

พฤติกรรมของคนกรีกที่ถูกโอบรัดในเสาคนกรีกเสริมเหล็ก
ที่ใช้ของ 90 องศาภายใต้แรงอัดตามแนวแกน



นายวิรัช ประทักษิณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5429-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BEHAVIOR OF CONFINED CONCRETE IN RC TIED COLUMNS
WITH 90° HOOKS UNDER AXIAL COMPRESSION



Mr.Warit Prathaksithorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Engineering in civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5429-9

วริษฐ์ ประทักษิธร : พฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ของอ 90 องศาภายใต้แรงอัดตามแนวแกน. (BEHAVIOR OF CONFINED CONCRETE IN RC TIED COLUMNS WITH 90° HOOKS UNDER AXIAL COMPRESSION)

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัศมี, 290 หน้า, ISBN 974-17-5429-9

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยส่วนมากในประเทศไทย จะทำการจัดเรียงเหล็กเสริมตามขวางที่มีของอ 90 องศา แต่ข้อมูลจากการวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตภายใต้การโอบรัดที่มีของอ 90 องศาอยู่น้อย การศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ของอ 90 องศาภายใต้แรงอัดตามแนวแกนเป็นสิ่งจำเป็น ในอดีตการศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดได้คำนวณแรงภายในของคอนกรีตจากการหักลบแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมตามยาวออกจากแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับหน้าตัด โดยมีการสมมติพฤติกรรมของเหล็กเสริมตามยาวด้วยพฤติกรรมแบบเส้นตรงสองเส้น (bilinear) หรือพฤติกรรมของเหล็กที่ได้จากการทดสอบแรงดึงซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของเหล็กในการรับแรงอัดตามแนวแกนที่จะเกิดการโก่งเดาะขึ้น และทำให้กำลังรับแรงลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการโก่งเดาะ ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการทดสอบที่จะแยกผลของเหล็กยื่นออก โดยการให้แรงอัดกระทำตามแนวแกนต่อหน้าตัดเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีตเท่านั้น และลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมตามยาวด้วยการเคลือบแว็กซ์ที่ผิวเพื่อไม่ให้เหล็กเสริมตามยาวรับแรงตามแนวแกน ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 12 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างทดสอบมีขนาดหน้าตัด 0.25 m x 0.25 m ความสูง 0.9 m โดยมีระยะเกจเท่ากับ 0.6 m และมีการศึกษาผลของพารามิเตอร์ 3 อย่าง คือ กำลังคอนกรีต (21 MPa และ 45 MPa), อัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง (0.23%, 0.45% และ 0.91%) และรูปแบบของของเหล็กปลอก (ของอ 90 องศาและ 135 องศา)

จากผลการทดสอบพบว่า แรงตามแนวแกนในเหล็กเสริมตามยาวมีค่าใกล้เคียงศูนย์มาก ในขณะที่ค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กเสริมตามยาวสูงสุดสำหรับทุกตัวอย่างทดสอบมีค่าไม่เกิน 17% ของค่าโมเมนต์ดัดคราก เมื่อความเค้นตามแนวแกนลดลงมาถึง 50% ของค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในการทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการจัดผลของเหล็กยื่นที่มีต่อคอนกรีตที่มีการโอบรัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผลของลักษณะของของเหล็กปลอกนั้นพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีความเค้นสูงสุดมากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศาโดยเฉลี่ย 4% และมีความเครียดที่ความเค้นสูงสุดมากกว่าโดยเฉลี่ย 17% ส่วนผลของรูปแบบของของเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมในช่วงขาลงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดพบว่า มีพฤติกรรมคล้ายกันโดยที่เหล็กปลอกของอ 135 องศาจะมีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงหลังจากความเค้นสูงสุดมากกว่าประมาณ 16% ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยในอดีต ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะรูปแบบความเสียหายที่ต่างกันของตัวอย่างทดสอบ อีกทั้งวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ทำการจัดผลของเหล็กยื่นออก จึงไม่มีการโก่งเดาะของเหล็กยื่นไปต้นของของเหล็กปลอกให้เกิดการอ้าออก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และจากการศึกษาแรงภายในเหล็กปลอก พบว่าเมื่อตัวอย่างทดสอบมีความเค้นสูงสุด เกิดแรงตามแนวแกนขึ้นในเหล็กปลอกเฉลี่ย 35% ของแรงตามแนวแกนคราก และเกิดโมเมนต์ดัดเฉลี่ย 4% ของค่าโมเมนต์ดัดคราก หลังจากนั้นโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าโมเมนต์ดัดครากเมื่อกำลังของตัวอย่างทดสอบลดลงเหลือ 30%-40% ของค่าความเค้นสูงสุด สำหรับอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง เท่ากับ 0.91% และค่าโมเมนต์ดัดไม่เกินค่าโมเมนต์ดัดครากสำหรับอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง เท่ากับ 0.23% และ 0.45%

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา..... 2546.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

##4470521621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : REINFORCED CONCRETE COLUMNS / CONFINEMENT / HOOK / AXIAL COMPRESSION

MR.WARIT PRATHAKSITHORN : BEHAVIOR OF CONFINED CONCRETE IN RC TIED COLUMNS WITH 90°
HOOKS UNDER AXIAL COMPRESSION

THESIS ADVISOR : DR.ANAT RUANGRASSAMEE, 290 pp, ISBN 974-17-5429-9

Lateral reinforcement with 90-degree hooks is mostly used in reinforced-concrete columns in Thailand due to the simplicity in construction. Experimental results related to confinement of reinforced-concrete columns with 90-degree-hooked lateral reinforcement are scarce. Consequently, the study of the behavior of RC tied columns with 90-degree hooks is necessary. So far, researchers have assumed the stress-strain relationship of longitudinal reinforcement from bilinear model or a tensile test of longitudinal reinforcement when determining the resisting force of confined concrete. However, it has been known that the stress-strain behavior of longitudinal reinforcement in compression is not similar to the assumed behavior due to buckling. Consequently, the resisting force of confined concrete is affected by the assumed stress-strain behavior of longitudinal reinforcement. In this study, the effect of longitudinal reinforcement is eliminated by unbonding the longitudinal reinforcement by wax coating and the concrete portion is compressed and the resisting force of confined concrete is measured directly. Totally, 12 specimens with a cross section of 0.25 m x 0.25 m, a height of 0.9 m, and a gage length of 0.6 m were constructed with the variations in concrete strengths (21 MPa and 45 MPa), volumetric ratios of lateral reinforcement (0.23%, 0.45% and 0.91%), and hook patterns (90 and 135 degrees).

From the experiment, it is found that unbonding can effectively eliminate the axial force in the longitudinal reinforcement. The axial force is close to zero while the maximum bending moment among the whole specimens is 17% of the yielding moment when the stress drops to 50% of the peak stress. Comparing the results from specimens with 90-degree and 135-degree hooks, the peak stress of the specimens with 135-degree hooks are about 4% higher than those with 90-degree hooks. The strain at peak stress of the specimens with 135-degree hooks are about 17% higher than those with 90-degree hooks. It is found that the slope of a descending branch of the specimens with 135-degree hooks are about 16% higher than those with 90-degree hooks. The tendency is different from past researchers' test results. It may be due to the difference in failure modes of the specimens and the fact that the effect of longitudinal reinforcement is eliminated. In the test, 90-degree hooks are not opened by the bucking of longitudinal reinforcement. Thus, more study on the slope of a descending branch is required. The axial force and bending moment of lateral reinforcement are also investigated. At the peak stress, the average axial force is about 35% of the yielding force and the average bending moment is about 4% of the yielding bending moment of lateral reinforcement. The bending moment reaches the yielding moment when the axial stress of specimens drops to 30-40% of the peak stress for the case of the volumetric ratio of lateral reinforcement of 0.91%. For the cases of the volumetric ratios of lateral reinforcement of 0.23% and 0.45%, lateral reinforcement does not yield.

Department..... CIVIL ENGINEERING

Field of Study..... CIVIL ENGINEERING

Academic year..... 2003

Student's signature

Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนดูแลเอาใจใส่ในทุกๆ ขั้นตอนการทำวิจัย รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณประสิทธิ์ ในฐานะประธานกรรมการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม ในฐานะกรรมการสอบ ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ขั้นตอนการทำวิจัยและวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ดังมีรายนามต่อไปนี้

คุณวีระสิทธิ์ ศรีสมัย และเพื่อนทุกคน สำหรับความช่วยเหลือในการติดตั้งเครื่องมือและการดำเนินการทดสอบ รวมทั้งให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณมนัส พึ่งบางกรวย ที่ช่วยทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และบุคลากรประจำห้องทดสอบทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในทุกๆ เรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อการทำการทดสอบในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา รวมถึงญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดมา รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้ามาจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ป
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยในอดีต	
2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดภายใต้ แรงกระทำตามแนวแกน.....	4
2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรง กระทำแบบทิศทางเดียว.....	10
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ	
3.1 วิธีการทดสอบ.....	22
3.2 ตัวอย่างทดสอบ.....	23
3.3 วัสดุ.....	24
3.3.1 คอนกรีต.....	24
3.3.2 เหล็กเสริม.....	25
3.3.2.1 เหล็กเสริมตามยาว.....	25
3.3.2.2 เหล็กเสริมตามขวางตามยาว.....	25
3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	26
3.5 การเตรียมการทดสอบ.....	28
3.5.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ.....	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.2	การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่ (Linear Variable Differential Transformer , LVDT)	28
3.5.3	หน่วยรวบรวมข้อมูล.....	28
3.6	ขั้นตอนการทดสอบ.....	29
บทที่ 4 ผลการทดสอบ		
4.1	การปรับแก้ค่า.....	48
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	49
4.3	ความเครียดในเหล็กเสริม.....	50
4.4	พฤติกรรมที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบ.....	51
4.5	แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมตามยาว.....	54
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ		
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดในเหล็กเสริมตามขวางกับพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด.....	80
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟความเค้นและความเครียดกับความเครียดในเหล็กปลอก.....	81
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอกกับพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด.....	82
5.4	ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด.....	84
5.4.1	ผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด.....	84
5.4.2	ผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด.....	87
5.4.3	ผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด.....	89
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ		
6.1	สรุปผลการวิจัย.....	150
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	151
	รายการอ้างอิง.....	153

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....		156
ภาคผนวก ก-1	การเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของงานวิจัยในอดีต.....	157
ภาคผนวก ก-2	การเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของเหล็กเสริมของงานวิจัยในอดีต.....	169
ภาคผนวก ข-1	ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย.....	171
ภาคผนวก ข-2	ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย.....	174
ภาคผนวก ข-3	ผลการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย.....	175
ภาคผนวก ข-4	ขนาดของตัวอย่างทดสอบ.....	177
ภาคผนวก ค-1	ผลการสอบเทียบ (calibration) เครื่องวัดการเคลื่อนที่.....	178
ภาคผนวก ค-2	ผลการสอบเทียบ (calibration) โหลดเซลล์ของเครื่องทดสอบ อเนกประสงค์กับ proving ring.....	179
ภาคผนวก ค-3	ผลการสอบเทียบ (calibration) โหลดเซลล์ของเครื่องทดสอบ อเนกประสงค์.....	180
ภาคผนวก ค-4	ผลการสอบเทียบ (calibration) การเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบ อเนกประสงค์.....	181
ภาคผนวก ง-1	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5.....	182
ภาคผนวก ง-2	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5.....	191
ภาคผนวก ง-3	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3.....	200
ภาคผนวก ง-4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3.....	209
ภาคผนวก ง-5	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1.....	218
ภาคผนวก ง-6	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1.....	227
ภาคผนวก ง-7	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5.....	236
ภาคผนวก ง-8	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5.....	245
ภาคผนวก ง-9	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA45-1-3.....	254
ภาคผนวก ง-10	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3.....	263
ภาคผนวก ง-11	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1.....	272

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ง-12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1.....	281
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	290



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต ที่ไม่มีกรโอบรัด (จาก Kent และ Park ค.ศ. 1971).....	12
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Sheikh และคณะ ค.ศ. 1980).....	12
รูปที่ 2.3	ลักษณะของพื้นที่ที่ไม่มีกรโอบรัดโดยเหล็กปลอกจากการโอบรัดอย่าง ไม่สม่ำเสมอของเหล็กปลอกสี่เหลี่ยม (จาก Sheikh และคณะ ค.ศ. 1980).....	13
รูปที่ 2.4	แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต ที่มีการโอบรัด (จาก Park และคณะ ค.ศ. 1982).....	13
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Scott และคณะ ค.ศ. 1982).....	14
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Mander และคณะ ค.ศ. 1988).....	14
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Sheikh และคณะ ค.ศ. 1993).....	15
รูปที่ 2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Hoshikuma และคณะ ค.ศ. 1997).....	15
รูปที่ 2.9	แบบจำลอง เหล็กเสริมตามยาวที่ใช้ในการวิเคราะห์ (จาก Papia และคณะ ค.ศ. 1989).....	16
รูปที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมที่อัตราส่วน L/r ต่างๆ (จาก Mau และคณะ ค.ศ. 1989).....	16
รูปที่ 2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของ เหล็กเสริม (จาก Mau และคณะ ค.ศ. 1989).....	17
รูปที่ 2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมที่อัตราส่วน L/D ต่างๆ (จาก Monti และ Nuti ค.ศ. 1992).....	17
รูปที่ 2.13	แบบจำลองทางทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของเหล็กเสริมตามยาว (จาก Dhakal ค.ศ. 2000).....	18

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1	แรงกดทั้งหมดคือผลรวมของแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาวกับแรงปฏิกิริยาในคอนกรีต.....	30
รูปที่ 3.2	แสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบโดยการทำให้แรงกระทำบนส่วนที่เป็นคอนกรีต.....	31
รูปที่ 3.3	แสดงขนาดของตัวอย่างทดสอบ.....	32
รูปที่ 3.4	แสดงขนาดรัศมีภายในและระยะของช่อง.....	33
รูปที่ 3.5	รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1 และ CA45-1-1.....	34
รูปที่ 3.6	รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 และ CB45-1-1.....	35
รูปที่ 3.7	รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3 และ CA45-1-3.....	36
รูปที่ 3.8	รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 และ CB45-1-3.....	37
รูปที่ 3.9	รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 และ CA45-1-5.....	38
รูปที่ 3.10	รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 และ CB45-1-5.....	39
รูปที่ 3.11	แสดงตำแหน่งของเกจวัดความเครียดบนเหล็กเสริม.....	40
รูปที่ 3.12	รูปแสดงเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวาง.....	41
รูปที่ 3.13	ผูกเหล็กเสริมตามขวางด้วยเส้นเอ็นขนาด 0.8 มม.....	41
รูปที่ 3.14	การจัดเหล็กเสริมลงในแบบหล่อ.....	42
รูปที่ 3.15	การตั้งแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ.....	42
รูปที่ 3.16	แสดงตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่.....	43
รูปที่ 3.17	ตัวอย่างทดสอบก่อนการทดสอบ.....	44
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดสำหรับตัวอย่าง CA21-1-3.....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2	กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด สำหรับตัวอย่าง CA45-1-3.....	58
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด สำหรับตัวอย่าง CB45-1-3.....	59
รูปที่ 4.4	เหล็กยึดเครื่องวัดการเคลื่อนที่ด้านล่างเกิดการโก่งลงในระหว่าง การทดสอบ.....	60
รูปที่ 4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว สำหรับตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5.....	61
รูปที่ 4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด สำหรับ ตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5	61
รูปที่ 4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1.....	62
รูปที่ 4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด สำหรับ ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1.....	62
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัด ความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา สำหรับตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5.....	63
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัด ความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5.....	64
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัด ความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1.....	65
รูปที่ 4.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด สำหรับตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5.....	66
รูปที่ 4.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด สำหรับ ตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5.....	66
รูปที่ 4.14	รอยแตกร้าวตามแนวยาวเกิดขึ้นที่มุมของตัวอย่างทดสอบ.....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15	เกิดรอยแตกร้าวตามขวางตรงตำแหน่งของเหล็กปลอก.....	67
รูปที่ 4.16	คอนกรีตส่วนนอกสุดเกิดการกะเทาะออก.....	68
รูปที่ 4.17	ตัวอย่างทดสอบเกิดการแตกร้าวในแนวทแยง ทำมุมประมาณ 60 องศา กับแนวราบ.....	68
รูปที่ 4.18	เหล็กเสริมตามยาวเกิดการโค้งงอตามระนาบเฉือนจนเสียรูปอย่างชัดเจน.....	69
รูปที่ 4.19	เกิดการกะเทาะเข้าไปในส่วนคอนกรีตคอนกรีตเล็กน้อย.....	69
รูปที่ 4.20	ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบที่เกิดการวิบัติแบบเฉือน ระนาบทำมุม 60 กับแนวราบ.....	70
รูปที่ 4.21	การกะเทาะเข้าไปในส่วนของแกนคอนกรีตสำหรับ ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1.....	70
รูปที่ 4.22	เหล็กปลอก 90 องศาเกิดการ้าออกเนื่องจากการโค้งงอตามระนาบเฉือน....	71
รูปที่ 4.23	เหล็กปลอก 135 องศาไม่เกิดการ้าออกแต่เกิดการโค้งงอตามระนาบเฉือน....	71
รูปที่ 4.24	แสดงการกำหนดเครื่องหมายของค่าโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกน ในเหล็กยื่น.....	72
รูปที่ 4.25	กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น สำหรับตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5.....	73
รูปที่ 4.26	กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1.....	74
รูปที่ 4.27	แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กยื่น สำหรับตัวอย่างทดสอบ ที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa.....	75
รูปที่ 4.28	แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กยื่น สำหรับตัวอย่างทดสอบ ที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa.....	75
รูปที่ 5.1	กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.06 สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5.....	93
รูปที่ 5.2	กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.012 สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5.....	94

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.3	กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.06 สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1.....	95
รูปที่ 5.4	กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.012 สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1.....	96
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงความเค้น ความชันของกราฟและความเครียดในเหล็กเสริม สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5.....	97
รูปที่ 5.6	แสดงการกำหนดเครื่องหมายของค่าโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกน ในเหล็กปลอก	98
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5.....	99
รูปที่ 5.8	กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3.....	100
รูปที่ 5.9	แสดงสมมติฐานของการเกิดค่าโมเมนต์ดัดลบ.....	101
รูปที่ 5.10	แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ ที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa.....	102
รูปที่ 5.11	แสดงการผลต่างของค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ ที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa.....	102
รูปที่ 5.12	แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ ที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa.....	103
รูปที่ 5.13	แสดงการผลต่างของค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ ที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa.....	103
รูปที่ 5.14	แสดงการเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa.....	104
รูปที่ 5.15	แสดงการผลต่างของแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa.....	104
รูปที่ 5.16	แสดงการเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa.....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.17	แสดงการผลต่างความชันของแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa.....	105
รูปที่ 5.18	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	106
รูปที่ 5.19	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	106
รูปที่ 5.20	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	107
รูปที่ 5.21	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	107
รูปที่ 5.22	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	108
รูปที่ 5.23	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	108
รูปที่ 5.24	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	109
รูปที่ 5.25	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$).....	109
รูปที่ 5.26	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	110
รูปที่ 5.27	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	110
รูปที่ 5.28	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	111

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.29	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	111
รูปที่ 5.30	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	112
รูปที่ 5.31	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	112
รูปที่ 5.32	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	113
รูปที่ 5.33	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$).....	113
รูปที่ 5.34	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	114
รูปที่ 5.35	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	114
รูปที่ 5.36	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	115
รูปที่ 5.37	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	115
รูปที่ 5.38	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	116
รูปที่ 5.39	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	116

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.40	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	117
รูปที่ 5.41	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$).....	117
รูปที่ 5.42	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อค่าความเค้นสูงสุด.....	118
รูปที่ 5.43	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อความชันของกราฟชาลงในช่วงที่ความเค้นลดลงเหลือ 80% ของความเค้นสูงสุด.....	118
รูปที่ 5.44	กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุด	
รูปที่ 5.45	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	120
รูปที่ 5.46	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	120
รูปที่ 5.47	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	121
รูปที่ 5.48	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	121
รูปที่ 5.49	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	122
รูปที่ 5.50	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	122

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.51	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	123
รูปที่ 5.52	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa).....	123
รูปที่ 5.53	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	124
รูปที่ 5.54	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	124
รูปที่ 5.55	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	125
รูปที่ 5.56	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	125
รูปที่ 5.57	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัด (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	126
รูปที่ 5.58	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	126
รูปที่ 5.59	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของ คอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	127

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.60	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa).....	127
รูปที่ 5.61	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อค่าความเค้นสูงสุด.....	128
รูปที่ 5.62	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อความชันของกราฟขาลงในช่วงที่ความเค้นลดลงเหลือ 80% ของความเค้นสูงสุด.....	128
รูปที่ 5.63	กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุด.....	129
รูปที่ 5.64	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa).....	130
รูปที่ 5.65	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa).....	130
รูปที่ 5.66	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa)	131
รูปที่ 5.67	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa)	131
รูปที่ 5.68	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa).....	132
รูปที่ 5.69	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa).....	132
รูปที่ 5.70	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa)	133

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.71	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa)	133
รูปที่ 5.72	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa).....	134
รูปที่ 5.73	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa).....	134
รูปที่ 5.74	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa)	135
รูปที่ 5.75	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa)	135
รูปที่ 5.76	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa).....	136
รูปที่ 5.77	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa).....	136
รูปที่ 5.78	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa)	137
รูปที่ 5.79	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa)	137
รูปที่ 5.80	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa).....	138
รูปที่ 5.81	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa).....	138

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.82	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa)	139
รูปที่ 5.83	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa)	139
รูปที่ 5.84	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa).....	140
รูปที่ 5.85	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa).....	140
รูปที่ 5.86	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa)	141
รูปที่ 5.87	กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa)	141
รูปที่ 5.88	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	142
รูปที่ 5.89	แสดงการผลต่างของค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	142
รูปที่ 5.90	แสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	143
รูปที่ 5.91	แสดงการเปรียบเทียบความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	144
รูปที่ 5.92	แสดงการผลต่างของความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	144

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.93	แสดงร้อยละของความแตกต่างของความเครียดที่ความเค้นสูงสุด ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	145
รูปที่ 5.94	แสดงการเปรียบเทียบความชันของกราฟขาขึ้น ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	146
รูปที่ 5.95	แสดงการผลต่างความชันของกราฟขาขึ้น ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	146
รูปที่ 5.96	แสดงร้อยละของความแตกต่างความชันของกราฟขาขึ้น ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	147
รูปที่ 5.97	แสดงการเปรียบเทียบความชันของกราฟขาลงที่ 80% ของความเค้นสูงสุด ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	148
รูปที่ 5.98	แสดงการผลต่างความชันของกราฟขาลงที่ 80% ของความเค้นสูงสุด ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	148
รูปที่ 5.99	แสดงร้อยละของความแตกต่างความชันของกราฟขาลงที่ 80% ของ ความเค้นสูงสุด ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน.....	149

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ตารางสรุปแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของงานวิจัยที่ผ่านมา.....	19
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมา.....	20
ตารางที่ 3.1	รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ.....	45
ตารางที่ 3.2	ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย.....	47
ตารางที่ 3.3	ผลการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย.....	47
ตารางที่ 3.4	แสดงข้อมูลที่ได้รับการบันทึกระหว่างการทดสอบ.....	47
ตารางที่ 4.1	แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5.....	76
ตารางที่ 4.2	แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5.....	78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย