



247089



พฤติกรรมการรับแรงของผนังที่โอบรัดด้วยโครงขี้นแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
ภายใต้แรงเฉือน

BEHAVIOUR OF MASONRY PANEL CONFINED WITHIN REINFORCED
CONCRETE FRAME UNDER SHEAR LOADING

นายถนักรุณ ฝดุงกิจ

วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

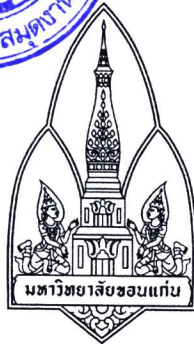
025 2044



ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247089



พฤติกรรมการรับแรงของผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
ภายใต้แรงเฉือน

BEHAVIOUR OF MASONRY PANEL CONFINED WITHIN REINFORCED
CONCRETE FRAME UNDER SHEAR LOADING

นายต้นกรุง ผดุงกิจ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

พฤติกรรมการรับแรงของผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
ภายใต้แรงเฉือน

นายฉัตรกร ผดุงกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

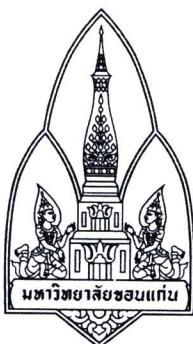
พ.ศ. 2554

**BEHAVIOUR OF MASONRY PANEL CONFINED WITHIN REINFORCED
CONCRETE FRAME UNDER SHEAR LOADING**

MR. LANKRUNG PADUNGKIT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN CIVIL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

2011



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ชื่อวิทยานิพนธ์: พฤติกรรมการรับแรงของผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายลั่นกรูญ ผดุงกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ รังษี นันทสาร	ประธานกรรมการ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จารึก ถิระวงษ์	กรรมการ
	อาจารย์ ดร. อดิสร พรมเชษฐ์	กรรมการ
	อาจารย์ เมธี บุญพิเชฐวงศ์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. อดิสร พรมเชษฐ์)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่ณมาตย์) (รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก ถิระกุลพิศุทธิ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ถ้่นกรุง ผดุงกิจ. 2554. พฤติกรรมการรับแรงของผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีต

เสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ดร. ธันยดา พรรณเชษฐ์

บทคัดย่อ

247089

การศึกษาในครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงร่วมระหว่างผนังกับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการทดสอบผนังที่เปล้และผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน ซึ่งประยุกต์ใช้มาตรฐาน ASTM E 519-02 และส่วนที่สองเป็นการจำลองพฤติกรรมการรับแรงของผนังและผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือนด้วยการวิเคราะห์โดยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง SAP2000 จากผลการทดสอบพฤติกรรมของผนังเปล้ภายใต้แรงเฉือนพบว่าเมื่อผนังเปล้รับแรงจนถึงจุดสูงสุดจะเกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด เนื่องจากอิฐที่ใช้ก่อผนังเป็นวัสดุที่เปราะทำให้ ณ จุดวิบัติเกิดการปลดปล่อยพลังงานทันทีและด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือในการทดสอบจึงไม่สามารถควบคุมพฤติกรรมหลังการแตกร้าวได้ สำหรับการจำลองพฤติกรรมของผนังเปล้ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง SAP2000 โดยควบคุมการวิบัติของระบบโครงสร้างนี้ให้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของชิ้นส่วนจำลองการแตกร้าว พบว่าเมื่อชิ้นส่วนจำลองการแตกร้าวเกิดการแตกร้าวแบบสมบูรณ์ผนังที่เปล้จะวิบัติโดยพบว่าเมื่อควบคุมพฤติกรรมการแตกร้าวโดยใช้การควบคุมการเสียรูป การวิบัติจะไม่วิบัติแบบทันทีทันใดแต่จะเป็นแบบกำลังรับแรงค่อยๆลดลง ซึ่งพฤติกรรมนี้ไม่สามารถหาได้จากการทดสอบสำหรับการทดสอบพฤติกรรมของผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน เมื่อผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับแรงจนถึงจุดสูงสุดจะไม่เกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด เนื่องจากมีผลการโอบรัดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

Lankrung Padungkit. 2011. *Behaviour of Masonry Panel Confined within Reinforced Concrete Frame under Shear Loading*. Master of Engineering Thesis in Civil Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Dr. Tanyada Pannachet

ABSTRACT

247089

The objective of this study was to investigate behavior of masonry confined within RC frame under shear loading. The study included a laboratory experiment and a numerical investigation. For the experiment, we applied ASTM E519-02 testing standard to preliminarily investigate mechanical behavior of masonry panels when unconfined and when confined within RC frame, under load control technique. Like other quasi-brittle materials, the experimental results showed an abrupt tensile failure once the masonry panels reached their peak load carrying capacity. Because of limitations of our laboratory, the post-peak behavior could not be captured in this load-control experiment. Using the displacement control technique for modeling behavior of the panels via SAP2000, the panels did not fail abruptly but gradually reduced their load carrying capacity, thus directions of crack propagation could be observed. In the unconfined panel, it was found that the major crack path started from the middle and propagated to the top and the bottom corners of the test panel, whereas in the confined panel, the crack started at the top corner and propagated toward the bottom corner.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้อย่างสมบูรณ์ก็ด้วยความกรุณาอย่างสูงจากหลายๆฝ่าย ที่ให้การสนับสนุนและการช่วยเหลือในทุกๆด้านแก่ผู้เขียน จึงทำให้ผลงานชิ้นนี้ประสบผลสำเร็จลงได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ดร.ธัญดา พรรณเชษฐ์ และ อ.เมธิ บุญพิเชฐวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขการทำงานวิจัยด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ รังษิ นันทสาร ซึ่งกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมด้วย ผศ.ดร.จารึก ถิระวงษ์ ซึ่งกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่ผู้เขียน และขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนในการศึกษาในครั้งนี้

ความดีทั้งหมดของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบให้ คุณพ่อมานิตย์ ผดุงกิจ และ คุณแม่รุ่งรัศมี ผดุงกิจ อันเป็นที่รักและเคารพยิ่งของผู้เขียน ขอขอบคุณนายวินัย สุโพธิ์ นายอภิสิทธิ์ พาพวย และนางสาวจิราภรณ์ พัสคร ที่เป็นผู้แนะนำและเป็นเพื่อนที่คอยให้กำลังใจในการศึกษา ซึ่งเป็นผู้ช่วยวิจัยที่แสนดีในการช่วยเหลือดูแลทุกๆ ด้านและคอยให้กำลังใจแก่ผู้เขียนจนสำเร็จการศึกษา

ถิ่นกรุง ผดุงกิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของผนังทึบ	4
2.2 การศึกษาการจำลองพฤติกรรมการรับแรงของผนังทึบโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 7	
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
3.1 ผนังทึบ	9
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรมโครงสร้าง	13
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย	17
4.1 การทดสอบพฤติกรรมของผนังทึบรับแรงเฉือน	17
4.2 การวิเคราะห์โดยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง SAP2000	26
บทที่ 5 ผลการวิจัย	35
5.1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของกำแพงก่ออิฐขนาดเล็ก ตามมาตรฐาน ASTM 447	35
5.2 ผลการทดสอบผนังทึบเปล่าและผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็ง คอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM E519-02	36
5.3 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของผนังทึบเปล่าและผนังทึบที่โอบรัดด้วย โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ โครงสร้าง SAP2000	43
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ บรรณานุกรม	62 64

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของผนังที่บ้ำแนกตามสภาวะ ของผนังที่บ	9
ตารางที่ 4.1	รายละเอียดของไดอัลเกจและความยาวของเกจวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ของตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 1 และ 2	20
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง	33
ตารางที่ 5.1	คุณสมบัติของอิฐมอญ	35
ตารางที่ 5.2	หน่วยแรงเฉือนประลัษ ความเครียดเฉือนประลัษ และแรงประลัษของ ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 1	38
ตารางที่ 5.3	หน่วยแรงเฉือนประลัษ ความเครียดเฉือนประลัษ และแรงประลัษของ ตัวอย่างที่ 2	42

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	การทดสอบผนังทึบเปล่ารับแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM E519-02	2
ภาพที่ 1.2	พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของผนังทึบเปล่า	2
ภาพที่ 2.1	การศึกษาพฤติกรรมของอิฐที่ผลิตภายในประเทศภายใต้น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งและแผ่กระจายสม่ำเสมอ	5
ภาพที่ 2.2	การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของอิฐที่ผลิตภายในประเทศภายใต้ น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งและแผ่กระจายสม่ำเสมอ	5
ภาพที่ 2.3	การทดสอบโครงข้อแข็งเหล็กกับผนังทึบภายใต้แรงกระทำด้านข้าง	
ภาพที่ 3.1	โมดูลัสยืดหยุ่นของผนังทึบ	10
ภาพที่ 3.2	รูปแบบของการวิบัติของผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็ง	
ภาพที่ 3.3	พฤติกรรมการเกิดการแตกร้าวของผนังทึบ	13
ภาพที่ 3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับพลังงานการแตกร้าว	13
ภาพที่ 3.5	ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างแรงที่จุดต่อการเคลื่อนที่ของจุดต่อ	
ภาพที่ 4.1	ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 1 (ผนังทึบเปล่าที่ไม่มีการโอบรัด)	18
ภาพที่ 4.2	ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 2 (ผนังทึบที่มีการโอบรัด)	19
ภาพที่ 4.3	การติดตั้งไดอัลเกจแบบเกจวัดยาวและแบบเกจวัดสั้น	19
ภาพที่ 4.4	อุปกรณ์ให้แรงกับชิ้นตัวอย่างทดสอบ	20
ภาพที่ 4.5	อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ ไดอัลเกจ	21
ภาพที่ 4.6	อุปกรณ์ถ่ายแรงให้กับตัวอย่างทดสอบ	21
ภาพที่ 4.7	อุปกรณ์ Universal Testing Machine	22
ภาพที่ 4.8	การก่อ Prism เพื่อทดสอบหาหน่วยแรงอัด	23
ภาพที่ 4.9	การติดตั้งตัวอย่างทดสอบผนังทึบเปล่า	25
ภาพที่ 4.10	Four-node Quadrilateral Plane Stress Element ที่ใช้ในการจำลองผนังทึบเปล่า	26
ภาพที่ 4.11	คุณสมบัติของแบบจำลองชิ้นส่วนแบบระนาบ	27
ภาพที่ 4.12	ชิ้นส่วนแบบแท่ง (Bar-element) ที่ใช้ในการจำลองการแตกร้าวอย่างง่าย	27
ภาพที่ 4.13	พฤติกรรมของชิ้นส่วนแบบแท่ง	28
ภาพที่ 4.14	แบบจำลองผนังทึบที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.15	ขึ้นส่วนแบบ shell element มีจุดต่อ 4 จุด
ภาพที่ 4.16	ขึ้นส่วนแบบคานมีจุดต่อ 2 จุด
ภาพที่ 4.17	แบบจำลองผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000
ภาพที่ 4.18	แบบจำลองพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
ภาพที่ 4.19	ค่าพารามิเตอร์ของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน FEMA356
ภาพที่ 5.1	การทดสอบ Prism และการทดสอบก้อนอิฐ 1 ก้อน
ภาพที่ 5.2	สภาพรอยแตกร้าวของผนังทึบเปล่าจากการทดสอบ
ภาพที่ 5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ UCF1 (แบบเกจวัดยาว)
ภาพที่ 5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ UCF2 (แบบเกจวัดยาว)
ภาพที่ 5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ UCF3 (แบบเกจวัดยาว)
ภาพที่ 5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนกับความเครียดเฉือนจากการให้ แรงกระทำ 2 รอบและผลคาดว่าจะหาได้จากวิธีควบคุมการเสีรูปของ ตัวอย่างทดสอบ CF2 (เกจวัดยาว)
ภาพที่ 5.7	สภาพรอยแตกจำลองที่แต่ละสภาวะของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก กับผนังทึบในการให้แรงกระทำรอบที่หนึ่ง
ภาพที่ 5.8	สภาพรอยแตกจำลองที่แต่ละสภาวะของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก กับผนังทึบในการให้แรงกระทำรอบที่สอง
ภาพที่ 5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสีรูปของตัวอย่างทดสอบ CF1 (แบบเกจวัดยาว) ณ สภาวะต่างๆ
ภาพที่ 5.10	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสีรูปของตัวอย่างทดสอบ CF2 (แบบเกจวัดยาว) ณ สภาวะต่างๆ
ภาพที่ 5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสีรูปของตัวอย่างทดสอบ CF3 (แบบเกจวัดยาว) ณ สภาวะต่างๆ

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยกับความเครียดเฉือนเฉลี่ยของ ผนังทึบที่ไม่มีการโอบรัดกับผนังทึบที่มีการโอบรัดด้วยโครงข้อแข็ง คอนกรีตเสริมเหล็ก	42
ภาพที่ 5.13 การแตกร้าวสภาวะ A (แบบจำลองผนังทึบเปล่า) ขยาย 100 เท่า	45
ภาพที่ 5.14 การแตกร้าวสภาวะ B (แบบจำลองผนังทึบเปล่า) ขยาย 100 เท่า	45
ภาพที่ 5.15 การแตกร้าวสภาวะ C (แบบจำลองผนังทึบเปล่า) ขยาย 100 เท่า	46
ภาพที่ 5.16 การแตกร้าวสภาวะ D (แบบจำลองผนังทึบเปล่า) ขยาย 100 เท่า	46
ภาพที่ 5.17 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 2	46
ภาพที่ 5.18 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 3	47
ภาพที่ 5.19 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 4	47
ภาพที่ 5.20 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 5	47
ภาพที่ 5.21 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 6	48
ภาพที่ 5.22 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 7	48
ภาพที่ 5.23 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 8	48
ภาพที่ 5.24 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 9	49
ภาพที่ 5.25 สภาวะการเกิดการแตกร้าวของแบบจำลองการแตกร้าวชิ้นส่วนที่ 10	49
ภาพที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของแบบจำลองผนังทึบเปล่า ภายใต้แรงเฉือน	49
ภาพที่ 5.27 การแตกร้าวสภาวะ A ขยาย 100 เท่า (แบบจำลองผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก)	51
ภาพที่ 5.28 การแตกร้าวสภาวะ B ขยาย 100 เท่า (แบบจำลองผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก)	52
ภาพที่ 5.29 การแตกร้าวสภาวะ C ขยาย 100 เท่า (แบบจำลองผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก)	52
ภาพที่ 5.30 การแตกร้าวสภาวะ D ขยาย 100 เท่า (แบบจำลองผนังทึบที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก)	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 5.31	การแตกร้าวัสดุขย 100 เท้า (แบบจำลองผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก)	53
ภาพที่ 5.32	การแตกร้าวัสดุF ขย 100 เท้า (แบบจำลองผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก)	53
ภาพที่ 5.33	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 2	53
ภาพที่ 5.34	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 3	54
ภาพที่ 5.35	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 4	54
ภาพที่ 5.36	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 5	55
ภาพที่ 5.37	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 6	55
ภาพที่ 5.38	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 7	56
ภาพที่ 5.39	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 8	56
ภาพที่ 5.40	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 9	57
ภาพที่ 5.41	สภาวะการเกิดการแตกร้าของแบบจำลองการแตกร้าขึ้นส่วนที่ 10	57
ภาพที่ 5.42	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของแบบจำลองผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน	58
ภาพที่ 5.43	เปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของแบบจำลองผนังที่เปล้ากับผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก	59
ภาพที่ 5.44	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของผนังที่เปล้า	60
ภาพที่ 5.45	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของผนังที่โอบรัดด้วยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก	61