

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



208863



กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอก

แบบโครงข้อหมุน

SHEAR RESISTING MECHANISM IN REINFORCED CONCRETE BEAM
WITH TRUSS-FORM STIRRUPS

นายสุชัย แซ่ตัน

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554



208863



กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอก
แบบโครงขี้หมู

SHEAR RESISTING MECHANISM IN REINFORCED CONCRETE BEAM
WITH TRUSS-FORM STIRRUPS



นายสุชัย แซ่ฉิ้น

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอก
แบบโครงข้อมุม

นายสุชัย แซ่ฉิ้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

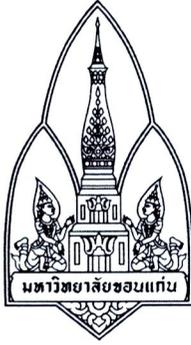
พ.ศ. 2554

**SHEAR RESISTING MECHANISM IN REINFORCED CONCRETE BEAM
WITH TRUSS-FORM STIRRUPS**

MR. SUCHAI SAE-CHIN

**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: กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบ
โครงข้อหมุน

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายสุชัย แซ่ฉิ้น

| | | |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------|
| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | รองศาสตราจารย์ ดิลก ศรีนาวิน | ประธานกรรมการ |
| | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จารึก ถีระวงษ์ | กรรมการ |
| | อาจารย์ ดร. ฉันทดา พรรณเชษฐ์ | กรรมการ |
| | อาจารย์ เมธี บุญพิเชฐวงศ์ | กรรมการ |

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.ดร. ฉันทดา พรรณเชษฐ์)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาตย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก ถีระกุลพิศุทธิ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุชัย แซ่ฉิ้น. 2554. กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบ
โครงข้อหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ดร. ธันยดา พรรณเชษฐ์

บทคัดย่อ

208863

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาถึงกลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบ โครงข้อหมุน โดยมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบแนวคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กกับการไหลของหน่วยแรง โดยการใช้เหล็กปลอกทแยงวางตามแนวการไหลของหน่วยแรงดึงหลักตลอดความยาวของคานและเชื่อมต่อกันในรูปแบบโครงข้อหมุน ในการศึกษาได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกลไกการรับแรงเฉือนระหว่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบ โครงข้อหมุนกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกลูกตั้งแนวตั้งทั่วไป ในการตรวจสอบหน่วยแรง และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดำเนินการวัดข้อมูลด้วยเกจวัดความเครียด และ LVDT ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทิศทางเดียว 2 จุดกระทำบนคานที่มีอัตราส่วนช่วงการเฉือนต่อความลึกประสิทธิผล (a/d) เท่ากับ 2.5-3.0 โดยใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 15×30 ซม² โดยมีระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกเท่ากับ d และ $d/2$ จากผลการทดสอบพบว่าการจัดเหล็กเสริมตามรูปแบบโครงข้อหมุนช่วยให้คานรับแรงเฉือนได้มากขึ้น และช่วยให้รอยแตกร้าวตามแนวทแยงกระจายตัวได้ดีกว่าการเสริมเหล็กปลอกเฉพาะแนวตั้งเพียงอย่างเดียวโดยที่เหล็กปลอกในทิศทางแนวทแยงจะทำหน้าที่ช่วยรับแรงมากกว่าเหล็กปลอกแนวตั้งในคานที่เสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุนจนกระทั่งคานวิบัติ การเสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุนจะช่วยให้การเสีรูปร่างหรือการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานภายหลังจากการแตกร้าวเฉือนแรกลดลงกว่าคานที่เสริมเหล็กปลอกเฉพาะแนวตั้งเพียงอย่างเดียว และการจัดเหล็กเสริมรูปแบบโครงข้อหมุนในคานที่วิบัติแบบการเฉือนช่วยให้หน่วยการยึดตัวของรอยแตกในแนวทแยงน้อยกว่าคานที่เสริมเหล็กปลอกลูกตั้งแนวตั้งเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเหล็กปลอกทแยงวางขวางกับรอยแตกร้าวทแยงได้รับหน่วยแรงดึงจากการขยายตัวของรอยแตกร้าวทแยง จึงทำให้คานมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเสีรูปร่างน้อยกว่าคานที่เสริมเหล็กปลอกลูกตั้งแนวตั้งเพียงอย่างเดียว

Suchai Sae-Chin. 2011. **Shear Resisting Mechanism in Reinforced Concrete Beam with Truss-Form Stirrups**. Master of Engineering Thesis in Civil Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Dr. Tanyada Pannachet

ABSTRACT

208863

In this thesis, we studied shear resisting mechanism in reinforced concrete beams with steel reinforcement in a truss form, in order to resemble a stress flow pattern. By this concept, main steels were welded to the stirrups placed along the principal tensile stress direction. Comparisons of stresses and deformations between truss beams and normal beams were made via four-point loading tests, using electronic strain gages and LVDT. The test beam sections were of the size $15 \times 30 \text{ cm}^2$, with shear span/depth ratio of magnitude 2.5 to 3.0 and stirrup spacing of magnitude d and $d/2$. The results showed that arranging stirrups in a truss-form improved shear resisting capability of the beams, whereas diagonal cracks appeared to be more widely distributed, as compared to stirrups in a normal (vertical) form. Specifically, the diagonal members of the truss-form stirrups performed better than the vertical members in resisting shear forces. With the truss-form reinforcement, deformation of the truss beam, after occurrence of the first shear cracks, was smaller than the deformation of the beam with standard reinforcement. The special stirrup arrangement also helped decreasing width of the diagonal cracks, since the diagonal members prevented such cracks from opening.

งานวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบส่วนดีให้บุพการีและคณาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความช่วยเหลือ และคำปรึกษาจากคณะอาจารย์ที่ปรึกษา ได้แก่ อาจารย์ ดร.ธัญดา พรรณเชษฐ์ และอาจารย์เมธี บุญพิเชษฐวงศ์ ได้ให้คำแนะนำในทุกขั้นตอนที่ได้ทำการศึกษารายวิชาวิทยานิพนธ์ การวางแผนการศึกษาทั้งหลักสูตร การออกแบบการทดลอง กระบวนการศึกษาทดลองเพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องตามหลักวิชา ตลอดจนการเขียนรายงานทางวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย การตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานทุกอย่าง รวมทั้งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ รศ. คิลกศรีนาวิน และ ผศ.ดร. จารึก ถีรวงษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษา น้องๆชาววิศวกรรมโยธาทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ได้มีส่วนร่วมช่วยเหลือในเรื่องการทดลองต่างๆจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายผลอันจะเป็นประโยชน์ ความดีความงามทั้งปวง ที่เกิดขึ้นจากการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่คุณพ่อและคุณแม่ที่เคารพยิ่งและหากมีข้อบกพร่องด้วยประการใดๆผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

สุชัย แซ่ฉิ้น

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| คำอุทิศ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญภาพ | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 3 |
| 1.4 สมมติฐานในงานวิจัย | 4 |
| บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องวรรณกรรม | 5 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 9 |
| 3.1 กลไกการถ่ายแรงเฉือนในคาน คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริม ด้านทานแรงเฉือน | 7 |
| 3.2 แบบจำลองการรับแรงเฉือนแบบโครงตาข่าย | 13 |
| 3.3 การวิเคราะห์กำลังรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก | 16 |
| บทที่ 4 กระบวนการวิจัย | 18 |
| บทที่ 5 ผลการศึกษา | 29 |
| 5.1 ผลการทดสอบของคานทดสอบกลุ่ม A | 29 |
| 5.2 ผลการทดสอบของคานทดสอบกลุ่ม B | 39 |
| 5.3 ผลการทดสอบของคานทดสอบกลุ่ม C | 52 |
| บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ | 78 |
| บรรณานุกรม | 79 |
| ประวัติผู้เขียน | 81 |

สารบัญตาราง

| | | หน้า |
|---------------|--|------|
| ตารางที่ 4.1 | รายละเอียดของคานทดสอบกลุ่ม A | 20 |
| ตารางที่ 4.2 | รายละเอียดของคานทดสอบกลุ่ม A | 22 |
| ตารางที่ 5.1 | รายละเอียดการติดตั้งและผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุ ของคานทดสอบกลุ่ม A | 29 |
| ตารางที่ 5.2 | เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกกับรูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้น ของคานทดสอบกลุ่ม A | 30 |
| ตารางที่ 5.3 | เปอร์เซ็นต์แตกต่างของการรับน้ำหนักบรรทุกที่การแตกร้าวเฉือน แรกระหว่าง TB/NB ของคานกลุ่ม A | 30 |
| ตารางที่ 5.4 | การรับน้ำหนักของคานทดสอบกับค่าวิเคราะห์ทางทฤษฎี | 31 |
| ตารางที่ 5.5 | รายละเอียดการติดตั้งและผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุ ของคานทดสอบกลุ่ม B | 40 |
| ตารางที่ 5.6 | เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกกับรูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้น | 40 |
| ตารางที่ 5.7 | เปอร์เซ็นต์แตกต่างของการรับน้ำหนักบรรทุกที่การแตกร้าวเฉือนแรก ระหว่าง TB/NB | 41 |
| ตารางที่ 5.8 | การรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของคานทดสอบกับค่าวิเคราะห์ทางทฤษฎี | 41 |
| ตารางที่ 5.9 | ความเค้นในชิ้นส่วนย่อยของเหล็กเสริม ณ จุดวิกฤติของคานทดสอบกลุ่ม B | 52 |
| ตารางที่ 5.10 | รายละเอียดการติดตั้งและผลทดสอบคุณสมบัติวัสดุของคานทดสอบกลุ่ม C | 55 |
| ตารางที่ 5.11 | เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกกับรูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้น | 55 |
| ตารางที่ 5.12 | เปอร์เซ็นต์แตกต่างของการรับน้ำหนักบรรทุกที่การแตกร้าวเฉือนแรก ระหว่าง TB/NB ของคานกลุ่ม C | 56 |
| ตารางที่ 5.13 | การรับน้ำหนักประลัยของคานทดสอบกับค่าวิเคราะห์ทางทฤษฎี ของคานทดสอบกลุ่ม C | 56 |
| ตารางที่ 5.14 | ความเค้นในชิ้นส่วนย่อยของเหล็กเสริม ณ จุดวิกฤติของคานทดสอบ กลุ่ม C | 69 |
| ตารางที่ 5.15 | ความเครียดในของแนวคอนกรีตอาร์คและคอนกรีตรับแรงดึง ทแยงของคานทดสอบกลุ่ม C | 76 |

สารบัญภาพ

| | หน้า | |
|-------------|---|----|
| ภาพที่ 1.1 | อธิบายแบบจำลองโครงข้อหมุนสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก | 2 |
| ภาพที่ 1.2 | ความสัมพันธ์ระหว่างแนวการไหลของหน่วยแรงในคานภายใต้ขีดจำกัดของความยืดหยุ่นและการเสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุน | 3 |
| ภาพที่ 1.3 | การแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างกลับทิศไปมา | 3 |
| ภาพที่ 2.1 | การรับแรงเฉือนในคานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน | 6 |
| ภาพที่ 2.2 | ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของแนวอาร์ชรับแรงอัดในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก | 7 |
| ภาพที่ 3.1 | แรงกระทำที่รอยแตกดึงทแยงในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก | 8 |
| ภาพที่ 3.2 | สัดส่วนการต้านทานแรงเฉือนของกลไกต่างๆ | 10 |
| ภาพที่ 3.3 | กำลังเฉือนเนื่องจากเหล็กเสริมตามขวาง | 11 |
| ภาพที่ 3.4 | ผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางต่อกำลังเฉือนของคาน | 12 |
| ภาพที่ 3.5 | อาร์ชแอคชั่น (arch action) ในคาน | 13 |
| ภาพที่ 3.6 | แผนภาพอธิบายแบบจำลองโครงตาข่าย | 13 |
| ภาพที่ 3.7 | หน้าตัดแบบจำลองโครงตาข่าย | 14 |
| ภาพที่ 3.8 | ผลของ Softening ต่อการรับแรงอัดของชิ้นส่วนคอนกรีต | 15 |
| ภาพที่ 3.9 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นดึงและความเครียดดึงของชิ้นส่วนคอนกรีตรับแรงดึง | 16 |
| ภาพที่ 3.10 | หน้าตัดเสริมเหล็กคู่ (doubly reinforced section) | 17 |
| ภาพที่ 4.1 | รายละเอียดการเสริมเหล็กของคานทดสอบกลุ่ม A | 21 |
| ภาพที่ 4.2 | รายละเอียดการเสริมเหล็กและตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดของคานกลุ่ม B | 23 |
| ภาพที่ 4.3 | รายละเอียดการติดตั้งเกจวัดความเครียดในแต่ละชิ้นส่วนย่อยของคานกลุ่ม C | 25 |
| ภาพที่ 4.4 | การติดตั้ง Linear Variable Differential Transformer (LVDT) | 26 |
| ภาพที่ 4.5 | อธิบายการติดตั้งทดสอบคาน | 28 |
| ภาพที่ 5.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานทดสอบหมายเลข A-NB1 และ A-TB1 ของคานทดสอบกลุ่ม A | 32 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า | |
|-------------|--|----|
| ภาพที่ 5.2 | ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข A-NB1 และ A-TB1 | 33 |
| ภาพที่ 5.3 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานทดสอบ หมายเลข A-NB2 และ A-TB2 ของคานทดสอบกลุ่ม A | 34 |
| ภาพที่ 5.4 | ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข A-NB2 และ A-TB2 | 35 |
| ภาพที่ 5.5 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานทดสอบ หมายเลข A-NB3 และ A-TB3 ของคานทดสอบกลุ่ม A | 36 |
| ภาพที่ 5.6 | ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข A-NB3 และ A-TB3 | 38 |
| ภาพที่ 5.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานทดสอบ หมายเลข B-NB4 และ B-TB4 ของคานทดสอบกลุ่ม B | 42 |
| ภาพที่ 5.8 | ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข B-NB4 และ B-TB4 | 43 |
| ภาพที่ 5.9 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานทดสอบ หมายเลข B-NB5 และ B-TB5 ของคานทดสอบกลุ่ม B | 44 |
| ภาพที่ 5.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน ของคานกลุ่ม B | 45 |
| ภาพที่ 5.11 | ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข B-NB5 และ B-TB5 | 46 |
| ภาพที่ 5.12 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน B-NB4 | 47 |
| ภาพที่ 5.13 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน B-TB4 | 48 |
| ภาพที่ 5.14 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน B-NB5 | 50 |
| ภาพที่ 5.15 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน B-TB5 | 51 |
| ภาพที่ 5.16 | รายละเอียดการติดตั้งเกจวัดความเครียดในแต่ละชิ้นส่วนย่อยของคานกลุ่ม C | 52 |
| ภาพที่ 5.17 | รายละเอียดการติดตั้ง Linear Variable Differential Transformer : LVDT | 53 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแ่นตัวที่กึ่งกลางคาน ของคานที่วิบัติรูปแบบการเฉือนของคานทดสอบ C-NBS และ C-TBS กลุ่ม C | 57 |
| ภาพที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแ่นตัวที่กึ่งกลางคาน ของคานที่วิบัติรูปแบบการค้ำของคานทดสอบ C-NBM และ C-TBM กลุ่ม C | 58 |
| ภาพที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน C-NBS | 60 |
| ภาพที่ 5.21 ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข C-NBS และ C-TBS | 61 |
| ภาพที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนย่อย S1 กับลักษณะการแตกร้าว ของคานทดสอบหมายเลข C-NBS | 62 |
| ภาพที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง นน.บรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน C-TBS | 63 |
| ภาพที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนย่อย H2 และ H3 กับลักษณะการแตกร้าว ของคานทดสอบหมายเลข C-TBS | 64 |
| ภาพที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน NBM | 65 |
| ภาพที่ 5.26 ลักษณะการแตกร้าวของคานทดสอบหมายเลข C-NBM และ C-TBM | 66 |
| ภาพที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในชิ้นส่วนย่อย ของคาน C-TBM | 68 |
| ภาพที่ 5.28 ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียด ของแนวคอนกรีตอาร์ชและคอนกรีตรับแรงดึงทแยงของคาน C-NBS ที่วิบัติแบบการเฉือน | 70 |
| ภาพที่ 5.29 ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียด ของแนวคอนกรีตอาร์ชและคอนกรีตรับแรงดึงทแยงของคาน C-TBS ที่วิบัติแบบการเฉือน | 71 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของแนวคอนกรีตอาร์ชและคอนกรีตรับแรงดึงทแยงของคานกลุ่ม C ที่วิบัติแบบการเฉือน | 73 |
| ภาพที่ 5.31 ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของแนวคอนกรีตอาร์ชและคอนกรีตรับแรงดึงทแยงของคาน C-NBM ที่วิบัติแบบการตัด | 74 |
| ภาพที่ 5.32 ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของแนวคอนกรีตอาร์คและคอนกรีตรับแรงดึงทแยงของคาน C-TBM ที่วิบัติแบบการตัด | 75 |
| ภาพที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของแนวคอนกรีตอาร์ชและคอนกรีตรับแรงดึงทแยงของคานกลุ่ม C ที่วิบัติแบบการตัด | 77 |