

การศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้าง
แบบเป็นวัฏจักรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



นายเสกสรรค์ ธรรมอำนาจสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-546-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

23 11 0 2546

I 19247 197

A STUDY ON BEHAVIORS OF REINFORCED CONCRETE WALLS SUBJECTED
TO CYCLIC LATERAL LOADINGS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Mr. Seksan Thumumnuaysook

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 1999
ISBN 974-334-546-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบ
เป็นวัฏจักรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โดย

นายเสกสรรค์ ธรรมอำนาจสุข

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



.....
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



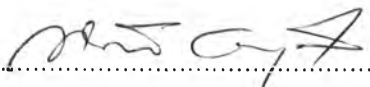
.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

ประธานกรรมการ



.....
(อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

กรรมการ

เสกสรรค์ ธรรมอำนวยสุข : การศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (A STUDY ON BEHAVIORS OF REINFORCED CONCRETE WALLS SUBJECTED TO CYCLIC LATERAL LOADINGS BY THE FINITE ELEMENT METHOD)

อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ , 130 หน้า. ISBN 974-334-546-9.

วัตถุประสงค์เบื้องต้นในการศึกษานี้คือการใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร และศึกษาแบบจำลองวัสดุที่ใช้แทนพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของคอนกรีตและเหล็กเสริมในกำแพงด้วย ผลของการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์จะนำมาทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบ

จากผลการศึกษาด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงความไม่เชิงเส้นทางวัสดุของคอนกรีตและเหล็กเสริมในกำแพงซึ่งมีตัวอย่างวิเคราะห์ 4 ตัวอย่าง มีความหนาของกำแพง 10 เซนติเมตร กว้าง 100 เซนติเมตรและสูง 190 เซนติเมตรตั้งอยู่บนฐานที่มีปลายยึดแน่น โดยที่ถูกล้อมรอบด้วยเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 เซนติเมตรที่ด้านข้างทั้งสอง ส่วนด้านบนจะเป็นคานที่มีความหนา 25 เซนติเมตรและมีความลึก 40 เซนติเมตร โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบที่มีการเสริมเหล็กในกำแพงตามแบบ ACI และแบบที่มีการเสริมเหล็กทแยงในกำแพง โดยในแต่ละชนิดจะมี 2 ตัวอย่างซึ่งมีปริมาณเหล็กเสริมต่างกัน โดยใช้แบบจำลองคอนกรีตในงานวิจัยของ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ เป็นพื้นฐานเบื้องต้นซึ่งมีหลักการของการจำลองแบบรอยแตกแบบกระจาย ที่มีทิศทางคงที่และแยกความเครียดเฉือนออกจากความเครียดอื่นในระบบพิกัดโกลบอล ซึ่งทำให้แยกฟังก์ชันของหน่วยแรงออกเป็น 2 ฟังก์ชันคือ ฟังก์ชันหน่วยแรงตั้งฉากและฟังก์ชันหน่วยแรงเฉือน และใช้แบบจำลองเหล็กเสริมของวอร์พงษ์ จินช่างซึ่งมีหลักการของพฤติกรรมความไม่เชิงเส้นของเหล็กเสริมได้แก่ การคราก การแข็งตัวเพิ่มขึ้นและพฤติกรรมของเหล็กเสริมเมื่อรับแรงแบบเป็นวัฏจักร จากการวิเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยพิชัย ภัทรรัตนกุลแล้วพบว่า การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักรเช่น ขนาดแรงกระทำด้านข้าง ความสามารถในการสลายพลังงาน และการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนได้ถูกต้องในระดับหนึ่งก่อนที่กำแพงจะมีรูปแบบการพังทลาย ซึ่งจะมีผลของการโก่งคดของเหล็กเสริม และการลดลงของกำลังของกำแพงเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่การวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก็ยังสามารถทำให้ทราบถึงผลของการทดสอบที่ไม่สามารถทราบได้โดยสมบูรณ์ เช่น หน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมและคอนกรีต และผลของกำแพงที่เสริมเหล็กทแยงในปริมาณที่ต่างกัน เป็นต้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต *Sek*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Am*

3972284421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING



KEY WORD: CONCRETE / CYCLIC LOADING / ENERGY DISSIPATION / FAILURE MODES / FINITE
ELEMENT ANALYSIS / NONLINEAR / REINFORCED CONCRETE / WALLS /
REINFORCING STEEL

SEKSAN THUMUMNUAYSOOK : A STUDY ON BEHAVIORS OF REINFORCED CONCRETE
WALLS SUBJECTED TO CYCLIC LATERAL LOADINGS BY THE FINITE ELEMENT METHOD.
THESIS ADVISOR : CHADCHART SITTIPUNT, Ph.D. 130 pp. ISBN 974-334-546-9.

The primary objective of this study was to use the finite element method to study on behaviors of reinforced concrete walls subjected to cyclic lateral loading. The adequacy of the material models used to represent the cyclic response of concrete and reinforcing steel in walls was also investigated. The results of the finite element analyses were compared with the experimental data.

The finite element analysis can be analyzed by linear and nonlinear approach. This research studied the material nonlinearity of concrete and reinforcing steel in 4 cantilever slender walls with dimensions of 10cm.x100cm.x190cm. bounded by boundary beams on the sides and a cap beam on the top. The walls can be divided into 2 categories. The first type is vertical and horizontal reinforcement wall following ACI design code and the latter is the diagonal reinforcement wall. In each category, there are 2 walls, which are different in the amount of reinforcing steel bar. The concrete behavior models used in this study is based on the concrete behavior model proposed by Chadchart Sittipunt, considering fixed direction smeared crack and separating shear strain from other strains in the global coordinate system. Thus, the stresses are composed of 2 components, which are normal stress function and shear stress function. The steel behavior model is based on the steel behavior model proposed by Vorapong Chinchang which considers yielding, strain hardening and cyclic loading behavior of steel. It was found that, by comparing the study result with the testing result of Pichai Pattararattanakul, the behavior of reinforced concrete walls subjected to cyclic loading such as lateral load, dissipated energy and shear deformation could be satisfactorily analyzed by using the finite element method. Good accuracy in these behaviors was obtained until the incipient of buckling of reinforcing steel and reduction of the wall strength occurred. Additional data on strain in concrete and reinforcing steel that were difficult to be produced by laboratory tests were obtained from the finite element results. The effect of the amount of diagonal reinforcing steel was also investigated.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อผู้ผลิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ท่านศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ พี่ น้องๆ นิสิตทั้งหลายที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา รวมทั้งพี่และน้องของผู้เขียน ที่ได้ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน อีกทั้งได้ให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

เสกสรรค์ ธรรมอำนาจสุข

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความนำ.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แบบจำลองวัสดุของคอนกรีต.....	5
2.1.1 การจำลองแบบรอยแตก.....	5
2.1.2 ฟังก์ชันของหน่วยแรงตั้งฉากกับรอยแตก.....	8
2.1.3 ฟังก์ชันของหน่วยแรงเฉือน.....	17
2.2 แบบจำลองวัสดุของเหล็กเสริม.....	22
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม เมื่อรับแรงกระทำด้านเดียว.....	22
2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม เมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร.....	22
2.2.3 แบบจำลองวัสดุของเหล็กเสริมเมื่อรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร.....	23
2.3 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์.....	28
2.3.1 สูตรทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	28
2.3.2 โปรแกรม FINITE.....	32
2.3.3 วิธีการที่ใช้ในแบบจำลองวัสดุ.....	32
2.3.4 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3.5 วิธีการ Incremental-Iterative.....	37
บทที่ 3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลทดสอบ	
3.1 แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	40
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง.....	40
3.3 ความสามารถในการกระจายพลังงาน.....	41
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน.....	41
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม.....	42
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม.....	43
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำแยกเป็น แรงเฉือนในคอนกรีตและแรงเฉือนในเหล็กเสริม.....	43
3.8 ผลกระทบของลักษณะบางประการนอกเหนือจากการวิเคราะห์.....	43
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	45
รายการอ้างอิง.....	46
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1	รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างวิเคราะห์	49
ตารางที่ 1-2	คุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ในการวิเคราะห์	49
ตารางที่ 1-3	คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในการวิเคราะห์	49
ตารางที่ 2-1	การแยกประเภทการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น	50
ตารางที่ 3-1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองคอนกรีต	51
ตารางที่ 3-2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองเหล็กเสริม	52
ตารางที่ 3-3	การสังเกตการวิบัติของตัวอย่างวิเคราะห์	53

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 ลักษณะของกำแพงที่ใช้ในการวิเคราะห์	56
รูปที่ 1.2 การแบ่งชิ้นส่วนของคอนกรีต	57
รูปที่ 1.3 การแบ่งชิ้นส่วนของเหล็กเสริม	58
รูปที่ 1.4 รูปแบบการเสริมเหล็กของตัวอย่างวิเคราะห์	59
รูปที่ 2.1 การจำลองรอยแตกแบบดีสครีต (Discrete crack model)	60
รูปที่ 2.2 การจำลองรอยแตกแบบสเมียร์ (Smear crack model)	60
รูปที่ 2.3 การแยกความเครียดเฉือนออกจากองค์ประกอบความเครียดอื่น	61
รูปที่ 2.4 การทำให้แข็งขึ้นทางด้านแรงดึง	62
รูปที่ 2.5 การปิดของรอยแตกร้าว	63
รูปที่ 2.6 การเปิดของรอยแตกร้าว	64
รูปที่ 2.7 การทำให้อ่อนตัวทางด้านแรงอัด	65
รูปที่ 2.8 แบบจำลองวัสดุของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของเหล็กเสริม	66
รูปที่ 2.9 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดภายใต้แรงอัดกระทำแบบเป็นวัฏจักร	67
รูปที่ 2.10 การเพิ่มแรงกระทำและการลดแรงกระทำทางด้านแรงอัด	67
รูปที่ 2.11 เส้นแสดงการเพิ่มแรงกระทำใหม่ทางด้านแรงอัดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยเหล็กปลอก	68
รูปที่ 2.12 การถ่ายเทแรงเฉือนผ่านผิวสัมผัส	69
รูปที่ 2.13 แรงเฉือนจาก Dowel Action	70
รูปที่ 2.14 การถ่ายเทแรงเฉือนภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร	71
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร	72
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดเมื่อรับแรงกระทำด้านเดียว	72
รูปที่ 2.17 รอบความสัมพันธ์หลักระหว่างหน่วยแรงและความเครียด	73
รูปที่ 2.18 ตำแหน่งคอมมอนและตำแหน่งอัลติเมต	74
รูปที่ 2.19 ผลของการย้อนแรงจากช่วงที่เกิดการคราก	75
รูปที่ 2.20 การคลายแรงกระทำจากช่วงที่เกิดการคราก	76
รูปที่ 2.21 วิธีการคำนวณในแต่ละขั้นของแรงกระทำ	77
รูปที่ 2.22 เส้นทางการคำนวณของวิธีการ Incremental-iterative	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.23 ปัญหาในเชิงตัวเลขด้วยวิธีการนิวตัน-กราฟเส้นอิเทอเรชัน	78
รูปที่ 2.24 ประวัติการรับแรงของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2	79
รูปที่ 2.25 ประวัติการรับแรงของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4	80
รูปที่ 2.26 วิธีการนิวตัน-กราฟเส้นอิเทอเรชัน	81
รูปที่ 3.1 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลทดสอบ	82
รูปที่ 3.2 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลทดสอบ	83
รูปที่ 3.3 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลทดสอบ	84
รูปที่ 3.4 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4 เปรียบเทียบกับผลทดสอบ	85
รูปที่ 3.5 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4 เปรียบเทียบกันเมื่อใช้ปริมาณเหล็กเสริมทแยงต่างกัน	86
รูปที่ 3.6 พฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำด้านข้าง แบบเป็นวัฏจักร	87
รูปที่ 3.7 วิธีการคำนวณหาการกระจายพลังงาน	88
รูปที่ 3.8 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1	89
รูปที่ 3.9 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2	90
รูปที่ 3.10 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3	91
รูปที่ 3.11 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4	92
รูปที่ 3.12 การคำนวณหาการเสียรูปด้วยแรงเฉือน	93
รูปที่ 3.13 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ	94
รูปที่ 3.14 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ	95
รูปที่ 3.15 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ	96
รูปที่ 3.16 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.17 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1.....	98
รูปที่ 3.18 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2.....	102
รูปที่ 3.19 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3.....	106
รูปที่ 3.20 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4.....	109
รูปที่ 3.21 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1.....	112
รูปที่ 3.22 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2.....	116
รูปที่ 3.23 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3.....	120
รูปที่ 3.24 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4.....	123
รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3.....	126
รูปที่ 3.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4.....	128