



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป

Experimental Study on behavior of Precast Concrete Beam-Column Connections

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2554

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ในการสนับสนุนทุนวิจัย จำนวน 15,000 บาท ตลอดจนบุคลากรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สามารถทำได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้สามารถนำมาให้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่อไป

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการทดสอบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อแบบแห้ง เชื่อมต่อระหว่างคานและเสา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมและการวิบัติของคานที่ใช้รอยต่อแบบแห้ง โดยใช้รูปแบบรอยต่อหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน จากการทดสอบและเปรียบเทียบกับ รอยต่อคาน-เสาหล่อในที่ พบว่า รอยต่อแบบแห้งไม่มีผลต่อกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริม เหล็กสำเร็จรูป พฤติกรรมการวิบัติและกำลังรับโมเมนต์ดัดจะใกล้เคียงกับรอยต่อคาน-เสาที่หล่อในที่

## Abstract

This research presents the experimental investigation of precast concrete beam-column connections that uses a dry joint connected between two beams. The objectives are to study the behaviors and modes of failure of beams connected by difference types of dry connection. The results are compared with in-situ beam-column connection. It was found that the dry connection has no effect on flexural strength of precast reinforced concrete beam. Behavior of failure and strength of precast concrete beam-column connections is similar as in-situ beam-column connection.

## สารบัญ

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| กิตติกรรมประกาศ.....                                                | ข  |
| บทคัดย่อ.....                                                       | ค  |
| Abstract.....                                                       | ง  |
| สารบัญ.....                                                         | จ  |
| สารบัญตาราง.....                                                    | ฉ  |
| สารบัญรูป.....                                                      | ช  |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                                   | 1  |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....                          | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....                                | 2  |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย .....                                     | 2  |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                 | 3  |
| 2.1 ทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือน .....                                     | 3  |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                     | 4  |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....                                 | 8  |
| 3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย .....            | 8  |
| 3.2 การทดสอบพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป ..... | 9  |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย.....                                             | 10 |
| 4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย .....            | 10 |
| 4.2 การทดสอบพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป ..... | 11 |
| 4.3 การออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป .....                    | 12 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....                                         | 13 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....                                             | 13 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ .....                                                | 13 |
| เอกสารอ้างอิง.....                                                  | 13 |

## สารบัญตาราง

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป..... | 11 |
|-----------------------------------------------------------------------|----|

## สารบัญรูป

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.1 แสดงแนวรอยต่อรับแรงเฉือน (Shear plane) ระหว่างผิวคอนกรีต .....                        | 3  |
| รูปที่ 2.2 ลักษณะแรงที่ส่งผ่านจุดต่อรับแรงอัดที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแตกต่างกัน .....             | 4  |
| รูปที่ 2.3 ลักษณะการเชื่อมโดยใช้การต่อทาบของเหล็ก .....                                          | 5  |
| รูปที่ 2.4 ลักษณะของจุดต่อรับแรงเฉือนที่ใช้การเชื่อม ใช้แรงเสียดทาน และใช้เหล็กรับแรงเฉือน ..... | 5  |
| รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะของจุดต่อรับโมเมนต์ดัดด้านแรงแผ่นดินไหวรูปแบบต่าง ๆ .....               | 6  |
| รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ .....                     | 8  |
| รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงของคานตัวอย่าง.....                                            | 9  |
| รูปที่ 4.1 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต .....                                              | 10 |





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ ประเทศไทยได้นำระบบก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ไม่ว่าจะเป็น คานสำเร็จรูป เสาสำเร็จรูป หรือพื้นสำเร็จรูป มาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย และอาคารต่างๆ เป็นจำนวนมากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการประหยัดทรัพยากรทั้งค่าแรงงานและวัสดุก่อสร้าง เพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้าง นอกจากนั้นชิ้นส่วนสำเร็จรูปยังผลิตขึ้นมาจากคอนกรีตที่มีความแข็งแรงกว่าคอนกรีตทั่วไป สามารถควบคุมคุณภาพการผลิตให้มีสม่ำเสมอ จึงมีความแข็งแรงคงทนกว่าการก่อสร้างในระบบเก่าที่ทำการหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปที่หน้าหน่วยงานก่อสร้าง ไม่สามารถควบคุมคุณภาพให้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ทั่วถึง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การก่อสร้างระบบดังกล่าวได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นในประเทศไทย ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้บริษัทผู้ประกอบการธุรกิจก่อสร้าง ได้หันมาให้ความสนใจอย่างจริงจังต่อระบบการก่อสร้างสำเร็จรูป ในการนำมาใช้กับโครงการเพิ่มมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มปริมาณก่อสร้างได้จำนวนมากประหยัดเวลา ทำให้ก่อสร้างได้เสร็จตามกำหนดการที่ให้ไว้กับลูกค้า แต่อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำเป็นที่จะต้องใช้เงินลงทุนที่สูงในระยะแรก ต้องการบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญในการควบคุมการก่อสร้าง ต้องการความรู้เฉพาะด้านและเทคโนโลยีระดับสูง

ปัญหาที่พบในการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป คือการขาดความรู้และความเข้าใจถึงกำลังรับแรงของรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมด้านกำลังและทราบถึงความสามารถในการต้านทานแรงต่าง ๆ ของรอยต่อแบบเปียก (Wet joint) และรอยต่อระบบแห้ง (Dry joint) รวมถึงเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบรอยต่อ ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรม การรับน้ำหนักของรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปจะช่วยเติมเต็มองค์ความรู้ที่ขาด ช่วยรักษาค่าความปลอดภัยของอาคารให้อยู่ในระดับเดิม ช่วยพัฒนาศักยภาพของระบบการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรมของไทยและส่งเสริมระบบการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรมให้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางขึ้น โดยสามารถลดมลภาวะเรื่องฝุ่นและเสียงซึ่งเกิดในสถานที่ก่อสร้าง และยังลดขยะจากงานก่อสร้างซึ่งช่วยรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีในสถานที่ก่อสร้างและชุมชนใกล้เคียงได้อีกด้วย โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักของรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปแบบเปียกในรูปแบบต่าง ๆ พร้อมนำเสนอแนวทางการออกแบบรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นแหล่งข้อมูลให้ความรู้ เผยแพร่ และส่งเสริมความเข้าใจด้านการออกแบบรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในการก่อสร้าง และเป็นฐานข้อมูลการวิจัยเพื่อพัฒนารอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงและการวิบัติของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป
- 2) เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป
- 3) เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป
- 4) เพื่อให้วิศวกรและบริษัทรับเหมาก่อสร้างสามารถออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรง และการวิบัติของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป สำหรับอาคารพักอาศัยซึ่งมีช่วงความยาวคาน 4.00 เมตร โดยจะศึกษาเปรียบเทียบรอยต่อคาน-เสา คอนกรีตสำเร็จรูปแบบแห้งกับรอยต่อคาน-เสาแบบหล่อในที่ โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

- 1) ศึกษารอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปแบบแห้ง ที่ได้รับการออกแบบให้วิบัติ 3 แบบ คือ วิบัติด้วยแรงเฉือนตามแนวทแยง วิบัติด้วยแรงดึง และวิบัติด้วยแรงอัดเป็นหลักโดยแต่ละกลุ่ม ออกแบบให้ประหยัดที่สุด และสามารถก่อสร้างได้รวดเร็วที่สุด

- 2) ศึกษารอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับคานคอนกรีตขนาดกว้าง 0.20 เมตร ลึก 0.35 เมตร เสาขนาดกว้าง 0.20 เมตร ยาว 0.20 เมตร

- 3) น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปทั้ง 2 กลุ่ม คือ น้ำหนัก ผึงก่อดิน 450 กก./ม. น้ำหนักของแผ่นพื้นที่ย้ายลงสู่คาน 980 กก./ม. และน้ำหนักจรที่ถ่ายจากแผ่น พื้นลงสู่คาน

- 4) คอนกรีตที่ใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จ กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต มีค่ามากกว่า 380 กก./ม. ของแท่นทดสอบทรงกระบอกมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ระยะเวลา บ่มคอนกรีต 28 วัน

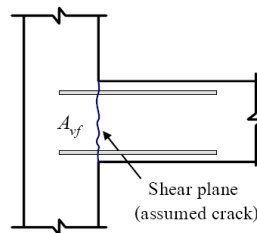
- 5) เหล็กเสริมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.20-2543, มอก.24-2536)

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือน

การตรวจสอบรอยต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปรับแรงเฉือน อาจใช้ทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือนในการออกแบบด้านกำลัง โดยทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือนมีข้อสมมุติฐานว่าเกิดรอยร้าว (Crack) บริเวณรอยต่อซึ่งจะสมมุติให้กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่สามารถรับแรงเฉือนได้



รูปที่ 2.1 แสดงแนวรอยต่อรับแรงเฉือน (Shear plane) ระหว่างผิวคอนกรีต

จากรูปที่ 2.1 ใช้ ทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือน

$$V_n = \mu A_{vf} f_y$$

โดยที่  $V_n$  คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ

$\mu$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคอนกรีต

$A_{vf}$  คือ หน้าตัดของเหล็กเสริมด้านการเฉือน

$f_y$  คือ กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

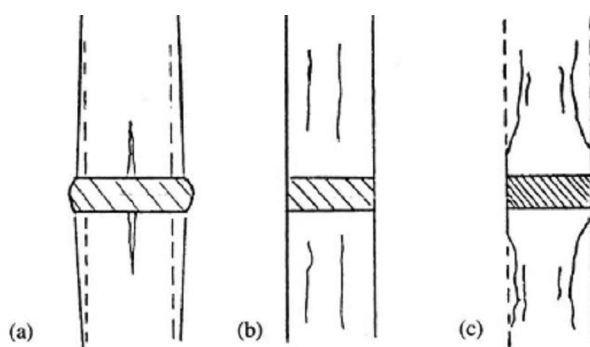
จากทฤษฎีการคำนวณด้านกำลังจะพบว่ารอยต่อระหว่างคอนกรีตใหม่และคอนกรีตเก่าในคานสำเร็จรูปไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงต้องใช้ทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือนในการคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือน อย่างไรก็ตามทฤษฎีแรงเสียดทานเฉือนอาศัยกำลังของเหล็กเสริมตามแนวนอนในการต้านแรงเฉือน (ไม่คิดผลของกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต) ดังนั้นจึงมีผลต่อกำลังรับโมเมนต์ดัดของรอยต่อเนื่องจากส่วนหนึ่งของเหล็กเสริมตามแนวนอนที่ใช้ต้านทานโมเมนต์ดัดถูกใช้ในการต้านทานแรงเฉือนด้วยเหตุนี้การออกแบบรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปในลักษณะนี้ต้องมีการพิจารณาถึงผลของกำลังรับน้ำหนัก (โมเมนต์) ที่ลดลงของรอยต่อเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของเนื้อคอนกรีตที่รอยต่อ รวมทั้งรูปแบบการจัดวางตำแหน่งของคานคอนกรีตสำเร็จรูปก็อาจมีผลต่อการเพิ่มหรือลดลงของกำลังของรอยต่อ ทั้งนี้การเพิ่มเหล็กเดือยและการทำ Shear key ในชิ้นส่วนคานคอนกรีตสำเร็จรูปจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของรอยต่อได้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุดต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นหนึ่งสิ่งที่สำคัญที่สุดในการใช้ระบบการก่อสร้างชนิดนี้ อาจมีลักษณะของจุดต่อได้หลายแบบในการประยุกต์ใช้สำหรับงานหนึ่ง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการส่งถ่ายแรงและให้เสถียรภาพแก่โครงสร้างซึ่งภายในจุดต่อ หนึ่ง ๆ อาจมีการส่งผ่านของแรงได้หลายลักษณะ เช่นแรงอัด แรงดึง หรือแรงเฉือน หรือผลรวมของแรงเหล่านั้น รูปแบบของจุดต่อจำนวนมากได้ถูกรวบรวมไว้ในเอกสารของ (Martin 1982) และ (PCI, 1988) โดยลักษณะพื้นฐานของจุดต่อสามารถพิจารณาได้ ดังนี้ (Elliott, 2000)

### จุดต่อรับแรงอัด

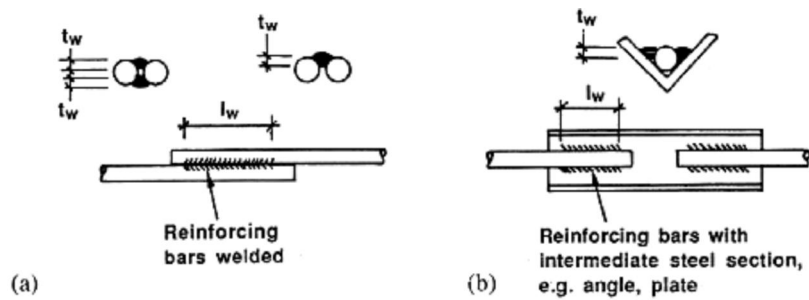
เป็นจุดต่อที่ทำหน้าที่ในการถ่ายแรงอัดโดยตรงจากน้ำหนักบรรทุกหรือจากคอนกรีตสดที่เทเพิ่มในรอยต่อแบบเปียก วัสดุที่ใช้ระหว่างจุดต่อของชิ้นส่วนอาจใช้ ปูนทราย แผ่น PU แผ่นยางหรือวัสดุอื่น ๆ รูปที่ 9.1 แสดงลักษณะแรงที่ส่งผ่านจุดต่อรับแรงอัดที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity,  $E$ ) แตกต่างกันระหว่างจุดต่อและชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยรูป (a) เป็นกรณีที่มีค่า  $E$  ของวัสดุน้อยกว่าค่า  $E$  ของชิ้นส่วนสำเร็จรูป รูป (b) เป็นกรณีที่มีค่า  $E$  ของวัสดุเท่ากับค่า  $E$  ของชิ้นส่วนสำเร็จรูป และรูป (c) เป็นกรณีที่มีค่า  $E$  ของวัสดุมากกว่าค่า  $E$  ของชิ้นส่วนสำเร็จรูป



รูปที่ 2.2 ลักษณะแรงที่ส่งผ่านจุดต่อรับแรงอัดที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแตกต่างกัน

### จุดต่อรับแรงดึง

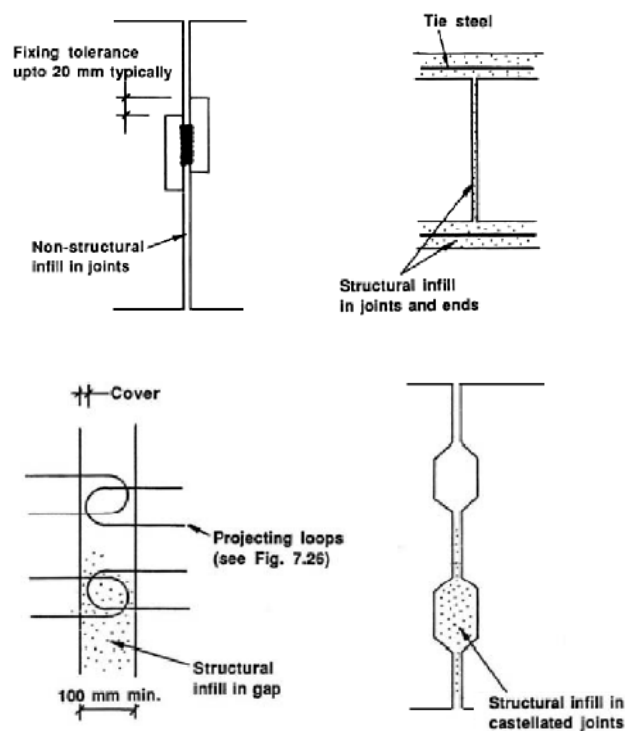
จุดต่อรับแรงดึงโดยมากจะใช้การต่อทาบของเหล็กเสริม หรือต่อโดยใช้ตัวต่อทางกลหลัก โดยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะมีเหล็กเดือยฝังติดมาในขั้นตอนการผลิต เพื่อใช้ในการต่อทาบโดยลักษณะการเชื่อมอาจทำได้ดังแสดงในรูปที่ 9.2 สำหรับรูป 9.2(a) แสดงการต่อทาบของเหล็กเสริมหรือเหล็กเดือยโดยตรง อาจใช้การเชื่อม 1 แนวหรือ 2 แนว รูป 9.2(a) แสดงการต่อทาบโดยใช้เหล็กฉากเป็นตัวช่วยส่งผ่านแรง



รูปที่ 2.3 ลักษณะการเชื่อมโดยใช้การต่อทับของเหล็ก

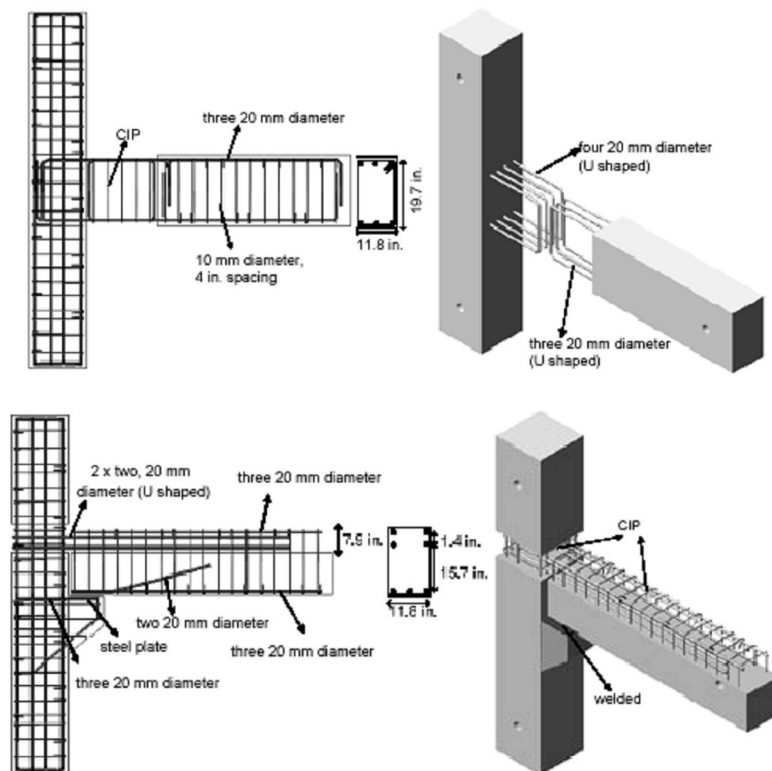
### จุดต่อรับแรงเฉือน

การถ่ายแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปอาจส่งผ่านโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิว แรงเสียดทาน การเชื่อม หรือการใช้สลักเกลียวและเหล็กรับแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 9.3 โดยไม่คิดถึงผลของกำลังรับแรงเฉือนของตัวชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป รูปที่ 9.3 (a) แสดงจุดต่อรับแรงเฉือน



รูปที่ 2.4 ลักษณะของจุดต่อรับแรงเฉือนที่ใช้การเชื่อม ใช้แรงเสียดทาน และใช้เหล็กรับแรงเฉือน

การศึกษาเกี่ยวกับจุดต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเริ่มมาพร้อมๆ กับการศึกษาด้านระบบ ชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Hartland, 1975) งานวิจัยในส่วนของจุดต่อสำหรับระบบโครงสร้างเสา-คาน สำเร็จรูปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ได้แก่จุดต่อรับแรงเฉือนอย่างเดียวและจุดต่อรับแรงเฉือน ร่วมโมเมนต์ดัด ปริมาณงานวิจัยเกี่ยวกับจุดต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมีจำนวนมากโดยส่วนใหญ่ มุ่งเน้นไปยังพฤติกรรมการรับแรงแบบวิถัจกร (แรงสลับทิศ) สำหรับด้านแผ่นดินไหว (เช่น Stanton 1986, Bull 1986, Kurose 1991, Restrepo 1995 และ Park 1995) โดยรายการอ้างอิงข้อมูล งานวิจัยเหล่านี้สามารถดูได้จากเอกสารของ Martin (1982) และ เอกสารของ PCI (1988) จุดต่อ สำหรับด้านทานแรงแผ่นดินไหวนี้ต้องมีการสร้างความต่อเนื่องของชิ้นส่วนให้สามารถส่งถ่ายแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ดัดได้ ซึ่งโดยปกติจะใช้การต่อเหล็กตามตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 9.2 และ รูปที่ 8.2 ค) โดยการใช้การต่อทาบของเหล็กเสริมหรือใช้ตัวต่อทางกล ซึ่งจุดต่อรับโมเมนต์ดัด สำหรับด้านแผ่นดินไหว ก็สามารถประยุกต์ใช้ได้กับจุดต่อรับโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนัก บรรทุกปกติได้เช่นกัน แต่จะมีความ สันเปื่องในการทำรายละเอียดของจุดต่อ โดยรูปที่ 9.4 แสดงตัวอย่างลักษณะของจุดต่อรับโมเมนต์ ดัดด้านแรงแผ่นดินไหวรูปแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะของจุดต่อรับโมเมนต์ดัดด้านแรงแผ่นดินไหวรูปแบบต่าง ๆ

Laohakunvetit (2008) ได้นำ Hybrid Connection มาใช้ในการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้ภาวะแผ่นดินไหว เนื่องจากจุดต่อประเภทนี้สามารถต้านทานการเกิดแผ่นดินไหวได้ดี และยังคงข้อดีของระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปไว้ เช่น สะดวกในการหยุดการก่อสร้างและมีความประหยัด

Chaimahawan (2006) ได้ทำการทดสอบการเชื่อมต่อเสากับคานคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้ Reversed Cyclic Load เพื่อศึกษาคุณสมบัติการต้านทานแผ่นดินไหวของระบบคาน-เสา ที่ถูกออกแบบให้รับแรงในแนวตั้งเพียงอย่างเดียว โดยใช้ตัวอย่างขนาดเหมือนจริงของอาคาร 5 ชั้นที่ไม่มี Shear Wall จำนวน 2 ตัวอย่าง ที่มีการเชื่อมต่อของคาน-เสาแตกต่างกัน ตัวอย่างแรกทำการเชื่อมต่อคาน-เสา โดยการเชื่อมเหล็กเสริมให้มีระยะทับ 50 มม. ในแต่ละด้าน และตัวอย่างที่ 2 เชื่อมต่อโดยใช้การงอเหล็กเสริม 90 องศาที่จุดต่อ โดยงอเหล็กเสริมบนลงด้านล่าง และงอเหล็กเสริมล่างขึ้นบน หลังจากตัวอย่างได้รับแรงกระทำด้านข้างขนาด 500 KN จาก Hydraulic Actuator บริเวณด้านบนของเสาซึ่งเป็นแรงผลักและแรงดึงสลับกันไปมา จนกระทั่งเกิดความเสียหายของโครงสร้างผลจากการทดสอบพบว่า รูปแบบของการต่อโครงสร้างไม่มีผลต่อ ความมั่นคงแข็งแรงและ Displacement แต่จะทำให้เกิด Energy Dissipation ต่ำ หากไม่มีการควบคุมรอยร้าวอย่างเพียงพอ

Alcocer, S.M., et al. (2002) ได้ทำการทดสอบจุดเชื่อมต่อคานคอนกรีตสำเร็จรูปกับเสาขนาดเท่าของจริงจำนวน 2 ตัวอย่าง ภายใต้แรงกระทำที่กลับไป-มา ทั้งแบบทิศทางเดียวและแบบ 2 ทิศทาง เพื่อจำลองการเคลื่อนไหวให้คล้ายกับการเกิดแผ่นดินไหว ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ประเภทของกรอบโครงสร้างที่ใช้ (2 มิติและ 3 มิติ) และรายละเอียดเหล็กเสริมคานบริเวณจุดต่อ ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างทั้งสองมีโครงสร้างที่เหนียวแน่น สามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้อย่างสม่ำเสมอ และถูกออกแบบให้เกิด Plastic Hinges ในคานใกล้กับเสา ทำให้รับแรงเฉือนในจุดต่อขนาดใกล้เคียงกับ Nominal Joint Shear Strength ของ Monolithic Construction ตัวอย่างที่ 1 ใช้การงอเหล็กเสริม 90 องศาที่ปลายคาน และมีการยึดตัวของเหล็กเสริมล่างของคาน ทำให้เกิดความเสียหายใน Joint ช่วงแรก สำหรับตัวอย่างที่ 2 ซึ่งใช้เหล็กเสริมสอดในแนวตั้งผ่าน Pre Stressing Strands เป็นรูปตัวยู ที่วางในแนวยาวของคาน จุดต่อสามารถรับแรงกระทำได้ดีกว่าตัวอย่างแรก โดยมีการแตกร้าวและ Yield สม่ำเสมอภายใต้การโค้งงอด้านล่าง ทั้งนี้ เหล็กเสริมที่ใช้ในจุดต่อควรมีความแข็งแรงและ Stiff อย่างเพียงพอ เพื่อไม่ให้เกิดพฤติกรรมพลาสติกภายใต้แรงกระทำสูงสุดที่คำนวณได้จาก Capacity Design Approach

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

##### 3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมและลวดอัดแรง โดยเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตคานและเสาสำเร็จรูปนำไปหาล้างรับแรงกดอัดประลัยและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นตาม มอก. 409-2525 เพื่อใช้ในการออกแบบ ตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. สูง 300 มม. ที่อายุบ่ม 28 วัน จำนวน 10 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างเหล็กเส้นกลม มอก. 24-2536 ขนาด 6 มม. และ 9 มม. (SR24) อย่างละ 3 ตัวอย่าง และเหล็กเสริมชนิดข้ออ้อย มอก. 24-2536 ขนาด 12 มม., 16 มม. และ 20 มม. (SD30) อย่างละ 3 ตัวอย่างและลวดอัดแรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 3 ตัวอย่าง ตาม มอก. 95-2540 เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงตามที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ



### 3.2 การทดสอบพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป

การทดสอบพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นการศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป โดยมุ่งเน้นศึกษาในด้านกำลังรับแรงเฉือน กำลังรับโมเมนต์ดัด และ กำลังรับแรงเฉือนร่วมโมเมนต์ดัดของรอยต่อ ซึ่งจะพิจารณารอยต่อทั้งกรณีที่มีการเชื่อมเหล็กตามแนวนอนและกรณีที่ไม่มีการเชื่อม โดยใช้การทดสอบคานเท่าขนาดจริง ทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องทดสอบกำลังรับแรงของคานดังแสดงในรูปที่ 3.2



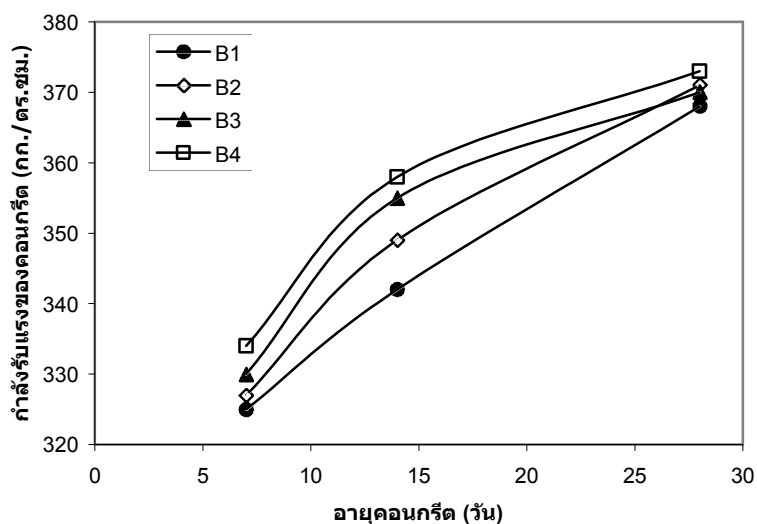
รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงของคานตัวอย่าง

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตของตัวอย่างรอยต่อ B1, B2, B3, B4 ที่ระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน ได้ผลการทดลองดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีค่ากำลังรับแรงมากที่สุดที่ 28 วันเท่ากับ 373 กก./ตร.ซม. และผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้นกลม ขนาด 6 มม. และ 9 มม. ได้เท่ากับ กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และเหล็กเสริมชนิดข้ออ้อย ขนาด 12 มม., 16 มม. และ 20 มม. ได้เท่ากับ กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และลวดอัดแรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. เท่ากับ กก./ตร.ซม.



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

## 4.2 การทดสอบพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปได้ผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยพบว่าสำหรับรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป B1 เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกไปถึง 1200 กก. จะสังเกตเห็นรอยร้าวเกิดขึ้นบริเวณปลายคาน เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจนถึง 1400 กก. เกิดรอยร้าวอย่างมากโดยรอยร้าวห่างจากปลายคานประมาณ 5 ซม. ทำมุม 45 องศา สำหรับรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป B2 เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนถึง 1000 กก. เกิดรอยร้าวขึ้นเล็กน้อยที่ปลายคาน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนถึง 1400 กก. เกิดรอยร้าวอย่างมากที่ปลายคาน สำหรับรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป B3 จะเริ่มเกิดรอยร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก 1900 กก. และเกิดรอยร้าวอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนถึง 2180 กก. และรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป B4 จะเกิดรอยร้าวเล็กน้อยเมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 1200 กก. และเห็นรอยแตกร้าวอย่างเห็นได้ชัดที่น้ำหนักบรรทุก 1400 กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป

| Specimen | Load (tf) | Crack | Deflection | Strain No. |       |         |
|----------|-----------|-------|------------|------------|-------|---------|
|          |           |       |            | 1          | 2     | 3       |
| B1       | 1         | 1     | 60.9       | 2.5        | 33.1  | -88.1   |
|          | 1.2       | 2     | 73.56      | 6.4        | 45.2  | -104.5  |
|          | 1.4       | 3     | 87.16      | 40.6       | 61.2  | -120.1  |
| B2       | 1         | 1     | 5.55       | 10.6       | 38.3  | -81.0   |
|          | 1.2       | 2     | 6.85       | 25.5       | 46.1  | -127.9  |
|          | 1.4       | 3     | 11.67      | 77.9       | 33.7  | -276.8  |
| B3       | 2         | 1     | 11.58      | 0.3        | 76.5  | -227.9  |
|          | 2.18      | 2     | 14.62      | 91.4       | 80.8  | -562.9  |
|          | 2.6       | 3     | 24.08      | -          | 102.3 | -1154.5 |
| B4       | 1         | 1     | 3.81       | 3.3        | 29.85 | -12.0   |
|          | 1.2       | 2     | 4.83       | 13.2       | 45.9  | -17.6   |
|          | 1.4       | 3     | 7.63       | 123.8      | 57.1  | -28.9   |

#### 4.3 การออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป

การออกแบบรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปต้องอาศัยสมมุติฐานต่อไปนี้

- 1) ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างแผ่นเหล็กสำหรับการต่อแบบมีแรงกด
- 2) หน่วยแรงเฉือนจะเกิดสม่ำเสมอที่หน้าตัดของสลักเกลียว
- 3) การกระจายของหน่วยแรงบนส่วนของแผ่นเหล็ก ระหว่างสลักเกลียวจะต้องสม่ำเสมอ
- 4) สลักเกลียวที่รวมกันเป็นกลุ่มจะรับแรงเท่าๆ กัน
- 5) ไม่มีแรงดัดเกิดขึ้นที่สลักเกลียว
- 6) สลักเกลียวจะเต็มรูเจาะเมื่อใส่เข้าไป และไม่มีการเลื่อนไถล ระหว่างแผ่นเหล็ก

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในช่วงเริ่มแรกของการทดสอบ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวเป็นเส้นตรงซึ่ง เป็นไปตามทฤษฎี ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียด ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังจากเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Crack) แล้วค่าการแอ่นตัวจะเพิ่มมากขึ้น รอยต่อระหว่างคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปที่ออกแบบไว้เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน เนื่องจากรอยต่อมีความแข็งแรงเพียงพอ สังเกตได้จากค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้น และคอนกรีตมีการแตกร้าวในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการแตกร้าวจากแรงเฉือน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปเมื่อรับแรงที่รอยต่อ และควรมีการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยแรงกระทำแบบพลวัตในลักษณะของแรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหว ควรมีการศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าวของคอนกรีตบริเวณรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ขั้นสูง เช่น Finite Element Method เพื่อมาอธิบายสาเหตุและลักษณะของการแตกร้าว

## เอกสารอ้างอิง

ทรงพล มั่นศรี และคณะ, 2546. จุดต่อของชิ้นส่วนสำเร็จรูป, ปริญญานิพนธ์ปริญญาตรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปรีดา ไชยมหาวัน อีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ และ อมร พิมานมาศ, 2549. พฤติกรรมการรับแรงสลับทิศของจุดต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปขนาดเท่าของจริง, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11 (NCCE11),จ.ภูเก็ต, 20-22 เมษายน 2549

วิญญู ทัดธนาบุตรัน, 2545. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยออกแบบระบบเสาและคานสำเร็จรูป สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์ และ สุชน รุ่งเรือง, 2547. จุดต่อโครงสร้างระหว่างองค์อาคารหลักและองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9 (NCCE9), ชะอำ, จ.เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม 2547

Bull, D.K. and Park, R. (1986), Seismic Resistance of Frame Incorporating Precast Prestressed Concrete Beam Shells. PCI Journal, July-August, pp. 54-93.

Elliott, K.S. (2000), Multi-Story Precast Concrete Framed Structures, Blackwell Science, Oxford, 375 p.

Hartland, R.A. (1975), Design of Precast Concrete: an introduction to practical design, Surrey University Press, London.

James G. MacGregor. (2006), Reinforced Concrete: Mechanics and Design. 4th ed., Pearson, USA.

ภาคผนวก ก

ภาพลักษณะการวิบัติของคาน



รูปที่ ก1 ลักษณะการวิบัติของคาน B1



รูปที่ ก2 ลักษณะการวิบัติของคาน B2





รูปที่ ก3 ลักษณะการรื้อตัวของคาน B3



รูปที่ ก4 ลักษณะการรื้อตัวของคาน B4

ภาคผนวก ข

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr Anekpong Thammathiwat

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3679800154743

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : anekpong\_l@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปัจจุบันกำลังศึกษา วิศวกรรมดุสิตบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

วิศวกรรมโครงสร้าง

วิศวกรรมปฐพี

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1) Thammathiwat, A. and Chim-oye, W. “Behavior of Strength and Pore Pressure of Soft Bangkok Clay under Cyclic Loading” Thammasat International Journal of Science and Technology, Vol. 9, No. 4, October-December, 2004, pp. 21-28.

2) Thammathiwat, A. “Application of cyclic behavior of soft clay to the road settlement prediction” International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE-2004) July 27 to 28, 2004 Faculty Club (Gakushi-Kaikan), Hiroshima University Higashi-Hiroshima, Japan, pp. 241-250

3) Thammathiwat, A. and Chim-oye, W. “Effect of Permeant Liquid on the Swell Volume and Permeability of Geosynthetic Clay Liners” The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.15, 2010, pp.1183-1197

4) วีรยา ฉิมอ้อย, เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์ “อิทธิพลของสารละลายที่มีต่อคุณสมบัติการพองตัวและการซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 16, 3 (ก.ย.-ธ.ค. 2551)