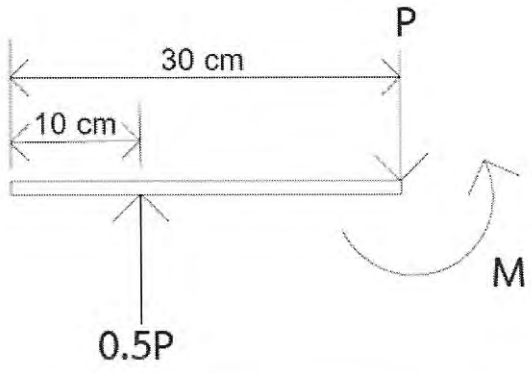
ดังนั้นกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 861.5573 กก.-ม.

3.3.5 การวิเคราะห์หาแรงที่ทำให้เกิดกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแรงอิสระ(Free Body Diagram) ของคานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแรงอิสระ(Free Body Diagram) ที่กึ่งกลางของคานทดสอบ

จากค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด สามารถหาค่าแรงดัดสูงสุดที่กระทำต่อคานจาก

$$M_n = \frac{P}{2}(0.3 - 0.1)$$

$$P = \frac{2Mn}{\frac{L}{2}-10} = \frac{2 \bullet 861.5573}{0.3-0.1} = 8{,}615.573 \text{ kg}$$

ดังนั้นแรงที่ทำให้เกิดกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 8,615.573 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

ทำการเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมทั่วไป 5 ตัวอย่าง และ คานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมยึดพิเศษ 5 ตัวอย่าง ตามรูปที่ 3.2 และใช้ส่วนผสมคอนกรีต ตามตารางที่ 3.1 โดยเริ่มดำเนินการตามวิธีดังต่อไปนี้

3.4.1 ทำการตัดเหล็ก และ ดัดเหล็กเสริม

ทำการดัด และ ตัดเหล็กเสริม ให้เป็นตามแบบตามรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.5 การตัดเหล็กเสริมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 การตัดเหล็กเสริมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การผูกเหล็กปลอม

ผูกเหล็กเสริมรับแรงเข้ากับเหล็กปลอกขนาด 10x10 ซม. ด้วยลวดผูกเหล็ก โดยใช้เหล็กปลอกตัวอย่างละ 10ตัว เว้นระยะห่างข้อละ 4.5 ซม. และเว้นระยะห่างตรงกลาง 10 ซม. ดังแบบในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.7 การผูกเหล็กเสริมรับแรงเข้ากับเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ผูกเหล็กเสริมเข้ากับเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การติด strain gauge

การติด strain gauge [5] ลงบนตัวอย่าง มีอุปกรณ์ในการติดตั้งได้แก่ strain gauge , กาวติด strain gauge , material coating , VM tape และ SB tape โดยมีวิธีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.4.3.1 ทำการเจียรเหล็กเสริมเพื่อเตรียมติด strain gauge ขนาดประมาณ 3 ซม.

รูปที่ 3.9 การเจียรชิ้นงานเพื่อติด strain gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติด strain gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 ใช้กาวติด strain gauge และกดไว้กับชิ้นงานเป็นเวลา 60 วินาที

รูปที่ 3.11 การทากาวเพื่อติด stain gauge ลงบนเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.3 อุ่น material coating ให้ละลายและทาเคลือบลงบน stain gauge 3 – 4 ครั้ง

รูปที่ 3.12 การเคลือบ stain gauge ด้วยวัสดุเคลือบ material coating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.4 ใช้ SB tape ปิดบริเวณที่เคลือบ ทำการตวัดสาย strain gauge กลับเป็นมุม 180°

รูปที่ 3.13 การติด SB tape เพื่อป้องกันน้ำจากคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.5 ใช้ VM tape ปิดบริเวณที่ติด strain gauge

รูปที่ 3.14 การติด VM tape เพื่อป้องกันการลัดวงจรของสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การหล่อคานคอนกรีตตัวอย่าง

การหล่อคานคอนกรีตตัวอย่าง มีขั้นตอนวิธีการดังต่อไปนี้

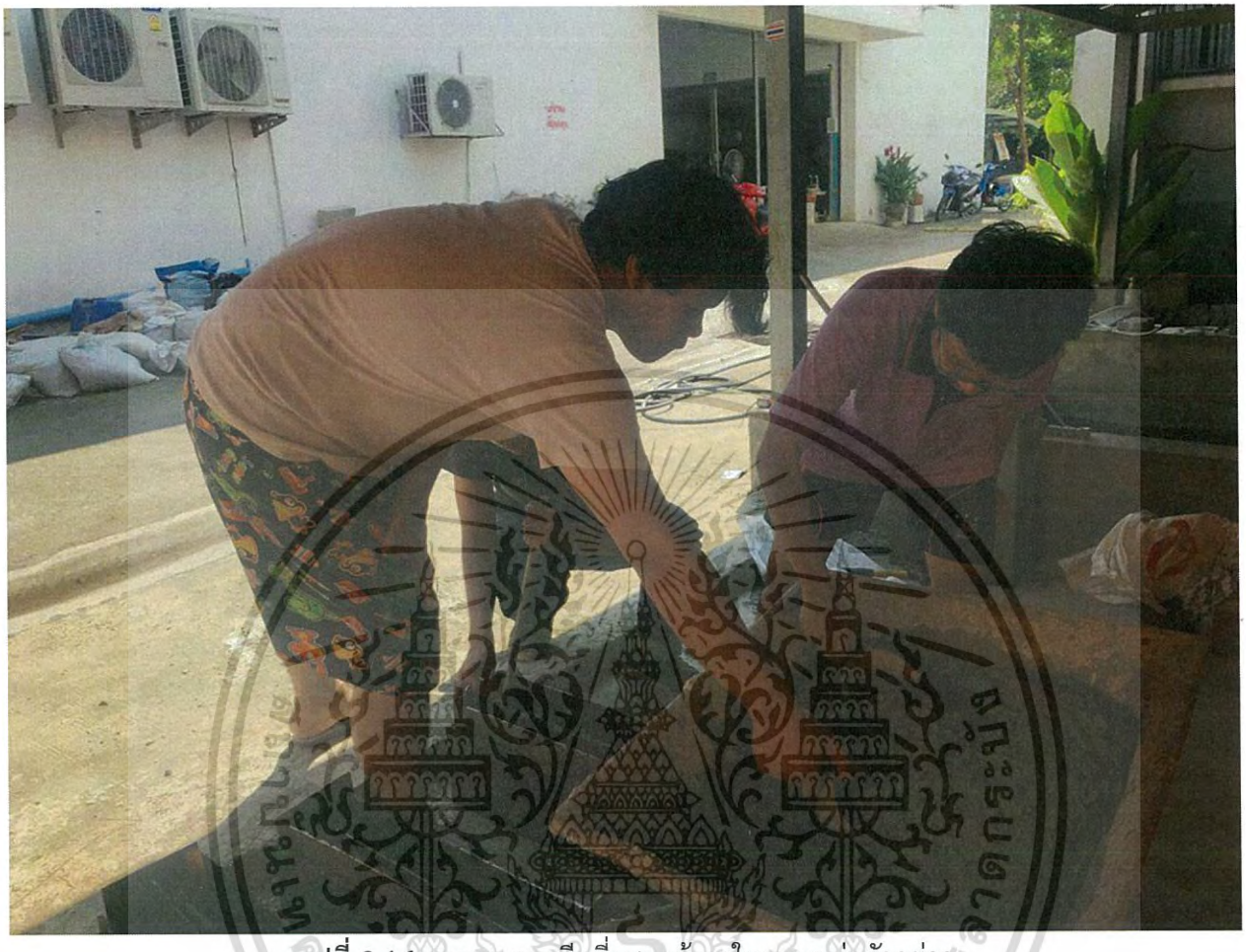
3.4.4.1 ทำการเตรียมแบบหล่อตัวอย่าง โดยการทาน้ำมันเคลือบผิวลงบนแบบหล่อคอนกรีต

3.4.4.2 ทำการผสมมวลรวมลงในเครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.15 การผสมมวลรวมลงในเครื่องผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.3 เทคอนกรีตที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อตัวอย่าง



รูปที่ 3.16 การเทคอนกรีตที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.4 ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นแกะตัวอย่างออกจากแบบหล่อคอนกรีต

รูปที่ 3.17 ชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการแกะออกจากแบบหล่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.5 นำชิ้นงานตัวอย่าง ลงไปบ่มน้ำเป็นเวลา 14 วัน

รูปที่ 3.18 การนำชิ้นงานตัวอย่างมาบ่มในบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนทดสอบตัวอย่าง

3.5.1 การเตรียมการทดสอบตัวอย่าง

3.5.1.1 เตรียมเครื่อง Universal testing machine ที่กดแรงได้มากกว่า 20 ตัน

3.5.1.2 เตรียมฐานรอบรับสำหรับตัวอย่าง ให้มีระยะห่างระหว่าง ซับพอร์ท 2 ข้างเท่ากับ 40 เซนติเมตร

3.5.1.3 เตรียมหัวกดแบบ point load

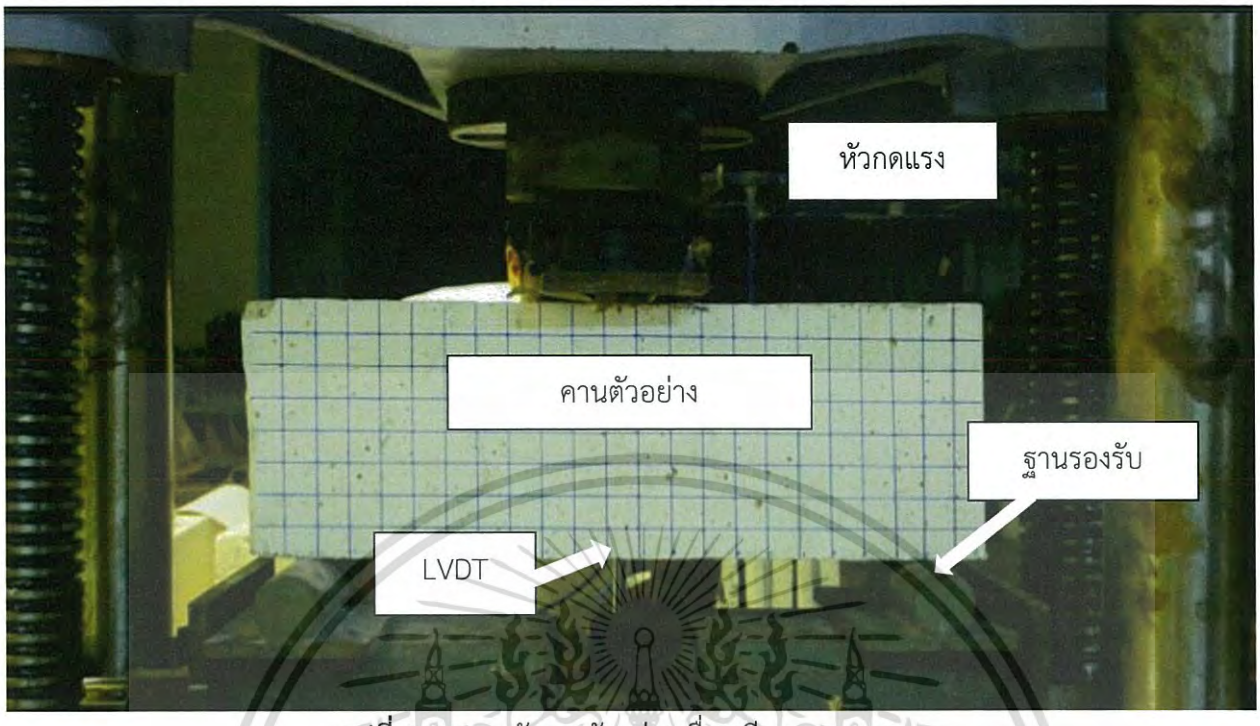
3.5.1.4 เตรียม LVDT หรือ ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น เพื่อวัดค่าการแอ่นตัว

3.5.1.5 เตรียม Data Logger เชื่อต่อกับ LVDT และ Stain gauge เพื่อแปลงข้อมูลที่ได้ไปเป็นข่อมูลดิจิตอล ในรูป ข้อมูลต่อเวลา

3.5.2 การทดสอบตัวอย่าง

ทำการติดตั้งชิ้นงานทดสอบ โดยเริ่มจากติดตั้งฐานรองรับให้มีระยะห่าง 10 ซม. จากขอบนอกของคาน วางคานตัวอย่างลงบนฐานรองรับ ติดตั้งหัวกดที่มีลักษณะการให้แรงแบบจุดที่เครื่องทดสอบจากนั้นทำการติดตั้ง LVDT บริเวณกึ่งกลางคานเพื่อวัดระยะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของคาน จากนั้นติดตั้ง Strain gauge เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดแล้ว จึงเริ่มทำการทดสอบโดยการใส่แรงกระทำลงบนกึ่งกลางคาน การติดตั้งชิ้นงานทดสอบมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การจัดวางตัวอย่างเพื่อเตรียมการทดสอบ

ทดสอบด้วยการเคลื่อนที่ของหัวกดลง ด้วยอัตรา 0.155 mm/sec โดยระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกค่าแรง ค่าการโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางคานและค่าความเครียดของเหล็กเสริม จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกร้าว วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.6 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกับค่าการโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางคาน นำความสัมพันธ์ที่ได้มาคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟซึ่งเป็นค่าพลังงานสะสม[6] ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เปรียบเทียบค่าพลังสะสมของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษและจากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดของเหล็กเสริมในคานโดยการวัดค่าจาก Strain gauge กับเวลา เปรียบเทียบความสัมพันธ์ดังกล่าวของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปกับของคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

3.7.1 การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2.ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

3.7.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

4. นำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ทำการหล่อหมวกหัวท้ายตามมาตรฐาน ASTM C 617-84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหากำลังรับแรงอัดประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย

3.8.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัดวัสดุทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง แต่ละชิ้นต้องยาว 1.00-1.50 ม.

3.8.2 วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักและวัดความยาวเหล็กเส้นข้ออ้อยที่นำมาทดสอบ เพื่อหาน้ำหนักกิโลกรัมต่อเมตร

2. การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง อาจทำได้โดยการนำค่าน้ำหนักเหล็กและความยาวเหล็กที่จดบันทึกไว้จากขั้นตอนแรก และจากสมการ $D = \sqrt{\frac{162w}{L}}$ เพื่อหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย โดยที่ w คือน้ำหนักของเหล็กเส้น หน่วยเป็น กิโลกรัม และ L คือ ความยาวของเหล็กเส้น หน่วยเป็นเมตร

3. นำเส้นผ่าศูนย์กลางที่เป็นขนาดของเส้นเหล็กตามมาตรฐานไปลบด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย จะได้ค่า เส้นผ่านศูนย์กลางที่คลาดเคลื่อน(Error of Diameter) ซึ่งความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางที่กำหนดตามมาตรฐานไม่ควรเกินค่าที่มาตรฐานกำหนด

4. นำชิ้นทดสอบใส่ในเครื่องทดสอบแรงดึง

5. เริ่มให้แรงดึงกระทำตามกำหนด เตรียมบันทึกค่าแรงและการยืดตัว เพิ่มแรงกระทำเป็นช่วงๆ เท่ากัน ทำการทดสอบจนกระทั่งถึงจุดคราก (Yield) ซึ่งสามารถสังเกตได้โดย เมื่อเราให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่เข็มบนหน้าปัดจะคงที่อยู่ขณะหนึ่ง แสดงว่า เหล็กตัวอย่างกำลังเกิดการคราก และเดินเครื่องต่อไปจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน

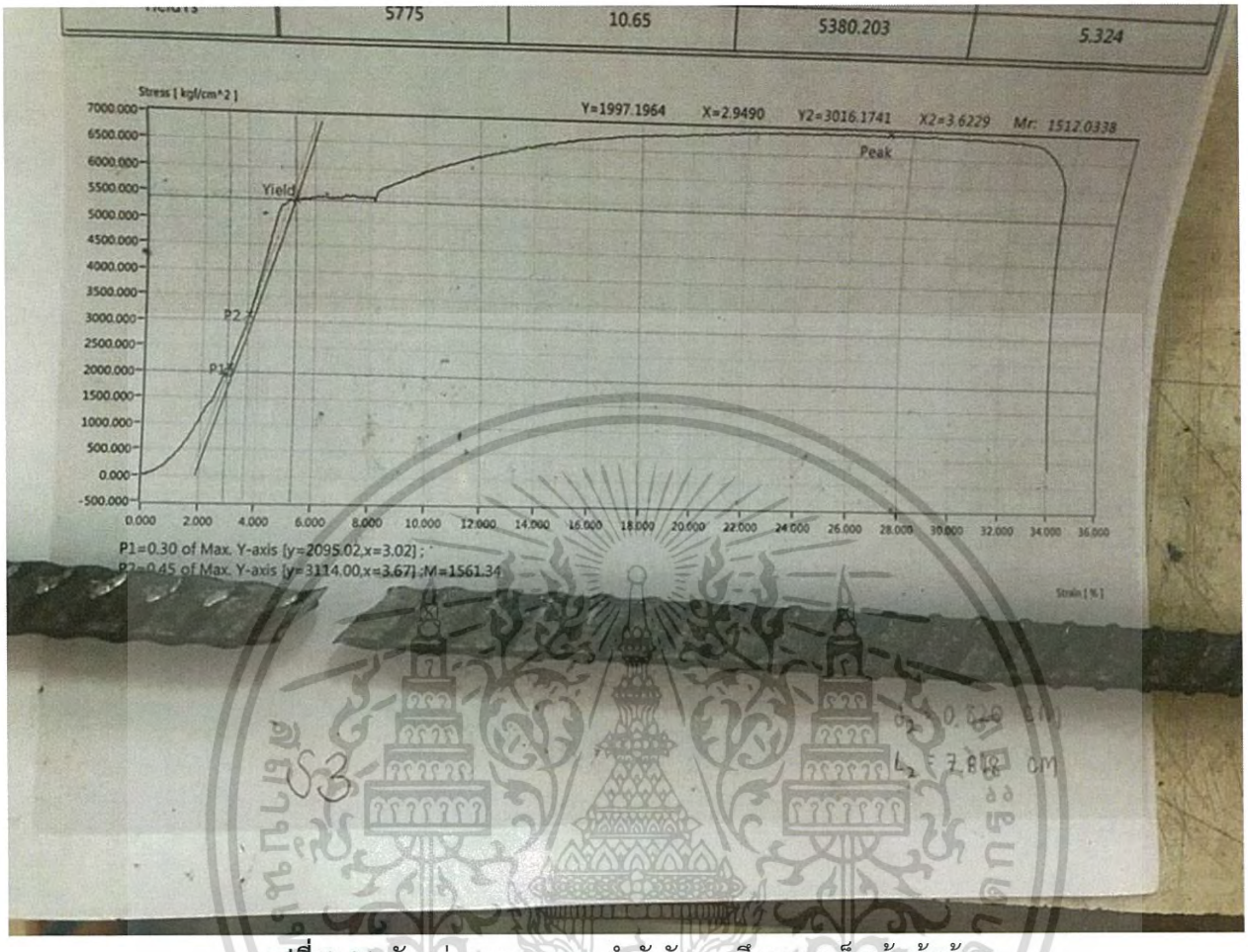
6. ให้ทำการบันทึกแรง ณ จุดคราก และ จุดที่ชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน

7. นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ แล้วนำมาต่อกันให้เหมือนลักษณะก่อนขาดแล้วทำการวัดระยะห่างระหว่างจุดที่ทำเครื่องหมายกับระยะการวัด(Gauge Length)เดิม

10.วัดขนาดภาคตัดขวางส่วนที่เล็กที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เขียน ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียด จากผลที่ได้หลังจากการทกสอบ



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด

1. เตรียมพื้นที่สำหรับวางกรวย ควรเป็นพื้นที่แข็ง ราบเรียบและไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อวางกรวยเรียบร้อยแล้ว ใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบกดลงบนที่สำหรับเท้าเหยียบให้แน่น

2. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆเทใส่ลงในกรวย โดยเทแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรเฉลี่ยเท่าๆกัน และแต่ละชั้นให้ใช้กระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง ให้พยายามเติมคอนกรีตให้เต็ม เสร็จแล้วปาดผิวบนให้เรียบ

3. ค่อยๆยกกรวยขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

4. ให้วัดระยะการยุบตัวของคอนกรีตทันที โดยนำกรวยที่ยกออกมาวางข้างๆเอาเหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบกรวย ให้ปลายเหล็กยื่นเข้ามาเหนือตัวอย่างคอนกรีตที่ยุบตัว แล้วใช้บรรทัดเหล็กวัดระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด

จากการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด พบว่า มีระยะยุบตัว เท่ากับ 8 ซม. ซึ่งระยะการยุบตัวอยู่ในช่วง 8-10 ซม. แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่ใช้เทคาน พื้นที่มีอุปกรณ์เครื่องกลเขย่าให้แน่น

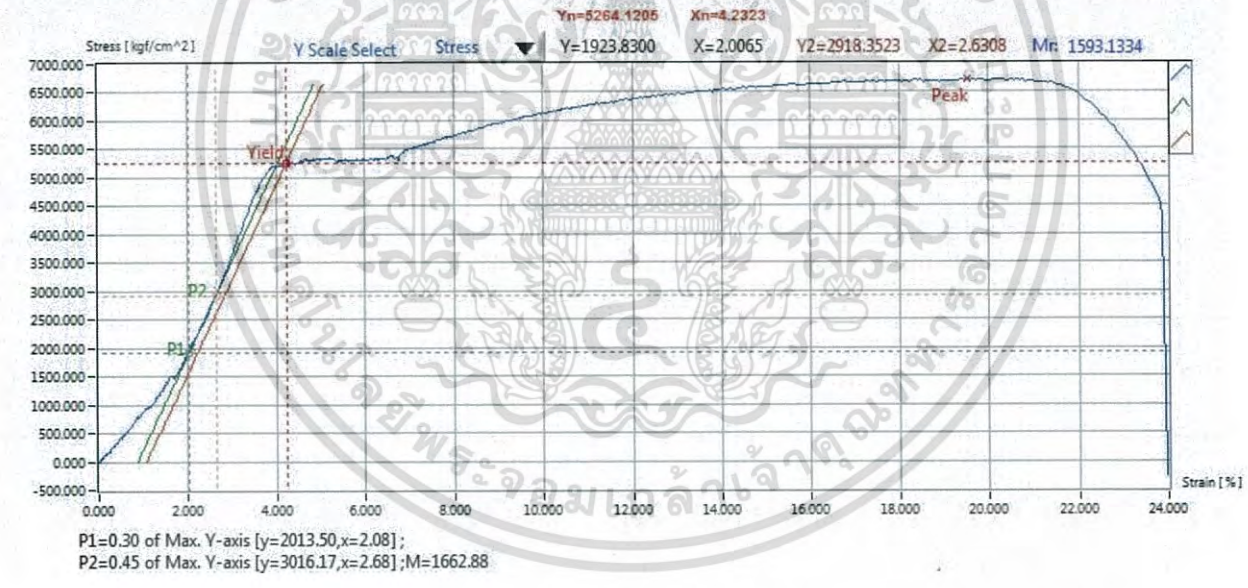
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อย

1.Customer :
2.Operator : Lab
3.Lot No. : DB12
4.Date : 2018/4/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 25
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : ASTM A370
9.Specimen : DB 12 SD 40
10.Spec.Length : 200.00mm
11.Spec.Area : 107.3294mm^2
12.Total Energy: 2199.913J
13.Young's Modu. : 166076.809kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K32\System\@test-6.tst
16.Spec.Length of Break : 247.58 mm,Strain=23.792%

	Load(kgf)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	7209	39.08	6717.101	19.542
Break	4943	47.58	4605.779	23.792
YieldYs	5650	8.46	5264.120	4.232



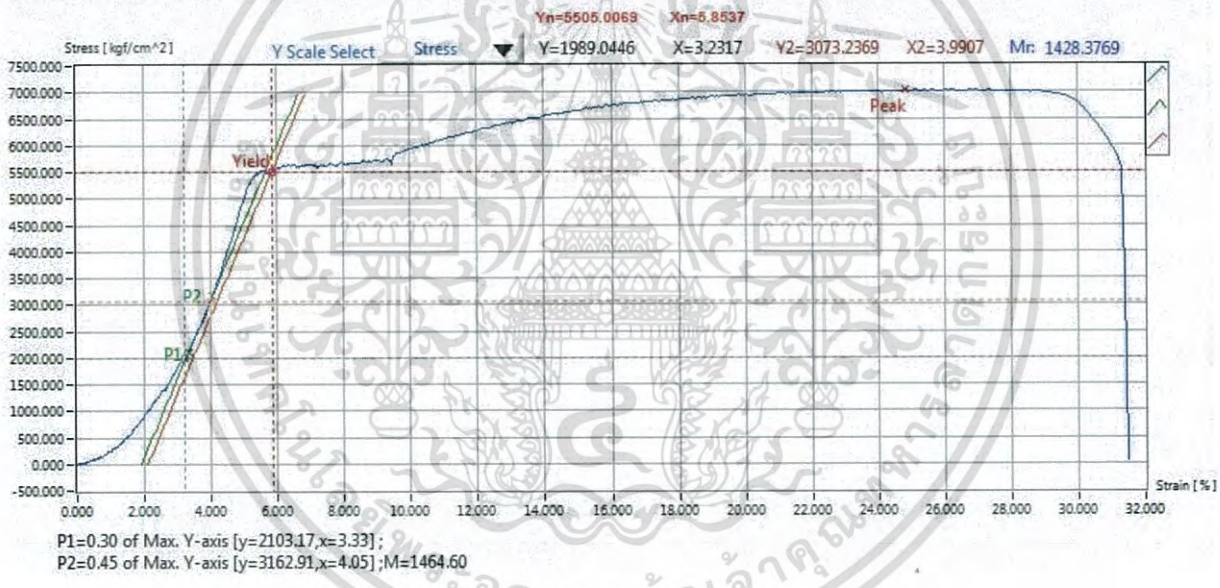
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 1

รูปที่ 4.2 เหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 1 จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงพบว่า แรงที่ทำให้เหล็กเกิดการครากเท่ากับ 5650 กิโลกรัม แรงสูงสุดที่ทำให้เหล็กเกิดการวิบัติเท่ากับ 7,209 กิโลกรัม มีค่าความเครียด (Strain) เท่ากับ 23.792 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Customer :
2.Operator : Lab
3.Lot No. : DB12
4.Date : 2018/4/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 25
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : ASTM A370
9.Specimen : DB 12 SD 40
10.Spec.Length : 200.00mm
11.Spec.Area : 107.3294mm^2
12.Total Energy: 2854.249J
13.Young's Modu. : 146423.828kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K32\System\@test-8.tst
16.Spec.Length of Break : 262.59 mm,Strain=31.295%

	Load(kgf)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	7542	49.68	7026.870	24.839
Break	5958	62.59	5551.391	31.295
YieldYs	5908	11.71	5505.007	5.854



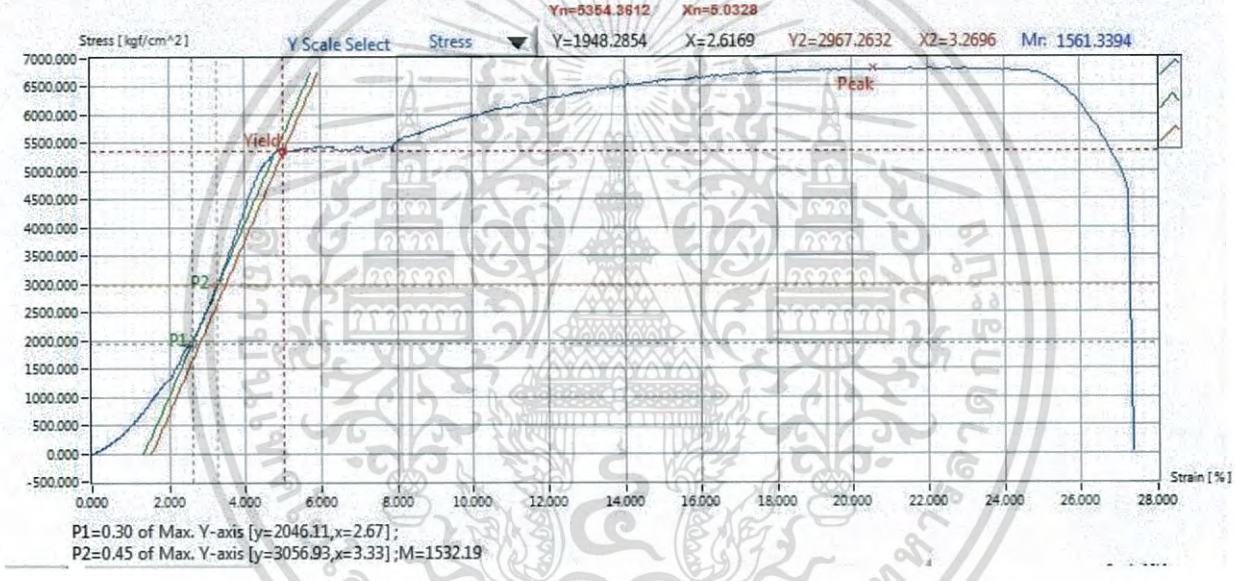
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 2

รูปที่ 4.3 เหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 2 จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงพบว่า แรงที่ทำให้เหล็กเกิดการครากเท่ากับ 5908 กิโลกรัม แรงสูงสุดที่ทำให้เหล็กเกิดการวิบัติเท่ากับ 7,542 กิโลกรัม มีค่าความเครียด (Strain) เท่ากับ 31.295 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Customer :
2.Operator : Lab
3.Lot No. : DB12
4.Date : 2018/4/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 25
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : ASTM A370
9.Specimen : DB 12 SD 40
10.Spec.Length : 200.00mm
11.Spec.Area : 107.3294mm^2
12.Total Energy: 2269.539J
13.Young's Modu. : 157194.868kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K32\System\@test-9.tst
16.Spec.Length of Break : 254.31 mm,Strain=27.154%

	Load(kgf)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	7314	41.13	6814.923	20.564
Break	5180	54.31	4825.879	27.154
YieldYs	5747	10.07	5354.361	5.033



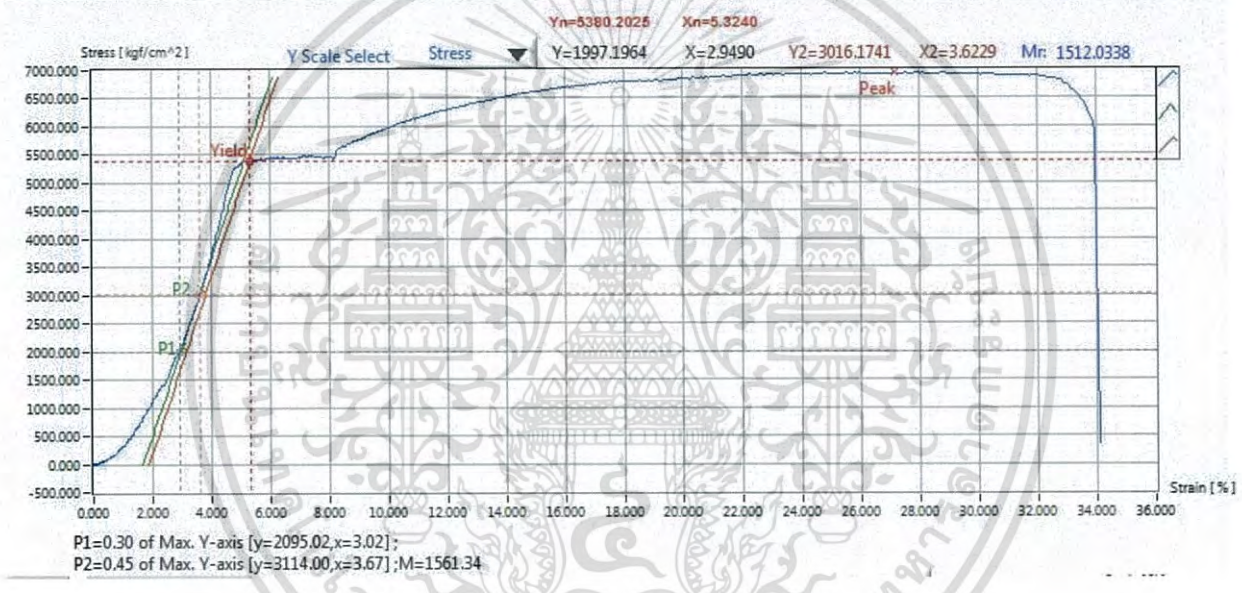
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.4 เหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป ชิ้นตัวอย่างที่ 3 จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงพบว่า แรงที่ทำให้เหล็กเกิดการครากเท่ากับ 5747 กิโลกรัม แรงสูงสุดที่ทำให้เหล็กเกิดการวิบัติเท่ากับ 7314 กิโลกรัม มีค่าความเครียด (Strain) เท่ากับ 27.154 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Customer :
2.Operator : Lab
3.Lot No. : DB12
4.Date : 2018/4/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 25
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : ASTM A370
9.Specimen : DB 12 SD 40
10.Spec.Length : 200.00mm
11.Spec.Area : 107.3294mm^2
12.Total Energy: 3198.857J
13.Young's Modu. : 155380.179kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K32\System\@test-1.tst
16.Spec.Length of Break : 267.76 mm,Strain=33.878%

	Load(kgf)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	7454	54.28	6945.352	27.139
Break	6518	67.76	6073.107	33.878
YieldYs	5775	10.65	5380.203	5.324



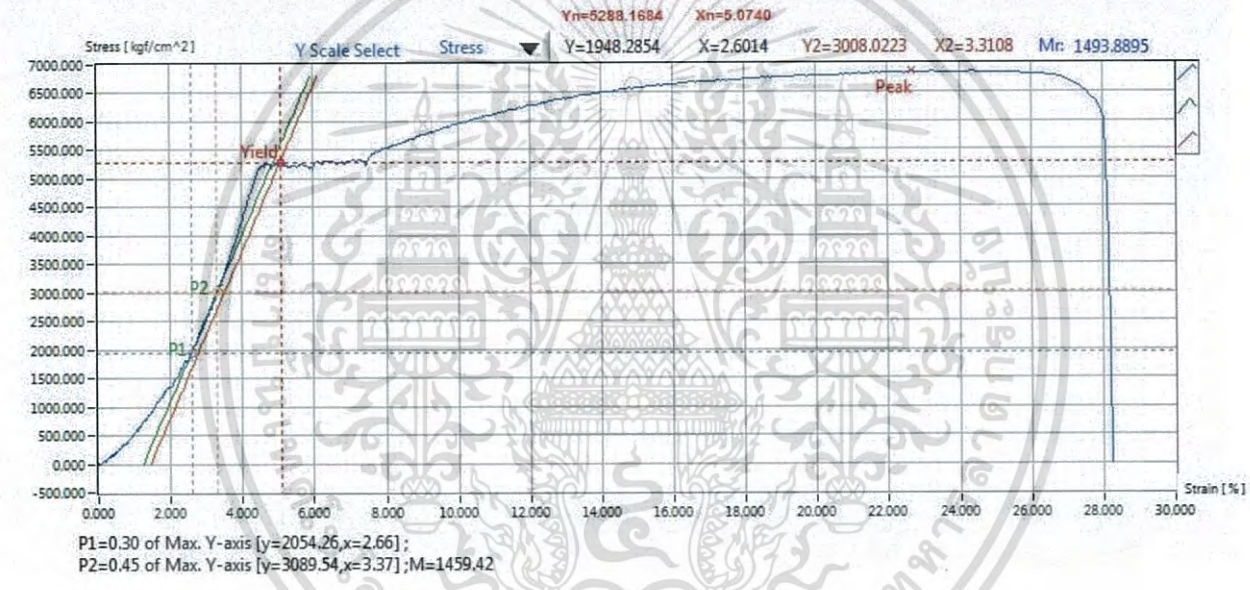
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 1

รูปที่ 4.5 เหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 1 จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงพบว่า แรงที่ทำให้เหล็กเกิดการคราก เท่ากับ 5775 กิโลกรัม แรงสูงสุดที่ทำให้เหล็กเกิดการวิบัติเท่ากับ 7454 กิโลกรัม มีค่าความเครียด (Strain) เท่ากับ 33.878 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Customer :
2.Operator : Lab
3.Lot No. : DB12
4.Date : 2018/4/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 25
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : ASTM A370
9.Specimen : DB 12 SD 40
10.Spec.Length : 200.00mm
11.Spec.Area : 107.3294mm^2
12.Total Energy: 2562.924J
13.Young's Modu. : 151665.354kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K32\System\@test-4.tst
16.Spec.Length of Break : 256.11 mm,Strain=28.054%

	Load(kgf)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	7367	45.35	6863.834	22.677
Break	6466	56.11	6024.196	28.054
YieldYs	5676	10.15	5288.168	5.074



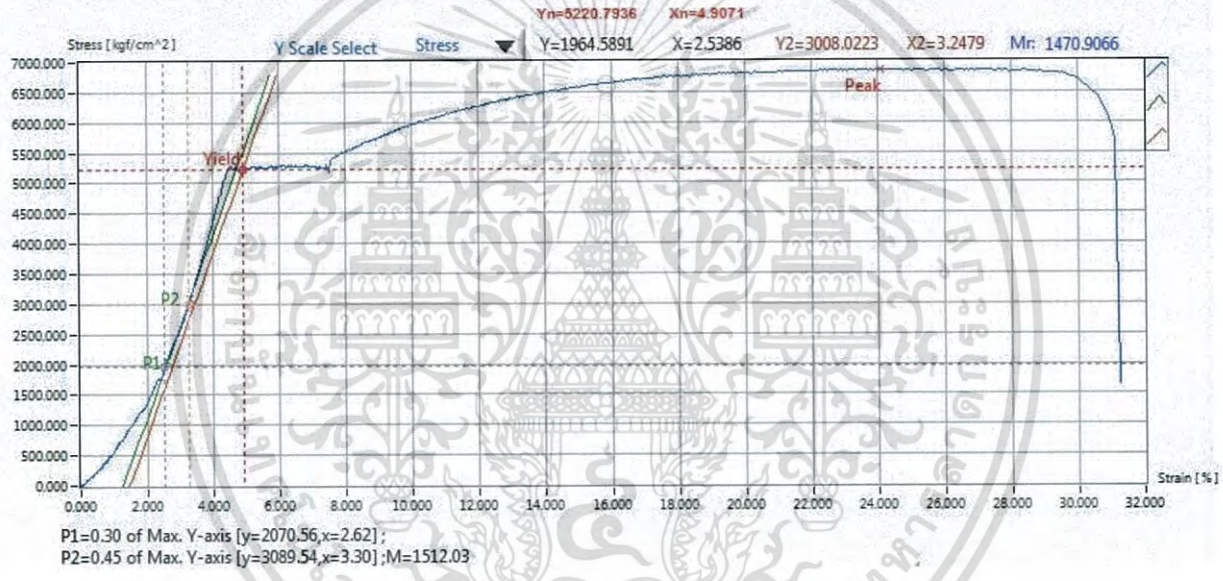
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 2

รูปที่ 4.6 เหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 2 จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงพบว่า แรงที่ทำให้เหล็กเกิดการครากเท่ากับ 5676 กิโลกรัม แรงสูงสุดที่ทำให้เหล็กเกิดการวิบัติเท่ากับ 7367 กิโลกรัม มีค่าความเครียด (Strain) เท่ากับ 28.054 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Customer :
2.Operator : Lab
3.Lot No. : DB12
4.Date : 2018/4/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 25
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : ASTM A370
9.Specimen : DB 12 SD 40
10.Spec.Length : 200.00mm
11.Spec.Area : 107.3294mm^2
12.Total Energy: 2776.909J
13.Young's Modu. : 153863.712kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K32\System\@test-7.tst
16.Spec.Length of Break : 262.11 mm,Strain=31.056%

	Load(kgf)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	7367	48.22	6863.834	24.111
Break	6334	62.11	5901.919	31.056
YieldYs	5603	9.81	5220.794	4.907



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.7 เหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ ชิ้นตัวอย่างที่ 3 จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงพบว่า แรงที่ทำให้เหล็กเกิดการครากเท่ากับ 5603 กิโลกรัม แรงสูงสุดที่ทำให้เหล็กเกิดการวิบัติเท่ากับ 6334 กิโลกรัม มีค่าความเครียด (Strain) เท่ากับ 31.056 %

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และตารางที่ ข.2 พบว่าค่าความยืดในช่วงความยาว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.38 % มีค่ามากกว่า 15 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นข้ออ้อย SD 40 ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 มีค่าความคลาดเคลื่อนมวลต่อเมตร (Error of Weight) เฉลี่ยเท่ากับ 3.79% มีค่าน้อยกว่า 5 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคลาดเคลื่อนมวลต่อเมตรของเหล็กเส้น DB12 ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 20-2548 มีค่าความเครียด (Strain) เฉลี่ยเท่ากับ 27.41% มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยที่จุดคลาก เท่ากับ 5306.41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยที่วิบัติ เท่ากับ 6765.96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

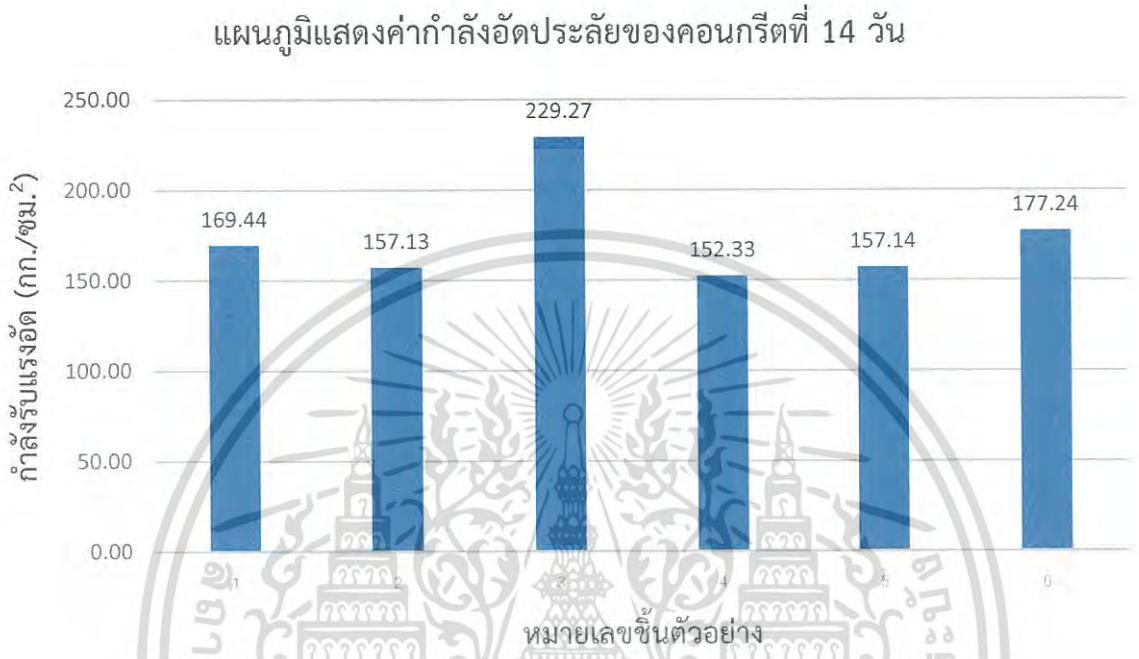
จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ รูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และตารางที่ ข.3 พบว่า ค่าความยืดในช่วงความยาว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Elongation) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.96 % มีค่ามากกว่า 15 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นข้ออ้อย SD 40 ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 20-2543 มีค่าความคลาดเคลื่อนมวลต่อเมตร (Error of Weight) เฉลี่ยเท่ากับ 2.67 % มีค่าน้อยกว่า 5 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามค่าความคลาดเคลื่อนมวลต่อเมตรของเหล็กเส้น DB12 ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 20-2548 มีค่าความเครียด (Strain) เฉลี่ยเท่ากับ 31.00% มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยที่จุดคลาก เท่ากับ 5169.64 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยที่วิบัติ เท่ากับ 6725.93 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าความยืด (Elongation) เฉลี่ยระหว่างเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ พบว่าเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษจะมีค่ามากกว่า 5.58% เมื่อคิดเป็นสัดส่วนจะได้ว่าเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษมีค่าความยืด (Elongation) มากกว่าร้อยละ 27.37 ของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป

เมื่อเปรียบเทียบค่า Strain เฉลี่ยระหว่างเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ พบว่าเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษจะมีค่ามากกว่า 3.58% เมื่อคิดเป็นสัดส่วนจะได้ว่าเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษมีค่าความยืด (Elongation) มากกว่าร้อยละ 13.07 ของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต



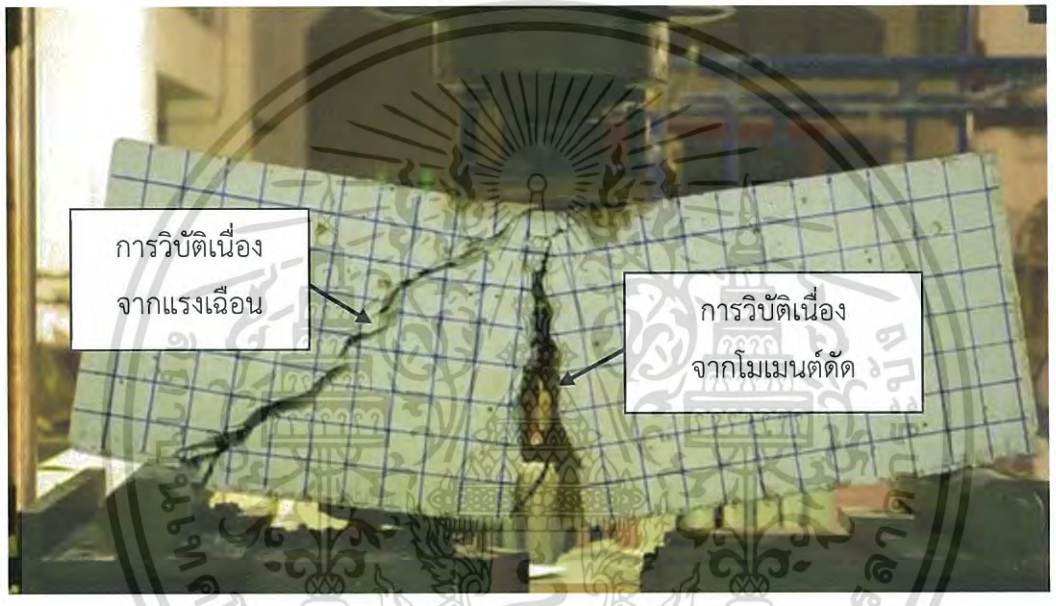
รูปที่ 4.8 แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 14 วัน

การทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 6 ตัวอย่างเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ โดยตัวอย่าง 1 ถึง 3 นำมาจากคอนกรีตที่ใช้หล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ออ้อยทั่วไป และตัวอย่าง 4 ถึง 6 นำมาจากคอนกรีตที่ใช้หล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ออ้อยยืดพิเศษ จากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 6 ตัวอย่างที่อายุ 14 วัน พบว่า คอนกรีตตัวอย่างชิ้นที่ 1, คอนกรีตตัวอย่างชิ้นที่ 2,คอนกรีตตัวอย่างชิ้นที่ 3,คอนกรีตตัวอย่างชิ้นที่ 4,คอนกรีตตัวอย่างชิ้นที่ 5,คอนกรีตตัวอย่างชิ้นที่ 6 มีค่าเท่ากับ 169.44 ksc, 157.13 ksc, 229.27 ksc, 152.33 ksc, 157.14 ksc, 177.24 ksc ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วันตามที่ออกแบบไว้ มีค่าเป็น 94.14 %, 87.29 %, 127.37 %, 84.63 %, 87.30 %, 98.47 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการใส่และเพิ่มแรงกดไปที่กึ่งกลางคาน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดรอยร้าวขึ้นบนบริเวณผิวล่างของกึ่งกลางคาน เนื่องจากแรงดัดและโมเมนต์ดัด จากนั้นจึงเกิดรอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือน ที่บริเวณฐานรองรับ ทำมุมประมาณ 45° เฉียง และค่อยๆขยายความกว้างขึ้น ก่อนที่รอยร้าวบริเวณกึ่งกลางคานจะค่อยๆขยายตัวตามจนกระทั่งคานคอนกรีตไม่สามารถรับแรงเพิ่มได้และวิบัติลงในที่สุด ซึ่งการวิบัติของคานคอนกรีตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.10



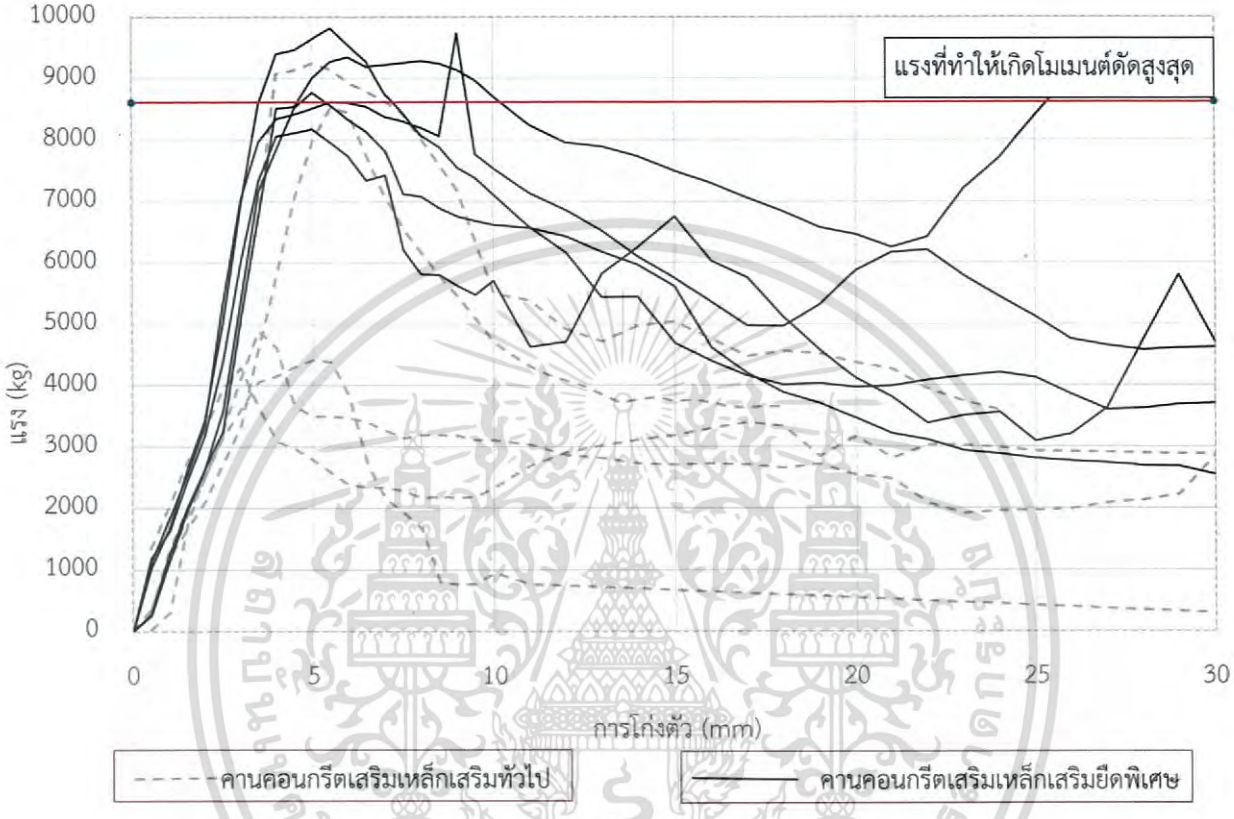
รูปที่ 4.9 ลักษณะการวิบัติของคานคอนกรีต

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า คานเกิดการวิบัติจากพฤติกรรมรับแรงดึงที่ผิวล่าง จากโมเมนต์ดัด และการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนผสมกับโมเมนต์ดัด โดยจากการทดลอง การวิบัติเนื่องจากโมเมนต์อันจะเกิดก่อนการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

ผลการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือผลที่ได้การทดสอบการรับกำลังดัดของคานคอนกรีตที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ และ จากการทดสอบการรับกำลังดัดของคานคอนกรีตที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดที่อ่านได้จาก load cell กับค่าการโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางคานที่วัดได้จาก LVDT ดังแสดงในรูปที่ 4.11



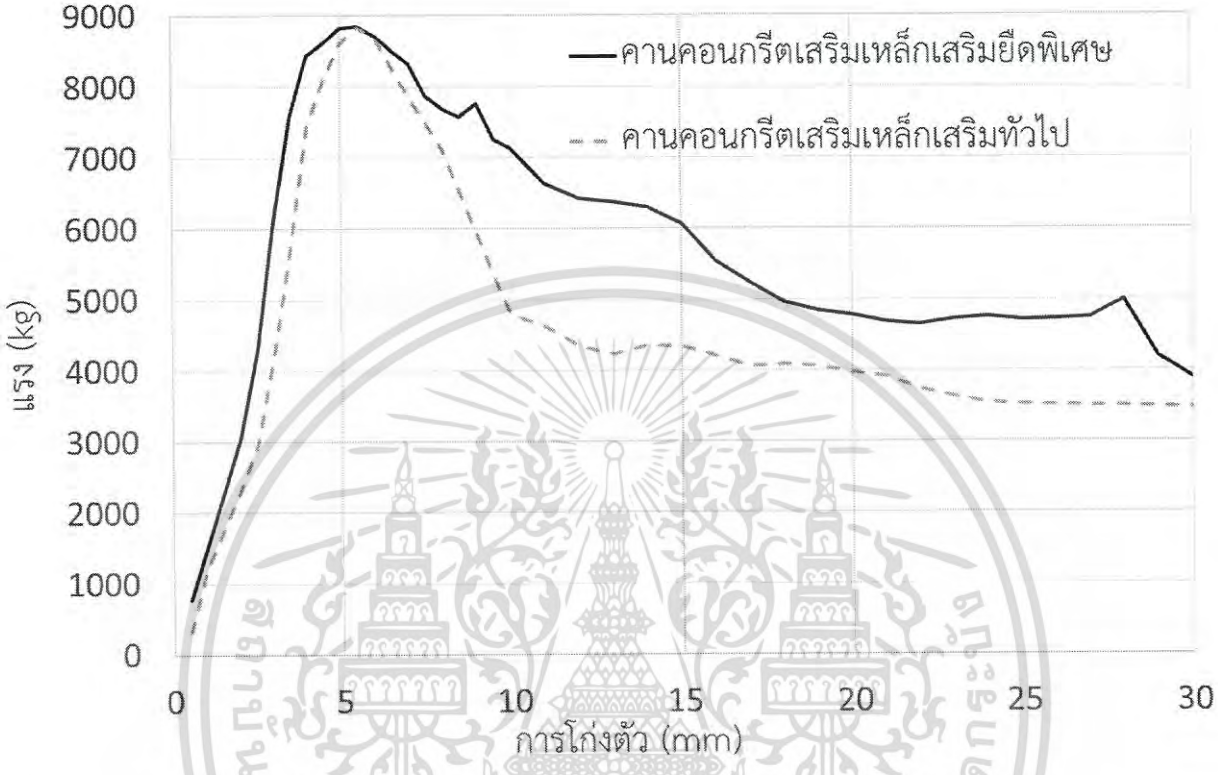
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกับค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ

รูปที่ 4.11 เป็นการนำค่าแรงที่กระทำที่ระยะโก่งตัวต่างๆในคานตัวอย่างมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ โดยที่แกนนอนเป็นระยะโก่งตัวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และ แกนตั้งเป็นแรงมีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยที่เส้นทึบ คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ และ เส้นประ คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตแบบธรรมดา และมีค่าแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.3.4 ได้ค่าเท่ากับ 8,615.573 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.11 พบว่า แรงกดคานคอนกรีตแบบธรรมดา 3ตัว มีค่าต่ำกว่าแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุด ซึ่งคำนวณหามตามภาคผนวก ก1.5 จึงตัดข้อมูลออกเนื่องจากคานมีความผิดพลาดจากการทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการนำข้อมูลที่ได้ มาทำการเฉลี่ยข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉลี่ยกับค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ

อธิบายรูปที่ 4.12 เป็นการนำข้อมูลจากรูปที่ 4.11 มาแบ่งเป็นข้อมูลของคานเสริมเหล็กเสริมธรรมดา และเหล็กเสริมยืดพิเศษ นำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยกัน และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ แกนนอนเป็นระยะโก่งตัวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และ แกนตั้งเป็นแรงมีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยที่เส้นทึบ คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ และ เส้นประ คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตแบบธรรมดา

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ค่าแรงกดสูงสุดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษมีค่าใกล้เคียงกัน แต่คานที่เสริมด้วยเหล็กเสริมยืดพิเศษมีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่า

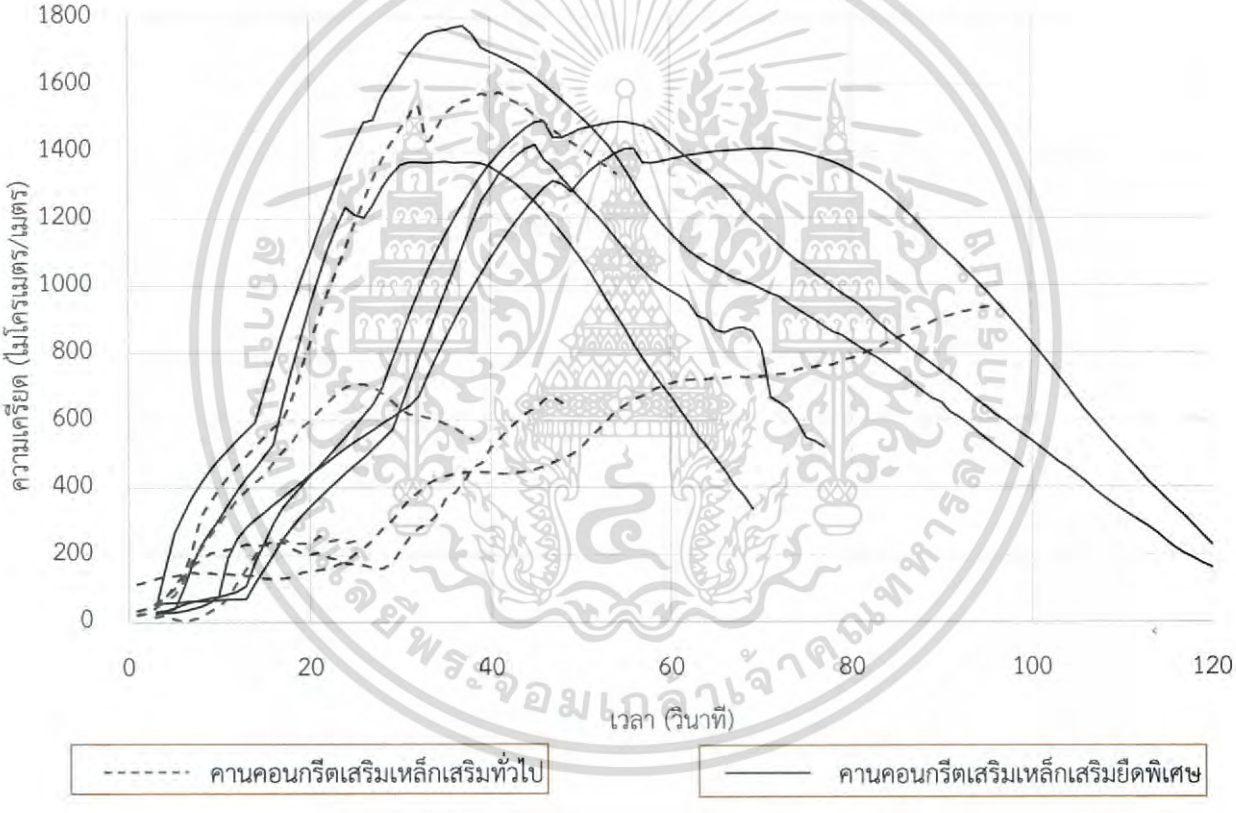
จากข้อมูลจากรูปที่ 4.12 สามารถนำข้อมูลที่ได้ มาหาพลังงานสะสมภายในคาน โดยการนำเอาค่าเฉลี่ยของแรง2ช่วง มาคูณส่วนต่างของระยะแอ่นตัว เป็นพลังงานในคาน และนำพลังงานที่ได้ในแต่ละช่วงมารวมกับเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสะสมในคาน พบว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป มีพลังงานสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 134,237.7 kg.mm และมีกำลังรับน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 8,835.32 kg

ในกรณีของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ มีพลังงานสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 169,979.6 kg.mm และมีกำลังรับน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 8,847.26 kg

ขณะทำการทดลองนั้น ได้มีการวัดค่า ความเครียดของเหล็กเสริมทั่วไปในคานคอนกรีต เมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเครียด จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงให้รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเครียดของเหล็กเสริมทั่วไปและเหล็กเสริมยืดพิเศษ

อธิบายรูปที่ 4.13 เป็นการนำค่าความเครียดที่ได้จาก stain gauge มาพล็อตกราฟหาความพันธ์เทียบกับเวลา โดยที่ แกนนอนเป็นเวลา หน่วยเป็นวินาที และแกนตั้งเป็นความเครียด หน่วยเป็นไมโครเมตรต่อเมตร โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทึบ คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ และ เส้นประ คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตแบบธรรมดา

จากรูปที่ 4.13 ในกรณีที่ 1 มีค่าความเครียดสูงสุดของเหล็กเสริมทั่วไปในคานตัวอย่างทั้ง5ชิ้น เท่ากับ 892.35 μm/m, 1590.55 μm/m, 707.97 μm/m, 548.58 μm/m, 225.71 μm/m ตามลำดับ และสำหรับกรณีที่ 2 มีค่าความเครียดสูงสุดของเหล็กเสริมยืดพิเศษในคานตัวอย่างทั้ง5ชิ้นเท่ากับ 1338.09 μm/m, 1430.73 μm/m, 1384.78 μm/m, 1745.14 μm/m, 1323.40 μm/m ตามลำดับ จากนั้นนำค่าความเครียดสูงสุดของเหล็กแต่ละชนิดมาคำนวณหาค่าความเครียดสูงสุดเฉลี่ย โดยตัดตัวแปร ของตัวอย่างที่ค่าแรงรับโมเมนต์ดัดประลัยไม่ถึงค่าที่คำนวณได้ ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.13 ค่าความเครียดสูงสุดเฉลี่ยของคานเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไปกับคานเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษในคาน

อธิบายรูปที่ 4.14 เป็นการนำค่าความเครียดสูงสุด มีหน่วยเป็น ไมโครเมตรต่อเมตร จากรูปที่ 7 มาแบ่งเป็นข้อมูลของคานเสริมเหล็กเสริมธรรมดา และ เหล็กเสริมยืดพิเศษ นำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยกัน และนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลเปรียบเทียบกัน โดยที่แท่งสีดำคือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กยืดพิเศษ และ แท่งสีเทา คือข้อมูลที่ได้จากคานคอนกรีตแบบธรรมดา

จากรูปที่ 4.14 ค่าความเครียดสูงสุดเฉลี่ยของกรณีที่ 1 สำหรับคานที่เสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป (Normal Grade steel beam) เท่ากับ 1,241.45 μm/m และกรณีที่ 2 สำหรับคานที่เสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ (Super ductile steel beam) เท่ากับ 1,444.43 μm/m

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกับค่าการโก่งตัวของคาน พบว่า คอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษมีพลังงานสะสมเฉลี่ยมากกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป 35,741.89 kg.mm หรือมีค่ามากกว่า 26.62% ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป และมีแรงดัดสูงสุดต่างกัน 11.94 kg หรือมีค่ามากกว่า 0.14 %

สำหรับเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษในคานมีความเครียดสูงสุดเฉลี่ยมากว่า 202.9784 μm/m หรือมีค่ามากกว่า 16.35% ของเหล็กเส้นข้ออ้อยปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์การแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมยึดพิเศษ เทียบกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นทั่วไป พบว่าพลังงานสะสมในคานของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมยึดพิเศษมีค่าสูงกว่าของคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป 26.62% และจากการทดลองได้ทำการวัดค่าความเครียด จาก Stain Gauge ได้ค่าความเครียดของเหล็กเสริมยึดพิเศษมากกว่าเหล็กธรรมดา 16.35% แสดงให้เห็นว่าคานที่เสริมด้วยเหล็กเสริมยึดพิเศษมีความเหนียวกว่า ซึ่งสามารถเป็นทางเลือกให้วิศวกรผู้ออกแบบ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. เนื่องจากเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine มีปัญหาในการทำงาน ทำให้เกิดความล่าช้าในการทดสอบชิ้นงาน

2. และเนื่องจากข้อ 1. ทำให้ต้องใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine อีกเครื่องหนึ่งในการทดสอบ ทำให้การอ่านค่าแรงที่กระทำนั้นไม่สามารถบันทึกโดยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ได้ ต้องบันทึกจากการอ่านค่าด้วยผู้ปฏิบัติการ ทำให้อาจเกิดค่าความคลาดเคลื่อนของแรงได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้คานตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่มากกว่านี้ เพื่อผลการทดลองที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. ในการทำผสมคอนกรีตหล่อคาน ควรใช้คอนกรีตที่มาจากการผสมครั้งเดียวกัน เพื่อค่ากำลังรับแรงอัดของคานคอนกรีตจะได้มีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.20-2543,24-2548)

[2] Marcin Kozłowski,Marta Kadela and Alfred Kukiełkab (2015). Fracture energyof foamed concrete based on three-point bending test on notched beams. Department of Structural Engineering, Silesian University of Technology, Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Poland. Pp 351.

[3] Annual Book of ASTM Standard, Section 4 : Construction, 1994

[4] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย : มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38) พ.ศ. 2538

[5] Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd. (2017). Precise & Flexible STRAIN GAUGES 2017. Electronic book.

[6] Piaras Kelly (2015). Solid Mechanics Part I: An Introduction to Solid Mechanics. Electronic book.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 1. นิยามศัพท์เฉพาะ

เหล็กเสริมยืดพิเศษ คือ Tata Tiscon S Super Ductile Rebar

กำลังรับแรงดึงของเหล็กที่จุดคราก (F_y)

กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่28วัน (F'_c)

ความกว้างหน้าตัดคาน (b)

ความลึกของหน้าตัดคาน (t)

ความลึกประสิทธิผลของหน้าตัดคาน (d)

ความยาวของคาน (L)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL)

น้ำหนักบรรทุกจร (LL)

โมเมนต์ดัดประลัย (M_u)

โมเมนต์ดัดระบุ (M_n)

สัมประสิทธิ์ต้านทานโมเมนต์ดัด(R_u)

อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อหน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีต (ρ)

แรงเฉือนประลัย (V_u)

ตัวคูณลดกำลัง ($\emptyset$)

แรงเฉือนระบุ (V_n)

กำลังแรงเฉือนของคอนกรีต (V_c)

กำลังแรงเฉือนของเหล็ก (V_s)

ระยะความลึกของการกระจายหน่วยแรงอัดเทียบเท่า (a)

แรงที่ทำให้เกิดกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผวก ข ตารางแสดงค่าที่บันทึกได้จากการทดลอง

ตาราง ข.1 ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสด

ตัวอย่าง , ชิ้นที่ (Determination No.)	1
เวลาการผสม , นาที (Mixing Time ,min.)	15
เวลาทดสอบ , นาที (Testing Time ,min.)	3
เวลาทั้งหมด , นาที (Total Time ,min.)	18
การยุบตัว , เซนติเมตร (Slump ,cm.)	8

ตาราง ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยทั่วไป

Spec.		Normal 1	Normal 2	Normal 3	Avg. Normal
ชนิดและเส้นผ่านศูนย์กลาง (Type & Dia. Of)		DB 12	DB 12	DB 12	DB 12
ความยาว , เมตร (Length , m.)		0.81	0.81	0.80	0.80
น้ำหนัก , กิโลกรัม (Weight , kg.)		0.68	0.70	0.68	0.69
เส้นผ่านศูนย์กลาง, มิลลิเมตร (Diameter , mm.)		11.70	11.87	11.73	11.76
เส้นผ่านศูนย์กลางคลาดเคลื่อน , มิลลิเมตร (Error Dia. , mm.)		0.30	0.13	0.27	0.24
น้ำหนัก/ความยาว, กิโลกรัม/เมตร (Weight/Length , kg./m.)		0.84	0.87	0.85	0.85
น้ำหนักคลาดเคลื่อน , % (Error of Weight , %)		4.90	2.05	4.43	3.79
พื้นที่หน้าตัด , ซม.^{2} (Cross Section Area , cm.^{2})		1.07	1.11	1.08	1.09
แรง (Load)	คราก , กก. (Yield ,kg.)	5650	5908	5747	5768.33
	ประลัย,กก. (Ultimate ,kg.)	7209	7542	7314	7355.00
Tensile Strength	คราก , กก./ซม.^{2} (Yield ,kg.)	5258.34	5338.38	5322.53	5306.41
	ประลัย,กก. /ซม.^{2} (Ultimate ,kg.)	6709.26	6814.84	6773.79	6765.96
ระยะวัดการยืดตัว , ซม. (Gauge Length ,cm.)		7.37	7.00	7.29	7.22
การยืดตัว (Elongation)	ซม. (cm.)	1.37	1.00	1.29	1.22
	(%)	22.83	16.73	21.57	20.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นข้ออ้อยยืดพิเศษ

Spec.		Super Ductile 1	Super Ductile 2	Super Ductile 3	Avg. Super Ductile
ชนิดและเส้นผ่านศูนย์กลาง (Type & Dia. Of)		DB 12	DB 12	DB 12	DB 12
ความยาว , เมตร (Length , m.)		1.10	1.09	1.09	1.09
น้ำหนัก , กิโลกรัม (Weight , kg.)		0.95	0.94	0.95	0.94
เส้นผ่านศูนย์กลาง, มิลลิเมตร (Diameter , mm.)		11.84	11.80	11.85	11.83
เส้นผ่านศูนย์กลางคลาดเคลื่อน , มิลลิเมตร (Error Dia. , mm.)		0.16	0.20	0.15	0.17
น้ำหนัก/ความยาว, กิโลกรัม/เมตร (Weight/Length , kg./m.)		0.87	0.86	0.87	0.86
น้ำหนักคลาดเคลื่อน , % (Error of Weight , %)		2.52	3.18	2.33	2.67
พื้นที่หน้าตัด , ซม.^{2} (Cross Section Area , cm.^{2})		1.10	1.09	1.10	1.10
แรง (Load)	คราก , กก. (Yield ,kg.)	5603	5676	5775	5684.67
	ประลัย,กก. (Ultimate ,kg.)	7367	7367	7454	7396.00
Tensile Strength	คราก , กก./ซม.^{2} (Yield ,kg.)	5087.05	5188.60	5233.28	5169.64
	ประลัย,กก. /ซม.^{2} (Ultimate ,kg.)	6688.61	6734.40	6754.78	6725.93
ระยะวัดการยืดตัว , ซม. (Gauge Length ,cm.)			7.67	7.65	7.56
การยืดตัว (Elongation)	ซม. (cm.)	1.35	1.67	1.65	1.56
	(%)	22.57	27.83	27.47	25.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.4 ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ชิ้นงานตัวอย่างที่ (Specimen No.)	1	2	3	4	5	6
เส้นผ่านศูนย์กลาง , ซม. ((D1+D2)/2 (Diameter ,cm.), $(D_1+D_2)/2$	14.98	14.78	14.86	14.88	14.84	14.90
พื้นที่หน้าตัด , ตร.ซม. (Section Area , $cm.^2$)	176.24	171.57	173.43	173.90	172.96	174.37
ความสูง , ซม. (Height , cm.)	29.85	29.90	29.90	29.80	29.85	29.90
น้ำหนัก , กก. (Weight , kg.)	12.24	11.88	12.08	12.56	11.78	11.64
ความหนาแน่น , กก./ลบ.ม. (Density , $kg./m.^3$)	2326.61	2315.83	2329.53	2423.69	2281.62	2232.64
การยุบตัว , ซม. (Slump , cm.)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
อายุ , วัน (Age ,days)	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
แรงประลัย , กก. (Ultimate Load , kg.)	29863.40	26958.21	39762.49	26489.30	27179.41	30904.18
กำลังรับแรงอัด , กก./ตร.ซม. (Compressive Strength ,	169.44	157.13	229.27	152.33	157.14	177.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพิทย์รดา เพ็ชร์สุวรรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	9 เมษายน 2539
ที่อยู่	506/10 ซ.แอนเน็กซ์ แยก 8 ถ.พหลโยธิน 58 สายไหม กรุงเทพฯ 10220
โทร	088-016-4946
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2556 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสีกัน (วัฒนานันท์อุปถัมภ์) ดอนเมือง กรุงเทพฯ ปัจจุบัน กำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4
Email	phit-rada@hotmail.com
ชื่อ-สกุล	นายเศวตฉัตร พรประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด	27 กรกฎาคม 2539
ที่อยู่	14/484 รามอินทรา 13 แขวงอนุสาวรีย์ เขตุ บางเขน กรุงเทพฯ 10220
โทร	081-303-7006
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2556 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหอวัง กรุงเทพฯ ปัจจุบัน กำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4
Email	petch35617@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ชื่อ-นามสกุล	นายสุวิสิษฐ์ บานแย้ม
วัน เดือน ปีเกิด	21 ธันวาคม 2538
ที่อยู่	999/602 หมู่ 3 ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
โทร	098-748-6736
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2556 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียน พิษณุโลกพิทยาคม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4
Email	surveysuvisit@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้