

ความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาสำเร็จรูป  
Shear Capacity of a Precast Beam-Column Joint

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุระศักดิ์	วันริโก	54010370072
สราวุธ	ยุบลพริ้ง	54010370068

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบปริญญาโท ได้พิจารณาปริญญาโทฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัย  
มหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

(อาจารย์นบปนม แก้วหานาม)

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหลาภ หอมวุฒิวงศ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริสน์ ชัยมุส)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปณ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บพิธ บุปผโชติ)

หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลสำคัญหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พระคุณของบิดามารดา ผู้มีอุปการคุณ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริสน์ ชัยมูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้คำชี้แนะแนวทางในการศึกษามอบความรู้ให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธาที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้และคำชี้แนะที่ดี ตลอดมา ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการหาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ รวมทั้งสถานที่ในการทำวิจัย

สุระศักดิ์ วันวิโก  
สราวุธ ยุกลพริง

ชื่อเรื่อง	ความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาสำเร็จรูป
ผู้วิจัย	นายสุระศักดิ์ วันริโก นายสรารุช ยุกบลพริ้ง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริสน์ ชัยมูล
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2557

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปรูปแบบหนึ่งที่น่าจะง่ายต่อการติดตั้ง พฤติกรรมการรับแรงเฉือนเป็นพฤติกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับโครงสร้างสำเร็จรูป การศึกษานี้ใช้โครงสร้างขนาดจริงทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบสี่จุด การทดสอบถูกออกแบบให้โครงสร้างวิบัติด้วยแรงเฉือนโดยใช้อัตราส่วนช่วงแรงเฉือน (shear span,  $a$ ) ต่อความลึกประสิทธิผล (effective depth,  $d$ ) ที่เหมาะสม ทั้งนี้ใช้  $a/d = 1.75$  ตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย โครงสร้างสำเร็จรูปและโครงสร้างหล่อในที่ พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของโครงสร้างทั้งสองแบบถูกเปรียบเทียบและรายงานผล

**TITLE** Shear Capacity of a Precast Beam-Column Joint  
**AUTHOR** Mr. Surasak Wanriko  
Mr. Surawoot Yubonpling  
**ADVISOR** Assist. Prof.Krit Chaimoon,Ph.D.  
**DEGREE** B.Eng. (Civil Engineering)  
**UNIVERSITY** Mahasarakham University YEAR 2014

### ABSTRACT

This senior project aims to study the shear behavior of beam-column joint of a precast concrete system which seems easy to erect. Shear behavior is an important behavior for precast structure. In this study, full-scale structures under four-point bending test were used. The test was designed so that the structures failed due to shear by using a proper ratio of shear span ( $a$ ) to effective depth ( $d$ ). The  $a/d$  ratio was set to 1.75. The tested structures included a precast structure and a cast-in-place structure. The shear behavior of both structures were compared and reported.

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	2
ประโยชน์ของผลการวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
ความเป็นมาและผลงานของคอนกรีตสำเร็จรูป.....	3
มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย	
ว่าด้วยเรื่องแรงเฉือนและแรงบิด.....	3
กลไกการรับแรงเฉือนในคอนกรีต.....	7
วิธีการทดสอบแรงเฉือน.....	8
พฤติกรรมการรับแรงเฉือน.....	10
รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูปทั่วไป.....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3 วิธีดำเนินงานศึกษา.....	20
โครงสร้างคานสำเร็จรูป.....	20
โครงสร้างคานหล่อในที่.....	23
การเตรียมตัวอย่าง วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ.....	24
ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ.....	24
การทดสอบและการเก็บข้อมูล.....	28

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการศึกษา.....	29
	ผลการทดสอบของคานคอนกรีตสำเร็จรูป.....	29
	ผลการทดสอบของคานคอนกรีตหล่อในที่.....	32
	ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของคานเปรียบเทียบกับทฤษฎี.....	36
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	38
	สรุปผลการศึกษา.....	38
	ข้อเสนอแนะ.....	38
	บรรณานุกรม.....	39
	ภาคผนวก.....	40
	ภาคผนวก ก ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีต.....	41
	ภาคผนวก ข ภาพแสดงการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อ คาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป.....	43
	ภาคผนวก ค ภาพแสดงการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อ คาน-เสาคอนกรีตแบบหล่อในที่.....	47
	ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	50

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 Free Body Diagram แสดงการถ่ายแรงเฉือนบริเวณหน้าตัด.....	8
2 ลักษณะของแรงเฉือนเดียวกับแรงเฉือนคู่.....	8
3 แรงเฉือนบิดเกิดขึ้นจากการใส่แรงในแนวนอนขนานกันในทิศทางตรงข้ามกัน.....	9
4 หลักการบิด.....	9
5 รอยร้าวแบบ Web Shear Crack (Nilson,1997).....	10
6 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนร่วมกับแรงคด (Flexural Shear Crack) (Nilson,1997).....	11
7 กำลังรับแรงเฉือนที่ค่า $a/d$ ต่างๆของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Wang,1992).....	12
8 รูปแบบการวิบัติในคานสั้น(Wang,1992).....	12
9 รูปแบบการวิบัติในคานปกติ (Wang,1992).....	13
10 ขนาดคานคอนกรีตสำเร็จรูปตัวอย่าง.....	21
11 โครงสร้างคานสำเร็จรูป.....	22
12 โครงสร้างการเชื่อมรอยต่อคานสำเร็จรูป.....	23
13 โครงสร้างคานหล่อในที่.....	23
14 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT.....	26
15 ภาพรวมการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ.....	27
16 SFD และ BMD ของการทดสอบแบบ Four-Point Bending Test.....	27
17 ลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตสำเร็จรูป.....	31
18 ลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตหล่อในที่.....	34



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จภาพประกอบใช้กันอยู่ทั่วไป.....	13
2 ผลการศึกษาค่าการแอ่นตัวของคานคอนกรีตแบบสำเร็จรูป.....	30
3 ผลการศึกษาค่าการแอ่นตัวของคานคอนกรีตแบบหล่อในที่.....	33

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ที่มาและความสำคัญของการศึกษา

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปในปัจจุบัน มีการออกแบบปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้งาน ให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่มากยิ่งขึ้น และมีขนาดคานที่เล็กลงทำให้ต้องมีการเสริมกำลังให้กับโครงสร้าง เพื่อให้มีความสามารถในการต้านทานน้ำหนักบรรทุกได้เพียงพอตามที่ออกแบบไว้ ในการเสริมกำลังให้กับคานคอนกรีตสำเร็จรูปส่วนมากการออกแบบโครงสร้างมักไม่คำนึงถึงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคานหากเป็นโครงสร้างขนาดเล็กอาจไม่เกิดผลกระทบกับตัวอาคาร แต่ถ้าเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ที่รับกำลังมาก ๆ ก็เกิดแรงเฉือนขึ้นมากอาจทำให้คานเกิดการวิบัติและพังได้ จากการศึกษางานวิจัยส่วนมากจะศึกษาการเสริมกำลังรับแรงดัดเป็นหลัก แต่การศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคานยังมีอยู่อย่างจำกัด แต่ในความเป็นจริงแล้วการวิบัติแบบเฉือนมีอันตรายเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะเกิดขึ้นอย่างฉับพลันทันทีและไม่มีสัญญาณเตือนล่วงหน้า ซึ่งคานที่มีพฤติกรรมในการรับแรงเฉือนเป็นหลักคือคานลึก (Deep Beam) โดยมีอัตราส่วนช่วงการเฉือน (Shear Span) ต่อความลึกประสิทธิผล ( $a/d$ ) น้อยกว่าพฤติกรรมภายใต้คานลึกของคานลึกจะแตกต่างจากพฤติกรรมของคานปกติอย่างมีนัยสำคัญทั้งวิธีการวิเคราะห์และการออกแบบ กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เกิดจากกลไกต้านทานแรงเฉือน 3 อย่าง ได้แก่ 1. กลไกต้านทานแรงเฉือนเนื่องจากเหล็กเสริม (Dowel Action) 2. กลไกการถ่ายแรงผ่านบริเวณรอยแตกโดยอาศัยการยึดเกาะของผิวมวลรวม (Aggregate Interlocking) 3. กลไกต้านทานแรงเฉือนจากส่วนของหน้าตัดที่อยู่ภายใต้หน่วยแรงอัด ที่ยังไม่แตกร้าว (Uncracked Portion) (สถาพร, 2546) ซึ่งค่ากำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตในคอนกรีตเสริมเหล็กได้จากการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเสริมเฉพาะเหล็กตามยาวที่ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวต่างกัน (ASCE – ACI, 1998)

การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาหาความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสา สำเร็จรูป โดยระบบสำเร็จรูปถูกออกแบบเป็นคานช่วงเดี่ยว (Simply Supported Beam) โดยสมมุติจุดต่อเป็น

แบบยึดหมุน (Hinge Joint) แต่ก่อสร้างให้มีความต่อเนื่องโดยใช้เหล็กขนาดเดียวกันทาบและเชื่อมและ  
เทรรอยต่อในที่

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมและเปรียบเทียบการรับแรงเฉือนของคานช่วงเดียวของคานแบบหล่อในที่  
และคานคอนกรีตสำเร็จรูป

### ขอบเขตของการศึกษางานวิจัย

1. โครงสร้างสำเร็จรูปถูกออกแบบเป็นคานช่วงเดียว (Simply Supported Beam) โดย  
สมมุติจุดต่อเป็นแบบยึดหมุน (Hinge Joint) แต่ก่อสร้างให้มีความต่อเนื่องโดยใช้เหล็ก  
ขนาดเดียวกันทาบและเชื่อมและเทรรอยต่อในที่
2. ใช้อัตราส่วนของช่วงแรงเฉือนต่อความลึกประสิทธิผล ( $a/d$ ) ประมาณ 1.75 โดยใช้คาน  
คอนกรีตเสริมเหล็กขนาด  $0.20 \times 0.40$  ช่วงความยาว 1.80 เมตร
3. ใช้วิธีการทดสอบแบบแรงกระทำสี่จุด (Four-Point Bending Test)

### ประโยชน์ของผลการวิจัย

สามารถทราบถึงความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาสำเร็จรูปที่ศึกษา

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

##### 1. ประวัติและความเป็นมาของผลงานคอนกรีตสำเร็จรูป

ประเทศไทยสมัยก่อนนิยมใช้ไม้ในการก่อสร้างหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 คอนกรีตเสริมเหล็กเข้ามามีบทบาทในงานก่อสร้างเนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทานกว่าโครงสร้างไม้ (Sibunruang, 1977) โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมี 2 ระบบได้แก่โครงสร้างคอนกรีตแบบหล่อในที่ (Cast-In-Place Concrete Structures) กับระบบโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concretes) แบบหล่อในที่มีแพร่หลายเพราะมีใช้มานานแต่มีข้อเสียคือเสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการก่อสร้างค่อนข้างมาก ปัจจุบันมีการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปมากขึ้นเพราะมีข้อดีคือใช้เวลาในการก่อสร้างที่รวดเร็วและยังประหยัดแรงงานในการก่อสร้างแต่ยังไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรเนื่องจากปัญหาการประกอบติดตั้งในรูปแบบที่สอดคล้องกับงานสถาปัตยกรรม ยังขาดการวิจัยอย่างจริงจังในเรื่องการประกอบติดตั้งที่จุดรองรับรอยต่อคาน-เสา คอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป

##### 2. มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)

ว่าด้วยเรื่องแรงเฉือนและแรงบิดดังนี้

###### 1. การคำนวณออกแบบแรงเฉือน

1.1 การคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กต้องเป็นไปตามบทที่ 4400 ของมาตรฐาน วสท. 1008-38 ว่าด้วยเรื่องแรงเฉือนและแรงบิด โดยอาศัยหลักเกณฑ์

$$V_u \leq \phi V_c \quad \dots(1)$$

เมื่อ  $V_u$  คือ แรงเฉือนที่คูณด้วยตัวคูณแล้วที่หน้าตัดที่พิจารณา และ  $V_n$  คือ กำลังเฉือนระบุที่คำนวณจาก  $V_n = V_c + V_s$  ... (2)

เมื่อ  $V_c$  คือ กำลังเฉือนระบุของคอนกรีตและ  $V_s$  คือกำลังเฉือนระบุของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงเฉือน ( $\phi$ ) ให้ใช้ตามหัวข้อ 4203 ของมาตรฐาน วสท. 1008-38 ทั้งนี้

(ก) ในการคำนวณหาค่าแรงเฉือน  $V_n$  ให้พิจารณาถึงผลของช่องเปิดใดๆในองค์อาคาร

(ข) ในการคำนวณหาค่ากำลังเฉือน  $V_c$  ให้คำนึงถึงผลของแรงดึงตามแนวแกนเนื่องจากการคืบและการหดตัวขององค์อาคารที่ถูกต้อง และให้รวมผลของแรงอัดเนื่องจากการดัดตามเอียงในองค์อาคารที่มีความลึกแปรเปลี่ยน

1.2 ค่าของ  $\sqrt{f_c}$  ที่ใช้ในหัวข้อ นี้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้อ 4401 (ข) ของมาตรฐาน วสท.1008-38

## 2. ตำแหน่งที่พิจารณาแรงเฉือนที่คูณด้วยตัวคูณกำลัง

อาจคำนวณหาแรงเฉือนสูงสุดที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $V_u$  ณ ขอบที่รองรับแต่เมื่อแรงปฏิกิริยา ณ ขอบที่รองรับก่อให้เกิดแรงอัดที่บริเวณปลายขององค์อาคารและไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ เป็นจุดอยู่ระหว่างขอบที่รองรับกับตำแหน่งหน้าตัดวิกฤตซึ่งอยู่ห่างจากขอบที่รองรับเป็นระยะความลึกประสิทธิผล อนุญาตให้คำนวณแรงเฉือนสูงสุดที่คูณด้วยตัวคูณแล้วที่หน้าตัดซึ่งอยู่ห่างจากขอบที่รองรับเป็นระยะความลึกประสิทธิผล (d)

## 3. กำลังเฉือนของคอนกรีต

กำลังเฉือนระบุของคอนกรีต สามารถคำนวณแบบง่ายตามข้อ 4403 (ก) หรือแบบละเอียดตาม 4403 (ข) ของมาตรฐาน วสท.1008-38

## 4. กำลังเฉือนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

4.1 กำลังครากที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ต้องไม่เกิน 4,200 กิโลกรัม/เซนติเมตร<sup>2</sup>

4.2 เหล็กลูกตั้ง เหล็กเส้นอื่นและลวดที่ใช้เป็นเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ต้องยื่นออกไปเป็นระยะ  $d$  จากขอบนอกสุดด้านรับแรงอัด และต้องยึดปลายทั้งสองตามข้อ 4513 ของมาตรฐาน วสท.1008-38 เพื่อให้ได้กำลังครากที่ใช้ในการคำนวณออกแบบของเหล็กเสริม

## 5. พิกัดของระยะเรียงสำหรับเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต้องเป็นไปตามข้อ 4405 (ง) ของมาตรฐาน วสท.1008-38

## 6. เหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

6.1 ต้องมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่มีเนื้อที่น้อยที่สุดในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดัดทุกชนิด ในบริเวณที่แรงเฉือนที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $V_u$  เกินกว่าครึ่งหนึ่งของกำลังเฉือน

ของคอนกรีต (PVC ยกเว้น

(ก) ในแผ่นพื้นหรือฐานราก

(ข) การก่อสร้างพื้นระบบตงตามทีนิยามไว้ในข้อ 4111 ของมาตรฐาน วสท.1008-38

(ค) คานที่มีความลึกทั้งหมดไม่มากกว่า 25 เซนติเมตร และไม่มากกว่า 2.5 เท่าของความหนาปีก ทั้งนี้ต้องไม่มากกว่า 1/2 ของความกว้างของตัวคาน

6.2 เมื่อเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่ต้องการโดยข้อ 4.4.6.1 หรือโดยการวิเคราะห์ และเมื่อใช้โมเมนต์บิดที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $T_u$  ไม่เกิน  $\phi(0.13 vfc' \sum xy^2)$  เหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่มีเนื้อที่น้อยที่สุดต้องคำนวณจาก

$$A_v = 3.5 \frac{bws}{f_y} \quad (\text{เซนติเมตร}^2) \quad \dots(3)$$

เมื่อ  $bw$  และ  $s$  มีหน่วยเป็น เซนติเมตร<sup>2</sup>

6.3 เมื่อโมเมนต์บิดที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $T_u$  เกิน  $\phi(0.13 vfc' \sum xy^2)$  และเมื่อต้องการเหล็กเสริมรับแรงเฉือนตามข้อ 4.4.6.1 หรือจากการวิเคราะห์ เหล็กถูกตั้งวงปิดที่มีเนื้อที่หน้าตัดน้อยที่สุดต้องคำนวณจาก

$$A_v + 2A_t = 3.5 \frac{bws}{f_y} \quad (\text{เซนติเมตร}^2) \quad \dots(4)$$

## 7. การคำนวณออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

เมื่อแรงเฉือนที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $V_u$  เกินค่ากำลังเฉือน  $\phi V_c$  ต้องให้มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนโดยเป็นไปตามสมการ (44-1) และ (44-2) โดยต้องคำนวณกำลังเฉือน  $V_s$  ให้เป็นไปตามข้อ 4405 (จ) 2 ถึง 4405 (จ) 8 ของมาตรฐาน วสท.1008-38

## 8. กำลังเฉือนและกำลังบิดร่วมกันสำหรับองค์อาคารที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือที่มีปีก

8.1 ต้องรวมผลของแรงบิดกับแรงเฉือนและแรงดัดเมื่อโมเมนต์บิดที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $T_u$  เกิน  $\phi(0.13 vfc' \sum xy^2)$  หากไม่เกินค่าดังกล่าว ไม่ต้องคำนึงถึงผลของแรงบิด

(ก) สำหรับองค์อาคารหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือที่มีปีก ให้คิดผลรวม  $\sum xy^2$  จากส่วนประกอบย่อยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของหน้าตัด แต่ความกว้างของปีกที่อื่นที่ใช้ในการคำนวณออกแบบต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของปีก

(ข) ให้ถือว่าหน้าตัดรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นหน้าตัดตัน หากผนังกล่องมีความหนา  $h$  อย่างน้อยเท่ากับ  $x/4$  หน้าตัดรูปกล่องที่ผนังกล่องมีความหนาน้อยกว่า  $x/4$  แต่มากกว่า  $x/10$  ให้ถือเป็นหน้าตัดตันได้ เว้นแต่ต้องคูณ  $\sum xy^2$  ด้วย  $4h/x$  เมื่อ  $h$  น้อยกว่า  $x/10$  ต้องพิจารณาถึงสลิปเฟสของผนังกล่อง สำหรับหน้าตัดรูปกล่องทั้งหมดต้องมีการพอกที่มุมด้านในทุกมุม

8.2 ถ้าองค์อาคารจำเป็นต้องรับโมเมนต์บิดที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $T_u$  เพื่อคงความสมดุลไว้ ต้องคำนวณออกแบบขององค์อาคารให้สามารถรับโมเมนต์บิดนั้น โดยให้เป็นไปตามข้อ 4406 (ง) ถึงข้อ 4406 (ฉ) ตามมาตรฐาน วสท.1008-38

8.3 ในโครงสร้างอินดิเทอร์มินเนททางสถิติที่การลดลงของโมเมนต์บิดในองค์อาคารสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการกระจายซ้ำของแรงภายใน โมเมนต์บิดที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว  $T_u$  ที่มีค่าสูงสุดอาจลดลงให้เท่ากับ  $\phi(1.1 \sqrt{f_c} \sum x^2 y/3)$  และให้ใช้ค่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่ได้ปรับค่าแล้วในองค์อาคารที่ต่อเชื่อมกัน

8.4 อาจคำนวณออกแบบโมเมนต์บิด  $T_u$  ที่หน้าตัดซึ่งอยู่ห่างจากขอบที่รองรับเป็นระยะน้อยกว่า  $d$  โดยใช้ค่าเดียวกับ  $T_u$  ที่คำนวณได้ที่ระยะ  $d$

## 9. กำลังโมเมนต์บิด

การคำนวณออกแบบหน้าตัดรับแรงบิดต้องอยู่บนพื้นฐานที่ว่า

$$T_u \leq \phi T_n \quad \dots(5)$$

เมื่อ  $T_u$  คือ โมเมนต์บิดที่คูณด้วยตัวคูณแล้วที่หน้าตัดที่พิจารณา

$T_n$  คือ กำลังโมเมนต์บิด

ระบุที่คำนวณจาก  $T_n = T_c + T_s \quad \dots(6)$

เมื่อ  $\phi$  คือ ตัวคูณลดกำลังพิจารณาตามหัวข้อ 4203 ของมาตรฐาน วสท.1008-38 และ  $T_c$  และ  $T_s$  คือกำลังโมเมนต์บิดระบุที่รับโดยคอนกรีตซึ่งเป็นไปตามข้อ 4406 (ฉ) ของมาตรฐาน วสท.1008-38 และกำลังโมเมนต์บิดระบุที่รับโดยเหล็กเสริมรับแรงบิดซึ่งเป็นไปตามข้อ 4406 (ฉ)

## 10. ข้อกำหนดของเหล็กเสริมรับแรงบิด

10.1 ในกรณีที่ต้องการเหล็กเสริมรับแรงบิด ต้องจัดให้มีเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นจากที่ ต้องการเพื่อรับแรงเฉือน แรงดัดและแรงตามแนวแกน

10.2 ให้รวมเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับรับแรงบิดกับปริมาณที่ต้องการสำหรับแรง อื่นๆ ทั้งนี้เนื้อที่ที่ให้ไว้เป็นผลรวมของเนื้อที่ที่ต้องการสำหรับรับแรงแต่ละประเภทและต้องเป็นไปตาม ข้อกำหนดที่จำกัดไว้สำหรับระยะเรียงและการจัดวาง

10.3 เหล็กเสริมรับแรงบิดต้องประกอบด้วยเหล็กถูกดัดวางบิด เหล็กปลอกเตี้ยวงบิด หรือเหล็กปลอกเกลียวอย่างใดอย่างหนึ่งร่วมกับเหล็กเส้นตามแนวแกน

10.4 กำลังครากที่ใช้คำนวณออกแบบของเหล็กเสริมรับแรงบิดต้องไม่เกิน 4,200 กิโลกรัม/เซนติเมตร<sup>2</sup>



10.5 ต้องยื่นเหล็กดัดเหล็กเส้นอื่นและลวดที่ใช้เป็นเหล็กเสริมรับแรงบิดออกไปเป็นระยะ  $d$  จากขอบนอกสุดด้านรับแรงอัดและต้องยึดปลายทั้งสองตามข้อ 4513 ของมาตรฐาน วสท. 1008-38 เพื่อให้เกิดกำลังครากที่ใช้คำนวณออกแบบของเหล็กเสริมนั้น

10.6 ต้องจัดให้มีเหล็กเสริมรับแรงบิดอย่างน้อยเป็นระยะ  $(b d) t +$  เลยตำแหน่งที่ต้องการตามทฤษฎี

### 11. พิกัดของระยะเรียงสำหรับเหล็กเสริมรับแรงบิด

ระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงบิดทั้งที่เป็นเหล็กดัดวงปิดและเหล็กเสริมตามแนวยาวต้องเป็นไปตามข้อ 4406 (ซ) ของมาตรฐาน วสท.1008-38

### 3. กลไกการรับแรงเฉือนในคอนกรีต

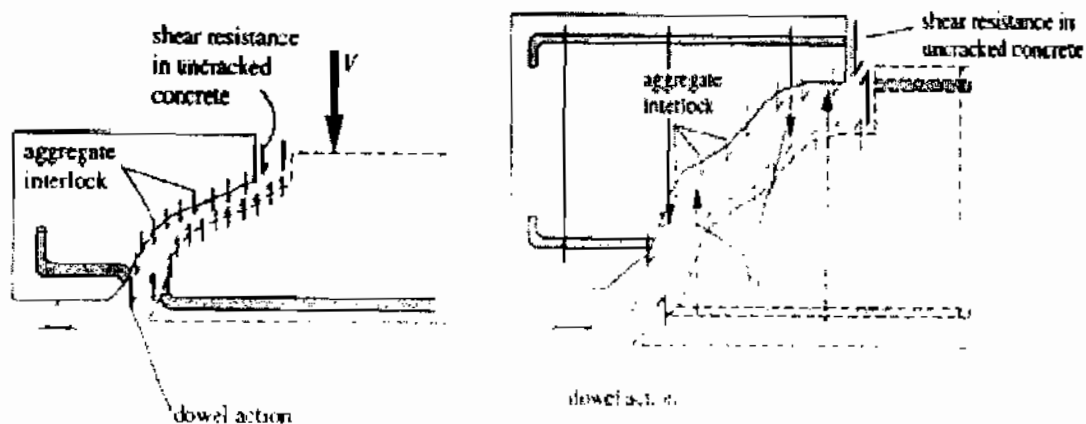
การรับแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดัดและแรงเฉือนที่มีเหล็กเสริมลางตามยาวทำหน้าที่รับแรงดัดอันเนื่องมาจากการดัดขององค์อาคารเป็นหลัก เช่น ชิ้นส่วนของแผ่นพื้น และคาน การถ่ายแรงเฉือนในองค์อาคารประเภทนี้ประกอบด้วย 3 กลไก (เมื่อไม่มีเหล็กดัดรับแรงเฉือน)

ประการแรกคือผ่านเหล็กเสริมนอน ที่เรียกว่า Dowel action กลไก Dowel action นี้ เกิดจากแรงปฏิกริยาด้านทานแรงดัด-ดิ่ง ของเหล็กเสริมในตำแหน่งที่เกิดแรงเฉือน ที่ประกอบกันกับการต้านทานการแตกร้าวของคอนกรีตบริเวณเหล็กเสริม โดยอาจกล่าวได้ว่า Dowel action เป็นกลไกที่เกิดขึ้นจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมนั่นเอง

กลไกที่สองถูกเรียกว่า Aggregate interlock เป็นการต้านแรงเฉือนที่เกิดจากการขัดกันของอนุภาคมวลรวมแต่ละอนุภาคในหน้าตัดขณะแตกร้าว แรงเสียดทานของมวลรวมแต่ละอนุภาคจะช่วยกันต้านทานแรงเฉือนที่ไหลผ่านหน้าตัดนี้

ส่วนกลไกที่สาม เป็นการต้านแรงเฉือนของหน้าตัดส่วนที่อยู่เหนือแกนสะเทินของหน้าตัดที่ยังไม่แตกร้าวและรับแรงอัดรวมอยู่ด้วย ภาพประกอบ 1 แสดง Free Body Diagram ของแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

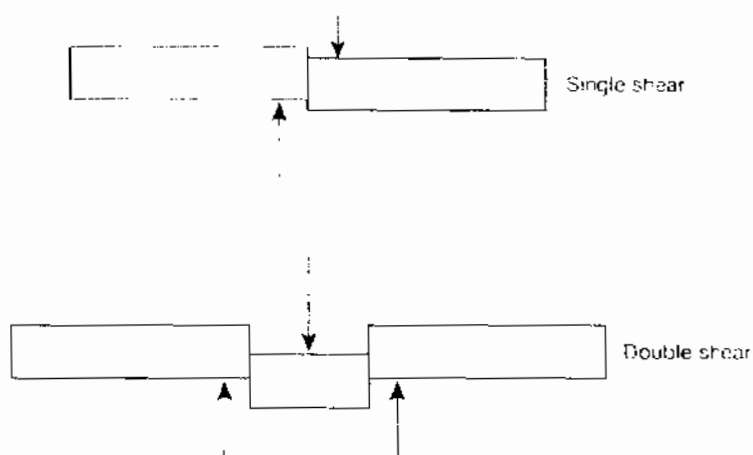




ภาพประกอบ 1 Free Body Diagram แสดงการถ่ายแรงเฉือนบริเวณหน้าตัด

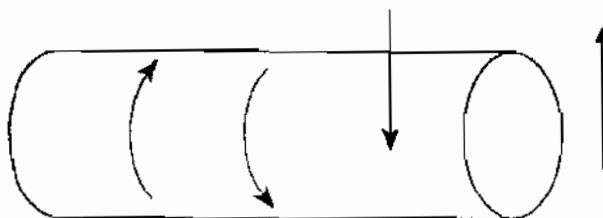
#### 4. วิธีการทดสอบแรงเฉือน

แรงเฉือนจะเกิดขึ้นถ้ามีการใส่แรงสวนทางกันสองทิศทาง โดยแรงเฉือนตรงสามารถ แยกออกได้เป็นสองแบบคือแรงเฉือนเดี่ยว (Single Shear) กับแรงเฉือนคู่ (Double Shear) แรงเฉือนเดี่ยวจะเกิดขึ้นตลอดแนวระนาบเดียว ในขณะที่แรงเฉือนคู่จะเกิดระหว่างสองระนาบ พร้อมกัน ในทางทฤษฎี ความแข็งแรงเฉือนในการทดสอบแรงเฉือนเดียวกับแรงเฉือนคู่ควรมี ค่าเท่ากัน แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการติดตั้งจึงทำให้แรงเฉือนทั้งสองอาจไม่ เท่ากันเสมอไป ภาพประกอบ 4.1 แสดงหลักการของแรงเฉือนเดี่ยวและแรงเฉือนคู่



ภาพประกอบ 4.1 ลักษณะของแรงเฉือนเดียวกับแรงเฉือนคู่

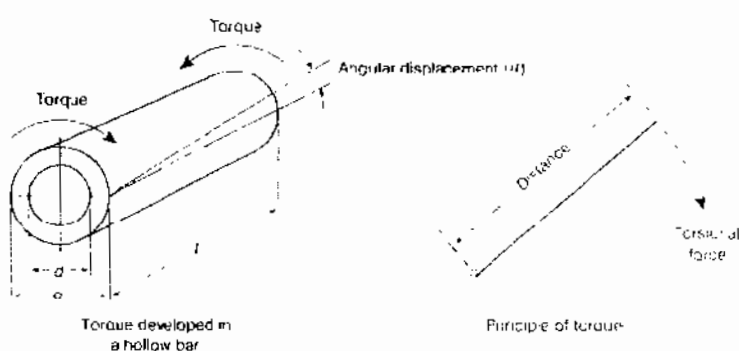
แรงเฉือนบิดเกิดขึ้นจากการใส่แรงในแนวขนานกันในทิศตรงข้ามกันเมื่อ ระบายไม่ไป ด้วยกันกับแนวแกนของชิ้นทดสอบทำให้เกิดแรงบิดขึ้นในลักษณะของการบิด เกลียว ซึ่งทำให้ชิ้นงาน เกิดการบิดตัว และการเฉือนบิดจะเกิดขึ้นถ้ามีการบิดเกลียวในทิศ ทางตรงข้ามกัน ดังภาพประกอบ 4.2



ภาพประกอบ 4.2 แรงเฉือนบิดเกิดขึ้นจากการใส่แรงในแนวขนานกันในทิศตรงข้ามกัน

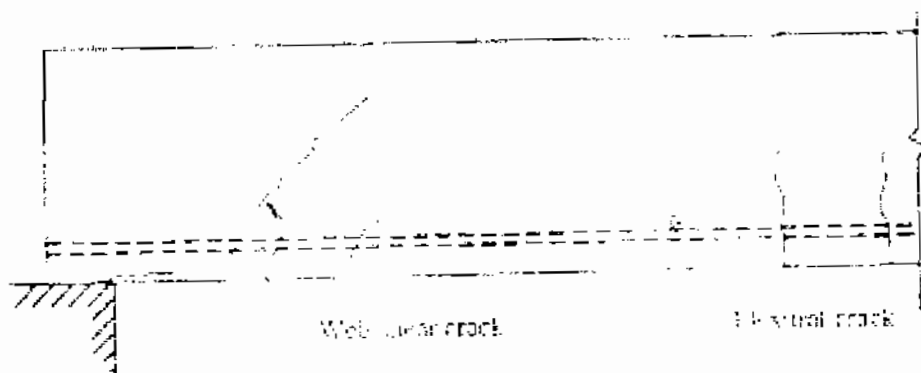
แรงบิดที่เกิดขึ้นในวัสดุเป็นผลจากการบิดตัว โดยแรงบิดนี้เป็นแรง  $f$  ที่ให้กับวัสดุ ตลอด ระยะทาง  $d$  แรงบิดที่กระทำสามารถคำนวณได้จากผลคูณของแรงกับระยะทางที่แรงนั้น กระทำดัง สมการ  $T = f \times d$  หรือ  $T = L \times a \times d$

เมื่อ  $L$  คือน้ำหนักที่กระทำในหน่วยกิโลกรัม (kg)  $a$  คือความเร่ง ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) และ  $d$  คือ ระยะที่ แรงกระทำในหน่วยเมตร (m) ดังนั้นค่าแรงบิดจะมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (N.m) หรือ จูล (Joules, J) หน่วยของแรงบิดโดยทั่วไปได้แก่ ปอนด์นิ้ว (In-Lb) หรือ ปอนด์ฟุต (Ft-Lb) และนิวตันเมตร หรือ จูล หลักการของแรงบิดได้แสดงดังภาพประกอบ 4.3



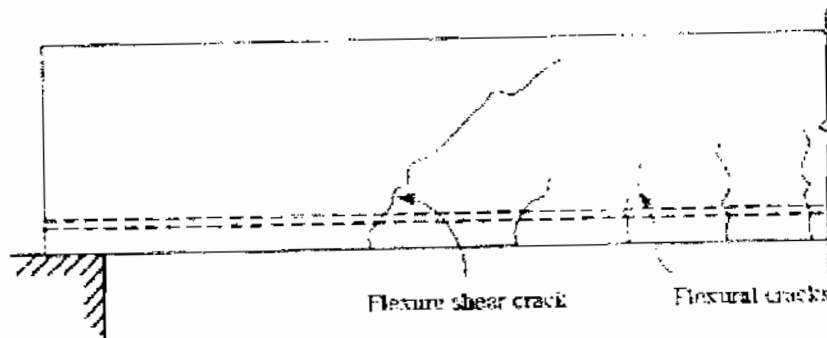
## 5. พฤติกรรมการรับแรงเฉือน

พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่วิบัติภายใต้แรงเฉือนแตกต่างพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่วิบัติภายใต้แรงดัดซึ่งการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Failure) โดยทั่วไปไม่ได้เกิดจากการกระทำของแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear) แต่จะเกิดจากแรงดึงทแยง (Diagonal Tension) ซึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด กล่าวคือ เมื่อแรงดึงทแยงในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนมีค่ามากกว่ากำลังต้านแรงดึงของคอนกรีตคานจะปรากฏรอยแตกกว้างขึ้นโดยที่รอยแตกกว้างที่เกิดจากแรงดึงทแยง (Diagonal tension Cracks) จะมีความกว้างมากกว่ารอยร้าวที่เกิดจากโมเมนต์ดัด (Flexural Cracks) ของคานที่เสริมเหล็กต่ำกว่าที่สภาวะสมดุล (Under-Reinforced Concrete Beam) ซึ่งในการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนพบว่าการแตกกว้างเนื่องจากแรงเฉือนมี 2 รูปแบบได้แก่ Web Shear Crack และ Flexural Shear Crack ทั้งนี้ขึ้นกับค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ที่กระทำ กล่าวคือที่บริเวณปลายคานซึ่งแรงเฉือนที่กระทำมีค่ามากแต่โมเมนต์ดัดที่กระทำมีค่าน้อยรอยร้าวในแนวทแยงจะปรากฏขึ้นในตัวคานโดยค่าของแรงดึงทแยงที่บริเวณแนวแกนสะเทินมีค่าเท่ากับหน่วยแรงเฉือนซึ่งรอยร้าวจะมีแนวเอียงทำมุมประมาณ 45 องศากับแนวแกนของคานรอยร้าวในลักษณะนี้จะถูกเรียกว่า Web Shear Crack ดังแสดงในภาพประกอบ 4-1 ซึ่งจะเกิดกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความกว้างน้อยกว่าคานรูปตัวไอและตัวทีผลจากการทดสอบพบว่าในบริเวณที่แรงเฉือนมีค่ามากแต่โมเมนต์ดัดมีค่าน้อยแรงเฉือนที่ทำให้คอนกรีตแตกกว้างในลักษณะนี้มีค่าเท่ากับ  $0.29\sqrt{f_c'}bd$  kN ( $0.93\sqrt{f_c'}bd$  kg)



ภาพประกอบ 5-1 รอยร้าวแบบ Web Shear Crack ที่มา : (Nilson, 1997)

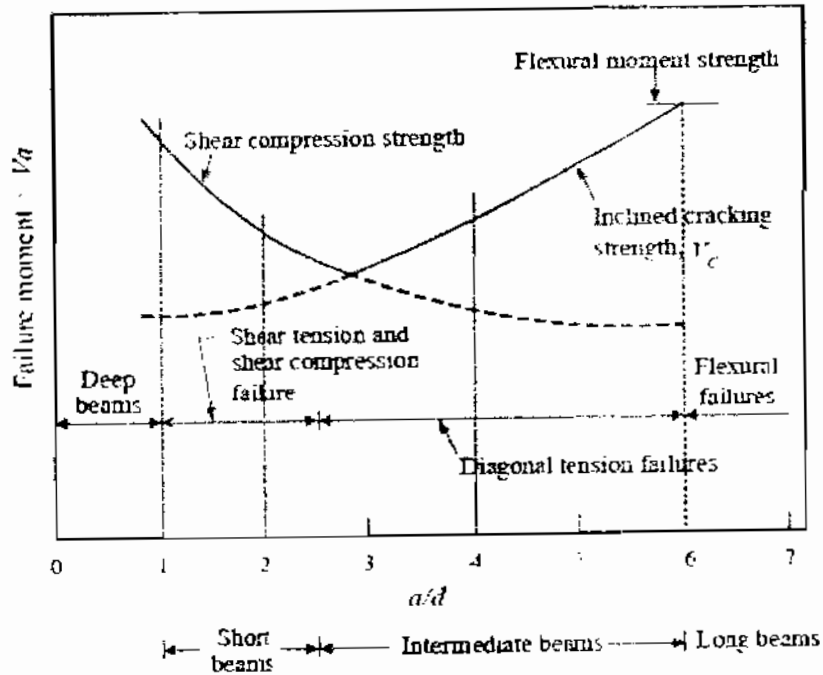
ที่บริเวณถัดจากปลายคานเข้ามาแต่ไม่ถึงกลางช่วงคานซึ่งแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อคานมีค่ามากในกรณีนี้ที่ห้องคานจะปรากฏรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดแตกร้า (Flexural Failure) ขึ้นก่อนเมื่อหน่วยแรงดัดที่ลึ้มมีค่าเกินกว่าค่าของโมเมนต์ดัดแตกร้ารอยร้าวนี้จะมีแนวตั้งฉากกับแนวยาวของคาน ขณะเดียวกันจะปรากฏรอยร้าวที่บริเวณใกล้กับแนวแกนสะเทินด้วยเนื่องจากแรงดัดทแยงที่เกิดจากแรงเฉือนเมื่อโมเมนต์ดัดที่มากกระทำมีค่าเพิ่มมากขึ้นรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดก็ขยับตัวสูงขึ้นและเมื่อรอยร้าวนี้ขยับเลยจากตำแหน่งที่เสริมเหล็กรับแรงดัดก็จะมาบรรจบกับรอยร้าวอันเนื่องจากแรงดัดทแยงแล้วรอยร้าวนี้จะเบนเข้าหากึ่งกลางคานรอยร้าวนี้จะถูกเรียกว่ารอยร้าวจากแรงเฉือนร่วมกับแรงดัด (Flexural Shear Cracks) ดังแสดงในภาพประกอบ 5-2 รอยร้าวแบบนี้พบมากกว่ารอยร้าวแบบแรกจากการทดสอบพบว่าแรงเฉือนที่ทำให้คอนกรีตแตกร้าแบบนี้มีค่าเท่ากับ  $0.16\sqrt{f_c'}bd$  kN ( $0.50\sqrt{f_c'}bd$  kg) ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่าแบบแรก (Web Shear Crack) เกือบครึ่งหนึ่งทั้งนี้เพราะรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดทำให้เหลือส่วนของคอนกรีตที่ต้านทานแรงเฉือนน้อยลงประกอบกับการกระทำร่วมกันของโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงเฉือนทำให้แรงดัดทแยงมีค่ามากขึ้น



ภาพประกอบ 5-2 รอยร้าวเนื่องจากแรงเฉือนร่วมกับแรงดัด (Flexural Shear Crack)

ที่มา : (Nilson, 1997)

อัตราส่วนช่วงความยาวของการเฉือนต่อความลึก ( $a/d$ ) ได้ถูกพบจากการทดสอบว่าเป็นแฟกเตอร์ที่มีอิทธิพลอย่างมากในการหาค่ารับแรงเฉือนเมื่อแฟกเตอร์อื่นคงที่ความสามารถในการรับแรงเฉือนจะแสดงดังภาพ 5-3



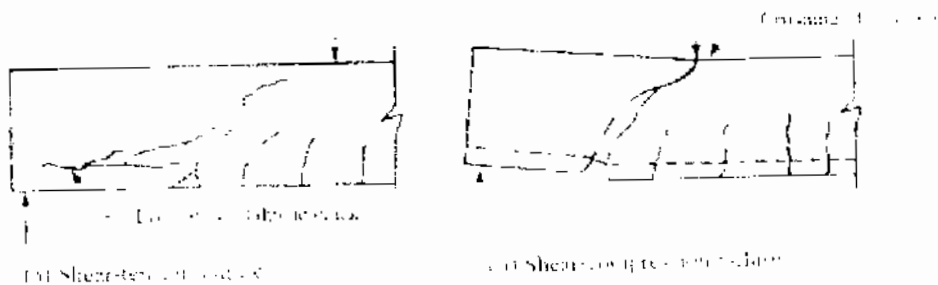
ภาพประกอบ 5-3 กำลังรับแรงเฉือนที่ค่า  $a/d$  ต่างๆของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มา : (Wang,1992)

จากภาพประกอบ 5-3 การวิบัติออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1 คานสั้น คานสั้น คานปกติและคานยาว แต่ในที่นี้จะเน้นไปที่คานสั้น คานปกติและคานยาว

1. คานสั้น (Short Beam) ( $1 \leq a/d < 2.5$ ) การวิบัติเริ่มจากรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์และแรงเฉือน (Flexural Shear Cracks) แล้วขยายตัวขึ้นด้านบนเข้าหาส่วนของคานคอนกรีตที่รับแรงอัดการวิบัติจะเกิดขึ้นเนื่องจาก

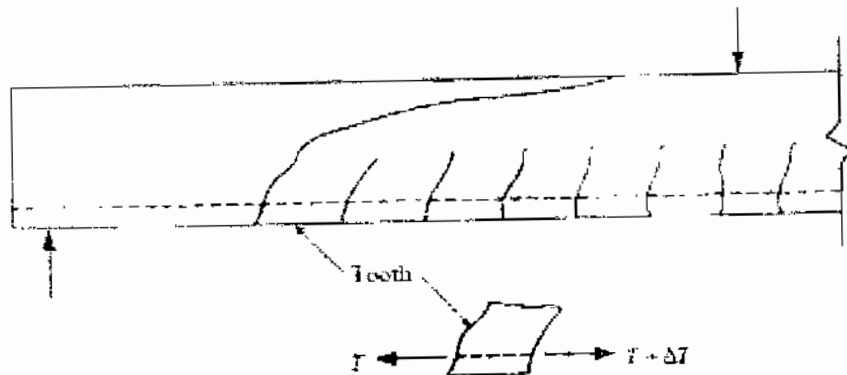
1.1 โดย Anchorage Failure ที่เหล็กดัดซึ่งเรียกว่า Shear Tension failure เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตถูกทำลาย

1.2 โดยการวิบัติแบบอัดแตกในคอนกรีตใกล้กับผิวรับแรงอัดซึ่งเรียกว่า Shear Compression failure



ภาพประกอบ 5-4 รูปแบบการวิบัติในคานสั้น ที่มา : (Wang,1992)

2. คานปกติ (Intermediate Beam) ( $2.5 \leq a/d \leq 6$ ) รอยร้าวจากการตัดจะเกิดขึ้นก่อนและตามด้วยรอยร้าวเอียงจากแรงเฉือนและเมื่อ Tooth ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มจำนวนรอยร้าวจนไม่สามารถรับโมเมนต์จาก  $\Delta T$  ซึ่งแตกออกทำให้เกิดรอยร้าวตัดร่วมกับรอยร้าวเอียงในทันทีที่เกิดรอยร้าวเอียงคานจะไม่สามารถกระจายน้ำหนักได้อีกดังนั้นการก่อดัวของรอยร้าวเอียงจึงเป็นตัวแสดงกำลังรับแรงเฉือนของคานชนิดนี้การวิบัติที่เกิดเรียกว่าการวิบัติจากแรงดึงทแยง (Diagonal Tension Failure)



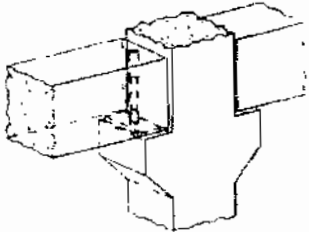
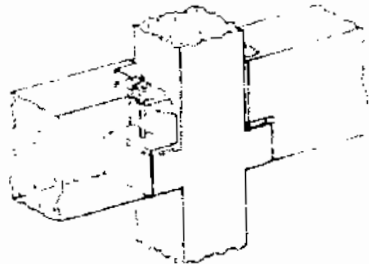
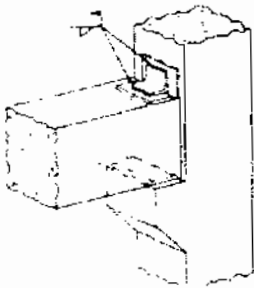

ภาพประกอบ 5-5 รูปแบบการวิบัติในคานปกติ ที่มา : (Wang,1992)

3. คานยาว (Long Beam) ( $a/d > 6$ ) การวิบัติของคานยาวเกิดเนื่องจากการกระทำของโมเมนต์ดัดซึ่งถูกเรียกว่า Flexural Failure โดยเริ่มต้นด้วยการร้าวของเหล็กเสริมกำลังรับแรงดึงและจบด้วยการอัดแตกของคอนกรีตที่หน้าตัดซึ่งโมเมนต์ดัดมากที่สุดอย่างไรก็ตามกำลังทั้งหมดของคานจะขึ้นกับขนาดของโมเมนต์ดัดและไม่ถูกกระทบโดยขนาดของแรงเฉือน

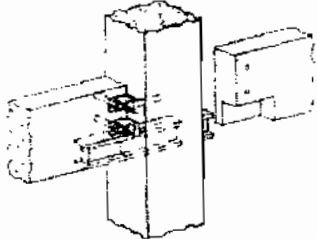

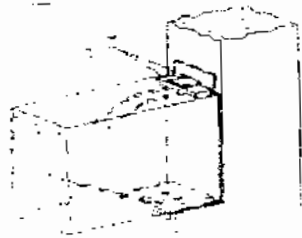

#### 6. รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

ปัจจุบันมีการใช้จตุรกรรับประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูป ที่มีรูปแบบที่ใช้กันอยู่ซึ่งแต่ละแบบมีทั้งข้อดีและข้อเสียพอสังเขปได้ดังนี้

ตาราง 1 รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กันทั่วไป

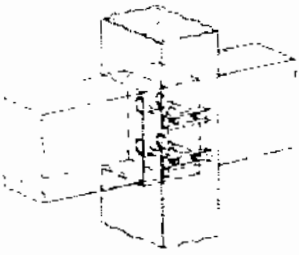
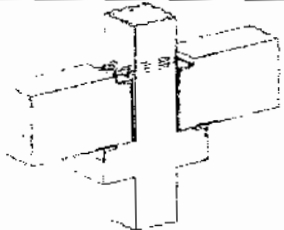



รูปแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับงานอาคารขนาดเล็ก</li> <li>- บางกรณีไม่สอดคล้องกับงานสถาปนิกที่ออกแบบ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งรวดเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การหล่อชิ้นงานต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยชิ้นงานถึงจะติดตั้งสนิทได้ดี กรณีไม่สนิทเกิดการถ่ายแรงไม่สม่ำเสมอชิ้นงานอาจเกิดความเสียหายได้หลังจากใช้งาน</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะติดตั้งรวดเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับงานอาคารขนาดเล็ก</li> <li>- บางกรณีไม่สอดคล้องกับงานสถาปนิกที่ออกแบบ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับงานอาคารขนาดเล็ก</li> <li>- บางกรณีไม่สอดคล้องกับงานสถาปนิกที่ออกแบบ</li> </ul>

ตาราง 1 รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กันทั่วไป (ต่อ)

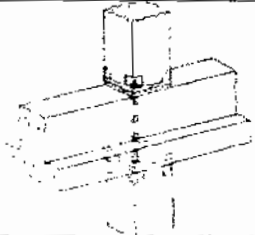
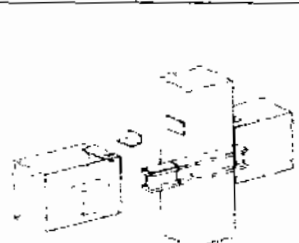
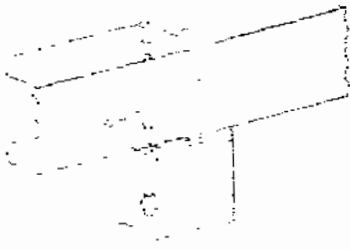
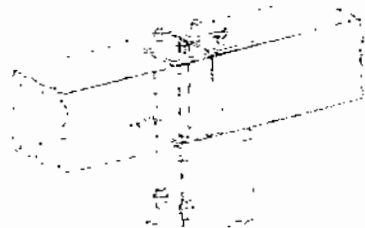

รูปแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งรวดเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การหล่อชิ้นงานต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยชิ้นงานถึงจะติดตั้งสนิทได้ดี กรณีไม่สนิทเกิดการถ่ายแรงไม่สม่ำเสมอชิ้นงานอาจเกิดความเสียหายได้หลังจากใช้งาน</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับงานอาคารขนาดเล็ก</li> <li>- บางกรณีไม่สอดคล้องกับงานสถาปนิกที่ออกแบบประกอบได้ทิศทางเดียวมีความจำกัด</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับงานอาคารขนาดเล็ก</li> <li>- บางกรณีไม่สอดคล้องกับงานสถาปนิกที่ออกแบบ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การหล่อชิ้นงานต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยชิ้นงานถึงจะติดตั้งสนิทได้ดี กรณีไม่สนิทเกิดการถ่ายแรงไม่สม่ำเสมอชิ้นงานอาจเกิดความเสียหายได้หลังจากใช้งาน</li> </ul>



ตาราง 1 รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กันทั่วไป (ต่อ)

รูปแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การหล่อชิ้นงานต้องมี ความคลาดเคลื่อนน้อยชิ้นงาน ถึงจะติดตั้งสนิทได้ดี กรณีไม่ สนิทเกิดการถ่ายแรงไม่ สม่าเสมอชิ้นงานอาจเกิดความ เสี่ยงได้หลังจากใช้งาน</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับงาน อาคารขนาดเล็ก</li> <li>- บางกรณีไม่สอดคล้อง กับงานสถาปนิกที่ออกแบบ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การหล่อชิ้นงานต้องมี ความคลาดเคลื่อนน้อยชิ้นงาน ถึงจะติดตั้งสนิทได้ดี กรณีไม่ สนิทเกิดการถ่ายแรงไม่ สม่าเสมอชิ้นงานอาจเกิดความ เสี่ยงได้หลังจากใช้งาน</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สิ้นเปลืองอุปกรณ์ ติดตั้งประกอบและขั้นตอนการ ทำงานต้องแม่นยำ</li> <li>- ประกอบทิศทางเดียว มีความจำกัด</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สิ้นเปลืองอุปกรณ์ ติดตั้งประกอบและขั้นตอนการ ทำงานต้องแม่นยำ</li> <li>- รับแรงเฉือนได้น้อย</li> <li>- ต้องฝังเหล็กยึดเหล็ก ฉากหล่อชิ้นงานมีความยากต่อ การทำชิ้นงาน</li> </ul>

ตาราง 1 รูปแบบการประกอบคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้กันทั่วไป (ต่อ)

รูปแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ประหยัดเพราะออกแบบเป็นคานต่อเนื่อง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ยากต่อการติดตั้ง เพราะคานมีความต่อเนื่องและหล่อชิ้นงานต้องมีความแม่นยำ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สิ้นเปลืองอุปกรณ์ ติดตั้งประกอบและขั้นตอนการทำงานต้องแม่นยำ</li> <li>- ประกอบทิศทางเดียว มีความจำกัด</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การหล่อชิ้นงานต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยชิ้นงานถึงจะติดตั้งสนิทได้ กรณีไม่สนิทเกิดการถ่ายแรงไม่สม่ำเสมอชิ้นงานอาจเกิดความเสียหายได้หลังจากใช้งาน</li> <li>- ไม่เหมาะกับเสาชั้นถัดไป</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สิ้นเปลืองอุปกรณ์ ติดตั้งประกอบและขั้นตอนการทำงานต้องแม่นยำ</li> <li>- ไม่เหมาะกับเสาชั้นถัดไป</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สะดวกติดตั้งง่าย</li> <li>- ใช้ระยะเวลาติดตั้งเร็ว</li> <li>- ติดตั้งได้จำนวนมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สิ้นเปลืองอุปกรณ์ ติดตั้งประกอบและขั้นตอนการทำงานต้องแม่นยำ</li> <li>- ตั้งแต่การหล่อชิ้นงาน เสา - คาน และต้องแนวระนาบในการติดตั้ง</li> </ul>

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติธัช หมูทองและคณะ (2554) การทดสอบประเมินกำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเสริมเหล็ก(Experimental Evaluation of Shear Strength of Reinforced Cellular Lightweight Concrete Beam) ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเสริมเหล็ก มีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตธรรมดาเสริมเหล็กอย่างมีนัยสำคัญ

สุชัย แซ่ฉั่นและคณะ (2554) กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุน จากผลการทดสอบพฤติกรรมในการรับแรง การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรง การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุน กับคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่เป็นเสริมเหล็กปลอกลูกตั้งแนวตั้งเพียงอย่างเดียว ภายใต้น้ำหนักทิศทางเดียว 2 จุดกระทำบนคานโดยมีค่าอัตราส่วนช่วงการเฉือนต่อความลึกประสิทธิผลอยู่ที่ 2.5 ถึง 3.0 เท่านั้น

สุริช จริตควรและคณะ (2551) กำลังเฉือนของคานคอนกรีตคุณภาพสูงการทดสอบจะแบ่งออกเป็น คาน B1 เสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน 0.262 % ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 2.242% อัตราส่วน  $a/d=3$  ,คานTB1,2และ3 ความกว้างปีกคาน 48,42 และ36 ซม.ตามลำดับเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน 0.262 % ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 0.561,0.641และ0.747% อัตราส่วน $a/d=3$  ,คานTB4,5 และ6 ความกว้างปีกคาน 48,42 และ36 ซม.เสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน 0.214 % ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 0.561,0.641และ0.747% อัตราส่วน $a/d$ เท่ากับ 3และ2.5เฉพาะในคานTB6Aมี $a/d=2.5$  TB7 และ8ความกว้างปีกคาน 48และ42 ซม.เสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน 0.336 % ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 0.561และ0.641% อัตราส่วน $a/d=2.5$  โดยที่คานTB1ถึงTB8 ไม่มีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่ปีกคาน.คานTB2A,4A,6Aและ7Aมีขนาดและการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนและเหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นไปตามคานข้างต้นแต่มีการเสริมเหล็กที่ปีกคานจำนวน0.189%ตามมาตรฐานACI ในการทดสอบพบว่าคานรูปที่ที่มีปีกกว้าง 48ซม.มีกำลังเฉือนมากกว่าคานรูปที่ที่มีความกว้างปีก36ซม.โดยรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นสูงสุด = 28% ในที่คานที่มี  $a/d=2.5$  จะสามารถรับแรงเฉือนได้มากกว่าคานที่มี  $a/d = 3.0$  สูงสุด = 25.19%โดยกำลังเฉือนจากการทดลองสูงกว่าข้อกำหนดกำลังเฉือนของACI เฉลี่ย = 46%

ภาคิน ลอยเจริญ (2552) พฤติกรรมรอยต่อแบบเปือกของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปภายใต้การตัดจากการทดสอบพบว่า

1. รอยต่อแบบเปือกไม่มีผลต่อกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปในกรณีที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงยาวต่อเนื่องสำหรับรอยต่อที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ใช้การเชื่อมทาบ พฤติกรรม

การวิบัติและกำลังรับโมเมนต์ดัดจะใกล้เคียงกับคานที่ไม่มีรอยต่อ ส่วนรอยต่อที่ใช้เหล็กเสริมวางทาบและงอฉากสามารถรับแรงดัดได้ในระดับหนึ่ง แต่จะวิบัติแบบฉับพลันจากการบีบอัดของคอนกรีต ในขณะที่รอยต่อที่ใช้เหล็กเสริมวางทาบอย่างเดียว จะมีกำลังรับโมเมนต์ดัดน้อย และวิบัติเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว

2. รอยต่อแบบเปียกที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงวางทาบงอฉากในรอยต่อ หากมีการพัฒนาให้สามารถลดการแตกร้าวของคอนกรีตในบริเวณ Tension Zone ได้พฤติกรรมและกำลังรับโมเมนต์ดัดอาจดีขึ้น

3. การทดสอบนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องพฤติกรรมและการออกแบบรอยต่อแบบเปียกของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป ซึ่งผลที่ได้จะนำไปพิจารณาประกอบกับผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของรอยต่อ เพื่อออกแบบการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนร่วมโมเมนต์ดัดของรอยต่อแบบเปียกต่อไป

### บทที่ 3

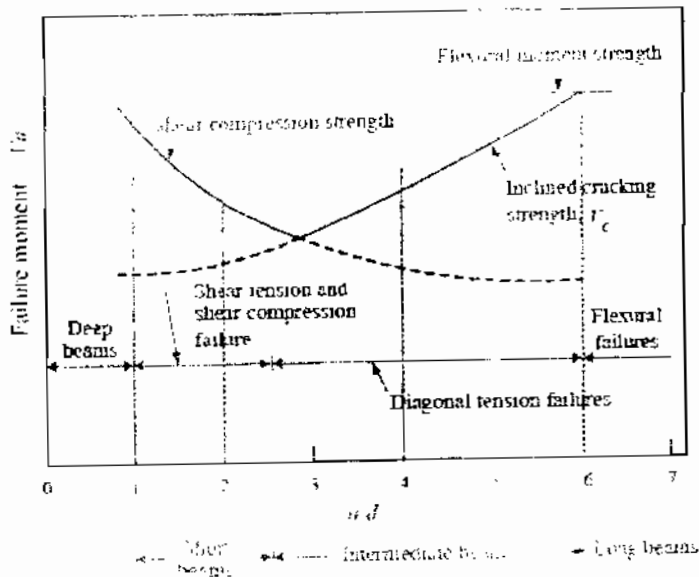
#### วิธีการดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษามีขั้นตอนคร่าวๆ ดังต่อไปนี้

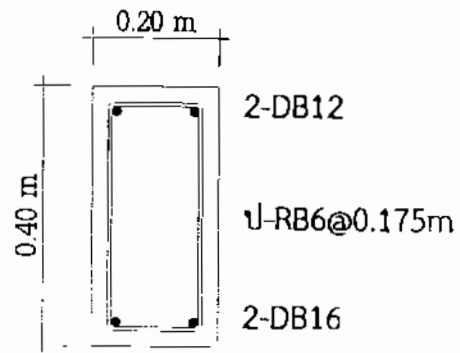
- วางแผนการทดสอบ
- ออกแบบคาน เสา และรอยต่อคานเสา
- เตรียมตัวอย่างทดสอบ
- ทำการทดสอบ
- วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

#### 1. โครงสร้างคานสำเร็จรูป

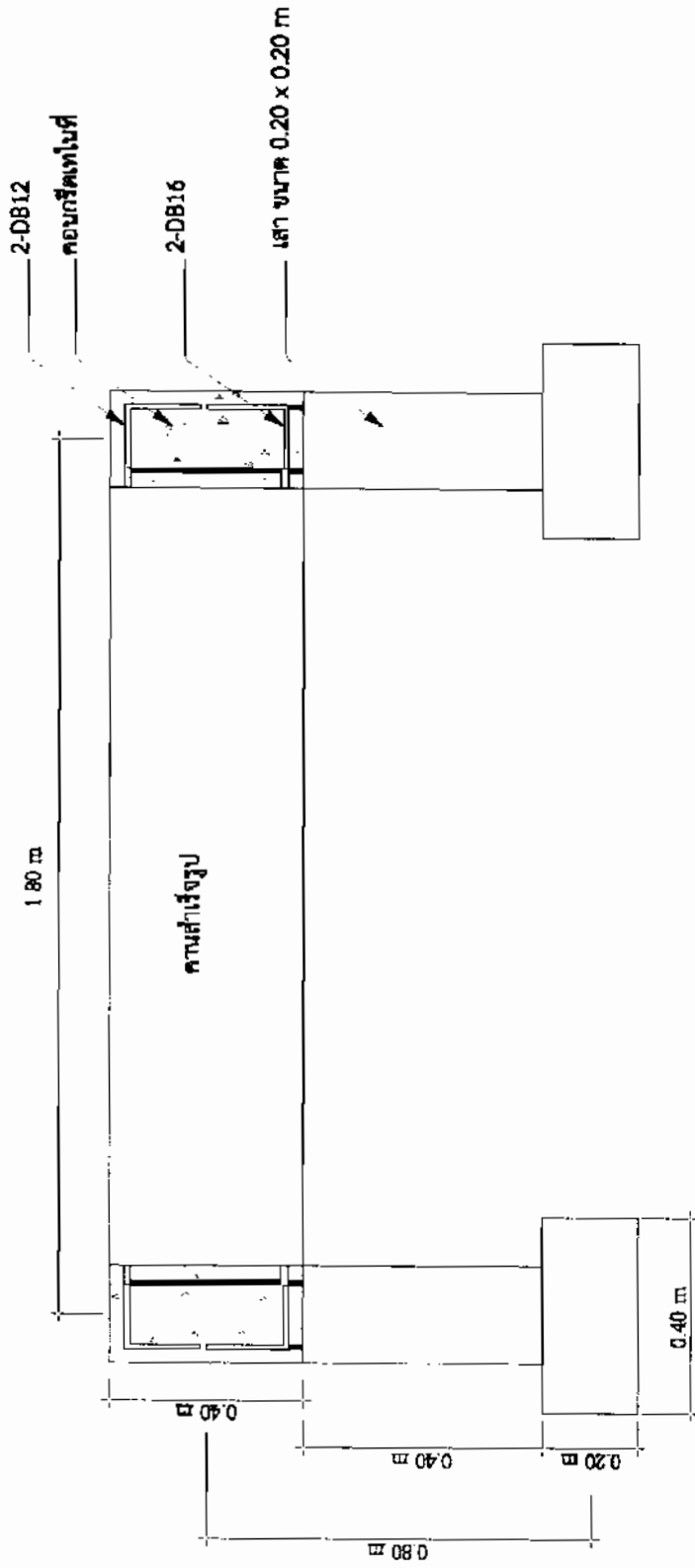
##### 1.1 กำหนดขนาดหน้าตัดและความยาวของคานคอนกรีตสำเร็จรูป



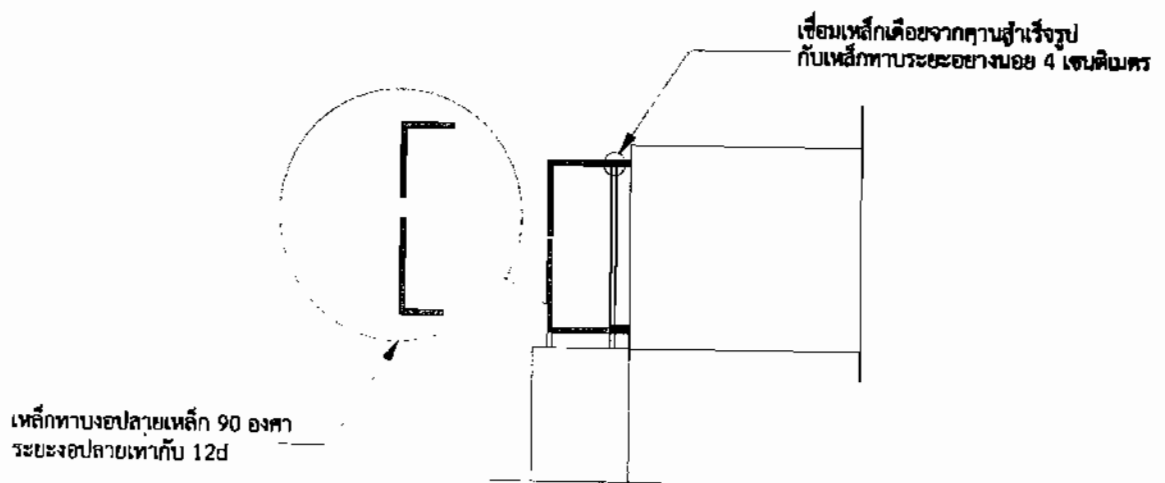
จากกราฟเพื่อให้คานมีแนวโน้มเกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน ดังนั้นจึงเลือก  $a/d$  มีค่าประมาณ 1.75 ในการพิจารณาขนาดหน้าตัดและความยาวของคานคอนกรีตสำเร็จรูป ในการศึกษาเลือกใช้คานขนาด 0.20 เมตร x 0.40 เมตร ความยาว 1.80 เมตร มีเหล็กเสริมดังแสดงในภาพประกอบ 3-1 คอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบสมมติให้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ภาพประกอบ 3-2 แสดงโครงสร้างคานสำเร็จรูป ที่มีรายละเอียดรอยต่อดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-1 หน้าตัดคานคอนกรีต



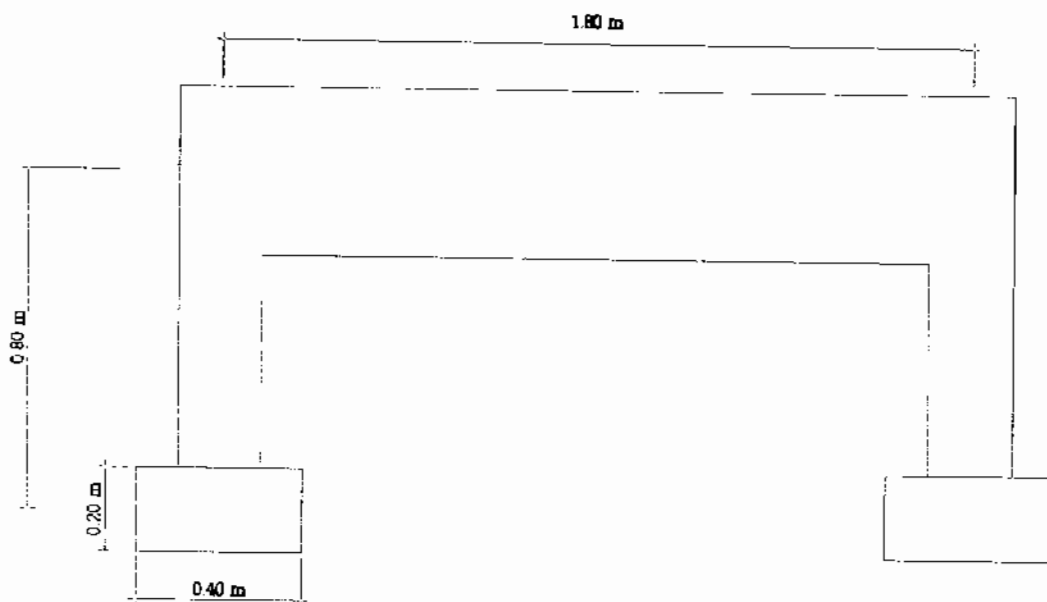
ภาพประกอบ 3-2 โครงสร้างคานาส้ำรับจุด



ภาพประกอบ 3-3 โครงสร้างการเชื่อมรอยต่อคานคอนกรีตสำเร็จรูป

## 2. โครงสร้างคานหล่อในที่

การกำหนดหน้าตัดและความยาวคานใช้รูปแบบเดียวกันกับคานคอนกรีตสำเร็จรูป



ภาพประกอบ 3-4 โครงสร้างคานหล่อในที่



### 3. การเตรียมตัวอย่าง วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่าง โครงสร้างถูกหล่อและบ่มด้วยผ้าชุบน้ำชุ่มเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

##### 3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเข้าแบบคาน

3.1.1.1 ค้อนตอกตะปู

3.1.1.2 ตลับเมตร

3.1.1.3 เครื่องตัดเหล็ก

3.1.1.4 ไม้อัดเข้าแบบคาน

3.1.1.5 เลื่อย

##### 3.1.2 เครื่องที่ใช้ในการทดสอบคาน

3.1.2.1 เครื่องทดสอบ Hydraulic actuator

3.1.2.2 เครื่องวัดการแอ่นตัวของคาน

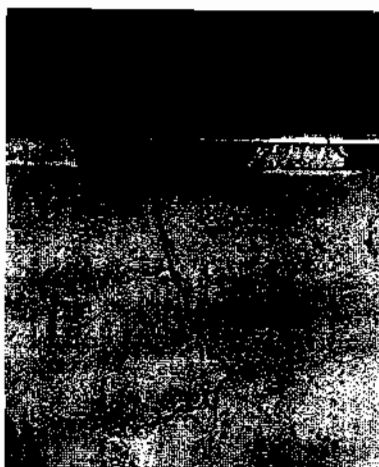
3.1.2.3 เครื่องบันทึกค่าการแอ่นตัวของคาน

### 4. ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ

4.1 นำคานคอนกรีตเข้าเครื่องทดสอบและจัดแนวให้ตรงกับ Hydraulic actuator ที่จุดให้แรงกระทำ



4.2 นำเหล็กเส้นกลมวางที่ช่วงของการเอียง (L/3)



4.3 วางโครงถักเหล็กเพื่อถ่ายแรงจาก Hydraulic actuator

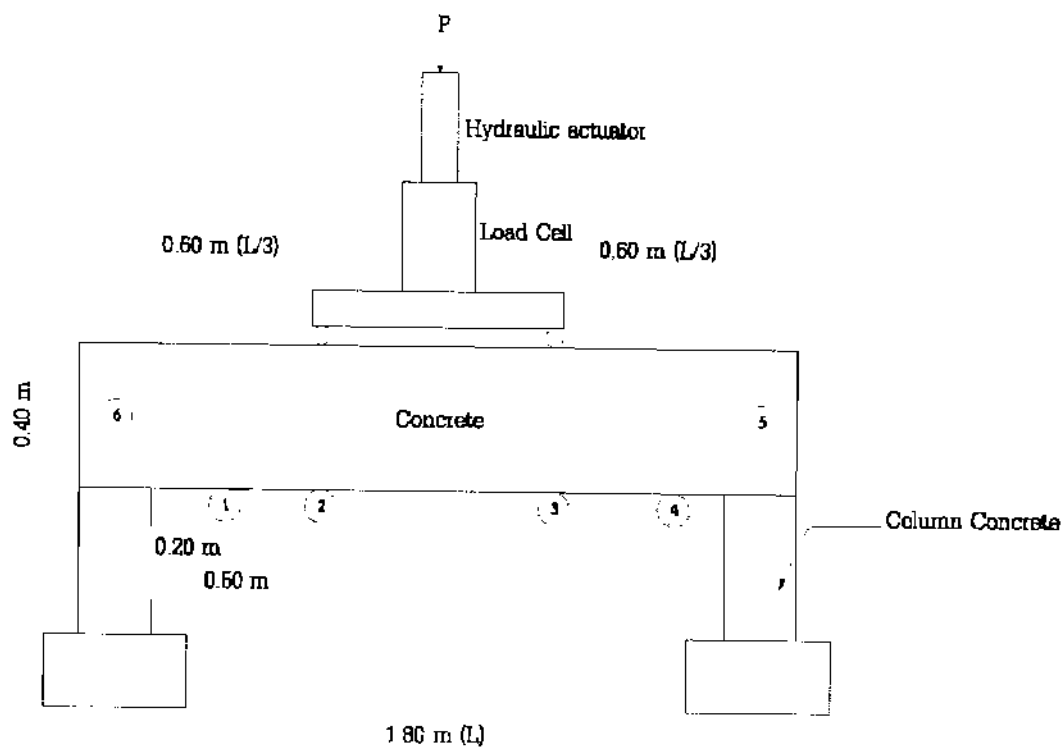


4.4 ติดตั้ง Load Cell ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานเพื่อวัดแรงที่กระทำ



Load Cell

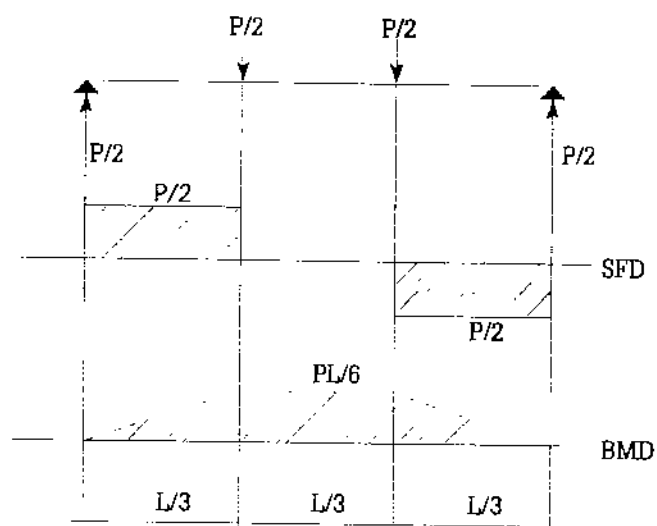
4.5 ติดตั้ง LVDT ตามตำแหน่งเพื่อวัดการแอ่นตัวของคาน โดยหมายเลข 1-4 วัดการแอ่นตัวของคานในแนวตั้งและหมายเลข 5-6 วัดการแอ่นตัวในแนวราบ



หมายเลข 1-6 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT



ภาพประกอบ 3-4 ภาพรวมการติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ



ภาพประกอบ 3-5 SFD และ BMD ของการทดสอบแบบ Four-Point Bending Test

ภาพประกอบ 3-4 แสดงภาพรวมการติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ และจากภาพประกอบ 3-5 จะเห็นได้ว่าถ้าแรงกระทำที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับ  $P$  แรงเฉือนที่กระทำกับคานจะมีค่าเท่ากับ  $P/2$

## 5. การทดลองและการเก็บข้อมูล

การทดสอบ ทำการทดสอบโดยติดตั้งคานตัวอย่างทดสอบเข้ากับ Loading frame ให้น้ำหนักกระทำโดยใช้ Hydraulic actuator ผ่าน Load cell กระทำแบบ 2 จุด ณ ตำแหน่ง  $L/3$  ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว ทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบอย่างช้าๆ จนคานวิบัติในที่สุด

## บทที่ 4

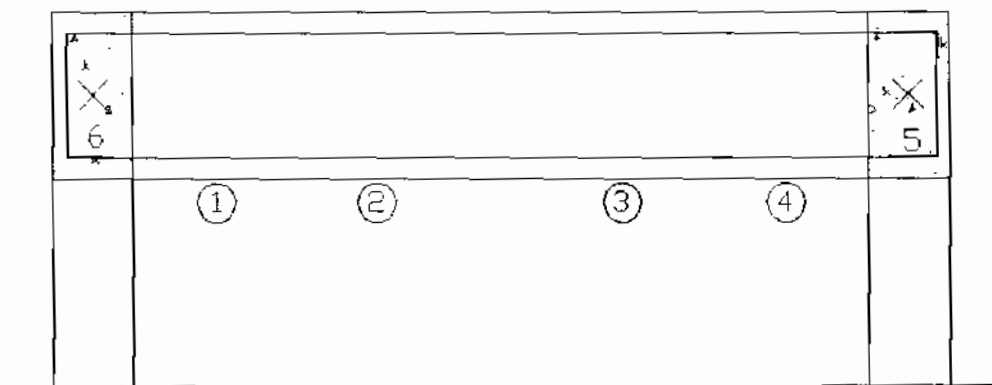
### ผลการศึกษา

#### ผลการศึกษาเงื่อนไขและปัจจัย

จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นอายุของคอนกรีตที่หล่อคานหล่อในที่ และคานหล่อสำเร็จ พบว่ามีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 256.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กำลังอัดที่สมมติในการออกแบบเท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ส่วนคอนกรีตที่ใช้หล่อรอยต่อคานเสาสำเร็จรูป มีอายุ 7 วัน พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตเฉลี่ยเท่ากับ 60.64 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดสอบอื่นๆ ได้ผลดังนี้

#### 1. ผลการทดสอบคานคอนกรีตแบบหล่อในที่และคานคอนกรีตแบบสำเร็จรูป

- 1.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสา คอนกรีตสำเร็จรูป  
คานถูกทดสอบเมื่อคอนกรีตที่รอยต่อมีอายุ 7 วัน



ภาพประกอบ 4-1 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT

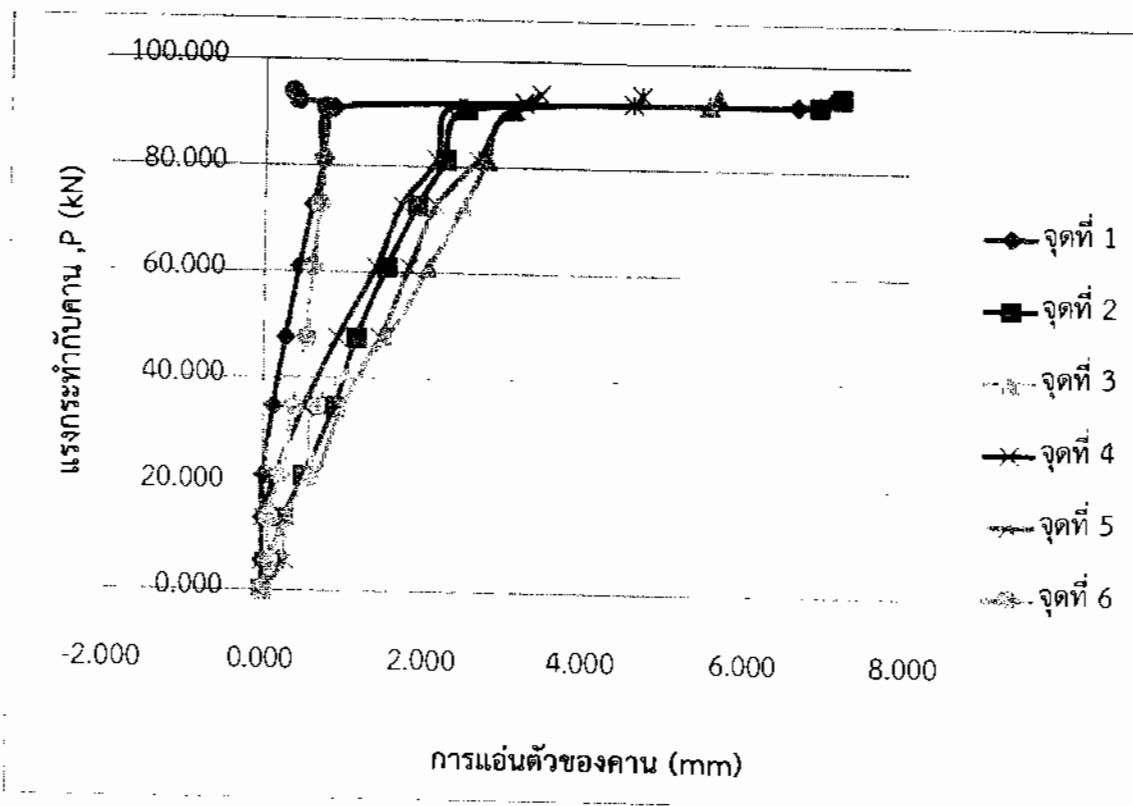
- 1.1.1 ความสัมพันธ์ของแรงและการแอ่นตัวของคานหล่อสำเร็จรูป

ความสัมพันธ์ของแรงและการแอ่นตัวที่ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง

สำเร็จรูปได้ผลดังตาราง 2 และภาพประกอบ 4 2

ตาราง 2 ผลการศึกษาค่าการแอ่นตัวของคานคอนกรีตแบบสำเร็จรูป

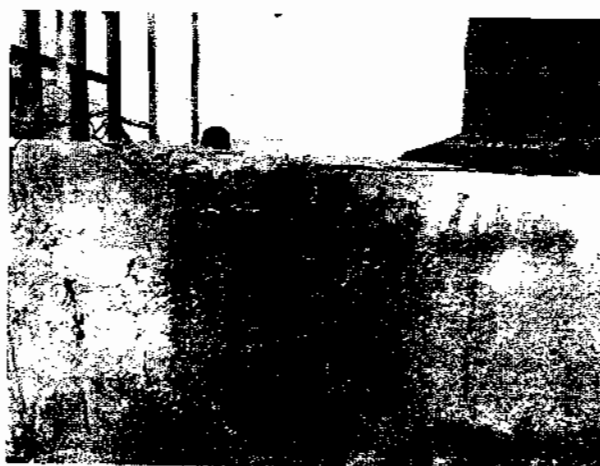
แรงกระทำกับ คาน P (กิโล นิวตัน)	การแอ่นตัวของคาน (มิลลิเมตร)						
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	ที่กึ่งกลาง คาน
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.6	0.000	0.123	0.117	0.008	0.301	0.087	0.170
13.6	0.000	0.274	0.308	0.008	0.301	0.087	0.301
21.6	0.003	0.513	0.603	0.171	0.688	0.237	0.574
34.6	0.130	0.897	0.662	0.515	0.998	0.385	1.260
47.6	0.280	1.157	1.534	0.927	1.452	0.546	1.750
60.9	0.442	1.520	2.038	1.392	1.801	0.614	2.121
72.6	0.610	1.896	2.474	1.695	2.119	0.702	2.502
81.3	0.734	2.226	2.762	2.117	2.630	0.734	2.750
90.9	0.856	2.488	3.073	2.250	3.108	0.752	3.020
92.3	6.615	6.889	5.501	3.209	4.574	0.410	6.591
93.9	7.080	7.167	5.612	3.422	4.678	0.345	6.898



ภาพประกอบ 4-2 การแอนตัวของคานคอนกรีตสำเร็จรูป

จากการทดลองให้แรงกระทำลงบนคานหล่อสำเร็จรูป โดยทำการเพิ่มแรงกระทำต่อคานเรื่อยๆมีการแตกร้าวระดับหนึ่งจึงหยุดทำการทดลองโดยแรงที่กระทำสูงสุดต่อคานนี้เท่ากับ 93.9 kN หรือประมาณ 9.39 ตัน คิดเป็นแรงเฉือนที่กระทำบนคานเท่ากับ 4.695 ตัน (ตาม SFD ในภาพประกอบ 3-5) มีค่าการแอนตัวที่กึ่งกลางคานสูงสุดเท่ากับ 6.898 มิลลิเมตร

### 1.1.2 ลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตสำเร็จรูป





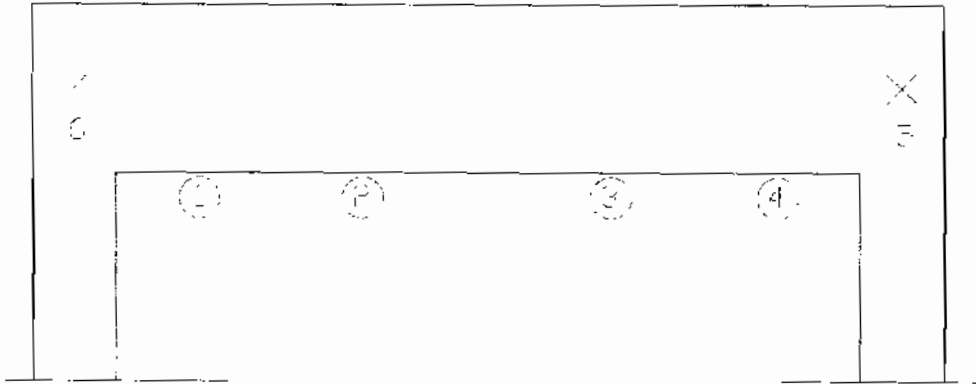
ภาพประกอบ 4-4 การแตกร้าวของคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่รอยต่อคาน-เสา



ภาพประกอบ 4-5 การแตกร้าวของคานคอนกรีตสำเร็จรูปที่บริเวณแรงกระทำและช่วงกลางคาน

จากลักษณะการแตกร้าวจะเห็นได้ว่าคานคอนกรีตสำเร็จรูปวิบัติที่รอยต่อเนื่องจากแรงเฉือนอย่างชัดเจน และมีการแตกร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ช่วงกลางคาน

1.2 การทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสา คอนกรีตหล่อในที่  
คานถูกทดสอบเมื่อมีอายุ 28 วัน



ภาพประกอบ 4-7 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT

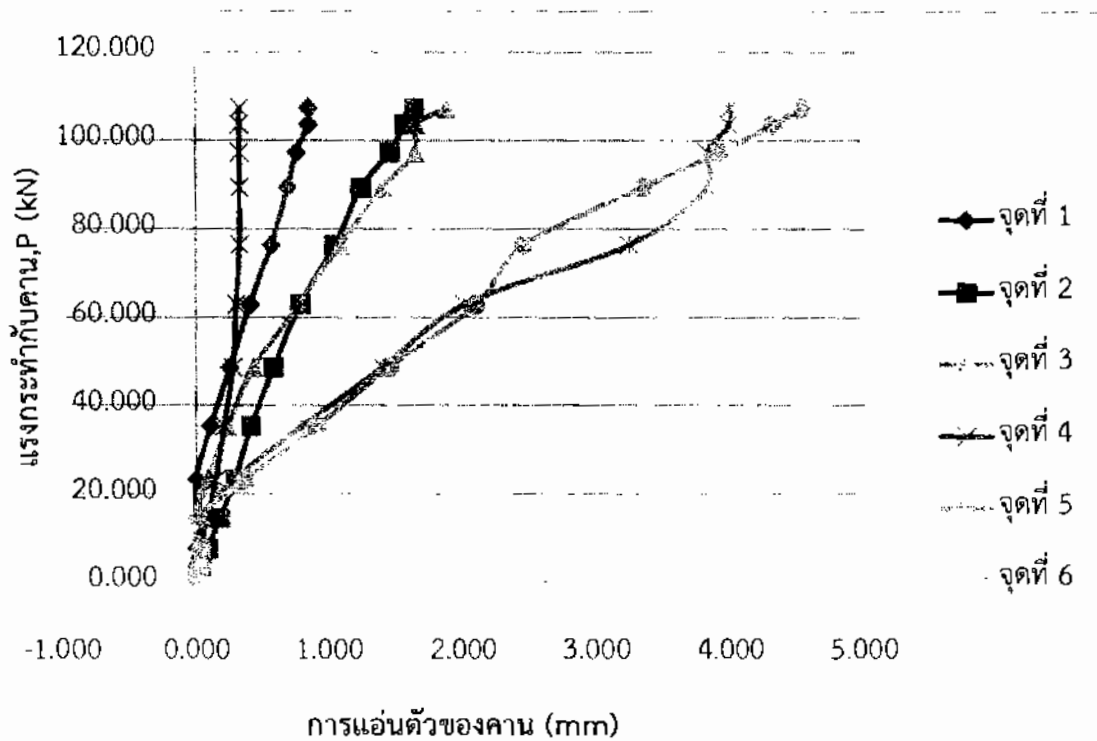
### 1.2.1 ความสัมพันธ์ของแรงและการแอ่นตัวของคานหล่อในที่

ความสัมพันธ์ของแรงและการแอ่นตัวที่ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างหล่อในที่ ได้ผลดังตาราง 3 และภาพประกอบ 4-7

ตาราง 3 ผลการศึกษาค่าการแอ่นตัวของคานคอนกรีตแบบหล่อในที่

แรงกระทำกับ คาน P (กิโล นิวตัน)	การแอ่นตัวของคาน (มิลลิเมตร)						ที่กึ่งกลาง คาน
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.6	0.000	0.040	0.000	0.031	0.037	0.035	0.117
7.6	0.000	0.089	0.002	0.032	0.037	0.038	0.128
14.6	0.001	0.184	0.002	0.084	0.037	0.005	0.199
23.3	0.000	0.300	0.092	0.152	0.296	0.389	0.302
35.3	0.111	0.422	0.247	0.215	0.804	0.917	0.439
48.6	0.260	0.594	0.444	0.284	1.404	1.453	1.010
62.9	0.416	0.795	0.786	0.311	2.013	2.103	1.256
76.3	0.577	1.051	1.096	0.337	3.249	2.471	1.461
89.3	0.703	1.246	1.408	0.336	3.828	3.349	1.731
97.3	0.769	1.457	1.652	0.336	3.828	3.924	1.745

103.6	0.858	1.571	1.652	0.337	3.993	4.331	1.794
107.3	0.858	1.638	1.885	0.338	3.998	4.541	2.001



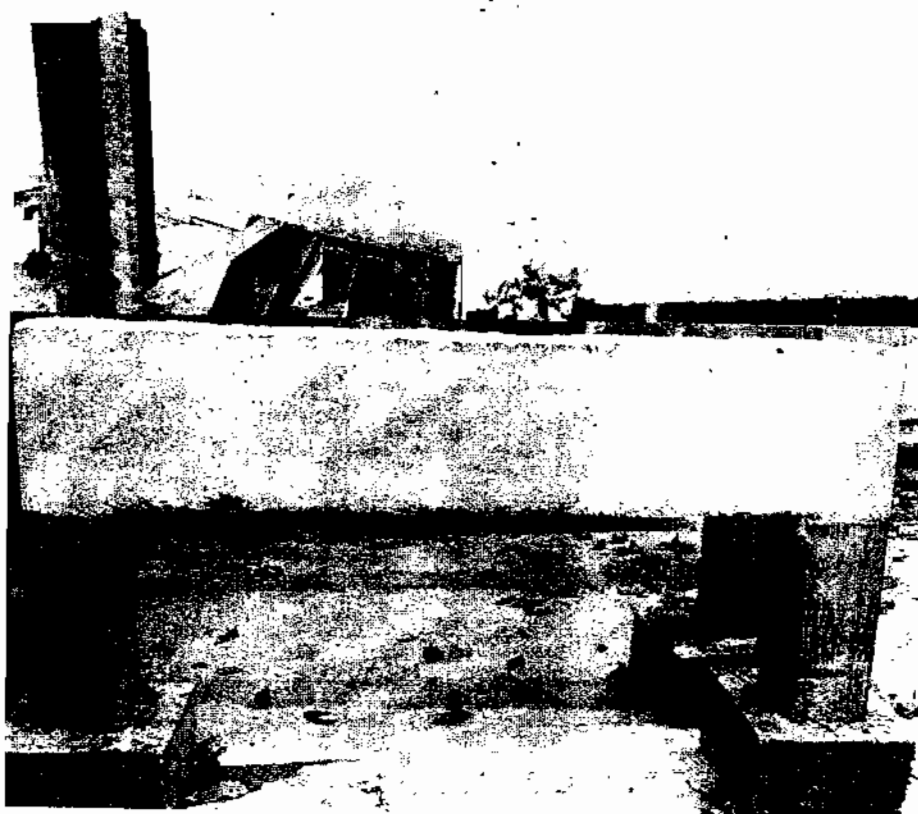
ภาพประกอบ 4-7 กราฟแสดงการแอ่นตัวของคานคอนกรีตแบบหล่อในที่

จากการทดลองให้แรงกระทำลงบนคานหล่อสำเร็จรูป โดยทำการเพิ่มแรงกระทำต่อคานเรื่อยๆจนมีการแตกร้าวระดับหนึ่งจึงหยุดทำการทดลองโดยแรงที่กระทำสูงสุดต่อคานนี้เท่ากับ 107.3 kN หรือประมาณ 10.73 ตัน คิดเป็นแรงเฉือนที่กระทำบนคานเท่ากับ 5.365 ตัน (ตาม SFD ในภาพประกอบ 3-5) มีค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานสูงสุดเท่ากับ 2.001 มิลลิเมตร

### 1.2.2 ลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตหล่อในที่



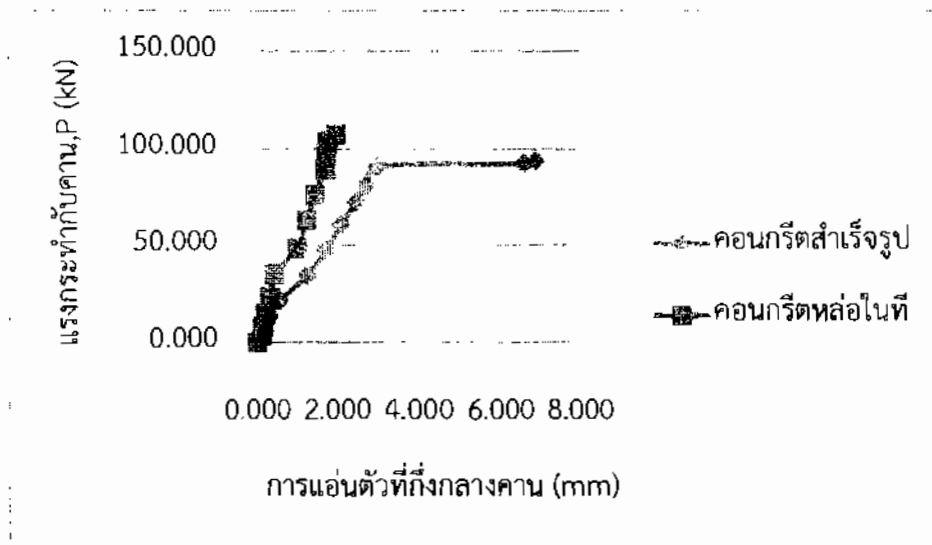
ภาพประกอบ 4-9 การแตกหักที่หัวเสาของโครงสร้างหล่อในที่



ภาพประกอบ 4-10 การแตกร้าวของคานหล่อในที่บริเวณแรงกระทำและช่วงกลางคาน

จากลักษณะการแตกร้าวจะเห็นได้ว่าคานคอนกรีตหล่อในที่ไม่เกิดการวิบัติที่รอยต่อเนื่องจากแรงเฉือน แต่วิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดัดตั้งรอยแตกร้าวที่บริเวณกลางคาน

### 1.3 เปรียบเทียบการรับแรงและการอ่อนตัวที่กึ่งกลางคานของโครงสร้างทั้ง 2 แบบ



ภาพประกอบ 4-11 กราฟแสดงการอ่อนตัวที่กึ่งกลางของคานคอนกรีต

จากภาพประกอบ 4-11 จะเห็นว่าแม้โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปจะมีอายุของรอยต่อเพียง 7 วัน แต่โครงสร้างก็สามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 87.51 ของโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ แม้โครงสร้างจะวิบัติด้วยแรงเฉือนที่รอยต่อ และมีการเสียรูปมากกว่าโครงสร้างหล่อในที่

## 2. ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของคานเปรียบเทียบกับทฤษฎี

การคำนวณหาความสามารถในการรับเฉือนจากทฤษฎีคำนวณได้ดังสมการ

$$V_s + V_c = \left[ \frac{A_v f_y d}{s} \right] + [0.53 \sqrt{f_c' b d}]$$

### 2.1 คานคอนกรีตสำเร็จรูป

2.1.1 ความสามารถในการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตสำเร็จรูปจากทฤษฎีเท่ากับ

5.60 ตัน ทั้งนี้คิดว่ารอยเชื่อมไม่มีผลต่อการรับแรง

2.1.2 แรงเคื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานคอนกรีตสำเร็จรูปจากการทดสอบเท่ากับ 4.70 ตัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าจากทฤษฎีและค่าจากการทดสอบจากการทดสอบ คานคอนกรีตสำเร็จรูปมีความสามารถในการรับแรงเคื่อนน้อยกว่าทฤษฎีคิดเป็นร้อยละ 16.07

## 2.2 คานคอนกรีตหล่อในที่

2.2.1 ความสามารถในการรับแรงเคื่อนของคานคอนกรีตหล่อในที่จากทฤษฎีเท่ากับ 8.66 ตัน

2.2.2 แรงเคื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานคอนกรีตหล่อในที่จากการทดสอบเท่ากับ 5.37 ตัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าจากทฤษฎีและค่าจากการทดสอบจากการทดสอบ แรงเคื่อนที่เกิดขึ้นในคานคอนกรีตหล่อในที่ยังมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการรับแรงเคื่อน คานจึงไม่วิบัติด้วยแรงเคื่อน



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบพฤติกรรมความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป ที่คานถูกออกแบบเป็นคานช่วงเดียว (Simply Supported Beam) โดยสมมุติจุดต่อเป็นแบบยึดหมุน (Hinge Joint) แต่ก่อสร้างให้มีความต่อเนื่องโดยใช้เหล็กขนาดเดียวกันทาบและเชื่อมและเทรอยต่อในที่ เปรียบเทียบกับรอยต่อที่ก่อสร้างแบบเดิมคือเทในที่ทั้งหมดที่อายุ 28 วัน โดยที่รอยต่อคานเสาสำเร็จรูปมีอายุเพียง 7 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 แรงที่กระทำสูงสุดต่อคานหล่อสำเร็จเท่ากับ 93.9 kN หรือประมาณ 9.39 ตัน คิดเป็นแรงเฉือนที่กระทำบนคานเท่ากับ 4.695 ตัน มีค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานสูงสุดเท่ากับ 6.898 มิลลิเมตร ทั้งนี้คานวิบัติที่รอยต่อเนื่องจากแรงเฉือนอย่างชัดเจน และมีการแตกร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ช่วงกลางคาน

1.2 แรงที่กระทำสูงสุดต่อคานหล่อในที่เท่ากับ 107.3 kN หรือประมาณ 10.73 ตัน คิดเป็นแรงเฉือนที่กระทำบนคานเท่ากับ 5.365 ตัน มีค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานสูงสุดเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร แต่คานคอนกรีตหล่อในที่ไม่เกิดการวิบัติที่รอยต่อเนื่องจากแรงเฉือน แต่วิบัติเนื่องจากโมเมนต์ดัดตั้งรอยแตกร้าวที่บริเวณกลางคาน

1.3 แม้โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปจะมีอายุของรอยต่อเพียง 7 วัน แต่โครงสร้างก็สามารถรับแรงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 87.51 ของโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ แม้โครงสร้างจะวิบัติด้วยแรงเฉือนที่รอยต่อ และมีการเสียรูปมากกว่าโครงสร้างหล่อในที่

#### ข้อเสนอแนะ

- สำหรับรอยต่อสำเร็จรูปที่ศึกษาควรหาวิธีป้องกันการวิบัติด้วยแรงเฉือน และคำนึงถึงการแอ่นตัวที่ค่อนข้างมาก
- ควรมีการทดสอบพฤติกรรมในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน เสาคอนกรีตสำเร็จรูปที่หลากหลายรูปแบบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูปที่ดีต่อไป

## บรรณานุกรม

- กำลังรับแรงเฉือนระหว่างรอยต่อคอนกรีตเก่าและใหม่ของหน้าตัดรับแรงค้ำ. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย : สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2556; ได้จาก [http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102:2010-11-13-20-07-15&catid=47:journal06&Itemid=55](http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=102:2010-11-13-20-07-15&catid=47:journal06&Itemid=55)
- กิตติชัย หมูทองและคณะ. การทดสอบประเมินกำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.
- ภาคิน ลอยเจริญและคณะ พฤติกรรมรอยต่อแบบเปียกของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปภายใต้การค้ำ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2552.
- สุชัย แซ่ฉั่นและคณะ. กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554.



## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีต

### กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

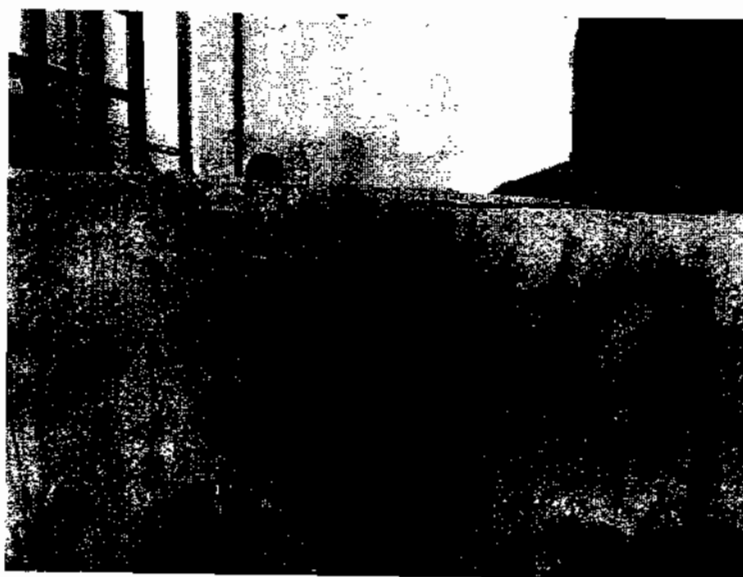
ตัวอย่างคอนกรีตก้อนที่ 1 เท่ากับ 241.91 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
ตัวอย่างคอนกรีตก้อนที่ 2 เท่ากับ 248.28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
ตัวอย่างคอนกรีตก้อนที่ 3 เท่ากับ 280.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 256.70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

### กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 14 วัน

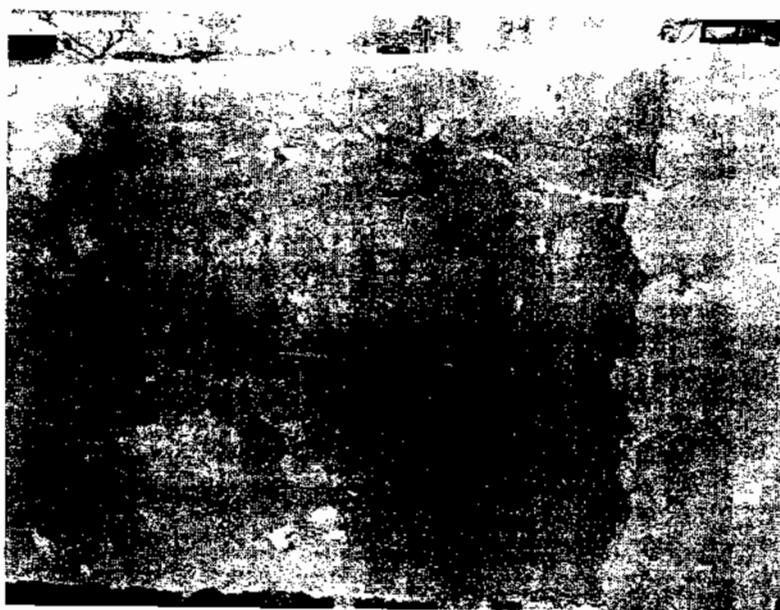
ตัวอย่างคอนกรีตก้อนที่ 1 เท่ากับ 62.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
ตัวอย่างคอนกรีตก้อนที่ 2 เท่ากับ 55.85 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
ตัวอย่างคอนกรีตก้อนที่ 3 เท่ากับ 63.66 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.64 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ภาคผนวก ข

ภาพแสดงการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตสำเร็จรูป



ภาพประกอบ 6 ภาพคานคอนกรีตสำเร็จรูปเกิดการวิบัติที่หัวเสา



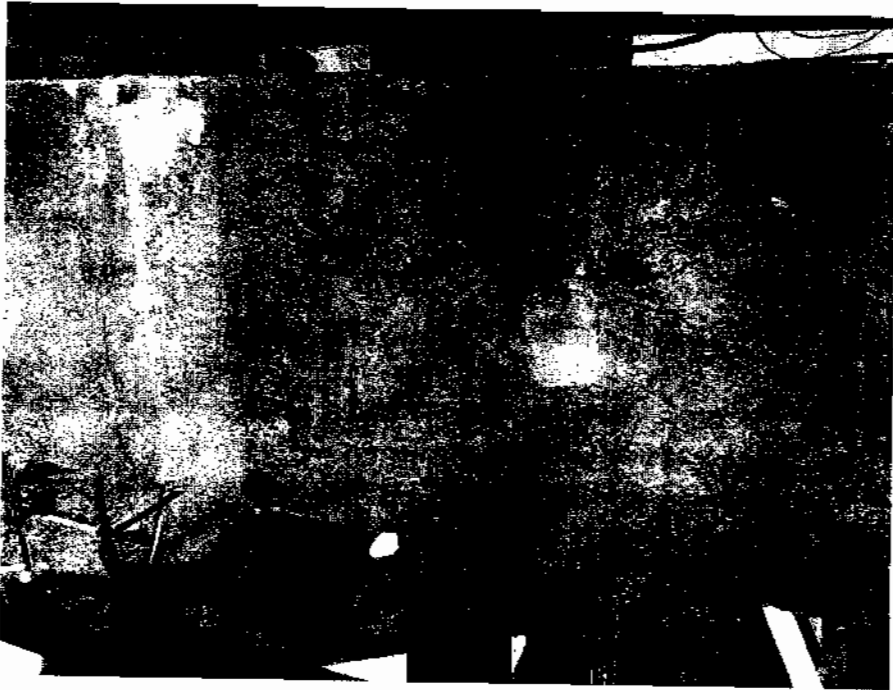
ภาพประกอบ 7 ภาพคานคอนกรีตสำเร็จรูปเกิดการวิบัติที่หัวเสา



ภาพประกอบ 8 ภาพคานคอนกรีตสำเร็จรูปเกิดการวิบัติที่หัวเสา



ภาพประกอบ 9 คานคอนกรีตสำเร็จรูปเกิดการวิบัติที่บริเวณกึ่งกลางเสา

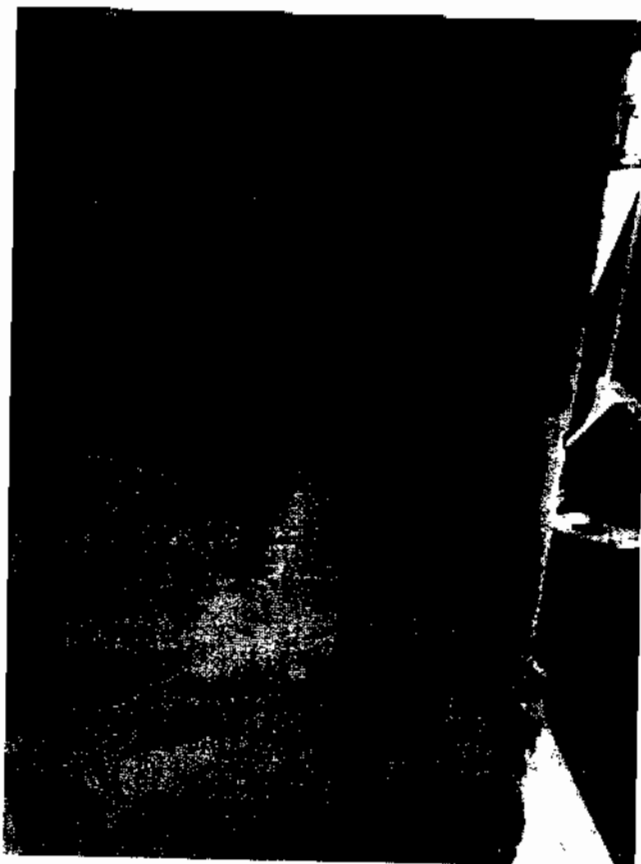


ภาพประกอบ 10 ภาพคานคอนกรีตสำเร็จรูปเกิดการวิบัติที่บริเวณกึ่งกลางเสา

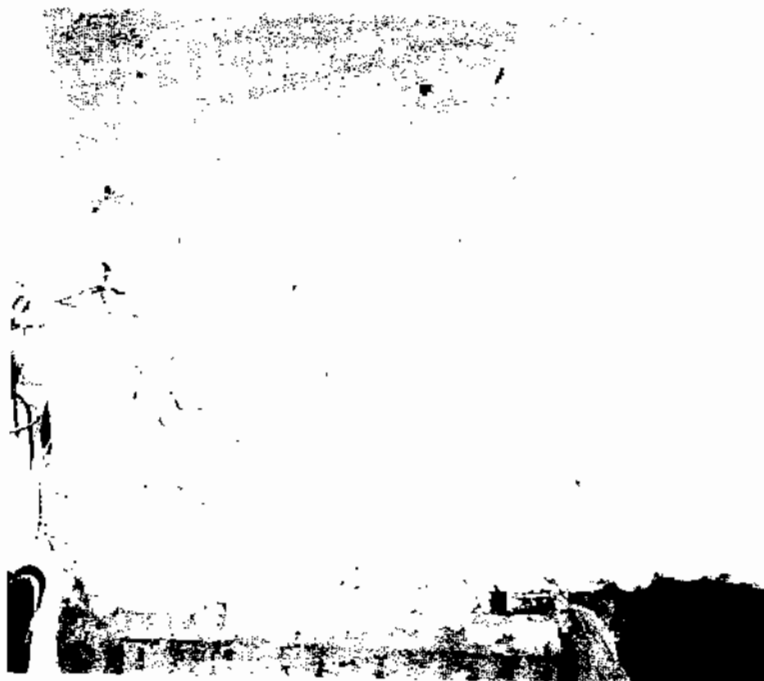
**ภาคผนวก ค**

**ภาพแสดงการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของรอยต่อคาน-เสาคอนกรีตแบบหล่อในที่**





ภาพประกอบ 11 คานคอนกรีตหล่อในที่เกิดการวิบัติที่หัวเสา



ภาพประกอบ 12 คานคอนกรีตหล่อในที่เกิดการวิบัติที่หัวเสา



ภาพประกอบ 13 คานคอนกรีตหล่อในที่เกิดการวิบัติหักจากหัวเสา

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายสุระศักดิ์ วันรีโก  
วันเกิด 4 มิถุนายน 2533  
สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 102 หมู่ 9 ตำบลตบพูน อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี รหัสไปรษณีย์ 34160  
สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 102 หมู่ 9 ตำบลตบพูน อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี รหัสไปรษณีย์ 34160

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554 การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)  
วิทยาลัยเทคนิคเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี  
พ.ศ. 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ	นายสรารุช ยูลพรีง
วันเกิด	19 กรกฎาคม 2532
สถานที่เกิด	บ้านเลขที่ 76 หมู่ 6 ตำบลเมืองทุ่ง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45130
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 76 หมู่ 6 ตำบลเมืองทุ่ง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45130
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2553	การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2556	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม