

พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมด้วยแผ่นเหล็กพับริปูสี่ เหลี่ยมคางหมู



นายทรงศักดิ์ จิตเธ้ออารีย์

004110

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

I15743A1X

Behavior of Concrete Slab Reinforced with  
Trapezoidal-Ribbed Cold-Formed Steel

Mr. Songsak Chitaurareree

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

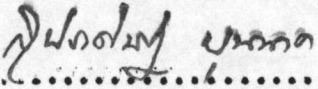
Chulalongkorn University

1981

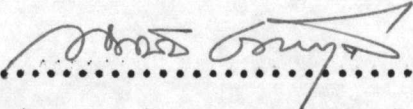
หัวข้อวิทยานิพนธ์      พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมด้วยแผ่น เหล็กพับรูปสี่ เหลี่ยมคางหมู  
โดย                              นายทรงศักดิ์ จิตเชื้ออารีย์  
ภาควิชา                            วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ

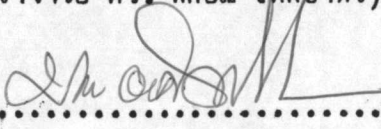
---

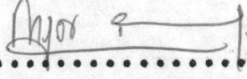
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

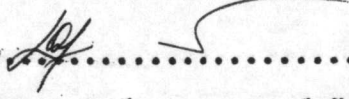
  
..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประสิทธิ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทักณิณ เทพชาติศรี)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ มานะ วงศ์วิวัฒน์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศู)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเหล็กหีบรูปลีเหลี่ยมคางหมู  
ชื่อผู้ผลิต นายทรงศักดิ์ จิตเอื้ออารีย์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ สีมสุวรรณ  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา 2524



### บทคัดย่อ

ในการศึกษาแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเหล็กหีบรูปลีเหลี่ยมคางหมูสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้แผ่นเหล็กหีบเป็นทั้งเหล็กแบบในระหว่างการก่อสร้างและเป็นเหล็กเสริมรับแรงดึงในขณะรับน้ำหนักบรรทุก การวิจัยที่ผ่านมาในอดีต พบว่า การปฏิบัติของแผ่นพื้นระบบนี้ยังไม่มีความเหมาะสม และปลอดภัยที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระบบแผ่นเหล็กยึดเชิงกลเพื่อทำให้แผ่นพื้นเกิดการยึดด้วยแรงดึงในเหล็ก ซึ่งจะให้ความเหมาะสมและปลอดภัยในการใช้งานมากยิ่งขึ้น แผ่นพื้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาดกว้าง 73.2 ซม. ยาว 4.00 ม. ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กหีบสูง 9.5 ซม. กว้าง 18.3 ซม. จำนวน 4 ลอน และมีแผ่นเหล็กยึดเชิงกลหนา 1.443 มม. เชื่อมติดในลอนของแผ่นเหล็กหีบ ตัวอย่างแผ่นพื้นที่ใช้ทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชุด คือ ชุดแรกมีความหนาของแผ่นเหล็กหีบเป็นตัวแปร และใช้แผ่นเหล็กยึดเชิงกลเชื่อมเป็นระยะทุก ๆ 5 ซม. ชุดที่สองมีระยะห่างของแผ่นเหล็กยึดเชิงกลเป็นตัวแปร และใช้แผ่นเหล็กหีบที่มีความหนาคงที่เท่ากับ 0.720 มม. การทดสอบจะใช้การบรรทุกน้ำหนักเป็นแบบสองจุด โดยมีความยาวช่วง 4.00 ม. เพื่อศึกษาพฤติกรรมเชิงคดตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงขั้นวิบัติ

ผลการทดสอบ พบว่า แผ่นเหล็กยึดเชิงกลสามารถป้องกันการวิบัติแบบ "Shear Bond" ได้แน่นอน จึงทำให้แผ่นพื้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มมากขึ้นและมีความเหนียวทางโครงสร้างสูงขึ้นด้วย ส่วนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงคดกับมุมเปลี่ยนที่จุดต่าง ๆ ตาม ACI-318-77 จะให้ค่าต่ำกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 10-15 %. นอกจากนี้ ยังพบว่า ทฤษฎี

ประลัยที่ใช้สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงคัดทั่ว ๆ ไปสามารถนำมาใช้ในการออกแบบ  
เพื่อคำนวณหาหน้าตัดของแผ่นพื้นและเพอร์เซ็นต์เหล็กเสริม โดยกำหนดให้ค่าแรงดึงรวมผ่านจุดศูนย์  
ถ่วงของแผ่นเหล็กพับ



Thesis Title Behavior of Concrete Slab Reinforced with Trapezoidal-  
Ribbed Cold-Formed Steel  
Name Mr. Songsak Chitaurareree  
Thesis Advisor Assistant Professor Dr. Ekasit Limsuwan  
Department Civil Engineering  
Academic Year 1981

#### ABSTRACT

A study of concrete slab reinforced with trapezoidal-ribbed cold-formed steel was conducted to utilize the steel deck as formwork during construction and as reinforcement under service loads. Previous studies in this area had shown that the structure failed in a sudden mode under loading due to the lack of shear bond which was undesirable to be used as a structural member. A mechanical anchorage device, therefore, was developed in this study to overcome such problems. Test specimens consisted of cold-bented steel plate with 4-9.5x18.3 cm-ribs, together with 5 cm concrete topping. Test programs were categorized into two series where variables were steel plate thickness and mechanical anchorage spacings. Test specimens having span length 4.00 m. were tested with two points loading up to failure.

Test results indicated that the shear bond failure was prevented by mechanical anchorage, strength capacity was improved and tension failure was dominated with high ductility. Moment-curvature relationship analysed

by the method recommended in the ACI-318-77 yields about 10-15 % less than the test. The study also showed that the ultimate strength design criteria can be used to accurately design the section properties and percentage of steel by assuming the tensile force is at the center of gravity of the steel deck.



๒

### กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอใคร่กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากขณะทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้กรุณาแก้ไขและตรวจวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนยังใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ รองศาสตราจารย์ มานะ วงศ์พิวัฒน์ และรองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา จันทร์างศู ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อันจะทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และวิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถทำขึ้นมาจนเสร็จสมบูรณ์ได้ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจาก คุณประภัสร์ ศิษย์ภูการ หัวหน้ากองซ่อมยานพาหนะ ฝ่ายซ่อมสร้าง การไฟฟ้านครหลวง ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย อีกทั้งขอขอบพระคุณ หจก. ก่าจรกิจ ที่ช่วยเหลือค่านคงานและวัสดุ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดาของผู้เขียน ตลอดจนสมาคมนิสิตเก่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาให้เงินอุดหนุนการวิจัยนี้ ผู้เขียนยังใคร่ขอขอบคุณ คุณภัทริยา พรชัยสุรีย์ รวมทั้งพี่ ๆ ของผู้เขียนและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ทรงศักดิ์ จิตเชื้ออารีย์



|                          |   |
|--------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....    | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... | ฉ |
| กิตติกรรมประกาศ .....    | ช |
| สารบัญ .....             | ฅ |
| รายการตารางประกอบ .....  | ฉ |
| รายการรูปประกอบ .....    | ฉ |



บทที่

|  |    |
|--|----|
| 1. บทนำ .....                            | 1  |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา .....             | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....        | 2  |
| 1.3 ขอบข่ายของการวิจัย .....             | 2  |
| 1.4 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง .....   | 3  |
| 2. การเตรียมแผ่นพื้นตัวอย่าง .....       | 6  |
| 2.1 แผ่นเหล็กทึบ .....                   | 6  |
| 2.2 วัสดุที่ใช้ในการหล่อแผ่นพื้น .....   | 7  |
| 2.3 การจัดเตรียมวัสดุ .....              | 8  |
| 2.4 การหล่อแผ่นพื้น .....                | 9  |
| 2.5 รายละเอียดของแผ่นพื้นตัวอย่าง .....  | 10 |
| 3. การทดสอบและผลการทดสอบแผ่นพื้น .....   | 11 |
| 3.1 การเตรียมเครื่องมือและแผ่นพื้น ..... | 11 |
| 3.2 การทดสอบแผ่นพื้น .....               | 12 |
| 3.3 ผลการทดสอบแผ่นพื้น .....             | 13 |

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 4. การวิเคราะห์แผ่นพื้น .....   | 18   |
| 4.1 พฤติกรรมเชิงคดของแผ่นพื้นที่มีความหนาของแผ่น เหล็กพับ เป็นตัวแปร ..     | 18   |
| 4.2 พฤติกรรมของแผ่นพื้นที่มีระยะของแผ่น เหล็กยึด เชิงกล เป็นตัวแปร .....    | 31   |
| 4.3 หลักการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมด้วยแผ่น เหล็กพับรูปสี่ เหลี่ยมคางหมู | 34   |
| 5. สรุปผลการวิจัย .....   | 35   |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย .....  | 35   |
| เอกสารอ้างอิง .....   | 37   |
| ภาคผนวก   |      |
| ก. สัญลักษณ์และคำนิยามของค่าต่าง ๆ ที่ใช้ภาษาเทคนิค .....                   | 40   |
| ข. ตัวอย่างการคำนวณสำหรับแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมด้วยแผ่น เหล็กพับ .....       | 45   |
| ประวัติผู้เขียน .....   | 109  |

## รายการตารางประกอบ

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตในแผ่นพื้นตัวอย่าง .....   | 50   |
| 2.2 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตของแผ่นพื้นตัวอย่างที่มีอายุการบ่มต่าง ๆ กัน ..                           | 51   |
| 2.3 รายละเอียดของแผ่นพื้นตัวอย่าง .....  | 52   |
| 4.1 กำลังในการรับแรงดึงของ เหล็กแผ่นและแผ่น เหล็กพับ .....   | 53   |
| 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ของค่าแรงดึงของแผ่นพื้นตัวอย่าง                                | 54   |
| 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ของกำลังในการรับแรงเฉือนทาง<br>แนวราบของแผ่นพื้นตัวอย่าง ..... | 55   |

## รายการรูปประกอบ

| รูปที่ | หน้า  |
|--------|---|
| 2.1    | รูปร่างหน้าตัดแผ่นเหล็กพับ ..... 56   |
| 2.2    | ลักษณะการพับแผ่นเหล็ก เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับ ..... 57   |
| 2.3    | ตัวอย่างแผ่นเหล็กที่ใช้ทดสอบหาค่าลึงดึงของแผ่นเหล็ก ..... 58  |
| 2.4    | รูปร่างหน้าตัดของแผ่นเหล็กยึด เชิงกล ..... 58   |
| 2.5    | เครื่องมือทดสอบกำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ..... 59  |
| 2.6    | เครื่องทดสอบกำลังดึงของแผ่นเหล็ก ..... 59   |
| 2.7    | เครื่องตัดแผ่นเหล็ก (Guillotine Shear Machine) ..... 60   |
| 2.8    | เครื่องพับแผ่นเหล็กแบบไฮดรอลิกซ์ (Hydraulic Press Machine) ..... 60   |
| 2.9    | ลักษณะและขนาดของแผ่นเหล็ก เมื่อพับ เรียบร้อยแล้ว ..... 61   |
| 2.10   | เครื่องยึดแผ่นเหล็กพับในระหว่างการเชื่อม ..... 61   |
| 2.11   | ลักษณะแผ่นเหล็กพับ เมื่อ เชื่อมแผ่นเหล็กยึด เชิงกล เข้าด้วยกันแล้ว ..... 62   |
| 2.12   | ลักษณะการประกอบไม้แบบและตำแหน่งค้ำยัน เพื่อการเทคอนกรีต ..... 62  |
| 3.1    | ตำแหน่งเกจวัดความ เกรียด เชิงกลที่ผิวบนของแผ่นพื้น ..... 63   |
| 3.2    | ตำแหน่ง เกจวัดความ เกรียด เชิงกลและชนิด ไฟฟ้าที่ผิวล่างของแผ่นพื้น ..... 63   |
| 3.3    | ตำแหน่ง เกจวัดระยะ โกงและระยะ เลื่อนตัวของแผ่นพื้น ..... 64   |
| 3.4    | ลักษณะการจัดโครง เหล็กบรทุกน้ำหนัก ..... 65   |
| 3.5    | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกและระยะ โกงที่จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้นที่มีความหนาของแผ่นเหล็ก เป็นตัวแปร ..... 66                   |
| 3.6    | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ผิวบนของแผ่นพื้นที่มีความหนาของแผ่นเหล็ก เป็นตัวแปร ..... 67          |
| 3.7    | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกและหน่วยการยึดตัวของแผ่น เหล็กที่ผิวล่างสุดของแผ่นพื้นที่มีความหนาของแผ่นเหล็ก เป็นตัวแปร ..... 68 |



| รูป   | หน้า |
|---|------|
| 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะโก่งที่จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้นที่มีระยะของแผ่นเหล็กยึด เชิงกลเป็นตัวแปร .....                   | 69   |
| 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ผิวบนของแผ่นพื้นที่มีระยะของแผ่นเหล็กยึด เชิงกลเป็นตัวแปร .....          | 70   |
| 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและหน่วยการยึดตัวของแผ่นเหล็กที่ผิวล่างสุดของแผ่นพื้นที่มีระยะของแผ่นเหล็กยึด เชิงกลเป็นตัวแปร ..... | 71   |
| 3.11 ลักษณะการวิบัติแบบ "Shear Bond" ของแผ่นพื้น $S_0$ .....  | 72   |
| 4.1 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{16}$ .....  | 73   |
| 4.2 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{18}$ .....  | 74   |
| 4.3 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{20}$ .....  | 75   |
| 4.4 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{22}$ .....  | 76   |
| 4.5 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดึงในเหล็ก .....   | 77   |
| 4.6 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากคอนกรีตแตกร่อน .....  | 77   |
| 4.7 ลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้น $S_{16}$ .....  | 78   |
| 4.8 ลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้น $S_{18}$ .....  | 79   |
| 4.9 ลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้น $S_{20}$ .....  | 80   |
| 4.10 ลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้น $S_{22}$ .....   | 81   |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการหดตัวของคอนกรีตกับ เปอร์เซนต์เหล็ก เสริม .....  | 82   |
| 4.12 แรงดึง เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่ใต้ปีกของแผ่นพื้น .....  | 83   |
| 4.13 แรงดึง เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่เหนือปีกของแผ่นพื้น .....  | 84   |
| 4.14 แรงอัดโดยทฤษฎีอีลาสติก เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่ใต้ปีกของแผ่นพื้น .....  | 85   |
| 4.15 แรงอัดโดยทฤษฎีอีลาสติก เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่เหนือปีกของแผ่นพื้น .....  | 86   |
| 4.16 แรงอัดโดยทฤษฎีประลัย เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่ใต้ปีกของแผ่นพื้น .....  | 87   |
| 4.17 แรงอัดโดยทฤษฎีประลัย เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่เหนือปีกของแผ่นพื้น .....  | 88   |

รูปที่

หน้า

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.18 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายในกับสัดส่วนของกำลังอัดของคอนกรีตที่ผิวบนสุดต่อรูปทรงกระบอกของแผ่นพื้น $S_{16}$ ..... | 89  |
| 4.19 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายในกับสัดส่วนของกำลังอัดของคอนกรีตที่ผิวบนสุดต่อรูปทรงกระบอกของแผ่นพื้น $S_{18}$ ..... | 90  |
| 4.20 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายในกับสัดส่วนของกำลังอัดของคอนกรีตที่ผิวบนสุดต่อรูปทรงกระบอกของแผ่นพื้น $S_{20}$ ..... | 91  |
| 4.21 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายในกับสัดส่วนของกำลังอัดของคอนกรีตที่ผิวบนสุดต่อรูปทรงกระบอกของแผ่นพื้น $S_{22}$ ..... | 92  |
| 4.22 | การเปรียบเทียบค่าแรงคัดกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมระหว่างผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ .....                          | 93  |
| 4.23 | หน่วยความเครียดและหน่วยแรงที่จุดคลากและจุดประลัย .....   | 94  |
| 4.24 | การเปรียบเทียบค่าแรงคัดกับมุมเปลี่ยนระหว่างผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ของแผ่นพื้น $S_{16}$ .....                 | 95  |
| 4.25 | การเปรียบเทียบค่าแรงคัดกับมุมเปลี่ยนระหว่างผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ของแผ่นพื้น $S_{18}$ .....                 | 96  |
| 4.26 | การเปรียบเทียบค่าแรงคัดกับมุมเปลี่ยนระหว่างผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ของแผ่นพื้น $S_{20}$ .....                 | 97  |
| 4.27 | การเปรียบเทียบค่าแรงคัดกับมุมเปลี่ยนระหว่างผลการทดสอบกับการวิเคราะห์ของแผ่นพื้น $S_{22}$ .....                 | 98  |
| 4.28 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม .....  | 99  |
| 4.29 | ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{5a}$ .....   | 100 |
| 4.30 | ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_5$ .....  | 101 |
| 4.31 | ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{15}$ .....   | 102 |
| 4.32 | ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_{30}$ .....   | 103 |

รูปที่

หน้า

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.33 | ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น $S_0$ .....   | 104 |
| 4.34 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับมุมเปลี่ยนของแผ่นพื้น $S_5$ และ $S_{5a}$ .....          | 105 |
| 4.35 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับมุมเปลี่ยนของแผ่นพื้น $S_5$ $S_{15}$ และ $S_{30}$ ..... | 106 |
| 4.36 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับบิดกับเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม .....                       | 107 |
| 4.37 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับระยะห่างของแผ่นเหล็กยึดเชิงกล .....                   | 108 |