

พฤติกรรมของเสาคอนกรีตกำลังสูงภายใต้การโอบรัดของเหล็กปลอก



นายภาคภูมิ พัฒนเศรษฐานนท์

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

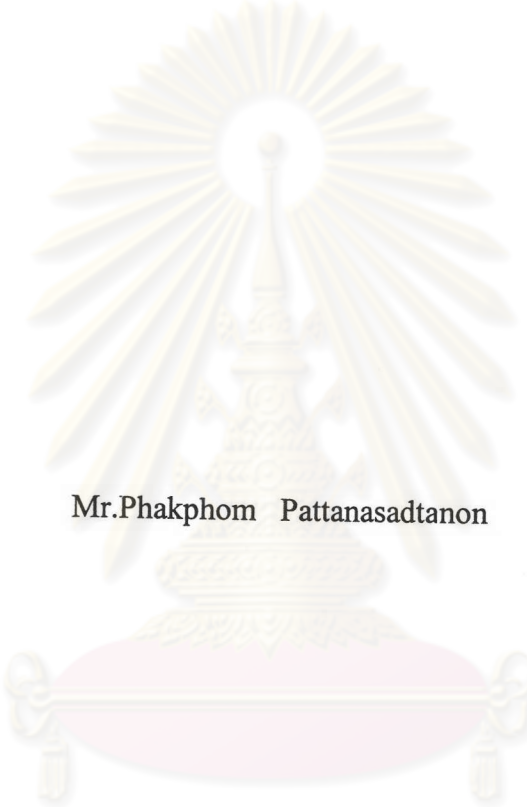
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5433-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BEHAVIOR OF HIGH-STRENGTH CONCRETE COLUMNS CONFINED BY
TRANSVERSE REINFORCEMENT



Mr.Phakphom Pattanasadtanon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-17-5433-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โดย

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

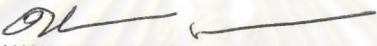
พฤติกรรมของเสาคอนกรีตกำลังสูงภายใต้การโอบรัดของเหล็กปลอก

นายภาคภูมิ พัฒนเศรษฐานนท์

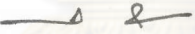
วิศวกรรมโยธา

ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว)


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


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัมย์)

ภาคภูมิ พัฒนเศรษฐานนท์ : พฤติกรรมของเสาคอนกรีตกำลังสูงภายใต้การโอบรัดของเหล็กปลอก.
(BEHAVIOR OF HIGH-STRENGTH CONCRETE COLUMNS CONFINED BY TRANSVERSE
REINFORCEMENT) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 143 หน้า. ISBN 974-17-5433-7.

ถึงแม้หลักการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหวจะพยายามทำให้เกิดข้อหมุนพลาสติกขึ้นในคานมากกว่าในเสา แต่ความไม่แน่นอนของแผ่นดินไหวทำให้เป็นไปได้ที่จะเกิดข้อหมุนพลาสติกขึ้นในเสา ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงจำเป็นต้องออกแบบเสาให้มีความเหนียวที่เพียงพอ และต้องไม่เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน ซึ่งเป็นการวิบัติที่เปราะและเป็นอันตราย สมการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดของข้อกำหนด ACI 318-99 ได้มาจากข้อมูลทดสอบของเสาคอนกรีตกำลังธรรมดา และไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงตามแนวแกนและรูปร่างการจัดเรียงเหล็กปลอก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดสำหรับเสาคอนกรีตกำลังสูง โดยมีการคำนึงถึงตัวแปรที่สำคัญเหล่านี้

รายงานนี้เสนอผลการวิเคราะห์ความถดถอยข้อมูลทดสอบเสาคอนกรีตกำลังสูงที่มีกำลังคอนกรีตประมาณ 70 MPa - 110 MPa ภายใต้แรงอัดตามแนวแกนคงที่ และแรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักร เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเหล็กปลอกโอบรัดประสิทธิผล ซึ่งเสนอโดยปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ กับค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัว และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวกับตัวแปรพฤติกรรมอื่นๆ ของเสาคอนกรีตกำลังสูง อีกทั้งได้มีการตรวจสอบสมการคำนวณกำลังรับแรงเฉือนต่างๆ เช่น สมการของ ACI 318-99 เมื่อใช้กับเสาคอนกรีตกำลังสูง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทดสอบเสาคอนกรีตกำลังสูง พบว่า ค่าอัตราส่วนเหล็กปลอกโอบรัดประสิทธิผลมีความสัมพันธ์กับค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวอย่างชัดเจน และสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดสำหรับเสาคอนกรีตกำลังสูงได้ รวมทั้งสามารถประเมินค่าสมรรถนะของเสาอื่นๆ เช่น การสลายพลังงาน การเสื่อมลคของสติเฟนประสิทธิผล เป็นต้น ค่าอัตราส่วนเหล็กปลอกโอบรัดประสิทธิผลนี้สามารถคำนึงถึงผลปริมาณเหล็กเสริมโอบรัด และผลของรูปร่างการจัดเรียงเหล็กปลอกได้เป็นที่น่าพอใจเมื่อระดับแรงในแนวแกนไม่ต่ำกว่า 20 % ของค่าที่คำนวณจากกำลังอัดของคอนกรีตและเนื้อที่หน้าตัดของเสา

จากการวิเคราะห์ความสามารถรับแรงด้านข้างของเสาคอนกรีตกำลังสูงที่เกิดการวิบัติโดยการคด พบว่า การใช้หน่วยแรงอัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ขบเท่าตามที่กำหนดโดย ACI 318-99 มีความปลอดภัยลดลงเมื่อกำลังคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น และไม่ปลอดภัยเพียงพอสำหรับเสาที่มีกำลังคอนกรีตตั้งแต่ 90 MPa ขึ้นไป และในส่วนของผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของเสาคอนกรีตกำลังสูงที่เกิดการวิบัติโดยการเฉือน พบว่า สมการคำนวณกำลังเฉือนของ ACI 318-99 ไม่ปลอดภัยสำหรับการออกแบบเสาคอนกรีตกำลังสูงกว่า 50 MPa ภายใต้แรงแผ่นดินไหว

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต ณัฐพร พงษ์สมบูรณ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ปณิธาน

4370439821 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS : HIGH-STRENGTH CONCRETE COLUMNS / TRANSVERSE REINFORCEMENT / EFFECTIVE CONFINEMENT
STEEL RATIO / DUCTILITY / ENERGY DISSIPATION / SHEAR STRENGTH

PHAKPHOM PATTANASADTANON : BEHAVIOR OF HIGH-STRENGTH CONCRETE COLUMNS

CONFINED BY TRANSVERSE REINFORCEMENT. THESIS ADVISOR : PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D.,
143 pp. ISBN 974-17-5433-7.

Although the principle of seismic design of buildings calls for formation of plastic hinges in girders rather than in columns, the uncertainty of earthquakes makes it possible for plastic hinges to form in columns. Therefore, for the sake of safety, it is necessary to design columns with sufficient ductility and shear capacity to avoid the brittle failure which is dangerous. The confinement steel design equation of ACI 318-99 is based on test data of normal-strength concrete columns and does not account for the effect of axial load and transverse reinforcement configuration. Hence the ACI design equation needs to be improved for high-strength concrete columns to reflect these important parameters.

This report presents the regression analysis results of high-strength column test data which include concrete strength in the range of 70 to 110 MPa. The columns considered were subjected to constant axial compression load and cyclic lateral load. The relationship between the effective confinement steel ratio proposed by Lukkunaprasit and the displacement ductility factor, and the relationships between the displacement ductility factor and other performance indexes for high-strength concrete columns are developed. Furthermore several shear strength equations, e.g. the ACI 318-99 equation, are checked against high-strength concrete column test data.

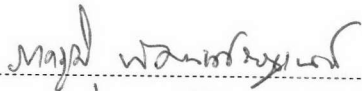
From the analyses of high-strength concrete column test data it is found that the effective confinement steel ratio has an evident relationship with the displacement ductility factor, and such relationship can be applied in the confinement steel design of high-strength concrete columns. Moreover other column performances such as energy dissipation, effective stiffness degradation, can be assessed. The effective confinement steel ratio can satisfactorily take into account the effect of amount of confinement steel and steel configuration when the axial load level is not lower than 20% of axial load capacity based on concrete strength and gross cross-sectional area.

From the analyses of lateral load capacity of high-strength concrete columns failed in flexure it is found that the use of the equivalent rectangular compressive stress block as defined by ACI 318-99 is less conservative with increase in concrete strength, and it is not safe enough for columns with concrete strength above 90 MPa. As for high-strength concrete columns failed in shear it appears that the ACI 318-99 shear strength equation is not safe for the design of columns under seismic action when the compressive strength is higher than 50 MPa.

Department Civil Engineering

Field of study Civil Engineering

Academic year 2003

Student's signature 

Advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนดูแลเอาใจใส่ทุก ๆ ขั้นตอนการทำวิจัยและการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัมย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาตรวจทานและให้ข้อเสนอแนะวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณจรรยา เดชากุล ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องคอมพิวเตอร์กับข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา และขอขอบพระคุณ คุณอุทัยวรรณ มหาอุดมพันธ์ ที่ได้ช่วยในการพิมพ์เอกสารวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายที่สุดนี้ บุคคลที่ข้าพเจ้าจะลืมเสียมิได้ก็คือ มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดมา รวมทั้งพระคุณของครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษาเล่าเรียนจนถึงปัจจุบัน สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ ข้าพเจ้าจะจดจำไว้ในจิตใจตลอดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 กลไกการโอบรัดคอนกรีตโดยเหล็กปลอก.....	7
2.1.1 อิทธิพลของการโอบรัดที่มีต่อคอนกรีต.....	7
2.1.2 ประโยชน์ของการโอบรัด.....	9
2.1.3 ชนิดของการโอบรัด.....	9
2.2 พฤติกรรมของเสา HSC ที่รับแรงตามแนวแกนตรงศูนย์.....	10
2.2.1 ผลของคอนกรีตหุ้ม.....	10
2.2.2 ผลของอัตราส่วนปริมาตรของเหล็กปลอก.....	11
2.2.3 ผลของกำลังจุดครากของเหล็กปลอก.....	12
2.2.4 ผลของการจัดเรียงเหล็กขึ้นและการจัดเรียงเหล็กปลอก.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 พฤติกรรมของเสา HSC ที่รับแรงตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัด.....	15
2.3.1 ผลของกำลังคอนกรีต (f'_c) และระดับของแรงตามแนวแกน ($P/f'_c A_g$ หรือ P/P_o) ต่อความเหนียว.....	18
2.3.2 ผลของกำลังจุดครากของเหล็กปลอก (f_{yh}) ต่อความเหนียว.....	18
2.3.3 ผลของการจัดเรียงเหล็กปลอกต่อความเหนียว.....	20
2.4 วิธีการประเมินพฤติกรรม.....	20
2.4.1 อัตราส่วนความหน่วงเชิงหนืดเทียบเท่า (equivalent viscous damping ratio, ξ_{eq}) และสติฟเนสประสิทธิภาพ (effective stiffness, k_{eff}).....	22
2.5 วิธีการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดตามข้อกำหนด ACI 318-99.....	24
2.6 การวิเคราะห์ประเมินความต้องการตามข้อกำหนดของ ACI ในปัจจุบันสำหรับเหล็กปลอกโอบรัดในเสาปลอกเดี่ยว.....	28
2.7 สมการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดที่เสนอโดย Watson, Zahn และ Park [1994].....	30
2.8 วิธีการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดตามข้อกำหนด NZS 3101:1995.....	35
2.9 สมการออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยวเพื่อการโอบรัดของเสาคอนกรีต กำลังธรรมดาที่เสนอโดย Sheikh และ Khoury [1997].....	38
2.10 สมการออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยวเพื่อการโอบรัดของเสาคอนกรีต กำลังสูงที่เสนอโดย Bayrak และ Sheikh [1998].....	41
2.11 การออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยวเพื่อการโอบรัดของเสาคอนกรีต ที่เสนอโดย Lukkunaprasit [2000].....	42
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทดสอบเสาคอนกรีตกำลังสูง.....	45
3.1 ข้อมูลทดสอบเสาคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	45
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิภาพ กับค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัว.....	47

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ข้อมูลดิบของเสาทดสอบคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	62
3.2	ค่าอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิผล และความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวที่ได้จากการสร้างเส้นโค้งโอบลุม.....	65
3.3	ค่าอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิผล และความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวที่ได้จากเอกสารวิจัยต่าง ๆ.....	67
3.4	ค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัว และตัวแปรพฤติกรรมต่าง ๆ.....	71
3.5	ค่าความสามารถของกำลังดัดในการรับแรงดัดข้าง (flexural capacity) ที่คำนวณได้ตามข้อกำหนด ACI 318-99.....	73
3.6	ค่ากำลังรับแรงเฉือน (shear strength) ที่คำนวณได้โดยสมการต่าง ๆ.....	76



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	อิทธิพลของการ โอบรัดชนิดต่าง ๆ ต่อพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Penelis and Kappos [1997]).....
	77
2.2	ชนิดของการ โอบรัด (Penelis and Kappos [1997]).....
	77
2.3	ความสัมพันธ์ของแรงตามแนวและการหดตัวของเสาคอนกรีตกำลังสูง (ACI – ASCE Committee 441 [1997]).....
	78
2.4	กลไกการกระแทะออกของคอนกรีตหุ้ม (ACI – ASCE Committee 441 [1997]).....
	78
2.5	ผลของเหล็กปลอกต่อความเหนียวตามแนวแกนของเสาคอนกรีตกำลังสูง (ACI – ASCE Committee 441 [1997]).....
	79
2.6	ผลของเหล็กปลอกต่อกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง (ACI – ASCE Committee 441 [1997]).....
	79
2.7	ผลของการจัดเรียงเหล็กปลอกต่อการกระจายหน่วยแรงโอบรัด (Saatcioglu and Razvi [2002]).....
	80
2.8	สมมูลย์ของแรงคั้น โอบรัดต่อแกนคอนกรีต (Watson et al. [1994]).....
	80
2.9	ตัวอย่างเสาทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ACI – ASCE Committee 441 [1997]).....
	81
2.10	ประวัติการให้แรงกระทำต่อเสาทดสอบ.....
	81
2.11	วิธีการประเมินค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัว (Lukkunaprasit and Thepmangkorn [2004]).....
	82
2.12	อัตราส่วนความหน่วงเชิงหนืดเทียบเท่า (Priestley et al. [1996]).....
	82
2.13	วงรอบฮิสเทรีซิสของส่วน โครงสร้างต่าง ๆ (Priestley et al [1996]).....
	83
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวกับอัตราส่วนความหน่วง (Priestley [1997]).....
	83
2.15	การให้รายละเอียดเหล็กปลอกตามความยาวของเสาตามข้อกำหนด ACI (PCA).....
	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16	การให้รายละเอียดเหล็กปลอกในหน้าตัดเสาตามข้อกำหนด ACI (PCA).....
	85
2.17	ตัวอย่างเสาที่ใช้ในการพัฒนาสมการออกแบบเหล็กปลอกของ Watson, Zahn และ Park [1994] (Watson et al. [1994]).....
	86
2.18	ความยาวที่ต้องการการโอบรัดของเสา (Watson et al. [1994]).....
	87
2.19	แนวคิดพื้นที่แกนคอนกรีตที่ถูกโอบรัดอย่างมีประสิทธิภาพ (Sheikh and Khoury [1997]).....
	87
2.20	ประเภทของการจัดเรียงเหล็กปลอกตาม Sheikh และ Khoury [1997].....
	88
3.1	ชนิดของเสาทดสอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Taylor et al. [1997]).....
	89
3.2	ชนิดของการจัดเรียงเหล็กปลอกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (http://maximus.ce.washington.edu/~peera1).....
	90
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิผลกับความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวที่ได้จากการสร้างเส้นโค้งโอบคลุม.....
	93
3.4	ตัวแปรผลของแรงตามแนวแกน (Y_p) ที่เสนอโดย Sheikh และ Khoury [1997].....
	94
3.5	วิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิผลกับความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวที่ได้จากการสร้างเส้นโค้งโอบคลุม.....
	95
3.6	วิธีการหาค่าการเคลื่อนตัวจุดครากของนักวิจัยต่าง ๆ.....
	96
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิผลกับความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวที่รายงานในเอกสารการวิจัย.....
	98
3.8	วิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเหล็กปลอกประสิทธิผลกับความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวที่รายงานในเอกสารการวิจัย.....
	99
3.9	เปรียบเทียบผลของการโอบรัดที่มีต่อความเหนียวของเสาคอนกรีตกำลังสูงและเสาคอนกรีตกำลังธรรมดา.....
	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 วิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวกับอัตราส่วนการเคลื่อนตัวคงค้าง.....	101
3.11 วิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวกับอัตราส่วนความหน่วงเชิงหนืดเทียบเท่า.....	102
3.12 วิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวและสติฟเนสประสิทธิภาพลอนอร์มัลไลซ์.....	103
3.13 วิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวและการสลายพลังงานนอร์มัลไลซ์.....	104
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตและอัตราส่วนของแรงดันทันข้างสูงสุดต่อความสามารถรับแรงดันทันข้างที่คำนวณตาม ACI ของเสาทดสอบที่เกิดการวิบัติโดยการค้ำ.....	105
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวและอัตราส่วนของแรงดันทันข้างสูงสุดต่อกำลังรับแรงเฉือนที่คำนวณตามสมการต่าง ๆ ของเสาทดสอบที่เกิดการวิบัติโดยการเฉือน.....	106