



รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีในผนังกั้นภายในอาคาร  
APPLICATION OF PVC PIPE AS A STUD  
IN THE INTERIOR PARTITION

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

วิโรจน์ วงศ์ธัญลักษณ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

1. นายวรรัชย์ เกษกัน
2. นายขวัญชัย สรรคิไกร
3. นายสิริเทพ หลอดทอง
4. นายยุทธนา อุไรมาลัย
5. นายนพคนธ์ ยศดา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2541

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2545

## กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง “การประยุกต์ใช้ทอพีวีซีในผนังกันภายในอาคาร” ในครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2541

ในการดำเนินโครงการวิจัยนี้จะสำเร็จล่วงได้ ต้องใคร่ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วิรพันธ์ ศรีบุญลือ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ผู้ซึ่งริเริ่ม ให้แนวคิด และคำแนะนำในการทำวิจัย ผศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์ ผศ.ดร. มงคล จิรวชิรเดช พร้อมทั้งคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ท่านให้คำแนะนำและปรึกษาด้านวิชาการ รศ.ดร.วรพจน์ ขำพิศ ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย รวมถึงผู้ร่วมทำงานวิจัย นายวรรัชย์ เกษกัน นายขวัญชัย สรรคิไกร นายสิริเทพ หลอดทอง นายยุทธนา อุโรมาลย์ นายนพคุณธ์ ยศดา ที่ตั้งใจทำงานกันอย่างขยันขันแข็ง มาโดยตลอดระยะเวลาวิจัย

ผู้วิจัยจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณต่อบุคคลต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นทุกท่าน ที่ได้มีส่วนช่วยสนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จล่วงไปด้วยดี

วิโรจน์ วงศ์รัญลักษณ์

หัวหน้าโครงการวิจัย

กันยายน 2545

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำท่อพีวีซีมาทำเป็นผนังกันภายในอาคารทดแทนผนังที่ทำจากวัสดุอื่นๆ เช่น ผนังก่ออิฐหรือผนังคอนกรีต เป็นต้น โดยพิจารณาถึงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของเสาพีวีซีและผนังโครงคร่าวท่อพีวีซี โดยใช้การทดสอบเป็นแบบใส่หมุดที่ปลายทั้ง 2 ข้าง ตัวอย่างเสาพีวีซีที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนทั้งสิ้น 112 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ชั้นคุณภาพ และความยาวของตัวอย่าง โดยมีค่าอัตราส่วนความชะลูดอยู่ในช่วง 2.6 ถึง 112.3 เมื่อทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการรับแรงอัดของเสาพีวีซีพบว่าค่าความชะลูดที่ 9.0 จะเป็นตัวแบ่งพฤติกรรมของเสาสั้นและเสายาวของท่อพีวีซี โดยเสาสั้นจะรับหน่วยแรงอัดสูงสุด  $\sigma_{ult} = 61 - (3L/2r)$  ส่วนเสายาวเมื่อเทียบพฤติกรรมกับสมการของออยเลอร์พบว่าค่าความชะลูดที่ 9.0-80 จะสามารถใช้สมการของออยเลอร์ในการทำนายพฤติกรรมของเสาได้ ส่วนที่มีความชะลูดมากกว่า 80 ขึ้นไปก็ยังสามารถใช้สมการของออยเลอร์ในการทำนายพฤติกรรมของเสาได้เช่นกันแต่จะต้องคูณลดค่ากำลังอัดของเสาลงด้วยตัวคูณลดเท่ากับ 0.012 (L/r)

หลังจากนั้นทำการทดสอบผนังประกอบ โดยใช้ท่อพีวีซีเป็นโครงคร่าวและใช้ไม้อัดประกบทั้งสองด้านยึดด้วยตะปูเกลียวจำนวน 8 ตัวอย่าง โดยแบ่งผนังออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มแตกต่างกันที่จำนวนเสาพีวีซีและระยะห่างการยึดของตะปูเกลียว พบว่าผนังจะวิบัติเมื่อเกิดการโก่งตัวสูงสุดประมาณ 1 เซนติเมตร และเมื่อศึกษากำลังรับแรงอัดพบว่าผนังที่จำนวนเสามากกว่าจะรับกำลังอัดได้ดีกว่าผนังที่มีจำนวนเสาน้อยกว่า และผนังที่ยึดด้วยตะปูเกลียวที่ถี่กว่าจะรับแรงอัดได้ดีกว่าผนังที่ยึดด้วยตะปูเกลียวที่ห่างกว่า โดยจำนวนของเสาพีวีซีที่ใช้ทำผนังมีผลต่อกำลังมากกว่าระยะห่างของตะปูเกลียว

## ABSTRACT

The aim of this research is to study the possibility to use PVC pipe instead of other materials to form interior partitions. Axial compressive strength of individual PVC pipes as well as compressive strength of PVC partitions were determined in this study.

For the axial compressive strength, 112 PVC pipes were divided into 4 groups by their diameter, thickness and length. The slenderness ratios of 112 PVC pipes range from 2.6 to 112.3. Test results show that PVC pipe whose slenderness ratio is less than 9 will act like short column while PVC pipe whose slenderness ratio is equivalent or more than 9 will act like long column. The ultimate compressive strength of short-column PVC pipe is equal to  $61-(3L/2r)$ , whereas the ultimate compressive strength of long-column PVC pipe can be predicted from Euler's equation for long column. If, however, the slenderness ratio of PVC pipe is more than 80, the reduction factor of 0.0012 ( $L/r$ ) must be multiplied to Euler's equation for long column.

For the compressive strength of PVC partitions, 8 PVC partitions were divided into 4 groups by number of PVC pipes used to form partition and spacing of screws. Test results show that the partition fails when lateral deflection of partition is equal to 1 centimeter. Also we have found that both number of PVC pipes used to form partition and spacing of screws control the compressive strength of partition and the former is the major factors.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 สมมุติฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ท่อพีวีซี.....	4
2.2 หลักการและทฤษฎีของเสา.....	4
2.3 ทฤษฎีของโครงสร้างประกอบ.....	6
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 การทดสอบเสาพีวีซี.....	7
3.2 การทดสอบผนังโครงคร่าวพีวีซี.....	8
<b>บทที่ 4 ผลการทดสอบ</b>	
4.1 ผลการทดสอบเสาพีวีซี.....	11
4.2 ผลการทดสอบผนังโครงคร่าวพีวีซี.....	16
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>	
5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบเสาพีวีซี.....	27
5.2 สรุปผลการทดสอบเสาพีวีซีและข้อเสนอแนะ.....	30
5.3 สรุปผลการทดสอบผนังโครงคร่าวพีวีซี.....	31

	หน้า
5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย.....	33
บรรณานุกรม.....	34
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ของไม้อัดและท่อพีวีซี....	35
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นในการหาตัวคูณลดในการสร้างสมการ วิเคราะห์พฤติกรรมของเสาขะลุค.....	37
ภาคผนวก ค. รูปภาพแสดงการทำโครงเหล็กทดสอบและตัวอย่างทดสอบ.....	40
ประวัติผู้วิจัย.....	43

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ข้อมูลการคำนวณค่าหน่วยแรงประลัยของท่อพีวีซีที่ความยาวต่างๆ .....	11
4.2 ข้อมูลผลการทดสอบค่ากำลังอัดสูงสุดของท่อพีวีซีที่ความยาวต่างๆ.....	12
4.3 ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราส่วนความชะลูดของท่อพีวีซีที่ขนาดความยาวต่างๆ.....	13
4.4 แสดงค่าอัตราส่วนความและค่าหน่วยแรงประลัยของท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว ชั้น 8.5 .....	14
4.5 แสดงค่าอัตราส่วนความและค่าหน่วยแรงประลัยของท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว ชั้น 13.5 .....	14
4.6 แสดงค่าอัตราส่วนความและค่าหน่วยแรงประลัยของท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ชั้น 8.5 .....	15
4.7 แสดงค่าอัตราส่วนความและค่าหน่วยแรงประลัยของท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ชั้น 13.5 .....	15
4.8 แสดงค่าแรงกดสูงสุดของผนัง โครงเคร่าท่อพีวีซีจากสมการของออยเลอร์และกำลังอัด ที่ได้จากการทดลอง.....	16
<b>ตารางภาคผนวกที่</b>	
ก.1 แสดงคุณสมบัติของท่อพีวีซี.....	36
ก.2 ตารางสรุปคุณสมบัติของชิ้นส่วนท่อพีวีซีและไม้อัด.....	36

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงค่าสถิติในสตามลักษณะการยี่ครั้งที่ปลายเสา.....	6
3.1 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของท่อพีวีซียาว 0.1 ถึง 0.3 เมตร.....	9
3.2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของท่อพีวีซียาว 0.4 ถึง 3.2 เมตร.....	10
3.3 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดและลักษณะของผนัง โครงเคร่าท่อพีวีซี.....	10
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการ โกงตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว ชั้น 8.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม. ตามลำดับ.....	17
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการ โกงตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว ชั้น 13.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม. ตามลำดับ.....	18
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการ โกงตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว ชั้น 8.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม. ตามลำดับ.....	19
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการ โกงตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว ชั้น 13.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม. ตามลำดับ.....	20
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการ โกงตัวของผนัง W11 และ W12.....	21
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการ โกงตัวของผนัง W21 และ W22....	22
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการ โกงตัวของผนัง W31 และ W32....	23
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการ โกงตัวของผนัง W41 และ W42...	24
4.9 กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียว 20 เซนติเมตรเท่ากัน แต่ระยะห่างของเสาต่างกัน.....	25
4.10 กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียว 30 เซนติเมตรเท่ากัน แต่ระยะห่างของเสาต่างกัน.....	25
4.11 กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่มีระยะห่างของเสา 40 เซนติเมตร เท่ากัน แต่ระยะห่างของตะปูเกลียวต่างกัน.....	26
4.12 กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่มีระยะห่างของเสา 60 เซนติเมตร เท่ากัน แต่ระยะห่างของตะปูเกลียวต่างกัน.....	26



## รูปที่

5.1 กราฟแสดงหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลุดของเสาจากการทดลอง กับสมการของเสาของทอพีวีซี.....	27
5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดตามแนวแกนและค่าขยับตัวตามแนวแกนของเสาสั้น...	28
5.3 แสดงหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลุด เปรียบเทียบระหว่างสมการผลการ ทดสอบกับสมการจากทฤษฎีออยเลอร์.....	29

## รูปภาพภาคผนวกที่

ก.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและการแอ่นตัวของทอพีวีซีเพื่อหาค่า Modulus of Elasticity ( $E_r$ ) .....	36
ข.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลุดของทอพีวีซี....	39
ข.2 กราฟแสดงการทำนายผลการทดสอบทอพีวีซีโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น.....	39
ค.1 แสดงการประกอบและติดตั้งโครงเหล็กทดสอบ.....	41
ค.2 แสดงการติดตั้งเครื่องกดน้ำหนัก.....	41
ค.3 แสดงลักษณะของผนังโครงคร่าวพีวีซีที่ใช้ในการทดสอบ.....	42

คำอธิบายสัญลักษณ์

- $\Delta$  = การแอ่นตัว
- $\sigma_{uu}$  = หน่วยแรงประลัย
- $\phi$  = ค่าคงตัวของสมการ
- $E_c$  = โมดูลัสความยืดหยุ่นการอัด
- $E_f$  = โมดูลัสความยืดหยุ่นการค้ำ
- $F_e$  = น้ำหนักบรรทุกวิกฤตจากทฤษฎีออยเลอร์
- $I$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของภาคตัด
- KN = กิโลนิวตัน
- Ksc = กิโลกรัม/ ตารางเซนติเมตร
- $L/r$  = อัตราส่วนความชะลูด
- $r$  = รัศมีจายเรชันของภาคตัด
- PVC = Polyvinyl Chloride
- W11 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 1
- W12 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 2
- W21 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 1
- W22 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 2
- W31 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. ตัวอย่างที่ 1
- W32 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. ตัวอย่างที่ 2
- W41 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 1
- W42 = ผนังโครงเคร่าพีวีซี ระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 2

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ ผลกระทบที่ทำจากพอลิเมอร์เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้นในชีวิตประจำวันของเรา เพราะว่าคุณสมบัติของพอลิเมอร์มีข้อดีหลายด้าน กล่าวคือ ขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา เป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่เป็นสนิม ดังเช่นท่อพีวีซีจะมีน้ำหนักเบา เหนียวและแข็งแรง ซึ่งสามารถนำมาเป็นท่อจ่ายน้ำบนดิน และใต้ดิน ตลอดจนการนำมาใช้กับระบบระบายน้ำ ระบายอากาศ งานระบบประปา เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมต่าง ๆ สามารถทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 60 องศาเซลเซียส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ตั้งแต่ 1/4 นิ้ว ถึง 16 นิ้ว ความยาวต่อท่อน 4 เมตร อีกทั้งการต่อท่อให้ยาวหรือให้มีรูปร่างต่างๆ เพื่อความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานก็สามารถทำได้ง่าย โดยการใช้ข้อต่อและเชื่อมต่อด้วยน้ำยา หรือเชื่อมต่อด้วยความร้อน

ผนังกันภายในอาคารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมักใช้โครงเคร่าที่เป็นเหล็กรูปพรรณที่มีภาคตัดรูปตัวซีหรือตัวยู หรือไม้เนื้อแข็งหรือขนาด  $1\frac{1}{2}$  " x 3" และ  $1\frac{1}{2}$  " x 4 " แล้วประกบด้วยไม้อัดหรือวัสดุสำเร็จรูปสองข้าง โดยระยะห่างของคร่าวจะวางห่างกันประมาณ 40 เซนติเมตร แต่ก็ยังมีผนังกันอาคารที่ใช้คอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนัก ขนาดประมาณ 19x39x7 เซนติเมตร(กว้างxยาวxหนา) หรืออิฐมวลเบา ขนาด 10x21x4 เซนติเมตร(กว้างxยาวxหนา) มาก่อเป็นผนังยารอยต่อด้วยซีเมนต์มอร์ต้า อย่างไรก็ตามเนื่องจากผนังกันภายในอาคารไม่จำเป็นต้องรับแรงกระทำทางด้านข้าง เช่น แรงลม ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำท่อพีวีซีมาประยุกต์ใช้เป็นผนังโครงเคร่ากันในอาคารได้

ผนังกันภายในอาคารที่ทำจากโครงเคร่าที่เป็นไม้หรือเหล็กแล้วประกบด้วยวัสดุสำเร็จรูปหรือไม้อัดมักมีปัญหาคือ ไม้หายาก ราคาแพง การผุกร่อนเนื่องจากมอดหรือปลวก และเหล็กมักมีปัญหาเรื่อง ราคาแพง การผุกร่อนเนื่องจากสนิม ส่วนผนังกันอาคารภายในที่ทำจากคอนกรีตบล็อกหรืออิฐมวลเบามักมีปัญหาในด้านก่อสร้างล่าช้าและยังทำให้ขนาดของอาคารใหญ่เกินความจำเป็น เพราะน้ำหนักของผนังค่อนข้างมาก ทำให้คานและเสามีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผลทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายแพง

ดังนั้นการใช้ท่อพีวีซีเป็นโครงเคร่าแล้วประกบด้วยไม้อัดหรือวัสดุสำเร็จรูปทำเป็นผนังกันภายในอาคารสามารถลดปัญหาเนื่องจากการผุกร่อนเพราะท่อพีวีซีไม่เกิดสนิม ไม่มีปัญหาเรื่องมดปลวก ทนทานต่อสารเคมี ติดตั้งง่ายทำให้ประหยัดเวลาในการก่อสร้าง สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป อายุการใช้งานนาน จึงเป็นไปได้ที่จะนำท่อพีวีซีมาประยุกต์ใช้เป็นโครงเคร่าผนังกันภายในอาคาร แต่ที่ผ่านมาในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาและวิจัยกำลังรับแรงอัดและพฤติกรรมการวิบัติของเสาพีวีซีอย่างจริงจัง ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบผนังโครงเคร่าท่อพีวีซี งานวิจัยเล่มนี้จึงเน้นที่จะกล่าวถึงการศึกษาและวิจัยในเรื่องกำลังรับแรงอัด ตลอดจนพฤติกรรมการวิบัติของเสาและผนังโครงเคร่าที่ทำจากท่อพีวีซี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษากำลังรับแรงอัดของเสาพีวีซี เปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดจากทฤษฎีของออยเลอร์
2. ศึกษาพฤติกรรมและลักษณะการวิบัติของเสาพีวีซี โดยทำการทดสอบเป็นแบบ Column Test
3. ศึกษากำลังรับแรงอัดของผนังโครงเคร่าท่อพีวีซี เปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดจากทฤษฎีของออยเลอร์
4. ศึกษาพฤติกรรมและลักษณะการวิบัติของผนังโครงเคร่าท่อพีวีซี

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity,  $E$ ) ของท่อพีวีซีจะใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3" ชั้น 5 และ 8.5 (ทนความกดดันได้ 5 ksc ที่อุณหภูมิ 27 °C) ตามมาตรฐาน มอก. 17-2532
2. การทดสอบเสาพีวีซีเพื่อหาค่าแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Load) และชนิดของการวิบัติ (Mode of Failure) จะใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3" ชั้น 8.5 กับ 13.5 และท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4" ชั้น 8.5 กับ 13.5 ตามมาตรฐาน มอก. 17-2532
3. ผนังโครงเคร่าพีวีซีใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3" ชั้น 8.5 และไม้อัดความหนา 10 มม. โดยใช้ตะปูเกลียวเบอร์ 12 เป็นตัวยึด ซึ่งมีระยะห่างตะปูเกลียว 20 และ 30 ซม. ระยะห่างของโครงเคร่าท่อพีวีซี 40 และ 60 ซม.
4. ทดลองในห้องปฏิบัติการคอนกรีตวิทยา อาคารเครื่องมือ 5

#### 1.4 สมมุติฐานที่ใช้ในการวิจัย

1. น้ำหนักที่กระทำต่อเสาพีวีซี เป็นแบบ Axial Load ซึ่งกระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของเสา
2. น้ำหนักที่กระทำต่อผนังเป็นแบบ Uniform Load ซึ่งกระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของผนัง
3. ฐานรองรับที่ใช้เป็น Pined-Pined Support

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เฟรมทดสอบ>Loading Frame) ความสูง 6.0 ม. รับแรงอัดสูงสุด 25 ตัน จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดสอบวัสดุอื่น ๆ ตามความเหมาะสมต่อไป
2. คุณสมบัติของท่อพีวีซี และไม้อัดในด้านการรับแรงอัด กำลังรับแรงตัด พฤติกรรมการโก่งตัว และลักษณะการวิบัติ
3. คุณสมบัติของแผ่นไม้อัด จากการทดสอบ Pulling Test และ Punching Test
4. คุณสมบัติของผนังโครงเคร่าท่อพีวีซีในด้านการรับแรงอัด พฤติกรรมการโก่งตัว และลักษณะการวิบัติของผนังโครงเคร่า

## บทที่ 2

### หลักการ ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ท่อพีวีซี

พลาสติกเป็นสารประกอบทางอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุธรรมชาติ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และเชื้อไม้บางชนิด โดยจะอยู่ในรูปของเรซิน แบ่งออกได้สองประเภท คือ 1) เทอร์โมเซตติง เป็นพลาสติกที่มีรูปทรงถาวร ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อนและแรงอัดแล้วจะนำไปหลอมละลายอีกไม่ได้ 2) เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว และพลาสติกที่นำมาใช้สำหรับทำท่อกับข้อต่อในงานท่อสุญญากาศ ก็คือ เทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีการใช้ท่อชนิดนี้มากกว่า 50 ปีแล้ว

สำหรับท่อพีวีซีที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำมาจากพลาสติกพีวีซี (Polyvinyl Chloride) ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก เกิดจากมอนอเมอร์ที่เรียกว่า ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทดสอบ เพราะเป็นท่อพลาสติกที่มีความแข็งแรงสามารถใช้กับระบบระบายอากาศ หรือท่อจ่ายน้ำที่ต้องการความดันสูงๆ มีขนาดตั้งแต่ 1 1/2 นิ้ว ถึง 16 นิ้ว ความยาวต่อท่อน 4 เมตร อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 60 องศาเซลเซียส ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 17-2532

#### คุณลักษณะของท่อพีวีซี

- 1) ทนต่อแรงกด เนื่องจากท่อพีวีซีทำจากพลาสติกพีวีซี จึงมีลักษณะเหนียว และยืดหยุ่นตัวสูง ทำให้ทนทานต่อแรงกดจากภายนอกและภายใน ได้ดี เช่น แรงกดจากน้ำหนักดินกดทับ
- 2) น้ำหนักเบา ท่อพีวีซีมีน้ำหนักเบาซึ่งนอกจากจะช่วยลดขนาดขององค์อาคารแล้ว ยังมีความสะดวกในด้านการขนส่ง
- 3) เป็นฉนวนไฟฟ้า ท่อพีวีซีสามารถเอาสายไฟเดินภายในท่อ หรือผนังได้โดยไม่เกิดไฟรั่ว
- 4) ไม่ติดไฟ ท่อพีวีซีไม่มีสารที่เป็นเชื้อเพลิงในการลุกไหม้ จึงใช้ทำเป็นเสาของผนังโครงคร่าวได้
- 5) หาซื้อง่าย เพราะมีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

#### 2.2 หลักการและทฤษฎีของเสา

เสาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่รับแรงอัด สามารถแบ่งเสาตามความยาวและขนาดของภาคตัดออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ 1). เสาสั้น (Short Column) จะมีขนาดสั้น ภาคตัดใหญ่ และมักจะเกิดการเสียหายเนื่องจากหน่วยแรงอัด(Compressive Stress)ในชิ้นส่วนที่เกิดจากแรงอัดมีค่ามากกว่า

หน่วยแรงคราก (Yield Stress) และ 2). เสายาว (Long Column) เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างที่ยาวมีขนาดภาคตัดเล็ก และมักจะเสียหายเนื่องจากการโก่งคาะ (Buckling) ก่อนที่หน่วยแรงอัดในชิ้นส่วนจะเท่ากับหน่วยแรงคราก โดยที่การโก่งคาะอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เสาอาจไม่ตรงในตอนเริ่มต้น แรงที่กระทำไม่อยู่ในแนวแกนของเสาและคุณสมบัติของวัสดุอาจไม่เหมือนกันตลอดความยาวเสา

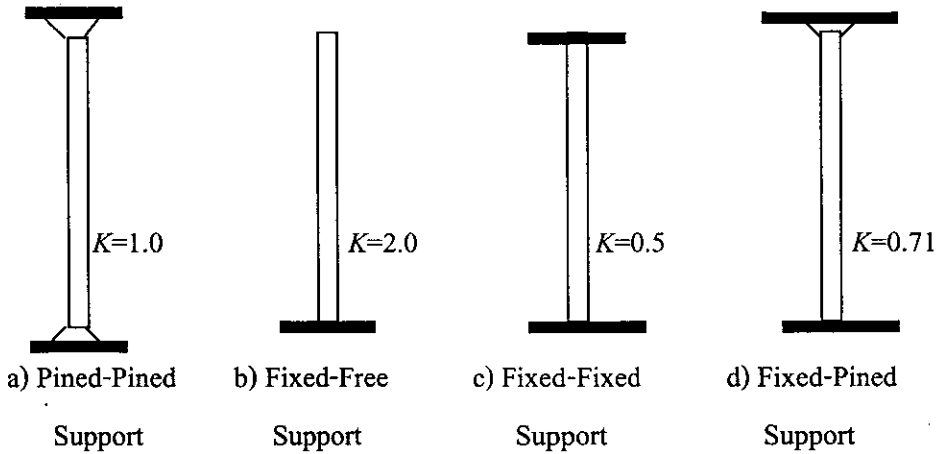
เมื่อแรงที่กระทำกับเสามีค่าน้อยกว่าแรงที่ทำให้เกิดการโก่งคาะ เสาจะอยู่ในสถานะสมดุลเสถียร (Stable Equilibrium) นั่นคือเมื่อเสาเกิดการโก่งตัวในแนวขวางเนื่องจากแรงที่กระทำ และการโก่งตัวจะหมดไปเมื่อเอาแรงออก แต่ถ้าแรงที่กระทำกับเสามีค่าเท่ากับแรงที่ทำให้เกิดการโก่งคาะ เสาจะอยู่ในสถานะสมดุลสะเทิน (Neutral Equilibrium) แสดงว่าเสาพร้อมที่จะเกิดการโก่งคาะตลอดเวลา ในทางทฤษฎีจะถือว่าลักษณะการโก่งคาะของเสาเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ซึ่งมีแอมพลิจูดเพียงเล็กน้อย และถ้าหากแรงที่กระทำกับเสามีค่ามากกว่าแรงที่จะทำให้เกิดการโก่งคาะ เสาจะอยู่ในสถานะสมดุลไม่เสถียร (Unstable Equilibrium) ซึ่งจะเกิดการวิบัติจากการโก่งคาะทันทีหากเพิ่มแรงกระทำอีกเล็กน้อย

เลียวนาร์ต ออยเลอร์ (Leonhard Euler, 1707-1783) ได้พยายามหาแรงกระทำกับเสาแล้วทำให้เสาเกิดการคุดและพร้อมที่จะเกิดการวิบัติ โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้

- 1) ไม่คิดผลจากการอัดโดยตรง
- 2) วัสดุเสาเป็นเนื้อเอกพันธ์ (Homogenous material) และพื้นที่ภาคตัดเสาเท่ากันตลอดความยาวของเสา
- 3) เสามีความยาวมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของภาคตัด
- 4) แรงกระทำอยู่ในแนวแกนของเสา
- 5) เสาจะต้องตรงในตอนเริ่มต้น

$$F_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (2.1)$$

โดย  $F_e$  = กำลังรับแรงอัดของเสา  
 $E$  = โมดูลัสความยืดหยุ่น  
 $I$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด  
 $L$  = ความยาวเสา  
 $K$  = ค่าสตีเฟนส ซึ่งเป็นค่าคงที่และมีค่าตามลักษณะของการรองรับที่ปลายเสา แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงค่าสติฟเนสตามลักษณะการยึดรั้งที่ปลายเสา

สมการ (2.1) คือค่าโหลดวิกฤติต่ำสุด (lower critical load) ที่กระทำกับเสาและทำให้เสาเกิดการโค้งงอจากทฤษฎีของออยเลอร์ ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูป

$$F_e = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (2.2)$$

โดย

$$I = Ar^2$$

$r$  = รัศมีจําเริญของภาคตัดรอบแทนที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะ

$L/r$  = อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio) จะใช้  $r$  ต่ำสุด

หมายเหตุ : สมการ 2.2 จะใช้ไม่ได้กับเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดต่ำ ๆ

### 2.3 ทฤษฎีของโครงสร้างประกอบ (Composite Structure)

ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ได้จากการนำวัสดุหลายชนิดมาประกอบกันเรียกว่าโครงสร้างประกอบ (Composite Structure) ในการคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ของหน้าตัดประกอบจะต้องทำการแปลงพื้นที่หน้าตัดให้เป็นพื้นที่หน้าตัดแปลง (Transform Section) เพื่อความสะดวกในการพิจารณาพฤติกรรมการยืดหดตัวหรือพฤติกรรมการรับแรงต่างๆ ของโครงสร้างประกอบนั้นๆ นอกจากนี้ โครงสร้างประกอบยังสามารถรับแรงกระทำได้สูงชันมากถ้าหากทำการยึดรั้งวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันได้อย่างสมบูรณ์



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การทดสอบเสาพีวีซี

##### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

1) ท่อพีวีซี

-ขนาด 3" ชั้น 8.5 ยาว 10, 20, 30,40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 320 ซม.

-ขนาด 3" ชั้น 13.5 ยาว 10, 20, 30,40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 320 ซม.

-ขนาด 4" ชั้น 8.5 ยาว 10, 20, 30,40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 320 ซม.

-ขนาด 4" ชั้น 13.5 ยาว 10, 20, 30,40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 320 ซม.

2) ไม้บรรทัดความยาว 30 ซม. จำนวน 5 อัน

3) กล้องวัดมุม (Theodolite) จำนวน 2 ชุด

4) โครงเหล็กกกดทดสอบ (Loading Frame)

5) เครื่องกกดทดสอบ (Compression Test)

##### 3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบเสาพีวีซี

การทดสอบเสาจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ชุด

-ชุดที่ 1 ความยาวเสาพีวีซี ตั้งแต่ 10 ถึง 30 ซม. ใช้เครื่องกกดทดสอบ

-ชุดที่ 2 ความยาวเสาพีวีซี ตั้งแต่ 40 ถึง 320 ซม. ใช้โครงเหล็กกกดทดสอบ

ก. ขั้นตอนการทดสอบเสาพีวีซี ชุดที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.1

1) ทำการป้อนโปรแกรมเครื่องกกดทดสอบ

2) ติดตั้งเสาพีวีซีบนเครื่องกกดทดสอบ ทดสอบและบันทึกค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด

ข. ขั้นตอนการทดสอบเสาพีวีซี ชุดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.2

1) ติดตั้งเสาพีวีซีกับโครงเหล็กกกดทดสอบและติดตั้งไม้บรรทัดไว้ที่ระยะกึ่งกลางของท่อพีวีซี และถัดออกไปจากกึ่งกลางตามความเหมาะสม ทั้งด้านบนและด้านล่าง

2) ทำการตั้งกล้องวัดมุม 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ตั้งไว้ให้ตั้งฉากกับไม้บรรทัด เพื่อใช้ในการอ่านค่าการโก่งค้ำและตรวจสอบระยะแนวค้ำของท่อพีวีซี ส่วนชุดที่ 2 ติดตั้งไว้ด้านข้างของโครงเหล็กกกดทดสอบเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบระยะค้ำของท่อพีวีซี

- 3) ทำการเพิ่มแรงอัดให้กับชิ้นทดสอบท่อพีวีซี โดยขั้นต้นจะทำการเพิ่มแรงอัดเป็นตัวควบคุม
- 4) ในการบันทึกค่าการโก่งตัวของท่อ โดยถ้าเพิ่มแรงอัดแล้วเกิดการโก่งตัวเกิน 5 มิลลิเมตร จะใช้ระยะการโก่งตัวเป็นตัวควบคุม ซึ่งจะควบคุมการโก่งตัวไม่เกินค่า  $L/50$  ในแต่ละชิ้นทดสอบเพื่อความสะดวกและปลอดภัยต่อการทดสอบ โดยที่ค่า  $L/50$  ได้จากการนำตัวอย่างเสาพีวีซี มาทำการทดสอบเพื่อกำหนดค่าการโก่งตัวสูงสุดที่เสาพีวีซี ยังคงสามารถรับแรงอัดได้ก่อนที่จะเกิดการวิบัติ

### 3.2 การทดสอบผนังโครงเคร่าท่อพีวีซี

#### 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

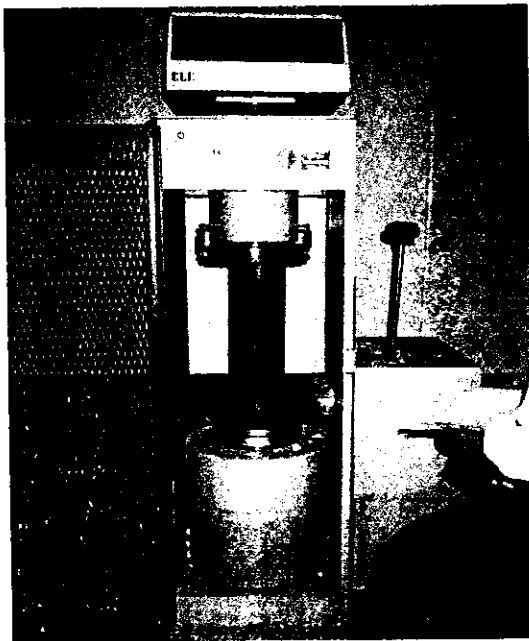
- 1) ไม้อัด ความหนา 10 มม. ขนาด 1.2 ม. x 2.4 ม. จำนวน 2 แผ่น
- 2) ท่อพีวีซี ความยาวท่อนละ 4 เมตร
  - ระยะห่างระหว่างท่อพีวีซี 40 ซม. ใช้ 4 ท่อน ต่อ 1 ตัวอย่าง
  - ระยะห่างระหว่างท่อพีวีซี 60 ซม. ใช้ 3 ท่อน ต่อ 1 ตัวอย่าง
- 3) ตะปูเกลียวที่ใช้
  - ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. และระยะห่างท่อพีวีซี 40 ซม. ใช้ทั้งหมด 120 ตัว
  - ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. และระยะห่างท่อพีวีซี 40 ซม. ใช้ทั้งหมด 96 ตัว
  - ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. และระยะห่างท่อพีวีซี 60 ซม. ใช้ทั้งหมด 90 ตัว
  - ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. และระยะห่างท่อพีวีซี 60 ซม. ใช้ทั้งหมด 72 ตัว
- 4) กล้องวัดมุม (Theodolite) จำนวน 3 ชุด
- 5) ไม้บรรทัดขนาด 60 ซม. จำนวน 3 อัน
- 6) โครงเหล็กทดสอบ (Loading Frame)

#### 3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบผนังโครงเคร่าท่อพีวีซี แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

- 2) นำท่อพีวีซี มาตัดให้ได้ขนาดพอดีกับแผ่น ไม้อัดคือสูง 2.44 ม.
- 3) นำแผ่น ไม้อัดมาทำเครื่องหมายจุดที่จะเจาะรูและขีดตะปูเกลียวตามระยะห่างระหว่างตะปูเกลียวที่จะใช้ คือ 20 และ 30 ซม. โดยช่วงปลายของผนังโครงเคร่าจะใช้ระยะที่ถี่ขึ้นเพื่อป้องกันการยุบของผนังขณะทำการทดสอบ

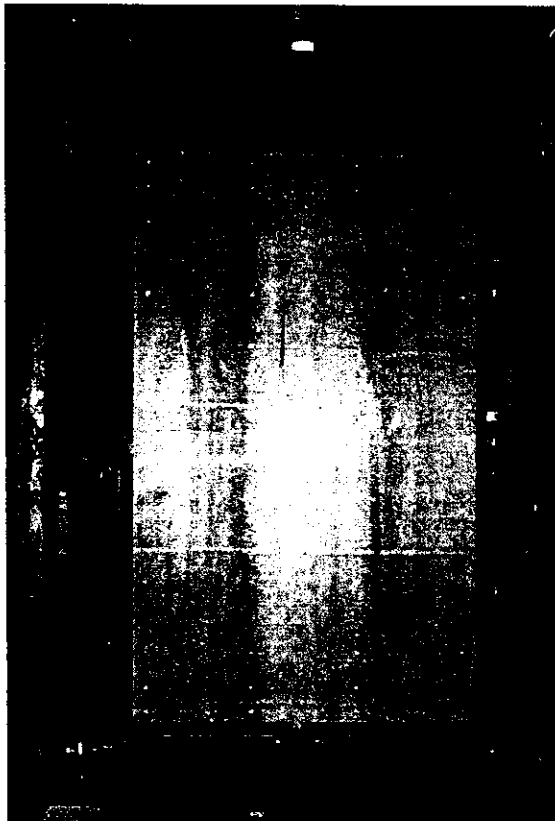
- 4) นำท่อพีวีซี มาวางแล้วใช้ไม้อัดประกบทั้งสองด้าน โดยใช้ C-clamp เป็นตัวจับท่อพีวีซีกับแผ่นไม้อัดให้แน่น
- 5) ใช้สว่านมือเจาะรูตามตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้
- 6) ขันตะปูเกลียวโดยใช้ไขควงขันนำไปก่อนเล็กน้อยและใช้เครื่องขันตะปูเกลียวขันให้แน่น
- 7) จัดปลายของโครงคร่าวด้วยเครื่องขัดและตะไบมือให้เรียบเสมอกันกับ ไม้อัด
- 8) ทำการติดตั้ง Hydraulic ram เข้ากับ โครงเหล็กทดสอบ
- 9) ทำการติดตั้งผนัง ทดสอบไว้บนโครงเหล็กทดสอบโดยให้ Hydraulic ram อยู่ตรงกึ่งกลางผนังพอดี โดยฐานรองรับมีลักษณะเป็น Pined -Pined Support
- 10) ทำการติดตั้งกล้องวัดมุม จำนวน 3 ตัว โดยให้
  - กล้องตัวที่ 1 และ 2 ตั้งให้มองเห็นขอบผนังเพื่อตรวจสอบให้ผนังอยู่ในแนวตั้ง
  - กล้องตัวที่ 3 ตั้งแนวขนานกับผนัง เพื่อที่ใช้อ่านค่าการโก่งตัวของผนัง
- 11) ทำการจัดแนวตั้งของผนัง
- 12) ปรับมาตรวัดแรงให้เป็นศูนย์ ทำการเพิ่มแรงอัดให้กับผนังโดยใช้ Hydraulic ram แล้วทำการบันทึกค่าการโก่งตัวของผนังจากค่าที่อ่านได้จากไม้บรรทัดวัด และบันทึกแรงอัดของมาตรวัดแรงทุกๆ ค่า 20 กก./ซม.<sup>2</sup> จนผนังโครงคร่าวท่อพีวีซี เกิดการวิบัติ



รูปที่ 3.1 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของท่อพีวีซียาว 0.1 ถึง 0.3 ม.



รูปที่ 3.2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของท่อพีวีซียาว 0.4 ถึง 3.2 ม.



รูปที่ 3.3 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดและลักษณะของผนัง โครงสร้างท่อพีวีซี

**บทที่ 4**  
**ผลการทดสอบ**

**4.1 ผลการทดสอบเสาพิวซีซี**

**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลการคำนวณค่าหน่วยแรงประลัยของท่อพิวซีซีที่ขนาดความยาวต่างๆ

ท่อพิวซีซี	3"				4"			
ชั้น	8.5		13.5		8.5		13.5	
ตัวอย่าง	1	2	1	2	1	2	1	2
สัญลักษณ์	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
ความยาว, m.	หน่วยแรงประลัย, Mpa							
0.10	47.486	51.210	60.830	61.399	70.771	70.064	70.931	70.061
0.20	47.486	47.486	57.987	57.987	68.648	69.356	68.755	67.450
0.30	47.486	46.555	57.419	55.713	67.941	67.233	67.015	67.885
0.40	46.397	49.488	41.546	42.496	56.426	58.811	57.824	52.041
0.50	30.931	43.305	-	47.214	59.950	56.405	46.258	58.547
0.60	49.488	49.488	30.216	36.356	51.720	51.734	49.151	46.258
0.70	42.533	40.214	27.857	35.884	51.720	46.992	46.258	43.368
0.80	24.749	23.203	30.216	30.216	42.321	42.321	43.368	37.585
0.90	23.818	21.648	20.773	24.554	39.377	42.321	37.585	37.224
1.00	18.557	22.421	17.942	15.486	31.741	38.783	36.140	31.440
1.50	12.067	-	11.143	11.143	22.335	24.699	19.369	20.239
2.00	5.568	-	7.555	-	12.930	12.951	14.456	12.433
2.50	3.864	4.637	4.156	3.775	8.818	8.846	9.034	9.034
3.20	3.091	2.477	2.644	2.831	5.287	5.308	5.205	5.061

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลผลการทดสอบค่ากำลังอัดสูงสุดของท่อพีวีซีที่ความยาวต่าง ๆ

ท่อพีวีซี	3"				4"			
ชั้น	8.5		13.5		8.5		13.5	
ตัวอย่าง	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
ความยาว,ม.	ค่ากำลังอัดสูงสุด, kN							
0.10	51	55	107	108	100	99	163	161
0.20	51	51	102	102	97	98	158	155
0.30	51	50	101	98	96	95	154	156
0.40	49.83	53.15	73.08	74.75	79.73	83.1	132.88	119.59
0.50	33.22	46.51	—	83.05	84.71	79.7	106.30	134.54
0.60	53.15	53.15	53.15	63.95	73.08	73.1	112.95	106.30
0.70	45.68	43.19	49.00	63.12	73.08	66.4	106.30	99.66
0.80	26.58	24.92	53.15	53.15	59.80	59.8	99.66	86.37
0.90	25.58	23.25	36.54	43.19	55.64	59.8	86.37	85.54
1.00	19.93	24.08	31.56	27.24	44.85	54.8	83.05	72.25
1.50	12.96	—	19.60	19.60	31.56	34.9	44.51	46.51
2.00	5.98	—	13.29	—	18.27	18.3	33.22	28.57
2.50	4.15	4.98	7.31	6.64	12.46	12.5	20.76	20.76
3.20	3.32	2.66	4.65	4.98	7.47	7.5	11.96	11.63

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราส่วนความชะลูดของท่อพีวีซีที่ขนาดความยาวต่าง ๆ

ท่อพีวีซี	3"		4"	
ชั้น	8.5	13.5	8.5	13.5
รัศมีไจเรชั่น (เมตร)	0.0285	0.0294	0.037	0.0384
ความยาว, ม.	ค่าอัตราส่วนความชะลูด, L/r			
0.10	3.509	3.401	2.703	2.604
0.20	7.018	6.803	5.405	5.208
0.30	10.526	10.204	8.108	7.813
0.40	14.035	13.605	10.811	10.417
0.50	17.544	17.007	13.514	13.021
0.60	21.053	20.408	16.216	15.625
0.70	24.561	23.810	18.919	18.229
0.80	28.070	27.211	21.622	20.833
0.90	31.579	30.612	24.324	23.438
1.00	35.088	34.014	27.027	26.042
1.50	52.632	51.020	40.541	39.063
2.00	70.175	68.027	54.054	52.083
2.50	87.719	85.034	67.568	65.104
3.20	112.281	108.844	86.486	83.333

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอัตราส่วนความชะลูด และค่าหน่วยแรงประลัย ของพีวีซี 3 นิ้ว ชั้น 8.5

ความยาว (เมตร)	ค่าอัตราส่วนความชะลูด	ค่าหน่วยแรงประลัย ,Mpa.
0.1	3.509	2858.65
0.2	7.018	714.66
0.3	10.526	317.69
0.4	14.035	178.69
0.5	17.544	114.36
0.6	21.053	79.41
0.7	24.561	58.35
0.8	28.070	44.67
0.9	31.579	35.30
1.0	35.088	28.59
1.5	52.632	12.71
2.0	70.175	7.15
2.5	87.719	4.57
3.2	112.281	2.79

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนความชะลูด และค่าหน่วยแรงประลัย ของพีวีซี 3 นิ้วชั้น 13.5

ความยาว (เมตร)	ค่าอัตราส่วนความชะลูด	ค่าหน่วยแรงประลัย ,Mpa.
0.1	3.401	3042.443
0.2	6.803	760.61
0.3	10.204	338.04
0.4	13.605	190.16
0.5	17.007	121.70
0.6	20.408	84.52
0.7	23.810	62.08
0.8	27.211	47.53
0.9	30.612	37.56
1.0	34.014	30.42
1.5	51.020	13.53
2.0	68.027	7.60
2.5	85.034	4.87
3.2	108.844	2.96



ตารางที่ 4.6 แสดงค่าอัตราส่วนความชะลูด และค่าหน่วยแรงประลัย ของพีวีซี 4 นิ้วชั้น 8.5

ความยาว (เมตร)	ค่าอัตราส่วนความชะลูด	ค่าหน่วยแรงประลัย ,Mpa.
0.1	2.703	4818.71
0.2	5.405	1204.68
0.3	8.108	535.41
0.4	10.811	301.17
0.5	13.514	192.75
0.6	16.216	133.85
0.7	18.919	98.34
0.8	21.622	75.29
0.9	24.324	59.49
1.0	27.027	48.19
1.5	40.541	21.42
2.0	54.054	12.05
2.5	67.568	7.71
3.2	86.486	4.71

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราส่วนความชะลูด และค่าหน่วยแรงประลัย ของพีวีซี 4 นิ้วชั้น 13.5

ความยาว (เมตร)	ค่าอัตราส่วนความชะลูด	ค่าหน่วยแรงประลัย ,Mpa.
0.1	2.604	5190.26
0.2	5.208	1297.57
0.3	7.813	576.70
0.4	10.417	324.39
0.5	13.021	207.61
0.6	15.625	144.17
0.7	18.229	105.92
0.8	20.833	81.09
0.9	23.438	64.08
1.0	26.042	51.91
1.5	39.063	23.06
2.0	52.083	12.98
2.5	65.104	8.30
3.2	83.333	5.07

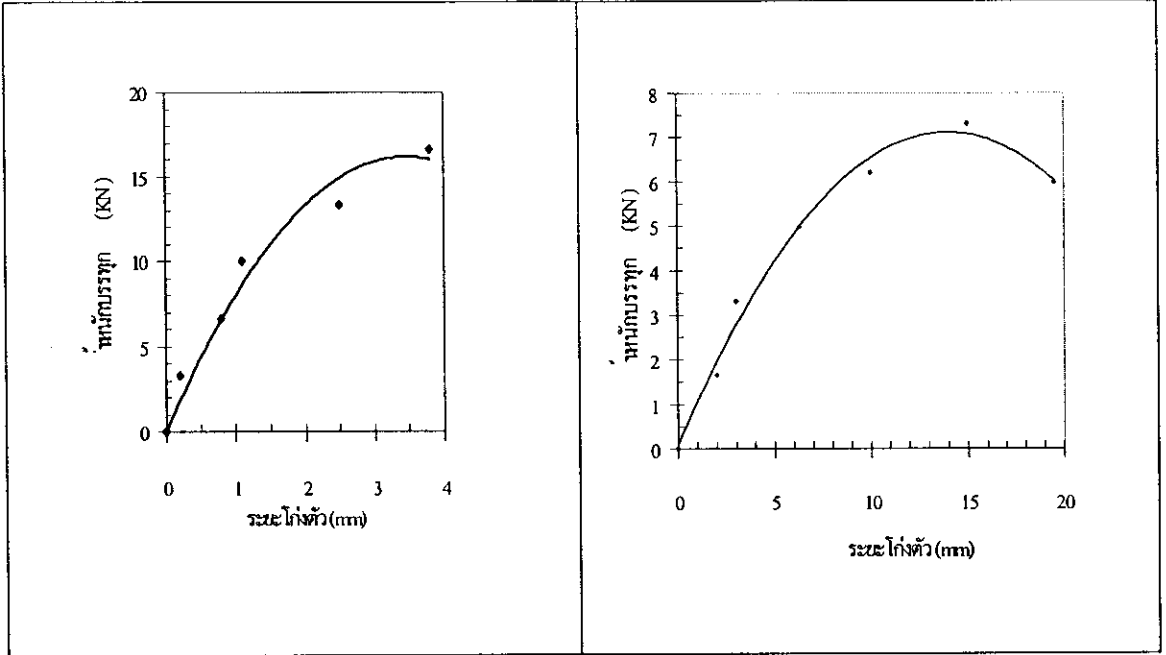
## 4.2 ผลการทดสอบผนังโครงเคร่าทอพีวีซี

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงกดสูงสุดของผนังโครงเคร่าทอพีวีซีจากสมการของออยเลอร์ และกำลังอัดที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง	น้ำหนักกด (กก.)	หน่วยแรงสูงสุด (กก./ชม. <sup>2</sup> )	น้ำหนักกดสูงสุด (กิโลนิวตัน)	น้ำหนักกดสูงสุด จากสมการออยเลอร์ (กิโลนิวตัน)
W11	54.6	380	126.24	151
W12	53	360	119.59	151
W21	48	220	73.08	146
W22	47	260	86.37	146
W31	54	320	106.30	151
W32	54.6	300	99.66	151
W41	49	220	73.08	146
W42	49	240	79.73	146

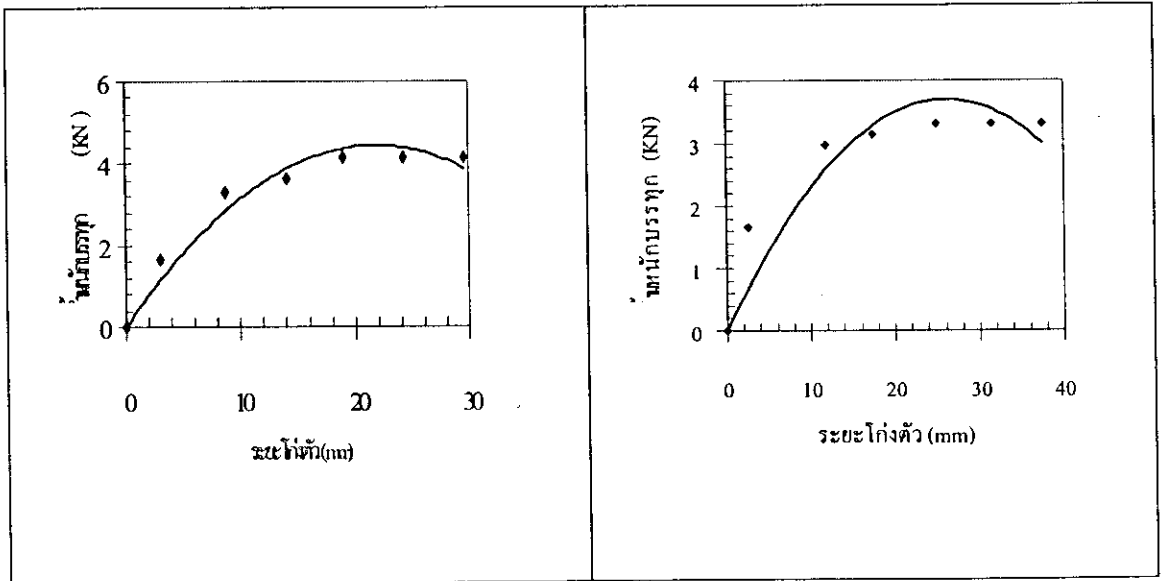
หมายเหตุ :

- W11 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 1  
W12 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 2  
W21 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 1  
W22 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 20 ซม. ตัวอย่างที่ 2  
W31 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. ตัวอย่างที่ 1  
W32 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 40 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. ตัวอย่างที่ 2  
W41 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. ตัวอย่างที่ 1  
W42 คือ ผนังที่มีระยะห่างเสาพีวีซี 60 ซม. ระยะห่างตะปูเกลียว 30 ซม. ตัวอย่างที่ 2



(ก) ท่อ PVC ความสูง 1.0 เมตร

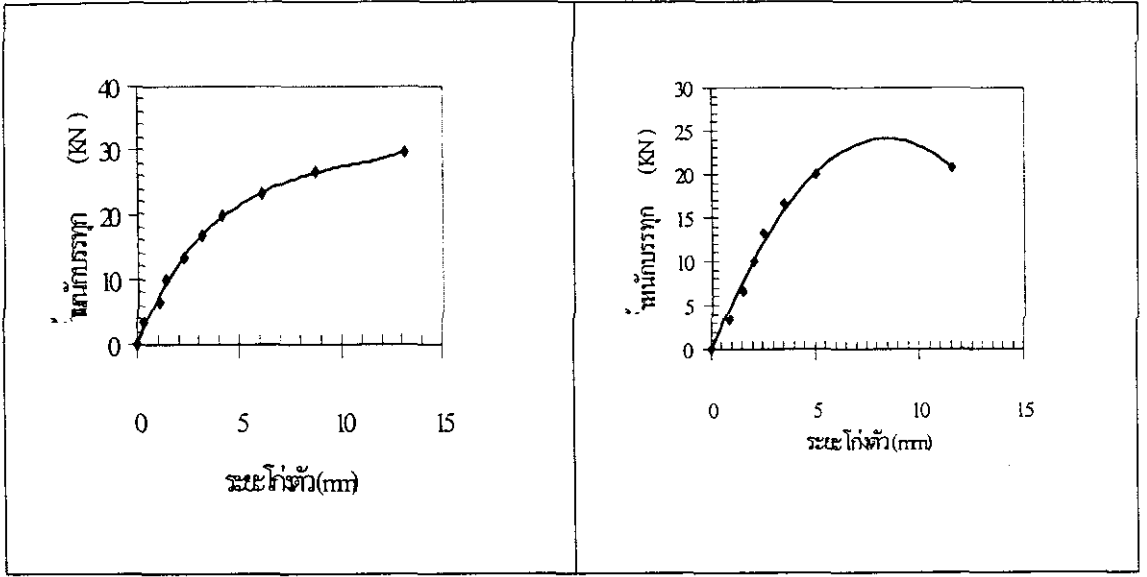
(ข) ท่อ PVC ความสูง 2.0 เมตร



(ค) ท่อ PVC ความสูง 2.5 เมตร

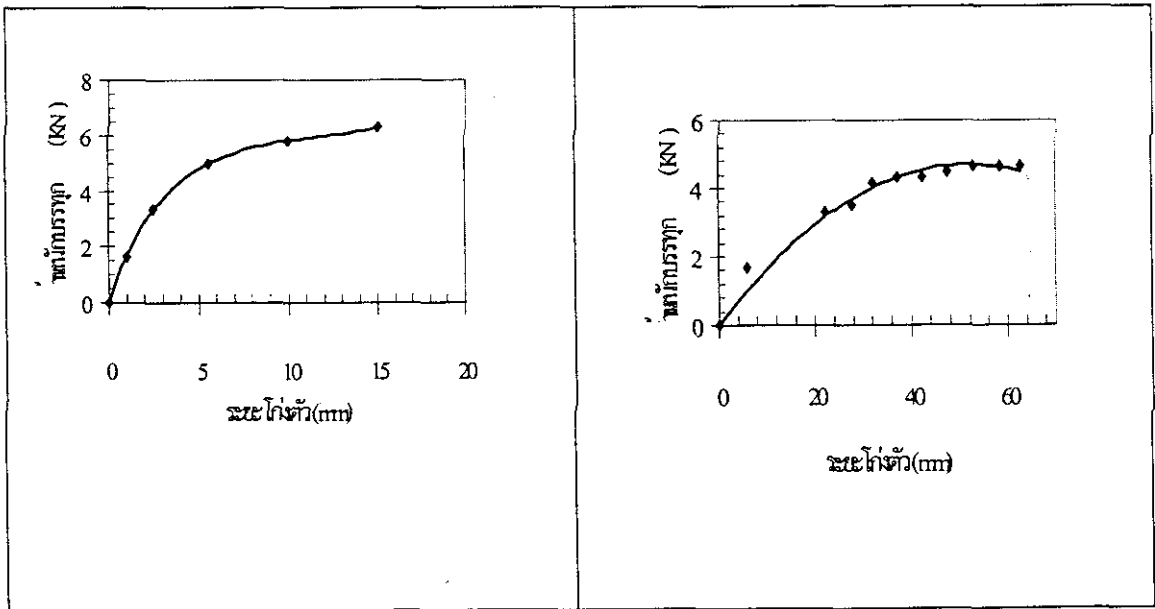
(ง) ท่อ PVC ความสูง 3.2 เมตร

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะโก่งตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว ชั้น 8.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม.ตามลำดับ



(ก) ท่อ PVC ความสูง 1.0 เมตร

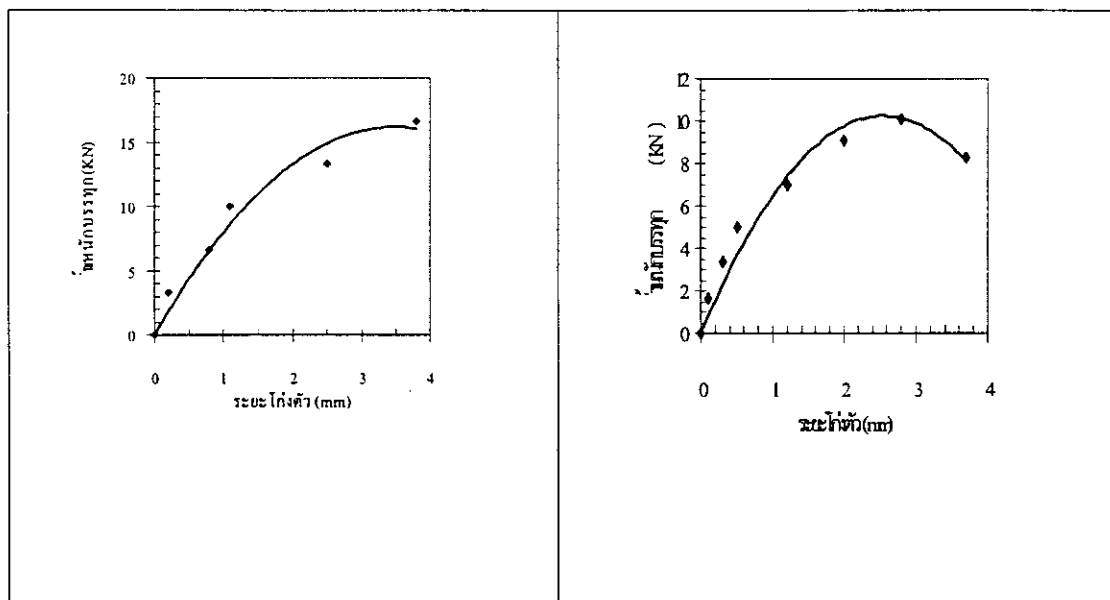
(ข) ท่อ PVC ความสูง 2.0 เมตร



(ค) ท่อ PVC ความสูง 2.5 เมตร

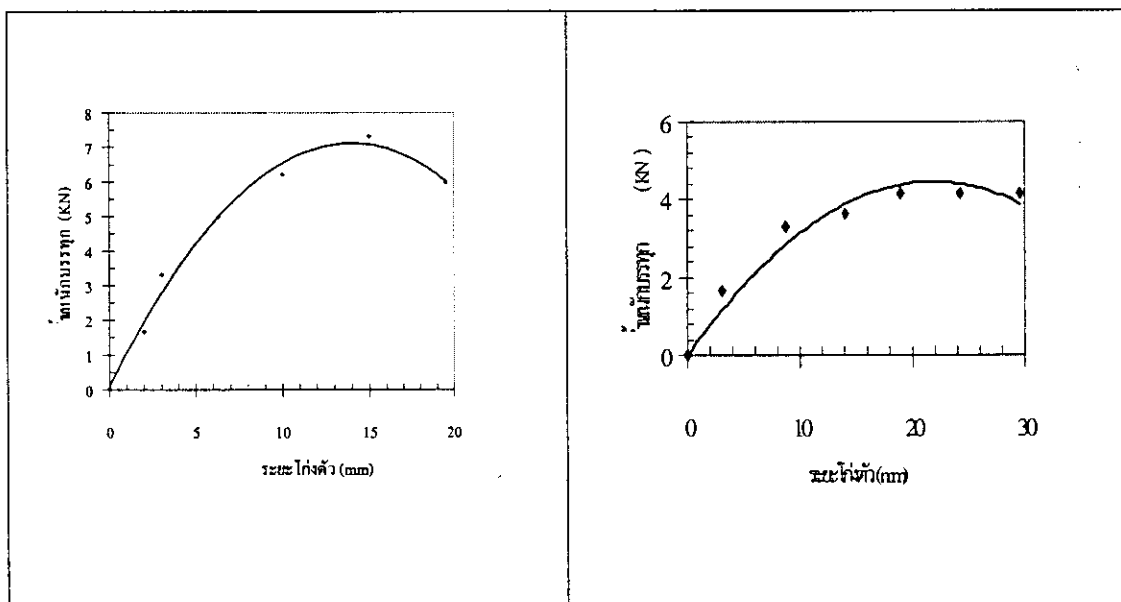
(ง) ท่อ PVC ความสูง 3.2 เมตร

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะโก่งตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว ชั้น 13.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม.ตามลำดับ



(ก) ท่อ PVC ความสูง 1.0 เมตร

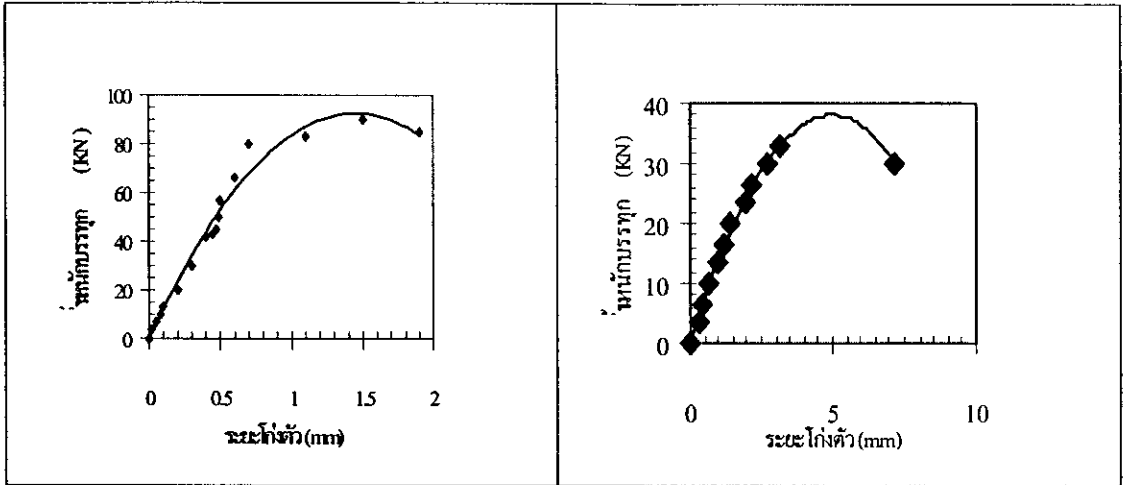
(ข) ท่อ PVC ความสูง 2.0 เมตร



(ค) ท่อ PVC ความสูง 2.5 เมตร

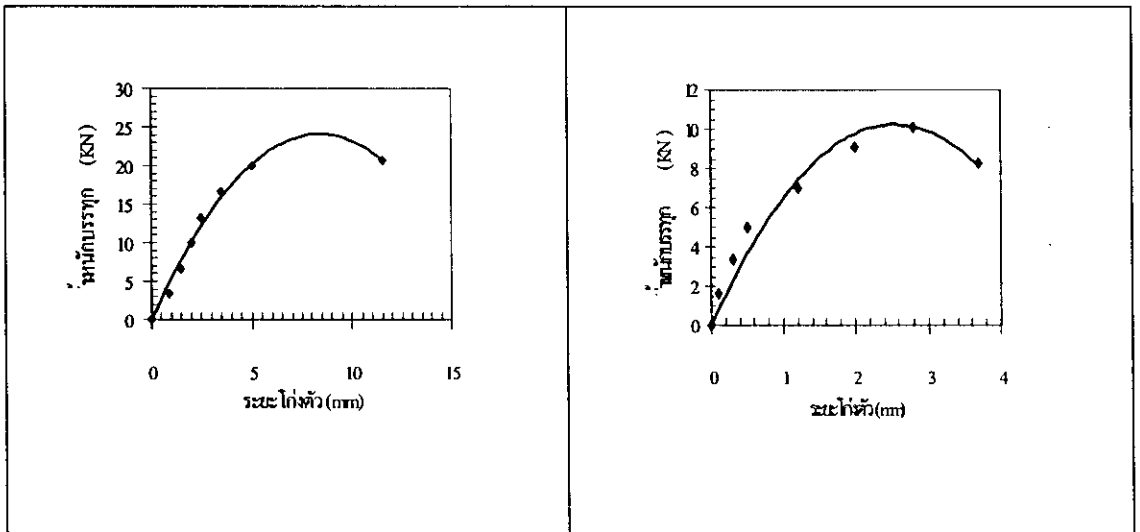
(ง) ท่อ PVC ความสูง 3.2 เมตร

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะโก่งตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว ชั้น 8.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม.ตามลำดับ



(ก) ท่อ PVC ความสูง 1.0 เมตร

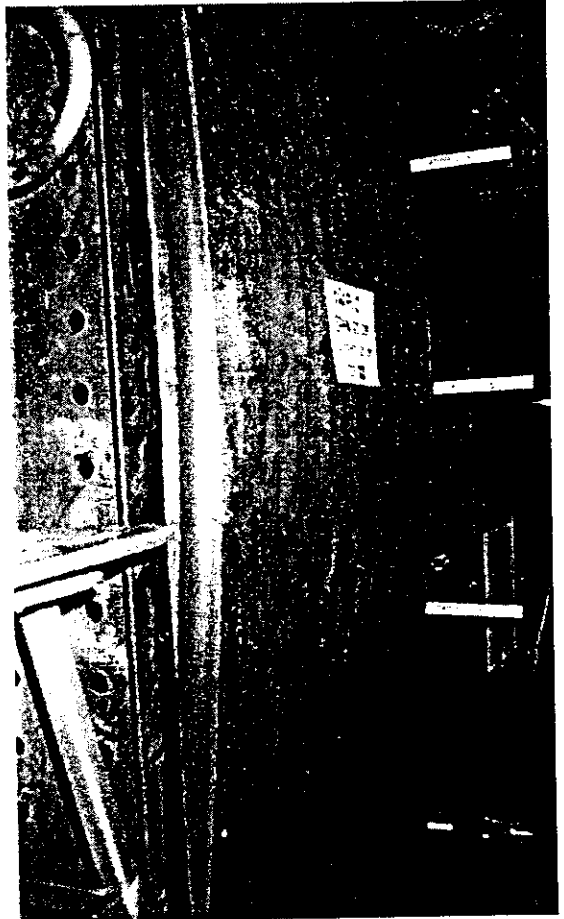
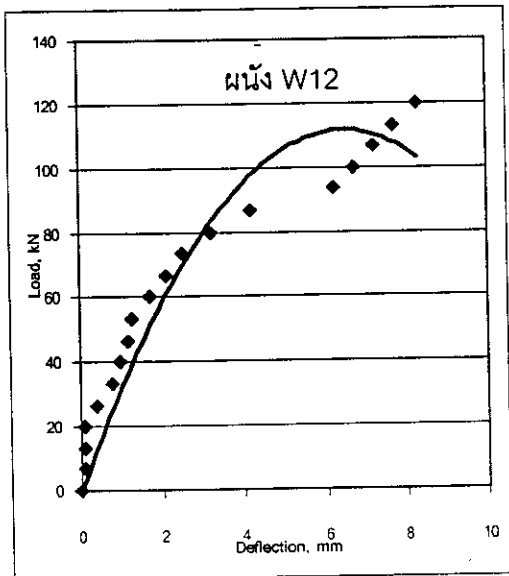
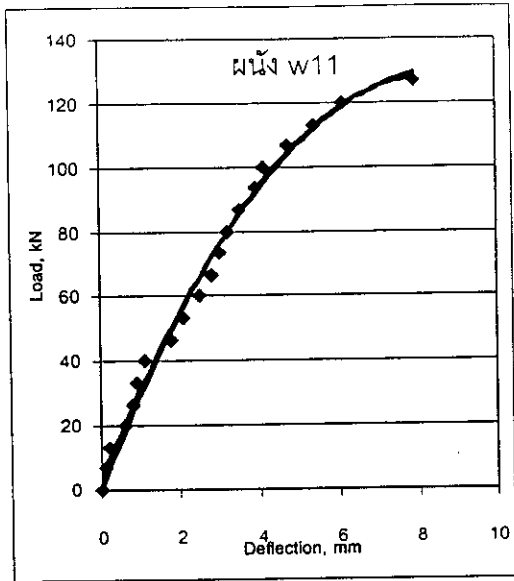
(ข) ท่อ PVC ความสูง 2.0 เมตร



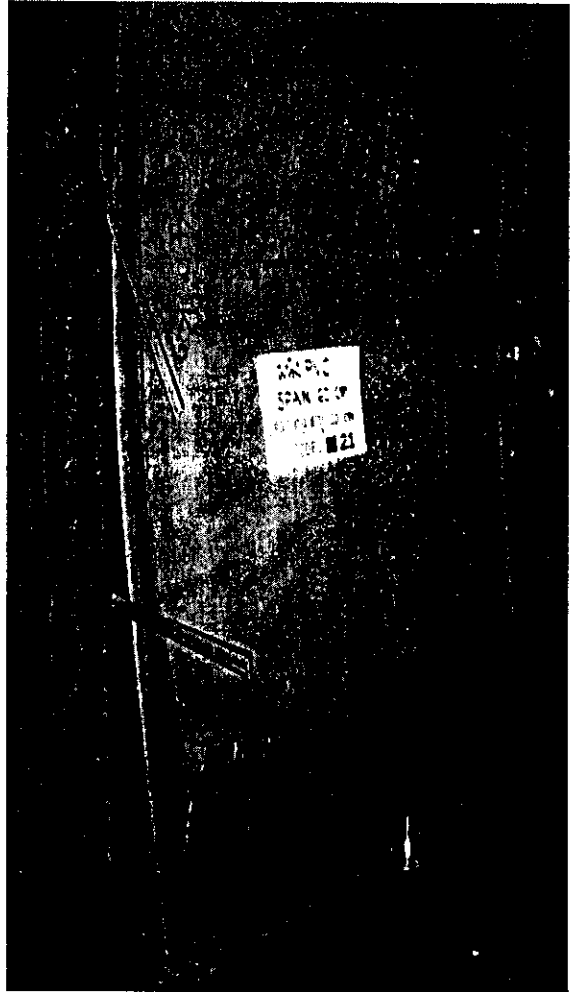
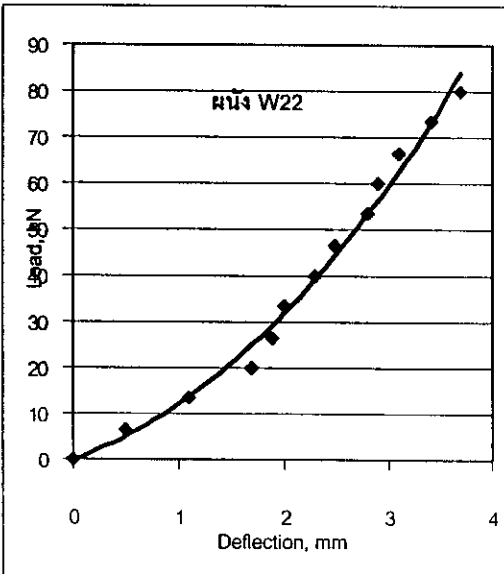
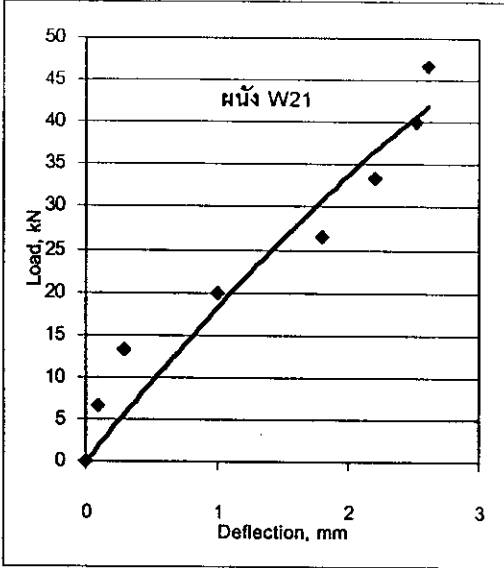
(ค) ท่อ PVC ความสูง 2.5 เมตร

(ง) ท่อ PVC ความสูง 3.2 เมตร

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะโก่งตัวและน้ำหนักบรรทุกของท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว ชั้น 13.5 ที่ความสูง 1.0 ม. 2.0 ม. 2.5 ม. และ 3.2 ม.ตามลำดับ

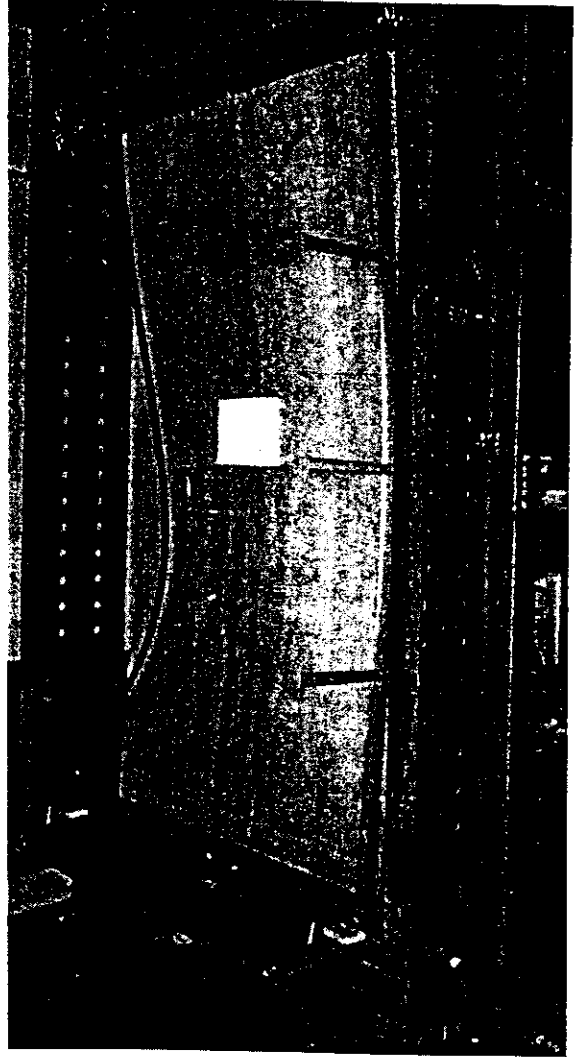
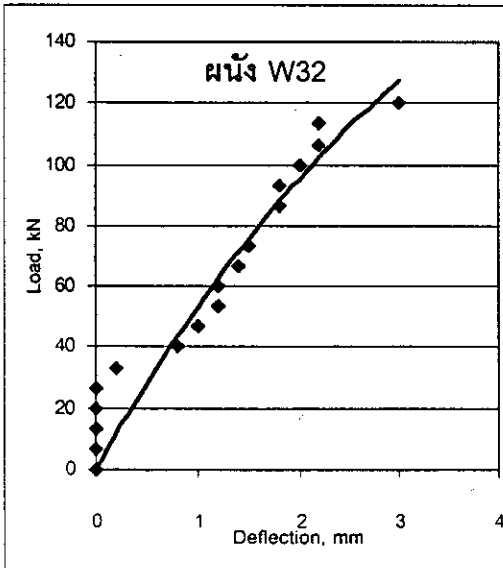
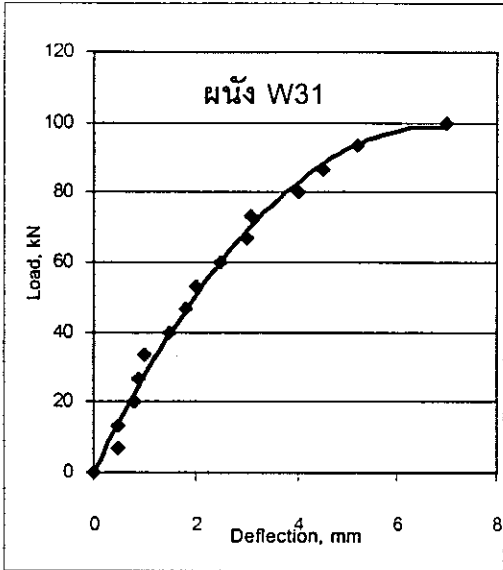


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการโก่งตัวของผนัง W11 และ W12

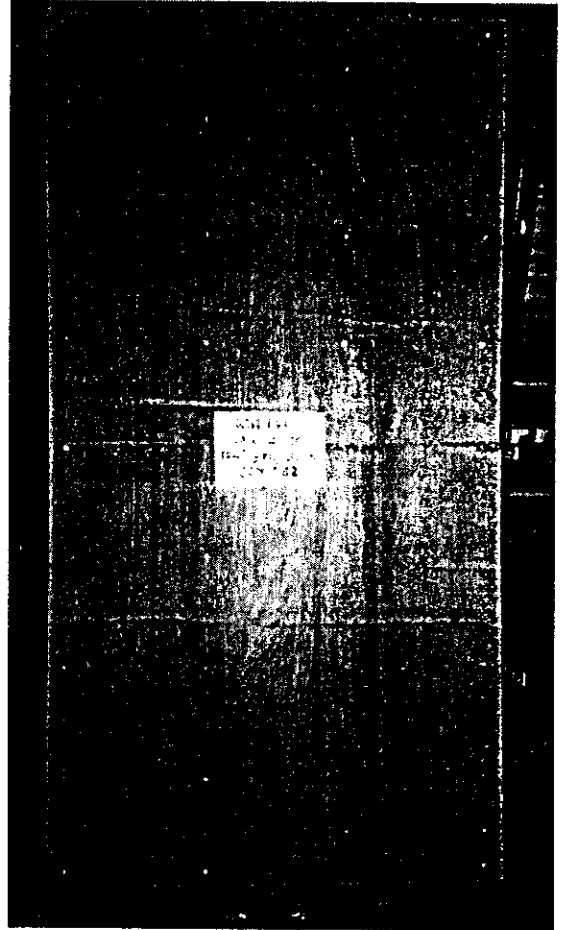
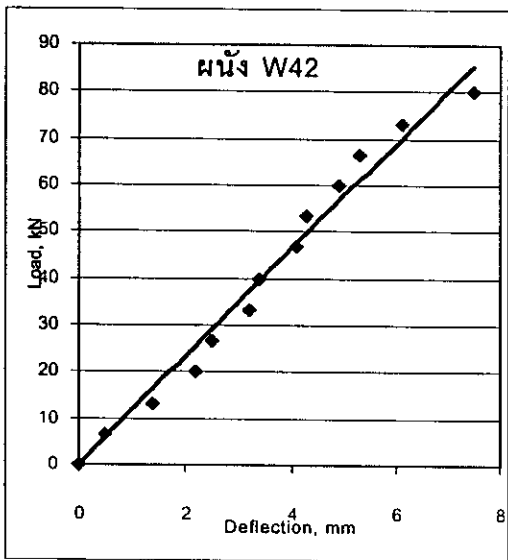
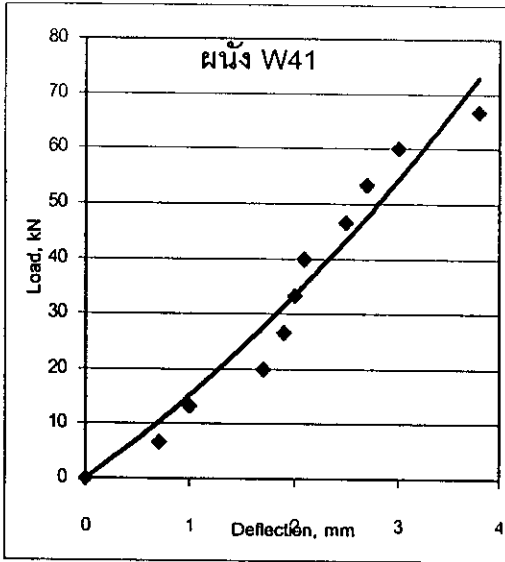


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าการโก่งตัวของหน้า W21 และ W22

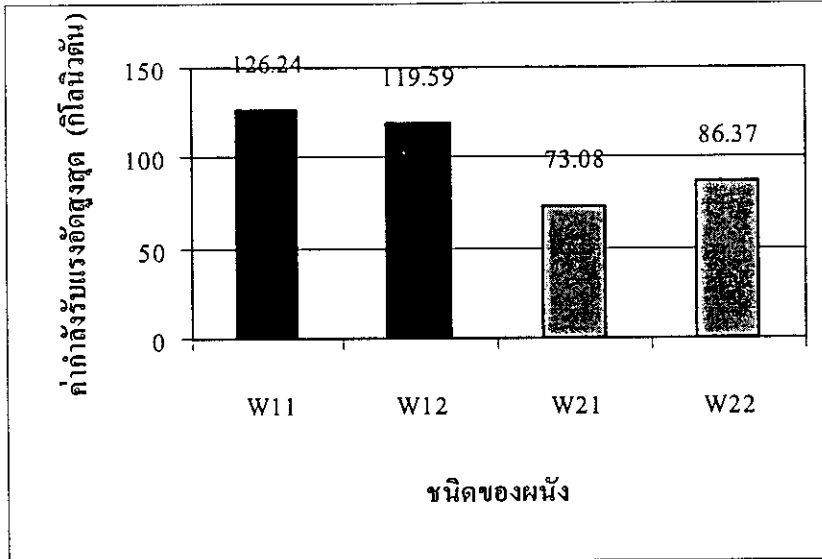




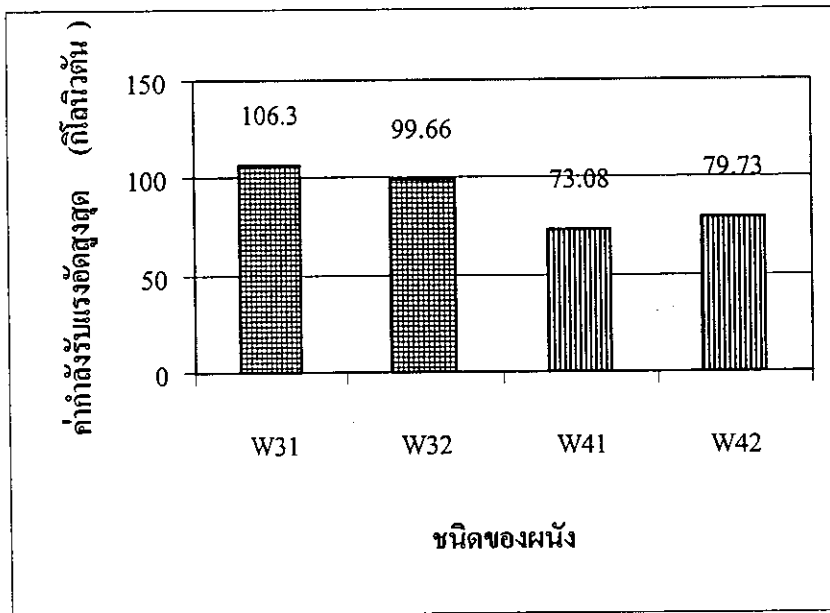
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการโก่งตัวของผนัง W31 และ W32



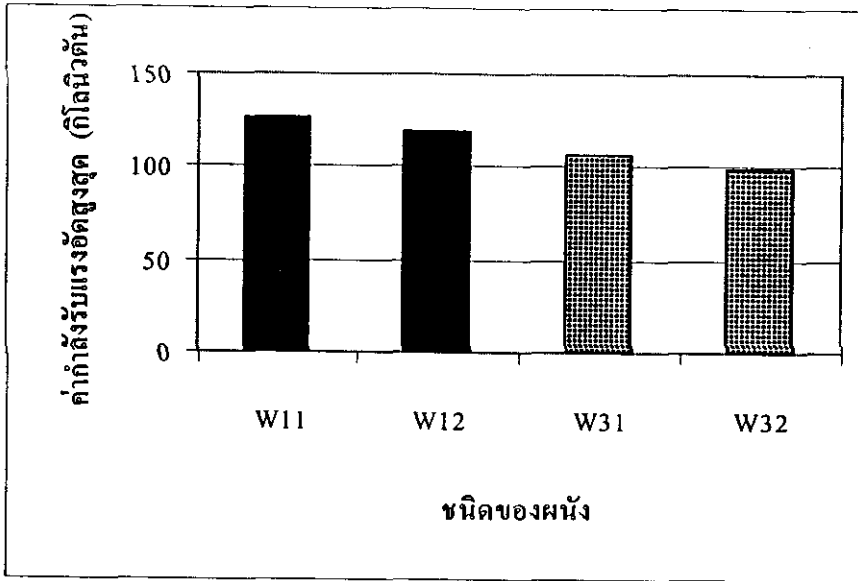
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับค่าการโก่งตัวของผนัง W41 และ W42



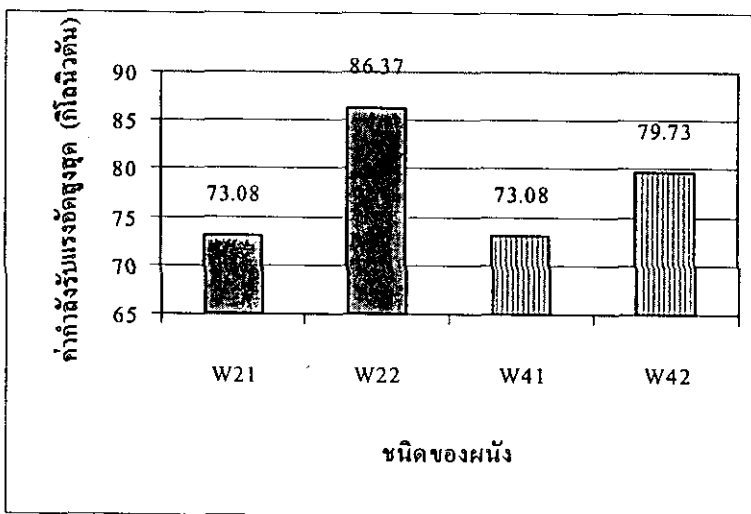
รูปที่ 4.9 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่ระยะห่าง  
ตะปูเกลียว 20 ซม.เท่ากัน แต่มีระยะห่างเสาต่างกัน



รูปที่ 4.10 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่ระยะห่าง  
ตะปูเกลียว 30 ซม.เท่ากัน แต่มีระยะห่างเสาต่างกัน



รูปที่ 4.11 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่ระยะห่างของเสา 40 ซม. เท่ากัน แต่มีระยะห่างตะปูเกลียวต่างกัน



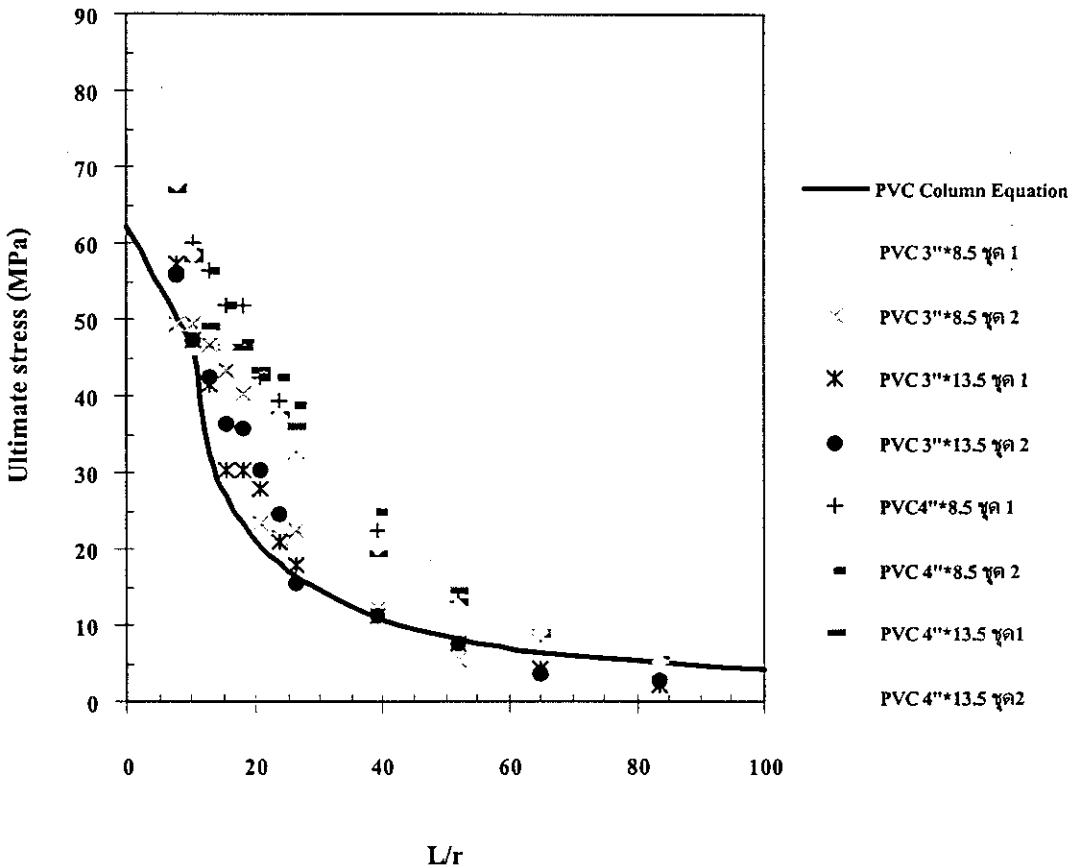
รูปที่ 4.12 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของผนังที่ระยะห่างของเสา 60 ซม. เท่ากัน แต่มีระยะห่างตะปูเกลียวต่างกัน

# บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัย

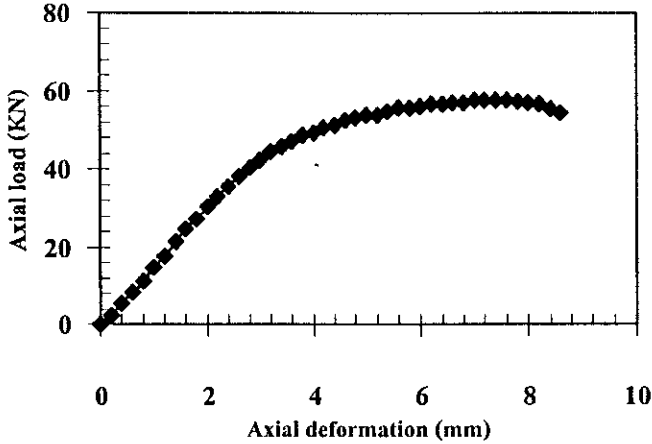
### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบเสาพีวีซี

จากผลของการทดสอบการรับแรงอัดในแนวแกนของเสาพีวีซี เมื่อทำการเขียนกราฟระหว่างหน่วยแรงอัดสูงสุด (Ultimate Stress) กับ อัตราส่วนความชะลูด (Slenderness Ratio :  $L/r$ ) จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งจะนำไปใช้ในการทำนายพฤติกรรมของเสาพีวีซี โดยจะใช้จำแนกลักษณะของเสาพีวีซีออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1). เสาสั้น ( Short Column ) และ 2). เสายาว (Long Column) โดยที่เสาสั้นจะเกิดการวิบัติภายใต้กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ส่วนเสายาวจะเกิดการวิบัติโดยการดัดแบบ โกงเดาะ (Flexural Buckling)



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลูดของเสาจากการทดลองกับสมการของเสาของท่อพีวีซี

### 5.1.1 การวิบัติโดยการรับแรงอัด (Compression Mode of Failure)



รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดตามแนวแกนและค่ายุบตัวตามแนวแกนของเสาสั้น

จากผลการทดสอบเสาที่วิธีที่เกิดการวิบัติโดยการรับแรงอัดตามแนวแกนจะมีอัตราส่วนความชะลูดอยู่ระหว่าง 2.6-9.0 แสดงดังรูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดตามแนวแกนและค่ายุบตัวตามแนวแกนของเสาสั้น เมื่อทำการเพิ่มแรงอัดจนเสาเกิดการวิบัติ จะพบว่าที่ตำแหน่ง  $1/8$  ของความยาวเสาสั้นที่วัดจากปลายท่อจะเกิดการป่องนูนออกมาบริเวณรอบ ๆ เสา และมีการยุบตัวรอบ ๆ บริเวณที่ป่องนูน จากลักษณะการวิบัติดังกล่าวแสดงว่า การวิบัตินั้นเป็นผลอันเนื่องมาจากเสาสั้นได้รับหน่วยแรงอัด (Compressive Stress) เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบทำให้สามารถสมมติหน่วยแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Stress,  $\sigma_{ult}$ ) ในแนวแกนของเสาสั้นเป็นเส้นตรงได้ดังสมการ

$$\sigma_{ult} = 61 - \frac{3L}{2r} \quad (5.1)$$

โดย

$L$  = ความยาวเสา

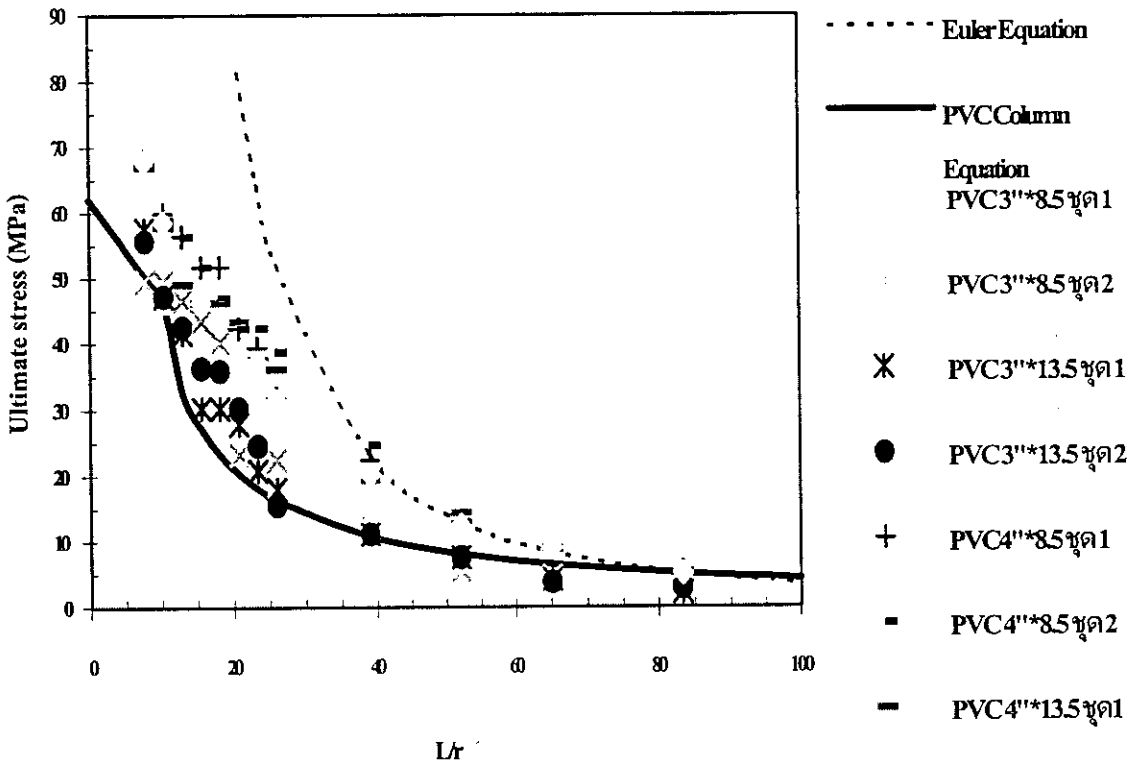
$r$  = รัศมีจอยเรชั่น =  $\sqrt{\frac{I}{A}}$

$I$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

ค่า 61 จากสมการที่ (5.1) เป็นค่าคงที่ ที่กำหนดขึ้นจากผลการทดสอบ โดยอาศัยหลักการทางสถิติเพื่อให้ครอบคลุมข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบจริงดังรูปที่ 5.1

### 5.1.2 การวิบัติโดยการโก่งเดาะ ( Buckling Mode of Failure)

จากผลการทดสอบ การวิบัติแบบโก่งเดาะจะเกิดกับเสายาวที่อัตราส่วนความชะลูด มากกว่า 9 และจะเป็นการโก่งเดาะโดยการคด (Flexural Buckling) โดยมีการโก่งตัวทางด้านข้างมากในขณะที่หน่วยแรงอัดตามแนวแกนมีค่าต่ำกว่าหน่วยแรงอัดที่จุดคราก เมื่อนำค่าการทดสอบที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลูด เปรียบเทียบระหว่างสมการที่ได้จากการทดสอบกับสมการของออยเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลูด เปรียบเทียบระหว่าง สมการ ผลการทดสอบกับสมการจากทฤษฎีออยเลอร์

-สมการออยเลอร์ ;

$$\sigma_{ult} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (5.2)$$

ค่า  $K = 1$  (pinned-pinned support)

-สมการที่ได้จากผลการทดสอบท่อพีวีซี ;

$$\sigma_{ult} = \frac{\Phi \pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (5.3)$$

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าสมการของออยเลอร์ใช้ไม่ได้กับเสาสั้นที่มีอัตราส่วนความชะลุดต่ำๆ แต่จะใช้ได้เมื่อเสา มีอัตราส่วนความชะลุด มากกว่า 80 ขึ้นไป ซึ่งเห็นได้จากเส้นกราฟของออยเลอร์ มาพบกับเส้นกราฟจากผลการทดลอง ดังนั้น ช่วงระหว่างอัตราส่วนความชะลุดมีค่าตั้งแต่ 9 ถึง 80 จะต้องหาสมการใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลองและเมื่อทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการประยุกต์การถดถอยแบบเชิงเส้น (Application Linear Regression ) ดังแสดงในภาคผนวก ก. ทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของออยเลอร์ให้เข้ากับผลการทดลองในช่วงดังกล่าวได้ดังสมการ 5.3 โดยที่  $\Phi$  คือ ตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor) มีค่าเท่ากับ  $0.012 * (L/r)$  และเป็นตัวคูณลดกำลังที่ใช้เฉพาะกรณีของการทดสอบนี้เท่านั้น ส่วนค่า  $E$  ในสมการเป็นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของการดัด (Flexural Modulus of Elasticity) ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้แรงดัด 2 จุด (Flexural Two Point Load)

## 5.2 สรุปผลการทดสอบเสาพีวีซีและข้อเสนอนณะ

- 1 พฤติกรรมของเสาพีวีซีสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ เสาสั้นและเสายาว โดยจะใช้อัตราส่วนความชะลุดเท่ากับ 9 เป็นตัวแบ่งระหว่างเสาสั้นและเสายาว
- 2 สมการของเสาพีวีซีได้จากการหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นโค้งคุณสมบัติวัสดุและรูปร่างทางเรขาคณิตของเสา สมการจากทฤษฎีออยเลอร์และตัวคูณลดกำลังมาใช้ทำนายกำลังรับหน่วยแรงอัดสูงสุดเพื่อให้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริง
- 3 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นการดัด ที่ใช้กับเสายาวได้จากการทดสอบการรับแรงดัด 2 จุด
- 4 ตัวคูณลดกำลัง ที่ใช้กับสมการการโค้งเคาะ โดยการดัดมีค่าเท่ากับ  $0.012 * (L/r)$  เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ และจะนำมาใช้กับการทดสอบเสาพีวีซีครั้งนี้นี้เท่านั้น



- 5 การคำนวณกำลังรับแรงอัด ช่วงอัตราส่วนความชะลุดน้อยกว่า 9 จะใช้สมการ (5.1) แต่ช่วงอัตราส่วนความชะลุดเท่ากับ 9 ถึง 80 จะใช้สมการ (5.3) และอัตราส่วนความชะลุดมากกว่า 80 จะใช้สมการ (5.2)
- 6 หน่วยแรงที่คำนวณในช่วงอัตราส่วนความชะลุดมากกว่า 80 โดยสมการ (5.2) จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณจากสมการ (5.3) ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์

### 5.3 สรุปผลการทดสอบผนังโครงคร่าวพีวีซี

จากการทดสอบการรับหน่วยแรงดึงของตะปูเกลียวในการยึดแผ่นไม้อัดกับท่อพีวีซี พบว่าวัสดุรับหน่วยแรงดึงได้มากที่สุดคือท่อพีวีซี มีค่าเฉลี่ย  $44.92 \text{ N/mm}^2$  รองลงมาคือไม้อัดหนา 10 mm. มีค่าเฉลี่ย  $36.8 \text{ N/mm}^2$  และไม้อัดหนา 4 mm. มีค่าเฉลี่ย  $14.94 \text{ N/mm}^2$  จากผลทดสอบการรับแรงดึงของตะปูเกลียวแสดงให้เห็นว่า หากทำการทดสอบผนังโครงคร่าวพีวีซีโดยใช้ตะปูเกลียวเป็นตัวยึด จะเกิดการวิบัติจากการครูดของตะปูที่ไม้อัดก่อนที่จะเกิดกับท่อพีวีซี แต่เนื่องจากตะปูเกลียวมีหัวด้านบนที่ใหญ่กว่าการครูดจะไม่เกิดขึ้นแต่จะเกิดการเฉือนทะลุของหัวตะปูแทน

จากการทดสอบการรับหน่วยแรงเฉือนทะลุ (Punching shear test) ของแผ่นไม้อัด พบว่าไม้อัดหนา 4 mm. มีหน่วยแรงเฉือนทะลุเฉลี่ยเท่ากับ  $5.06 \text{ N/mm}^2$  ส่วนไม้อัดหนา 10 mm. มีค่าเฉลี่ย  $5.92 \text{ N/mm}^2$  จากผลการทดสอบพบว่าไม้อัดหนา 10 mm. มีค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเฉือนทะลุสูงกว่าไม้อัดหนา 4 mm. ในการเพิ่มการรับแรงเฉือนทะลุสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้แหวนรองหัวตะปูเกลียวหรือโดยการเพิ่มความหนาไม้อัด ในกรณีนี้จะเลือกไม้อัดขนาดที่ใช้ในการทดสอบหนา 10 mm. แทนการใช้แหวนรองรับซึ่งจะทำให้เกิดความหนาของหัวตะปูเกลียวซึ่งจะทำให้ผนังไม่เรียบและไม่สวยงาม

จากตารางที่ 4.8 ซึ่งเป็นค่าการเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับค่าแรงอัดสูงสุด (Critical Strength :  $F_c$ ) ที่คำนวณได้จากทฤษฎีของออยเลอร์ของผนังที่ใช้ทดสอบชนิดต่าง ๆ จากตารางจะเห็นว่า ค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากผลการทดสอบ ดังนั้นจึงสามารถนำเอาสมการจากทฤษฎีของออยเลอร์มาทำนายหาสมการของผนังที่ทดสอบจริงโดยการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของผนังจากตารางผลการทดสอบได้ดังนี้

ค่าแรงวิกฤติจากทฤษฎีออยเลอร์ :

$$F_e = \frac{\pi^2 EI_t}{(KL)^2} \quad (5.4)$$

ค่าแรงจากผลการทดสอบ :

$$F_e = \frac{\Phi \pi^2 EI_t}{(KL)^2} \quad (5.5)$$

โดย  $K = 1.0$

$E$  = โมดูลัสความยืดหยุ่นการตัด  
ในการทดสอบครั้งนี้มีค่า  $E = 3.57 \text{ Gpa}$

$I_t$  = โมเมนต์ความเฉื่อยหน้าตัดแปลงของผนัง

$\Phi = 0.50$  สำหรับผนังที่มีเสา 3 ต้น

$= 0.65$  สำหรับผนังที่มีเสา 4 ต้น

ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของผนังโครงคร่าวพีวีซี ที่เป็นผนังประกอบ โดยการใช้ไม้อัดมาประกบกับท่อพีวีซีทั้ง 2 ด้าน และใช้ตะปูเกลียวเป็นตัวยึด พบว่าลักษณะการวิบัติของผนังที่ใช้ทดสอบทั้งหมดจะมีลักษณะการวิบัติคล้าย ๆ กัน คือ เมื่อผนังรับแรงเพิ่มขึ้นจนถึงแรงอัดสูงสุด การวิบัติจะเกิดแบบทันทีทันใด โดยที่แผ่นไม้อัดของผนังประกอบจะเกิดการแตกหักบริเวณแนวกลางตามแนวขวางของผนังก่อนเนื่องจากรับแรงอัด แล้วระบบของผนังทั้งหมดจะวิบัติทันทีเพราะท่อพีวีซีที่ใช้ทำเป็นเสานั้นอยู่ภายใต้แรงอัดที่มากเกินไปกว่าที่เสาทั้งหมดจะรับได้ ระบบจึงเกิดการวิบัติโดยเกิดการโก่งเดาะ ลักษณะการโก่งเดาะและความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับค่าการโก่งตัวของผนังแสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 ซึ่งพบว่าผนังที่ใช้ทดสอบทุกผนังจะมีค่าการโก่งตัวสูงสุด (Maximum Deflection) เกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางตามความสูงของผนังและมีค่าไม่เกิน 1 เซนติเมตร ก่อนที่ผนังจะเกิดการวิบัติ

เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของผนังพีวีซีที่มีจำนวนเสาพีวีซี 4 ต้น พบว่าผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียว 20 ซม. จะมีค่าแรงอัดเฉลี่ย 122.92 กิโลนิวตัน ผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียว 30 ซม. จะมีค่าแรงอัดเฉลี่ย 102.98 กิโลนิวตัน ส่วนผนังที่มีจำนวนเสาพีวีซี 3 ต้น พบว่าผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียว 20 ซม. จะมีค่าแรงอัดเฉลี่ย 79.72 กิโลนิวตัน และผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียว 30 ซม. จะมีค่าแรงอัดเฉลี่ย 76.40 กิโลนิวตัน จากผลทดสอบดังกล่าวพบว่าผนังที่มีระยะห่างของตะปูเกลียวน้อยกว่าจะรับแรงอัดได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาผนังที่มีจำนวนเสาพีวีซี 4 ต้น โดยมีระยะห่างของตะปูเกลียว 20 ซม. และ 30 ซม. พบว่าค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 122.92 และ 102.98 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ส่วนผนังที่มีจำนวนเสาพีวีซี 3 ต้น โดยมีระยะห่างของตะปูเกลียว 20 ซม. และ 30 ซม. พบว่าค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 79.72 และ 76.40 กิโลนิวตัน ตามลำดับ จากผลทดสอบดังกล่าวพบว่าผนังที่มีเสาพีวีซีมากกว่าจะรับแรงอัดได้มากกว่า

จากข้อเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ทั้งจำนวนของเสาพีวีซีและระยะห่างของตะปูเกลียวมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของผนัง โดยที่ผนังพีวีซีจะมีลักษณะเป็นผนังประกอบที่สมบูรณ์มากขึ้นเมื่อตะปูเกลียวถี่ขึ้น และค่ากำลังอัดของผนังโดยส่วนใหญ่แล้วจะขึ้นอยู่กับจำนวนเสาพีวีซีที่ใส่เข้าไปในผนังมากกว่าระยะห่างของตะปูเกลียว ซึ่งพิจารณาได้จากกำลังรับแรงอัดที่ได้ และการวิบัติของผนังเป็นการ โกงเคาะ โดยที่ไม่เกิดการครูดของตะปูเกลียว

#### 5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีขายในท้องตลาดที่หาได้ง่ายและราคาถูก อย่าง ท่อพีวีซี มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างให้มากขึ้น และเป็นแนวคิดในการพัฒนาวิธีการก่อสร้างให้ทำได้ง่าย รวดเร็ว และประหยัด ในการใช้ผนังโครงคร่าวพีวีซีมาเป็นผนังกันภายในยังจะต้องศึกษาต่อไปในการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในด้านของกำลัง เช่น การเพิ่มการยึดรั้งภายในหรือการหล่อคอนกรีตในท่อพีวีซีเพื่อทำเป็นเสาเอ็นและทับหลัง เป็นต้น ตลอดจนการประยุกต์ผนังโครงคร่าวพีวีซีในการใช้งานจริง เช่น การเพิ่มจุดยึดภายในผนังและวิธีการยึดผนังโครงคร่าวกับโครงสร้างอาคาร การยึดต่อระหว่างผนัง รวมถึงการพัฒนาตะปูเกลียวในการยึดผนัง เป็นต้น

โครงการนี้เป็นโครงการนำร่องที่จะปรับปรุงและพัฒนาการประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีในการทำเป็นโครงคร่าวผนังเบาของอาคาร ซึ่งทางคณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่พัฒนาการใช้วัสดุในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่อไป

## บรรณานุกรม

- ชาญ ถนัดงาน (2523). กลศาสตร์วัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ 23 บิ๊กเซนเตอร์: กรุงเทพมหานคร.
- นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์ (2541). วัสดุก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ (2541). ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
- พิภพ สุนทรสมัย (2536). วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ประชาชนจำกัด :  
กรุงเทพมหานคร.
- มานะศิษฏ์ พิมพ์สาร (2536). เทคโนโลยีระบบท่อสุขภัณฑ์. สำนักพิมพ์น่ายรการพิมพ์:  
กรุงเทพมหานคร.
- สิริศักดิ์ ปโยชรสิริ (2536). กำลังวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ไอเอสพรีนติ้งเฮ้า: กรุงเทพมหานคร.
- American Society for Testing Material (1996). Annual Book of ASTM Standards.  
E 72-95. Piladelphia: USA.
- Ferdinand P.Beer.and Russell Johnston,JR. (1992). Mechanics of Materials. Second edition.  
McGraw Hill : Singapore.
- Harmer E.Devis,George Earl Troxell and F.W.Meuck.(1992). The Testing Engineering Material.  
Fourth Edition. McGraw Hill : USA.

**ภาคผนวก ก**

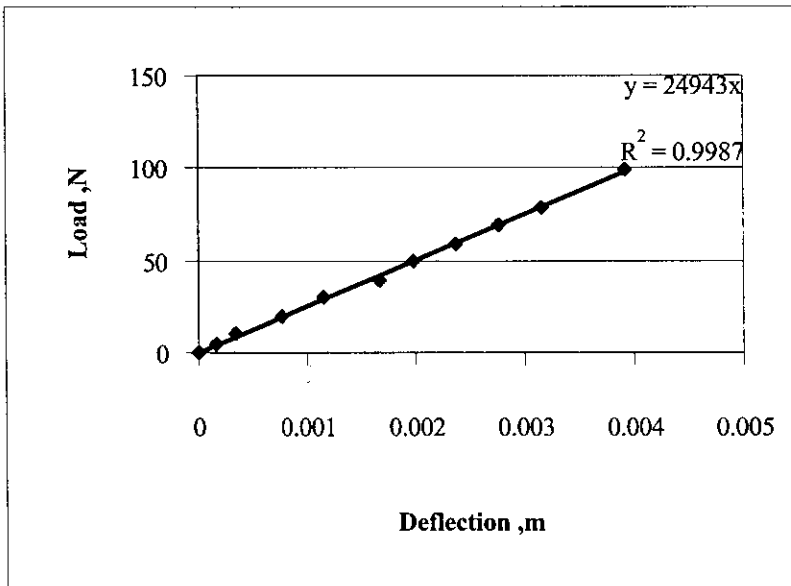
**ตารางผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติด้านต่างๆ ของไม้อัดและท่อพีวีซี**

ตารางที่ ก.1 แสดงคุณสมบัติของท่อพีวีซี

ท่อพีวีซี	Moment of Inertia, I (mm <sup>4</sup> )	Cross Section Area, (mm <sup>2</sup> )	Radius of Gyration, r (m)
PVC 3" ชั้น 8.5	8.7xE+5	1.074xE+3	0.0285
PVC 4" ชั้น 8.5	1.983xE+6	1.413xE+3	0.037
PVC 3" ชั้น 13.5	1.523xE+6	1.759xE+3	0.0294
PVC 4" ชั้น 13.5	3.385xE+6	2.298xE+3	0.0384

ตารางที่ ก.2 ตารางสรุปคุณสมบัติของชิ้นส่วนท่อพีวีซีและไม้อัด

วัสดุ	Modulus of Elasticity (GPa)		Yield Stress, $\sigma_y$ (MPa)
	Mode of Compressive	Mode of Flexural	
PVC 3" ชั้น 8.5	2.92	3.57	45
Plywood (ไม้อัด)	1.456	3.74	24

รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและการแอ่นตัวของท่อพีวีซี เพื่อหาค่า Modulus of Elasticity ( $E_f$ )

**ภาคผนวก ข**

**การวิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นในการหาตัวคูณลด  
ในการสร้างสมการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาขะลุค**

### ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น ( Linear Regression)

1. ทำนายเส้นโค้งผลการทดสอบให้ใกล้เคียงและครอบคลุมข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ ข.1 จากรูปทำให้สามารถพิจารณาเส้นโค้งผลการทดสอบที่ทำนายเป็นสมการอยู่ในรูป

$$y = ax^b \quad (\text{ข.1})$$

2. นำค่าหน่วยแรงประลัยและอัตราส่วนความชะลูดที่ได้จากการทำนายเส้นโค้ง มาคำนวณ Linear Regression จะได้สมการเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ ข.2 ซึ่งมีสมการเป็น

$$\log y = \log a + b * \log x \quad (\text{ข.2})$$

จากรูปที่ ข.2 กราฟเส้นตรงจะตัดแกนของหน่วยแรงประลัยที่ระยะ 2.62 และมีความชันประมาณ -1 ดังนั้น จะได้ว่า

$$\log a = 2.62$$

หรือ  $a = 10^{2.62}$

$$b = -1$$

จากสมการที่ ข.1 จะได้ว่า

$$y = \frac{10^{2.62}}{x}$$

หรือ  $\sigma_{ult} = \frac{10^{2.62}}{(L/r)}$

$$= \frac{10^{2.62} * 10^{-3} \pi^2 E (L/r)}{\pi^2 E (L/r)}$$

$$= \frac{0.012 (L/r) \pi^2 E}{(L/r)^2}$$

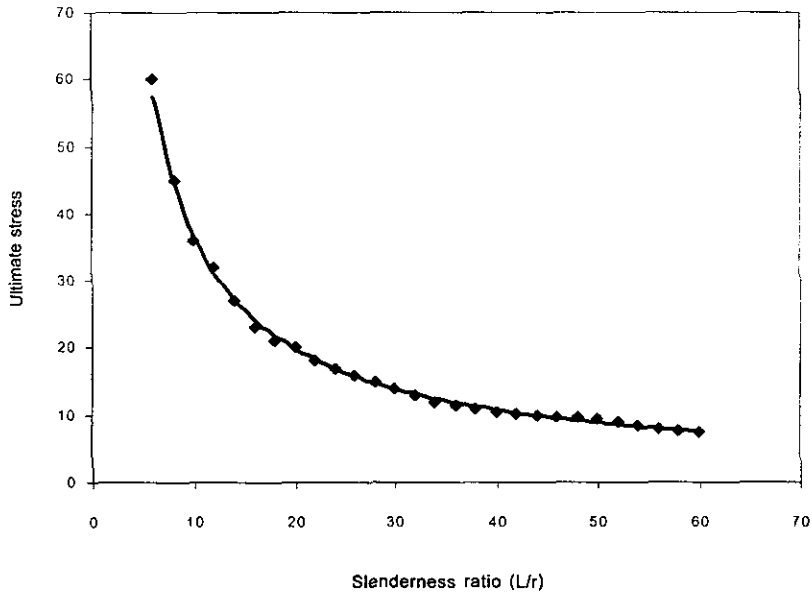
$$= \frac{\Phi \pi^2 E}{(L/r)} \quad (\text{ข.3})$$

โดย  $E$  = Flectural Modulus of Elasticity (3.57 Gpa)

$\Phi$  = Strength reduction factor (0.012 (L/r))

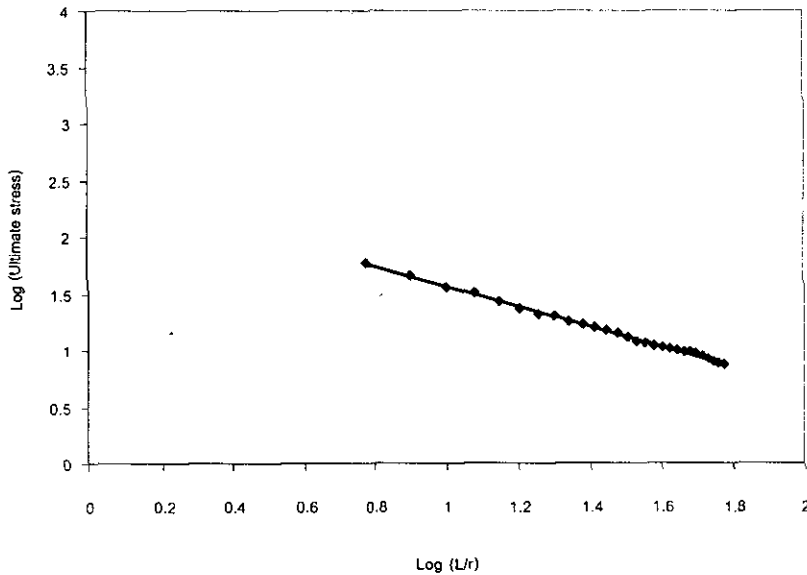


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ultimate stress กับ Slenderness ratio ของท่อพีวีซี



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดสูงสุดกับอัตราส่วนความชะลูดของท่อพีวีซี

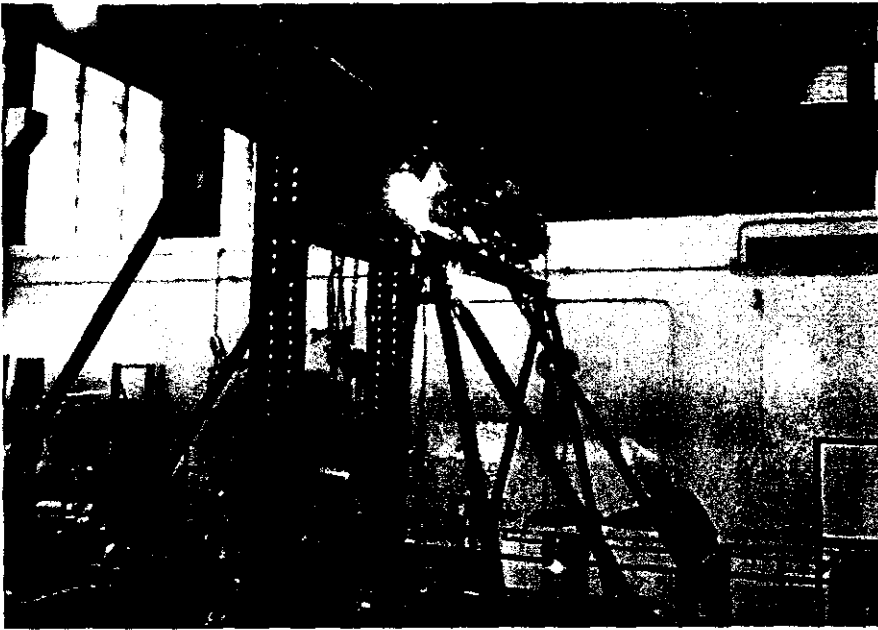
กราฟแสดงการทำนายผลการทดสอบท่อพีวีซีโดยวิธี Linear regression



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงการทำนายผลการทดสอบท่อพีวีซีโดยวิธีถดถอยเชิงเส้น

**ภาคผนวก ค**

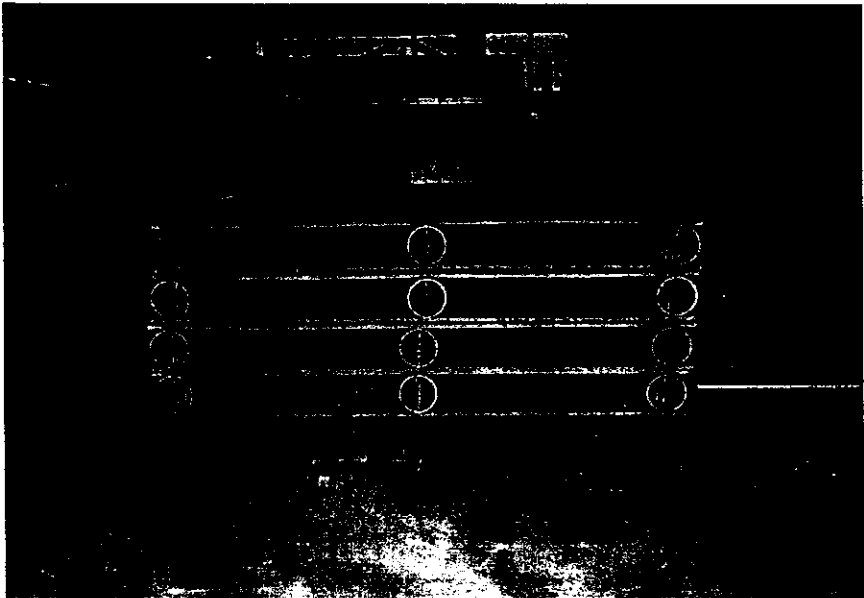
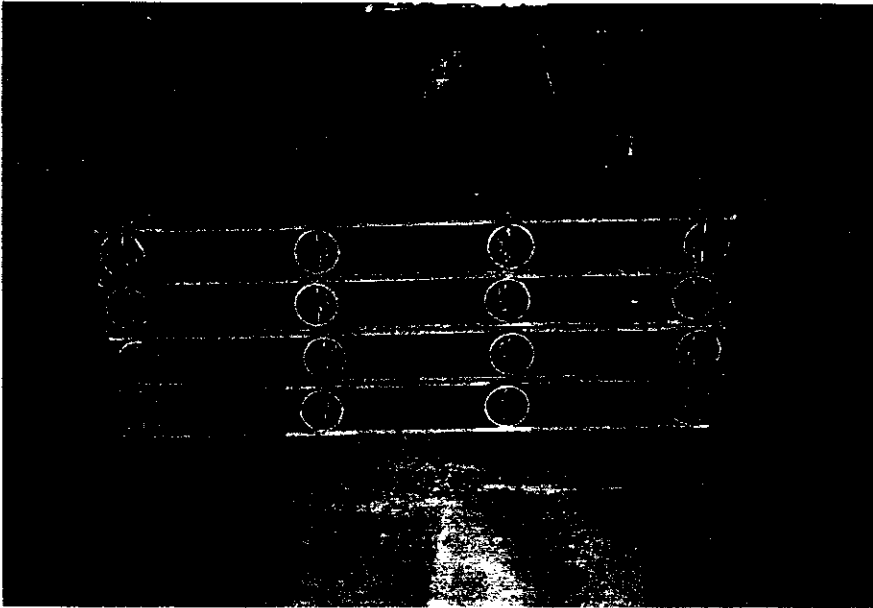
**รูปภาพแสดงการทำโครงเหล็กทดสอบและตัวอย่างทดสอบ**



รูปที่ ค.1 แสดงการประกอบและติดตั้ง โครงเหล็กทดสอบ



รูปที่ ค.2 แสดงการติดตั้งเครื่องยกน้ำหนัก



รูปที่ ๓.3 แสดงลักษณะของผนังโครงคร่าวพีวีซีที่ใช้ในการทดสอบ

### ประวัติผู้วิจัย

นายวิโรจน์ วงศ์ัญญ์ลักษณ เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เกิดเมื่อวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมโยธา) จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2534 และได้จบการศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาบริหารงานก่อสร้าง) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2539 หลังจากจบการศึกษาจนถึงปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สถานที่ติดต่อคือ สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 044-224353