

อิทธิพลของเหล็กเดี่ยวที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กต่อพฤติกรรมการรับแรงดัด

นาย อนุรักษ์	รัตกิจนากร	6330173321
นาย เตชิต	พรสุขเกษม	6330194521

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงการวิศวกรรมโยธา

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2566

The influence of dowel bars at the joints between  
reinforced lightweight concrete panels on the bending behavior

Mr. Nattawat      Ratkijnakorn      6330173321

Mr. Taechit      Pornsukasem      6330194521

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Bachelor of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2023

**หัวข้อโครงการ** อิทธิพลของเหล็กเดี่ยวที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กต่อพฤติกรรม  
การรับแรงดัด

**โดย** นาย ญัฐวรินทร์ รัตกิจนากร

นายเตชิต พรสุขเกษม

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ วิฑิต ปานสุข

---

### บทคัดย่อ

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเริ่มถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องการแรงงานคนในการทำงานมาก เนื่องจากแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กช่วยในการลดระยะเวลาและปริมาณแรงงานในการติดตั้ง กำหนดขอบเขตของงานและวางเป้าหมายในการทำงานได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถควบคุมคุณภาพวัสดุให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด ในขณะเดียวกันการขนส่งเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษาแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กก่อให้เกิดความเสียหาย นอกจากนี้การใช้งานในอาคารสูงที่มีความสูงต่อชั้นที่จำเป็นต้องมีการต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในแนวตั้งยังคงเป็นข้อจำกัดที่ทางผู้ศึกษาเล็งเห็น บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนารอยต่อของคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กให้สามารถต่อแผ่นในแนวตั้งได้ช่วยให้สามารถลดการสูญเสียวัสดุที่หน้างานและเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานให้มากยิ่งขึ้น โดยได้อาศัยมาตรฐานการทดสอบตามสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมาเป็นแนวทางในการทดสอบและเปรียบเทียบค่าการทดสอบที่ได้กับค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงดัดและพฤติกรรมการรับแรงดัดของแต่ละรูปแบบในการเชื่อมต่อ เพื่อนำมาหารูปแบบการเชื่อมต่อที่เหมาะสมและให้ค่าการรับแรงดัดใกล้เคียงหรือเทียบเท่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแผ่นเต็มชนิดไม่มีรอยต่อ

คำสำคัญ : แผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก; รอยต่อระหว่างแผ่นในแนวตั้ง; การทดสอบการรับแรงดัด

Title: The influence of dowel bars at the joints between reinforced lightweight concrete panels on the bending behavior

Students                      Mr.Nattawat Ratkijnakorn

   Mr.Taechit Pornsukasem

Advisor Professor      Associate Professor Withit Pansuk, Ph.D.

---

### **Abstract**

Reinforced lightweight concrete wall panels are increasingly being used in large construction projects that require a significant amount of manual labor. These panels help reduce the time and labor needed for installation, allowing for precise project scope and goal setting, and ensuring material quality meets specified standards. However, transportation, handling, and storage of the panels can cause damage. Additionally, using these panels in high-rise buildings, where vertical jointing is necessary due to the height of each floor, remains a challenge. This research paper aims to present methods for developing the vertical joints of reinforced lightweight concrete panels to minimize material loss on-site and enhance operational efficiency. The study follows testing standards set by the Thai Industrial Standards Institute, comparing test results with the standard values. The tests show the panels' flexural strength and behavior under different joint configurations, helping to identify the most suitable connection method that provides flexural strength comparable to or equivalent to seamless reinforced lightweight concrete panels.

Keywords: Reinforced lightweight concrete panels; Vertical joints between panels; Flexural Test

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ในระดับบัณฑิตศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากศาสตราจารย์ ดร. วิทิต ปานสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปฏิญานิพนธ์ที่มีความกรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขปฏิญานิพนธ์ ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการจัดทำปฏิญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับแหล่งข้อมูลและแหล่งการเรียนรู้สำหรับศึกษาข้อมูลเพื่อดำเนินงานวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ข้าพเจ้าได้ตั้งไว้ทุกประการ

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคน ที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา

ผู้จัดทำโครงการ

พฤษภาคม 2567

## สารบัญ

บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	3
2.1.1 กำลังอัดของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	3
2.1.2 การกันความร้อนและการกันเสียงของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	4
2.1.3 การกันไฟของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	5
2.1.4 การซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	5
2.1.5 ประสิทธิภาพในการทำงานของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	5
2.2 รอยแตกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	6
2.3 ความสามารถในการรับแรงเฉือน.....	6
2.4 ความสามารถในการรับแรงดัด.....	7
2.5 มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก.....	7
2.6 มาตรฐานการทดสอบการโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก.....	9

2.6.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ .....	9
2.6.2 เครื่องทดสอบ .....	9
2.6.3 วิธีทดสอบ .....	10
2.6.4 การรายงานผล .....	10
บทที่ 3 ระเบียบการวิจัย .....	11
3.1 ลักษณะข้อมูล .....	11
3.2 ขั้นตอนการทำการวิจัย .....	12
3.2.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเหล็กรับแรงเฉือนระหว่างรอยต่อ ..	12
3.2.2 ศึกษามาตรฐานการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก .....	12
3.2.3 ออกแบบการทดสอบผนังแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเชื่อมรอยต่อ .....	13
3.2.4 ออกแบบการเก็บข้อมูลการทดสอบ .....	15
3.2.5 ดำเนินการทดสอบ .....	16
3.2.6 พิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ .....	16
3.2.7 สรุปผลและอภิปรายผลการทดสอบ .....	16
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย .....	17
3.4 สรุปแบบชิ้นตัวอย่างการทดสอบ .....	18
3.4.1 ชิ้นทดสอบชนิดไม่มีการเสริมเหล็กในรอยต่อ .....	18
3.4.2 ชิ้นการทดสอบชนิดมีเสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 1 ท่อน .....	18
3.4.3 ชิ้นการทดสอบชนิดมีเสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน .....	19
3.4.4 ชิ้นการทดสอบชนิดที่มีเสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 2 ท่อน .....	19
3.4.5 ชิ้นการทดสอบชนิดที่มีเสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 2 ท่อน .....	20
3.4.6 ชิ้นการทดสอบคอนกรีตยาว 3.00 ม. ชนิดไม่มีรอยต่อ .....	20
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย .....	21

4.1 ผลการทดสอบ .....	22
4.1.1 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 1.....	22
4.1.2 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 2.....	24
4.1.3 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 3.....	26
4.1.4 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 4.....	28
4.1.5 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 5.....	30
4.1.6 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 6.....	32
4.2 รายละเอียดของผลการทดสอบ.....	34
4.2.1 ลักษณะตำแหน่งและรายละเอียดการเกิดรอยแตก (Crack behavior) .....	34
4.2.2 ค่าการเกิดโก่งตัวสูงสุดช่วงเวลาที่เกิดรอยแตก .....	36
4.2.3 ค่ารับน้ำหนักบรรทุก .....	37
4.3 อภิปรายผลการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้.....	38
4.3.1 การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้ของรูปแบบ 1BS กับ 1TBS .....	38
4.3.2 การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้ของรูปแบบ 2BS กับ 2TBS .....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	43
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	43
5.2 ข้อจำกัดในการทำโครงการ.....	43
5.3 แนวทางในการทำวิจัยขั้นต่อไป.....	44
บรรณานุกรม .....	45
ภาคผนวก .....	46



## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แบบจำลองมาตรฐานการทดสอบการโก่งตัว .....	10
รูปที่ 3.1	แผนภาพการดำเนินงานโครงการ .....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายรูปแบบการจัดวางน้ำหนักบรรทุก.....	13
รูปที่ 3.3	ภาพรูปแบบการจัดวางจุดรองรับและขนาดแผ่นผนังคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ.....	14
รูปที่ 3.4	ภาพการเกิดรอยแตกในแผ่นคอนกรีตมวลเบาที่ FIRST CRACK.....	15
รูปที่ 3.5	ภาพถ่ายเครื่องมือวัดค่าการโก่งตัวที่ใช้ในการทดสอบ .....	17
รูปที่ 3.6	ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 1 (NSWJ).....	18
รูปที่ 3.7	ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 2 (1BS).....	18
รูปที่ 3.8	ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 3 (1TBS) .....	19
รูปที่ 3.9	ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 4 (2BS).....	19
รูปที่ 3.10	ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 5 (2TBS).....	20
รูปที่ 3.11	ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 6 (NSNJ).....	20
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 1 (NSWJ).....	22
รูปที่ 4.2	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSWJ ตัวอย่างที่ 1.....	23
รูปที่ 4.3	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSWJ ตัวอย่างที่ 2.....	23
รูปที่ 4.4	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSWJ ตัวอย่างที่ 3.....	23
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 2 (1BS) .....	24
รูปที่ 4.6	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1BS ตัวอย่างที่ 1 .....	25
รูปที่ 4.7	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1BS ตัวอย่างที่ 2 .....	25
รูปที่ 4.8	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1BS ตัวอย่างที่ 3 .....	25
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 3 (1TBS).....	26
รูปที่ 4.10	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1TBS ตัวอย่างที่ 1.....	27
รูปที่ 4.11	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1TBS ตัวอย่างที่ 2.....	27
รูปที่ 4.12	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1TBS ตัวอย่างที่ 3.....	27
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 4 (2BS).....	28
รูปที่ 4.14	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2BS ตัวอย่างที่ 1.....	29
รูปที่ 4.15	ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2BS ตัวอย่างที่ 2.....	29

รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2BS ตัวอย่างที่ 3.....	29
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 5 (2TBS).....	30
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2TBS ตัวอย่างที่ 1.....	31
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2TBS ตัวอย่างที่ 2.....	31
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2TBS ตัวอย่างที่ 3.....	31
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 6 (NSNJ).....	32
รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSNJ ตัวอย่างที่ 1.....	33
รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSNJ ตัวอย่างที่ 2.....	33
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSNJ ตัวอย่างที่ 3.....	33
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1BS และ 1TBS.....	38
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 2BS และ 2TBS.....	39
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1BS และ 2BS.....	40
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1TBS และ 2TBS.....	41
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของทั้ง 6 รูปแบบ.....	42

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโค้งตัวของรูปแบบ NSWJ .....	22
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโค้งตัวของรูปแบบ 1BS.....	24
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโค้งตัวของรูปแบบ 1TBS .....	26
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโค้งตัวของรูปแบบ 2BS.....	28
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโค้งตัวของรูปแบบ 2TBS .....	30
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโค้งตัวของรูปแบบ NSNJ .....	32
ตารางที่ 4.7 ลักษณะบริเวณที่เกิดรอยแตกของแต่ละรูปแบบการเชื่อมรอยต่อ.....	34
ตารางที่ 4.8 สรุปค่าการโค้งตัวของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.1510-2541 .....	36
ตารางที่ 4.9 สรุปค่าการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับ มอก.1510-2541 ....	37
ตารางที่ A.1 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโค้งตัวของรูปแบบ NSWJ.....	47
ตารางที่ A.2 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโค้งตัวของรูปแบบ 1BS .....	47
ตารางที่ A.3 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโค้งตัวของรูปแบบ 1TBS.....	48
ตารางที่ A.4 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโค้งตัวของรูปแบบ 2BS .....	49
ตารางที่ A.5 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโค้งตัวของรูปแบบ 2TBS.....	50
ตารางที่ A.6 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโค้งตัวของรูปแบบ NSNJ.....	51

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันค่าแรงงานและวัสดุมีต้นทุนที่สูงขึ้นอีกทั้งเวลาก็ก็น่าเป็นสิ่งที่ไม่สามารถซื้อคืนกลับมาได้ การก่อสร้างอาคารบ้านเรือนแบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมมาก คือ การก่ออิฐมอญหรืออิฐมวลเบาแล้วทำการฉาบปูน ซึ่งมีกระบวนการในการทำงานมากตั้งแต่ การก่ออิฐ การผูกเหล็ก การเข้าไม้แบบทำเสาเอ็นและทับหลัง กระบวนการทั้งหมดนี้ล้วนแล้วแต่ต้องใช้แรงงานคนและเวลาอย่างมาก

อิฐมอญหรืออิฐมวลเบาจำเป็นต้องอาศัยแรงงานคนจำนวนมากประกอบเป็นงานที่ต้องอาศัยทักษะในการทำงานเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพ อีกทั้งวัสดุมีขนาดเล็กที่เกิดการแตกหักและเกิดการเสียหายของวัสดุ ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้น แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจึงเป็นทางเลือกสำหรับการก่อสร้างที่ต้องการความรวดเร็ว มีคุณภาพและเกิดความเสียหายที่หน้างานน้อย เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการควบคุมจากโรงงานที่มีมาตรฐานและขึ้นคอนกรีตมีขนาดใหญ่แต่น้ำหนักเบาทำให้ติดตั้งได้อย่างง่าย อย่างไรก็ตามแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กยังคงมีข้อจำกัดในด้านของความสูงต่อแผ่นที่ไม่มากนักอันเนื่องมาจากการขนส่งที่มีขีดจำกัด แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจึงจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อแผ่นคอนกรีตเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการแก่ผู้ใช้งานอาคาร นอกจากนี้การเก็บรักษาแผ่นผนังคอนกรีตที่โรงงานผลิตเป็นระยะเวลาอันยาวนานส่งผลให้แผ่นคอนกรีตมีความเสียหายบริเวณหัวและท้ายแผ่นส่งผลให้ความสูงต่อแผ่นที่ใช้งานลดลง การพัฒนารอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจึงจะช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้เพื่อเป็นการลดการเกิดขยะจากอุตสาหกรรมก่อนกระบวนการผลิตซ้ำซึ่งลดการเกิดคาร์บอนลงได้อย่างมาก

โครงการนี้จึงมีเป้าหมายที่จะพัฒนารอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเพื่อรองรับกับการใช้งานที่มีความต้องการใช้กำแพงที่มีความสูงมากกว่าอาคารปกติทั่วไปและเป็นลดการเกิดการสูญเสียโดยการใช้แผ่นคอนกรีตที่แตกหักมาต่อกันเพื่อให้ได้ความสูงที่ต้องการ ทางผู้ศึกษาได้ทำการจำลองการรับแรงในรูปแบบต่างๆเพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงดัดและศึกษาพฤติกรรมของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเพื่อหารูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นที่เหมาะสมที่สุดในด้านความสามารถการรับแรงดัดเมื่อเทียบกับแผ่นผนังคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการรับแรงดัดของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่มีการเชื่อมต่อนี้ด้วยการเสริมเหล็กเดี่ยวและเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่มีรอยต่อ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและการรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.1510-2541)

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขึ้นตัวอย่างที่ทำการศึกษา คือ ผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

1.3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ความสามารถในการรับแรงดัดและพฤติกรรมการเกิดรอยแตกในแต่ละรูปแบบการเชื่อมรอยต่อโดยอาศัยการทดสอบเพื่อหารูปแบบการเชื่อมรอยต่อที่เหมาะสมและให้ค่าการรับแรงดัดใกล้เคียงกับผนังคอนกรีตชนิดไม่มีรอยต่อมากที่สุด

1.3.3 การทดสอบการรับแรงดัดอาศัยแนวทางตามมาตรฐาน มอก.1510-2541 และปรับการให้น้ำหนักบรรทุกเป็นชนิดแผ่สม่ำเสมอ (Uniform Load)

1.3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคือผลการทดสอบจากการรับแรงดัดของผนังคอนกรีตมวลเบาและพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ

1.3.5 ขอบเขตการเก็บข้อมูลวิจัย คือ ค่าการโก่งตัวของผนังคอนกรีตเมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดการเกิดรอยแตกครั้งแรก และบันทึกตำแหน่งการเกิดรอยแตกบนผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาและทดสอบพฤติกรรมของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเชื่อมรอยต่อเพื่อประเมินกำลังรับแรงดัดโดยพิจารณาค่ากำลังรับแรงดัดของผนังคอนกรีตที่มีรูปแบบการเชื่อมรอยต่อที่แตกต่างกันเพื่อนำไปวิเคราะห์หารูปแบบการเชื่อมรอยต่อที่มีประสิทธิภาพการรับแรงดัดใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับผนังคอนกรีตชนิดไม่มีรอยต่อ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์พฤติกรรมที่เกิดจากการดัดและระบุจุดที่เกิดความเสียหาย จากการทดสอบการดัดของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กได้ทำการเก็บค่าการรับน้ำหนักบรรทุกและค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าตามมาตรฐานมอก.1510-2541 โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถรองรับน้ำหนักได้อย่างเพียงพอโดยไม่เกิดความเสียหายและมีค่าการโก่งตัวอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำรูปแบบการเชื่อมรอยต่อด้วยเหล็กเดี่ยวที่เหมาะสมและให้ค่าการรับแรงดัดที่ใกล้เคียงกับผนังคอนกรีตชนิดไม่มีรอยต่อไปเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการก่อสร้าง ลดการสิ้นเปลืองวัสดุและต้นทุนแรงงาน ในขณะเดียวกันก็ยังคงความแข็งแรงของโครงสร้างไว้ไม่ต่างจากเดิมอีกด้วย

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

##### 2.1.1 กำลังอัดของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

กำลังอัดของวัสดุคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุรูพรุนและคุณภาพของสารยึดเกาะเป็นหลัก โดยเฉพาะเบอร์โมโรท์ อิทธิพลของโครงสร้างวัสดุรูพรุนมีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญมากกว่าการเจริญเติบโตของสารยึดเกาะ โดยรูพรุนที่มีขนาดเล็กจะทำให้วัสดุคอนกรีตมวลเบามีความแข็งแรง การเพิ่มความหนาแน่นจะสัมพันธ์กับกำลังการรับแรงอัดที่สูงขึ้น ซึ่งความหนาแน่นที่ลดลงสามารถทำให้รูพรุนเพิ่มในโครงสร้าง ส่งผลกับความแข็งแรง กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อนและแรงดันสูงเป็นกระบวนการที่สำคัญในการเพิ่มกำลังรับแรงอัด โดยการส่งเสริมการก่อตัวของเบอร์โมโรท์ที่เสถียรซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก การปรับความดันและระยะเวลาในการกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อนอย่างเหมาะสมสามารถทำให้ได้ระดับความแข็งแรงที่ต้องการ แม้ว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อความหนาแน่นลดลงและรูพรุนเพิ่มมากขึ้น การศึกษาด้วยวิธีที่หลากหลายสามารถทราบได้ถึงวิธีการปรับปรุงกำลังรับแรงอัด อย่างเช่น การแทนที่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วยสารเติมแต่งอย่าง ถ้ำลอย ซีโอไรท์ธรรมชาติหรือถ้ำกั้นถ่านหิน สารเติมแต่งเหล่านี้สามารถเพิ่มคุณสมบัติ เช่น ความแข็งแรงทางกายภาพ โครงสร้างจุลภาคและการนำความร้อน โดยรวมแล้ว ความสมดุลระหว่างความมีรูพรุนและความแข็งแรงเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่นการกระจายขนาดรูพรุน คุณภาพของสารยึดเกาะและพารามิเตอร์การประมวลผล โดยปัจจัยต่างๆเหล่านี้พิจารณาเพื่อคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน

กำลังรับแรงอัดของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 10 เมกกะปาสคาล ในขณะที่ความหนาแน่นแตกต่างกันไปตั้งแต่ 300 ถึง 1,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นและความพรุนของบล็อก AAC จะกำหนดกำลังอัดของบล็อก (Raghav Tandon, 2021)

## 2.1.2 การกันความร้อนและการกันเสียงของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี เนื่องจากค่านำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.1-0.7 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ที่ 400-1700 กก./ลบ.ม. โดยประสิทธิภาพการเป็นฉนวนความร้อนของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กดีกว่าคอนกรีตทั่วไปเป็นอย่างมาก ซึ่งมาจากการนำความร้อนอยู่ที่ 1.6-2.0 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความหนาแน่นสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน โดยความหนาแน่นที่ต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่า ในด้านของการเป็นฉนวนกันเสียง แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจะเป็นฉนวนกันเสียงที่ดีได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลาย ๆ อย่าง (Barbara Szudrowicz, 2018)

### 2.1.2.1 Aerated Concrete density and wall thickness

ความหนาแน่นและความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กส่งผลอย่างป็นนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการเป็นฉนวนกันเสียง โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาและความหนาแน่นจะเปลี่ยนดัชนีการลดเสียง โดยผนังที่หนาขึ้นและความหนาแน่นที่ลดลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของฉนวนกันเสียงดีมากยิ่งขึ้น

### 2.1.2.2 Strength

ความสัมพันธ์ในเรื่องของความแข็งแรงของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กและพารามิเตอร์ทางเสียงยังไม่ได้มีการวิจัยมากนัก แต่มีการพิจารณาความแข็งแรงที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นจำเพาะ

### 2.1.2.3 Type of small size elements

ประเภทขององค์ประกอบขนาดเล็กของโครงสร้างของผนัง AAC ซึ่งได้รับอิทธิพลพื้นผิวของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบขนาดเล็ก ส่งผลต่อความสามารถของการเป็นฉนวนกันเสียง ผนังที่มีข้อต่อและร่องโดยทั่วไปนั้น จะเป็นฉนวนกันเสียงที่ดีกว่าเนื่องจากมีรูพรุน

#### 2.1.2.4 Type of Mortar in the Joints

ประเภทของปูนในข้อต่อนั้นมีผลต่อฉนวนกันเสียง เนื่องจากผนังที่มีปูนกาวยาซีเมนต์แสดงให้เห็นถึงดัชนีการลดเสียงที่ใกล้เคียงกับผนังที่ใช้ปูนซีเมนต์ปูนขาว ขณะที่ปูนฉนวนความร้อนจะลดความสามารถของฉนวนกันเสียงเล็กน้อย

#### 2.1.3 การกันไฟของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

ผลกระทบของความชื้นและอุณหภูมิบนแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก ส่งผลต่อความสามารถในการทนไฟได้ของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก สืบเนื่องจากการทนไฟจากการทดสอบ ทำการทดสอบอุณหภูมิตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ไปถึง 1000 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 900 องศาเซลเซียส บล็อก AAC จะมีสีเข้มและน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดจะลดลง แต่ที่ 1000 องศาเซลเซียส บล็อกคอนกรีตมีสีขาวสว่างกว่าน้ำหนักที่ลดลงและกำลังรับแรงอัดนี้บ่งชี้ถึงการสูญเสียมวลและคุณสมบัติทางกล เนื่องจากการสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยคอนกรีตมวลเบาสามารถทนไฟที่ 1100 องศาเซลเซียสได้นานกว่า 4 ชั่วโมง ทำให้สามารถป้องกันและจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้ (Keyvani, 2014)

#### 2.1.4 การซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กมีการดูดซึมน้ำที่สูง เนื่องจากมีรูพรุนสูงและมีช่องทางระบายน้ำที่กว้างขวาง การดูดซึมน้ำจะเกิดขึ้นผ่าน capillary holes ที่มีรูพรุนเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และ ช่องระบายอากาศใหญ่ รูขุมขนเหล่านี้ประกอบด้วยรูขุมขนเปิดซึ่งเชื่อมต่อกัน โดยความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงของ AAC มีผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างและประสิทธิภาพเชิงความร้อนในโครงการก่อสร้าง

#### 2.1.5 ประสิทธิภาพในการทำงานของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนี้สามารถติดตั้งที่หน้างานได้ง่ายกว่าการก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากสามารถติดตั้งได้แล้วยังมีน้ำหนักที่เบาและไม่จำเป็นต้องมีการก่ออิฐ อีกทั้งแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กยังเป็นงานระบบแห้ง ส่งผลให้หน้างานนั้นมีความสะอาด ทำให้สามารถทำงานในขั้นตอนอื่นได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น



## 2.2 รอยแตกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

การเชื่อมต่อระหว่างแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กมีความสำคัญอย่างมากต่อการถ่ายเทน้ำหนักภายในระบบผนังสำเร็จรูป ซึ่งรอยต่อมีความสำคัญในด้านการลดการแตกร้าวที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างคอนกรีตมวลเบาหรือยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างคอนกรีตโดยไม่เกิดแรงต้าน โดยสามารถแบ่งประเภทของรอยต่อออกได้เป็น 3 ประเภทคือ รอยต่อหดตัว รอยต่อแยกหรือรอยต่อขยายตัว รอยต่อก่อสร้าง ซึ่งได้มีการวิจัยรอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตด้วยโมเดล Finite Element (Ramin Vaghei, 2014) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของการเชื่อมต่อผนังสำเร็จรูปภายใต้การรับน้ำหนักด้านข้างที่มากขึ้น ซึ่งพบว่ารอยแตกร้าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านล่างของผนังและตามบริเวณที่เป็นรอยต่อประสานและจุดเชื่อมต่อเนื่องจากการรับน้ำหนักในระนาบด้านข้าง และได้มีการวิจัยในหัวข้อของการเชื่อมต่อแนวนอนสำหรับผนังคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้แรงเฉือน พบว่ามีการเสื่อมสภาพของข้อต่อ การสูญเสียความต้านทานแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ และความต้านทานแรงเฉือนลดลงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยการทำความเข้าใจถึงโหมดความล้มเหลวของโหนดต่างๆมีความสำคัญสำหรับการออกแบบการเชื่อมต่อในโครงสร้างผนังคอนกรีตเพื่อความปลอดภัยและความทนทานภายใต้โหลดแบบต่างๆ (Khaied A. Soudski, 1996)

## 2.3 ความสามารถในการรับแรงเฉือน

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นมีความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดได้ดี แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ต่ำเหมือนกับคอนกรีตทั่วไป ซึ่งการพิจารณาแรงเฉือนที่จะเกิดกับรอยต่อในแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นมีค่อนข้างต่ำเนื่องจากใช้เป็นผนังภายในและผลจากแรงในแนวนอนค่อนข้างน้อย การพิจารณาแรงเฉือนในแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบไม่มีรอยต่อ การรับแรงเฉือนจากการทดสอบของ Tianjun (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542) Zhang และ Jinzhen Dai (Tianjun Zhang, 2020) พบว่าแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นสามารถเกิดการวิบัติอันเนื่องมาจากแรงเฉือนได้ 3 รูปแบบ ประกอบไปด้วย Shear Compression Failure, Bond Failure และ Diagonal Tension Failure ซึ่งแยกกันประเภทการวิบัติโดย Shear span ratio คือ ค่า Shear span / Effective height of section ( $h_0$ ) และ Shear span คือ ค่าต่ำสุดของระยะที่เกิดแรงกดบนแผ่นเหล็กและขอบของจุดรองรับ การเกิดการวิบัติแบบ Shear Compression นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อ shear ratio = 2.5 การเกิดการวิบัติแบบ Diagonal Tension จะเกิดขึ้นเมื่อ Shear ratio = 5.0 การเกิดการวิบัติแบบ Bond Failure นั้นเกิดขึ้นได้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากจะไปเกิดการวิบัติรูปแบบอื่นก่อน

## 2.4 ความสามารถในการรับแรงดัด

การต้านทานแรงดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นสามารถทดสอบได้จากการจำลองน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจริงซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C78 ที่กำหนดเกี่ยวกับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดของคอนกรีตโดยให้น้ำหนักกระทำเป็นจุด 3 ตำแหน่ง ซึ่งได้มีงานวิจัยของ Irwan Nuryana และ Husnul Fikri (Irwan Nuryana, 2021) ที่ได้ทำการทดสอบแผ่นคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่มีรอยต่อขนาด 2000x600x125 mm จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบการรับแรงโมเมนต์ดัด (average principal load) 4.48 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร หรือ 460 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

## 2.5 มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำได้ถูกกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1510-2541 ซึ่งแผ่นคอนกรีตมวลเบาแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ออกเป็น 4 ประเภท คือ แผ่นผนังภายนอกใช้สำหรับทำผนังภายนอกอาคาร, แผ่นผนังภายในใช้สำหรับทำผนังภายในอาคาร, แผ่นหลังคาใช้สำหรับกรุหลังคา, และแผ่นพื้น ใช้สำหรับทำพื้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กตาม มอก.1510-2541

ประเภท	น้ำหนักบรรทุก (นิวตันต่อตารางเมตร)	ขนาด มิลลิเมตร		
		ความหนา	ความยาว	ความกว้าง
แผ่นผนัง ภายนอก	500 800 1200 1600	75 80 100 120 125 150 175 180 200	ไม่เกิน 6000	600
แผ่นผนัง ภายใน	หรือตามข้อตกลง ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย			
แผ่นหลังคา	1000 หรือตามข้อตกลง ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย			
แผ่นพื้น	1000 2000 3000 4000 5000 6000 หรือตามข้อตกลง ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย	100 120 125 150 175 180 200 225 250 275 300		

หมายเหตุ : แผ่นสุดท้ายในการติดตั้ง ความกว้างอาจใช้ต่ำกว่า 600 มิลลิเมตร ได้ ถ้ามีระยะไม่เพียงพอ

จากตารางที่ 2.1 ขนาดของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก มาตรฐานการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กตาม มอก.1510-2541

ประเภท แผ่นผนังภายนอก แผ่นผนังภายใน ที่มีขนาดความกว้าง 600 มม. และความยาวไม่เกิน 6000 มม. ต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 500, 800, 1200, 1600 นิวตันต่อตารางเมตร ตามแต่ขนาดความหนาของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในช่วง 75-200 มม.

## 2.6 มาตรฐานการทดสอบการโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

### 2.6.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ให้ใช้แผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่ผลิตเป็นตัวอย่างทดสอบ โดยวิธีสุ่มตรวจ

### 2.6.2 เครื่องทดสอบ

ให้เตรียมการทดสอบตามรูปที่ 5 โดยใช้เครื่องที่ให้กดแรงที่อ่านได้ละเอียดถึง 98.1 นิวตันและสามารถให้แรงกดด้วยอัตราที่ทำให้เกิดการโก่งตัวที่จุดศูนย์กลางประมาณ 0.05 มิลลิเมตรต่อวินาทีและวัดค่าการโก่งตัวที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

เมื่อ A คือ คานกด

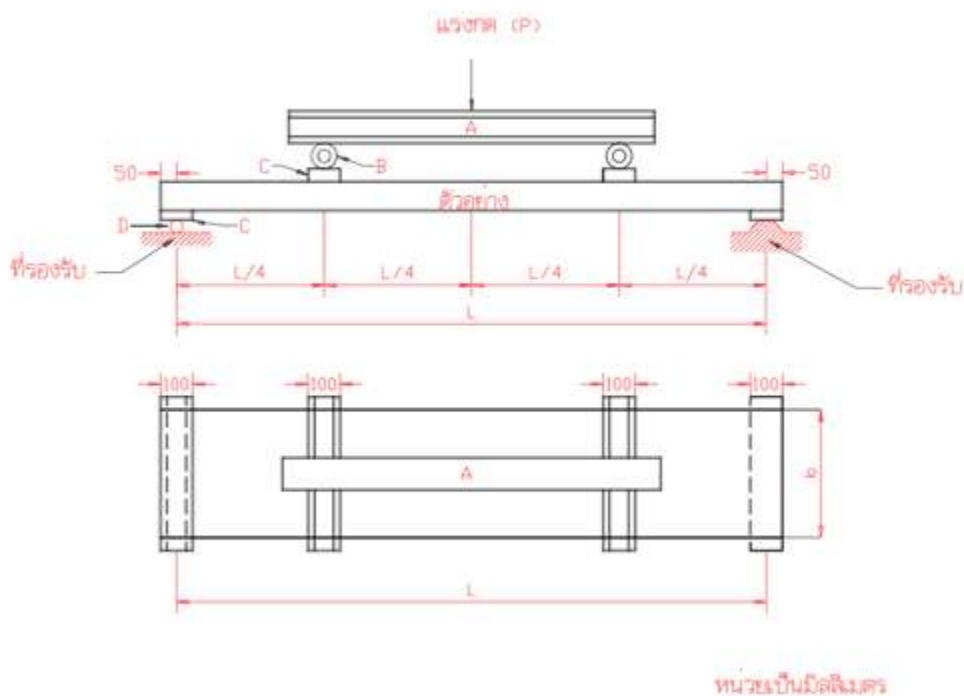
B คือ ท่อเหล็กกล้าหรือท่อนเหล็กกลมมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของแผ่นคอนกรีตมวลเบา และมีความแข็งแรงพอที่จะไม่ต้องคำนึงถึงการโก่งตัว หรือการเสียรูปในขณะทดสอบ

C คือ แผ่นเหล็กกล้ารองรับกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของแผ่นคอนกรีตมวลเบาหนา 6 มิลลิเมตร ถึง 15 มิลลิเมตร

D คือ ท่อนเหล็กกลมยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของแผ่นคอนกรีตมวลเบา

L คือ ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางที่รองรับ

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 2.1 แบบจำลองมาตรฐานการทดสอบการโก่งตัว

### 2.6.3 วิธีทดสอบ

ใช้แรงกด (P) กดลงบนคานทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการโก่งตัวที่จุดศูนย์กลางในอัตรา 0.05 มิลลิเมตร ต่อวินาที โดยประมาณจนถึงค่าสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก วัดค่าแรงกดและค่าการโก่งตัว เพื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวหมายเหตุ น้ำหนักบรรทุกเท่ากับแรงกด (P) ทหารด้วยพื้นที่แผ่นคอนกรีตมวลเบา ( $b \times L$ )

### 2.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดซึ่งได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัว และน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก โดยมีคุณลักษณะที่ต้องการ คือ การโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก จะต้องไม่เกิน  $L/300$  (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

## บทที่ 3

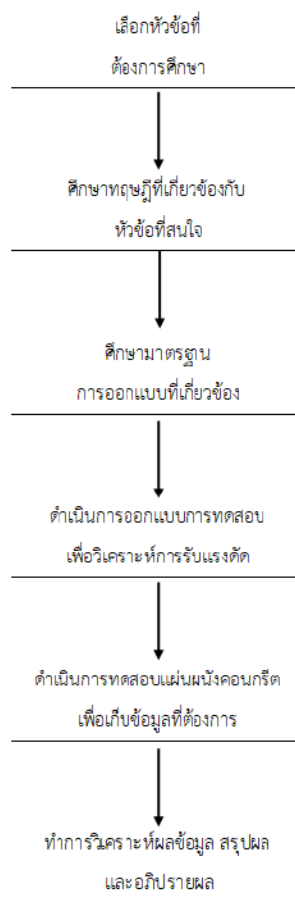
### ระเบียบวิธีการวิจัย

#### 3.1 ลักษณะข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การรับแรงและศึกษาพฤติกรรมการเกิดรอยร้าวหรือรอยแตกในชิ้นงานแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่เก็บข้อมูลได้จากการทดสอบ ประกอบด้วยชุดข้อมูลดังต่อไปนี้

Load	(แรงที่กระทำต่อแผ่นคอนกรีต หน่วย kg)
Pattern of Load	(การจัดวางรูปแบบการถ่ายแรง)
Deflection	(การเกิดการโก่งตัวของแผ่นคอนกรีต หน่วย mm)
Length of Concrete Panel	(ความยาวของแผ่นคอนกรีตแต่ละแผ่น)
Length of Dowel Bar	(ความยาวของเหล็กเดือย)
Pattern of Dowel Bar	(รูปแบบของเหล็กเดือย)
Crack Behavior	(รูปแบบการเกิดการวิบัติของแผ่นคอนกรีต)
Dowel Position	(ระยะการฝังของเหล็กในรอยต่อ)
Support Position	(ตำแหน่งการวางจุดรองรับ)
Type of support	(ประเภทของจุดรองรับ)

### 3.2 ขั้นตอนการทำการวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.2.1 ศึกษาคันทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเหล็กรับแรงเฉือนระหว่างรอยต่อ

คันทฤษฎีเกี่ยวกับทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวทางการปฏิบัติงานในปัจจุบัน ในการเสริมกำลังให้แก่แผ่นผนังไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการก่ออิฐฉาบปูน ผนังสำเร็จรูป (Pre cast) หรือผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบรูปแบบการเชื่อมรอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

#### 3.2.2 ศึกษามาตรฐานการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

คันทฤษฎีหาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือ มาตรฐานการทดสอบ อื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาออกแบบการทดสอบให้ใกล้เคียงหรือเป็นมาตรฐานมากที่สุด

### 3.2.3 ออกแบบการทดสอบผนังแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเชื่อมรอยต่อ

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงเพื่อจำลองรูปแบบการทดสอบให้เสมือนจริงมากที่สุด ทั้งการออกแบบจตุรรองรับ การวางน้ำหนักบรรทุก แนวทางการวางเหล็ก รอยต่อและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลสรุปแนวทางการทดสอบ

#### 3.2.3.1 ความยาวของแผ่นคอนกรีตที่นำมาทดสอบ

จุดประสงค์ของการดำเนินงานวิจัยคือ เพื่อทำการเสริมกำลังของแผ่นคอนกรีตที่มี รอยต่อให้สามารถรับแรงได้มากกว่าหรือเทียบเท่ากับแผ่นคอนกรีตมวลเบาชนิดที่ไม่มีรอยต่อ จากการศึกษาพบว่าอาคารทั่วไปมีความสูงระหว่างชั้นที่จำเป็นต้องมีการติดตั้งผนังในช่วง ประมาณ 2.60 - 3.00 เมตร จึงได้ทำการเลือกความยาวแผ่นผนังที่ 1.80 เมตร และ 1.20 เมตร มาต่อกันซึ่งได้ความยาวรวมทั้งสิ้น 3.00 เมตร

#### 3.2.3.2 การวางน้ำหนักลงบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ

โดยทั่วไปแล้วผนังภายในหรือภายนอกอาคารทำหน้าที่รับแรงด้านข้างที่มีอิทธิพลมาจาก แรงลมที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอและเท่ากัน จึงได้เลือกการศึกษารับแรงแบบ Uniform load ที่กระทำต่อแผ่นคอนกรีตมวลเบา โดยทำการจำลองการทดสอบแผ่นคอนกรีต มวลเบาเสริมเหล็กในลักษณะการทดสอบแบบแนวนอนเพื่อหาค่าการรับน้ำหนักมากที่สุดก่อน การเกิดรอยแตก เนื่องจากข้อจำกัดในการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับการติดตั้งทำได้ยากและ ใช้ต้นทุนสูง



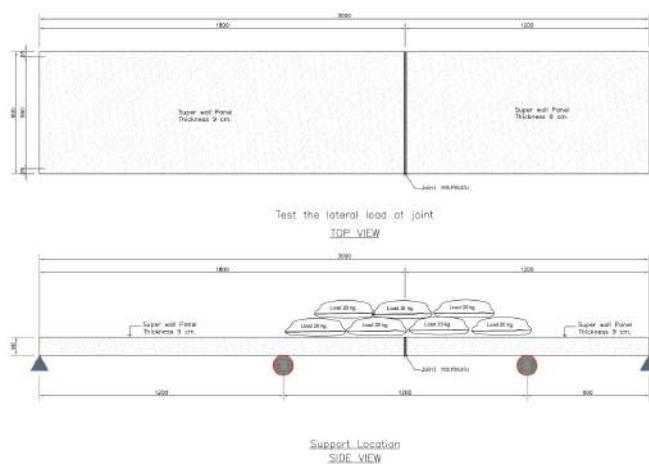
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายรูปแบบการจัดวางน้ำหนักบรรทุก



### 3.2.3.3 การเลือกประเภทและตำแหน่งจุดรองรับในแบบจำลองการทดสอบ

จากการวิเคราะห์การติดตั้งของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่มีการใช้ในปัจจุบัน แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กมีรูปแบบการติดตั้งที่มีการยึดรั้งที่บริเวณหัวและท้ายของแผ่นคอนกรีตมวลเบา และมีการเสริมเหล็ก Shear key เชื่อมระหว่างแผ่น อย่างไรก็ตามการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในลักษณะพฤติกรรมที่วางในระนาบแนวนอนไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมการรับแรงที่เกิดขึ้นจริงได้ อันเนื่องมาจากน้ำหนักของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเอง จึงได้ทำการกระจายจุดรองรับให้น้ำหนักของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กส่งผลต่อรอยต่อให้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถพฤติกรรมของการวางจุดรองรับได้โดยจำลองพฤติกรรมการยึดรั้งด้วยเหล็ก Dowel ที่บริเวณหัวและท้ายแผ่น เป็นจุดรองรับแบบ Pin-support ที่บริเวณปลายแผ่นผนังคอนกรีตด้านที่ไม่มีรอยต่อ และได้จำลองจุดที่มีการเสริมเหล็ก Shear key ที่รอยต่อระหว่างแผ่น เป็นจุดรองรับแบบ Roller support ในระยะการวางห่างจากรอยต่อ 60 cm

จากข้อมูลข้างต้นสามารถวิเคราะห์รูปแบบการทดสอบและการวางจุดรองรับได้ดังต่อไปนี้ การทดสอบเป็นในรูปแบบการวางแผ่นผนังคอนกรีตในแนวนอนขนาดความยาว 1.80 เมตรและ 1.20 เมตรมาต่อกัน เสริมจุดรองรับที่ปลายด้านที่ไม่มีรอยต่อด้วย Pin support และเสริมจุดรองรับห่างจากรอยต่อ 60 cm ทั้งสองด้านด้วย Roller Support ซึ่งจะทำให้การวางน้ำหนักกระจายลงบนระหว่าง Roller support ทั้งสองอันโดยมีพื้นที่รับแรงเท่ากับ  $0.72 \text{ m}^2$



รูปที่ 3.3 ภาพรูปแบบการจัดวางจุดรองรับและขนาดแผ่นผนังคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.2.3.4 การจัดวางตำแหน่งเหล็ก

ระยะหุ้มคอนกรีตเหล็กเสริม ข้อกำหนดของทางวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ได้กำหนดคอนกรีตที่ไม่สัมผัสกับดินหรือไม่ถูกแดดถูกฝนและมีขนาดเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มม. หรือเล็กกว่า ต้องมีระยะหุ้มคอนกรีตน้อยสุด 2 ซม. จึงได้เลือกวางเหล็กฝังลงไปจากแผ่น 2 ซม.

## 3.2.4 ออกแบบการเก็บข้อมูลการทดสอบ

### 3.2.4.1 การเลือกขอบเขตของค่าการจดบันทึกน้ำหนักบรรทุก

จากการทดสอบจะแสดงผลของแรงที่แผ่นคอนกรีตมวลเบาสามารถรับได้ โดยจะพิจารณาแรงที่สามารถรับได้ถึงจุด First crack เพียงเท่านั้น เนื่องจากการในการใช้งานจริงกับสิ่งก่อสร้าง ผู้ใช้งานไม่สามารถยอมให้เกิดรอยแตกร้าวจากการใช้งานเพื่อความมั่นใจในความปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจะแสดงผลของน้ำหนักที่แผ่นคอนกรีตสามารถรับได้โดยพิจารณาถึงจุด First Crack เพียงเท่านั้น



รูปที่ 3.4 ภาพการเกิดรอยแตกในแผ่นคอนกรีตมวลเบาที่ First Crack

### 3.2.4.2 การบันทึกตำแหน่งร่องรอยการแตก

จากการทดสอบที่ได้ทำการเพิ่มน้ำหนักจนแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจนเกิดรอยแตก ซึ่งรอยแตกที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทนั่นคือ รอยแตกที่รอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก, และรอยแตกที่ไม่ได้เกิดขึ้นที่รอยต่อก็คือแตกที่บริเวณตัวแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

### 3.2.4.3 การบันทึกการโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

จากสถานะการใช้งานที่จะมีแรงกระทำไปแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กทำให้เกิดการโก่งตัวขึ้น จึงได้ทำการจดบันทึกค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นและนำไปเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจและรู้สึกปลอดภัยขณะใช้งาน

### 3.2.5 ดำเนินการทดสอบ

ดำเนินการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเชื่อมรอยต่อตามที่ได้ออกแบบการทดสอบและเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

### 3.2.6 พิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบรูปแบบการเชื่อมต่อในรอยต่อที่มีการเสริมเหล็กเดี่ยวที่แตกต่างกันออกไปเพื่อรูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในแนวตั้งที่ให้ค่าการรับแรงดัดใกล้เคียงหรือเทียบเท่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีรอยต่อแผ่นให้ได้มากที่สุดโดยใช้วัสดุให้ต่ำที่สุด

### 3.2.7 สรุปผลและอภิปรายผลการทดสอบ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าการเสริมเหล็กเดี่ยวที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีการต่อแผ่น เพื่อนำรูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นไปใช้งานจริงและอ้างอิงเป็นมาตรฐานการติดตั้งต่อไปในอนาคต

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

จากการทดสอบที่ต้องการวัดค่าการโก่งตัวของแผ่นคอนกรีต โดยได้เลือกเครื่องมือ Dial gauge เพื่อทำการตรวจวัดซึ่งมีความละเอียดเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตรและสามารถวัดค่าได้สูงสุด 25 มิลลิเมตร

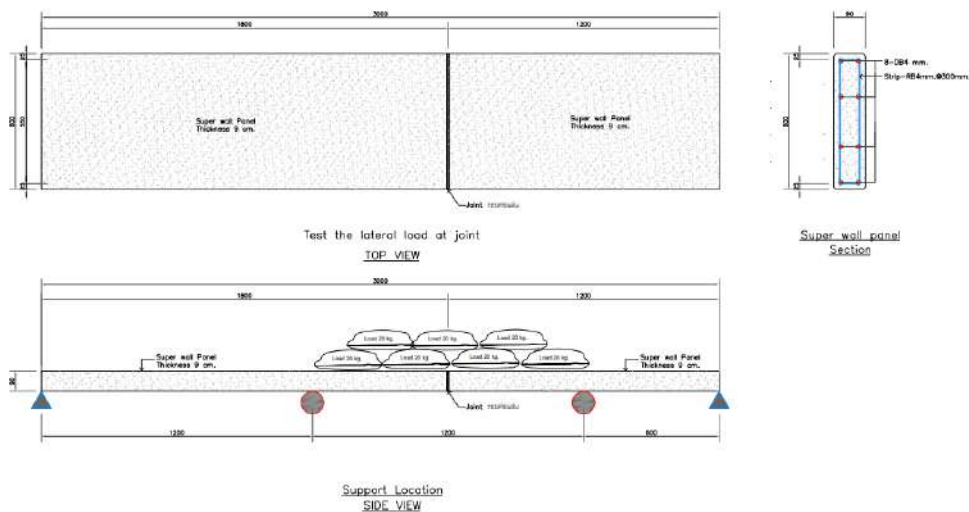


รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายเครื่องมือวัดค่าการโก่งตัวที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.4 รูปแบบชิ้นตัวอย่างการทดสอบ

#### 3.4.1 ชิ้นทดสอบชนิดไม่มีการเสริมเหล็กในรอยต่อ

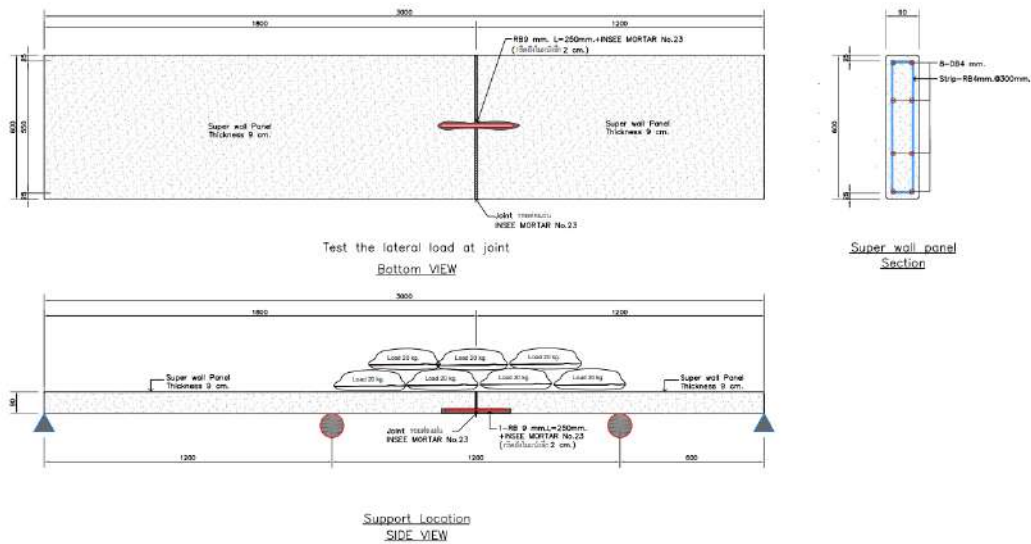
(No Steel Reinforcement With Joint: NSWJ)



รูปที่ 3.6 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 1 (NSWJ)

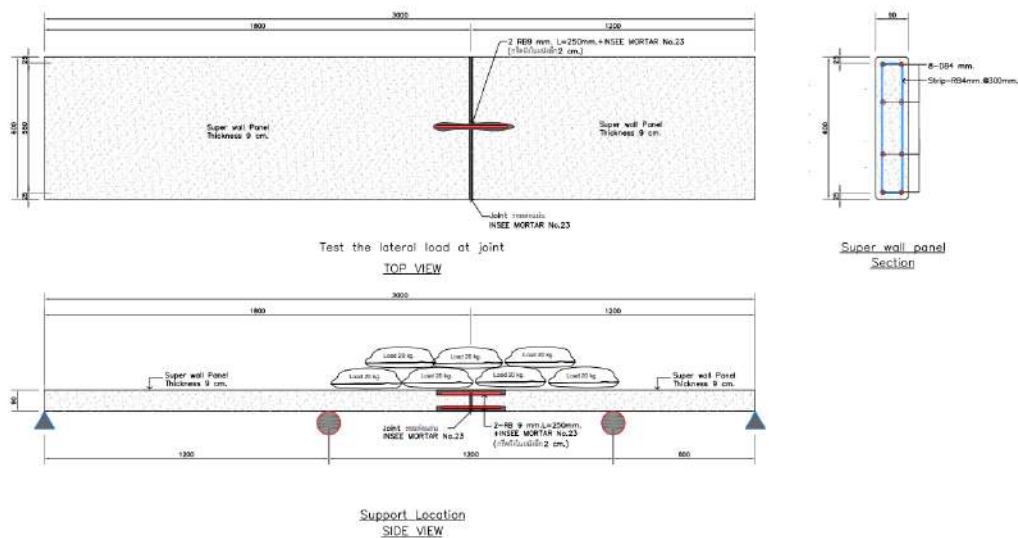
#### 3.4.2 ชิ้นการทดสอบชนิดมีเสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 1 ท่อน

(One Bottom Steel Reinforcement: 1BS)



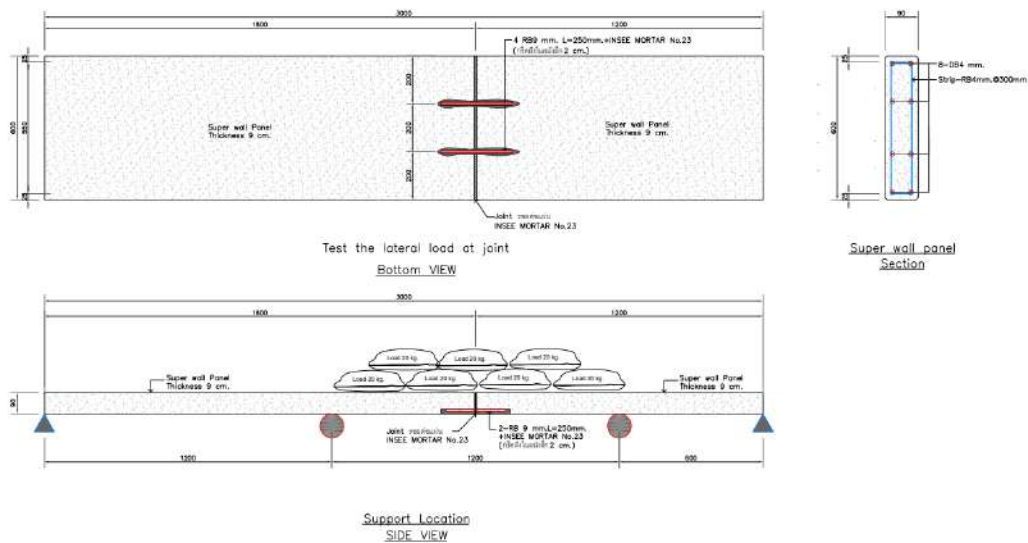
รูปที่ 3.7 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 2 (1BS)

3.4.3 ชั้นการทดสอบชนิดที่มีเสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน  
(One Top & Bottom Steel Reinforcement: 1TBS)



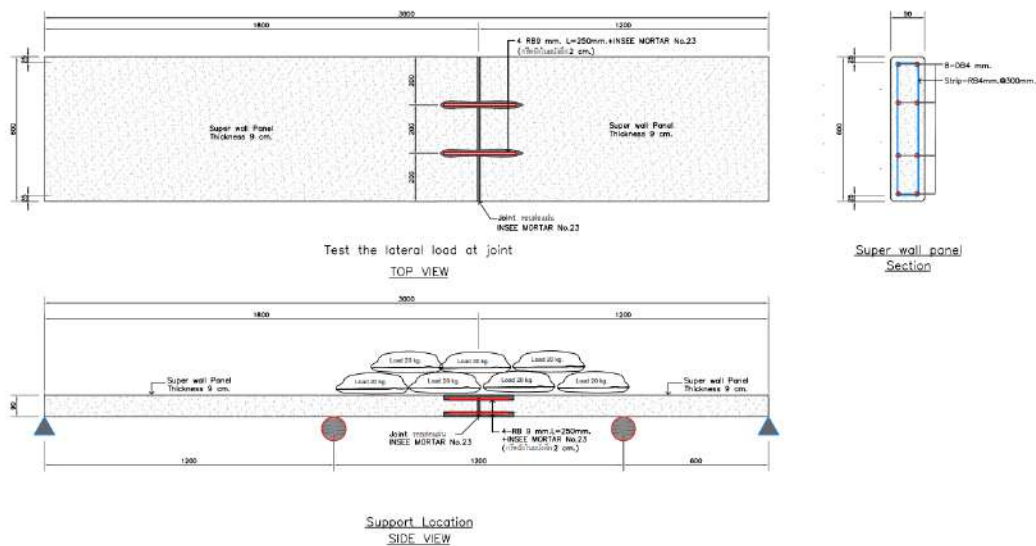
รูปที่ 3.8 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 3 (1TBS)

3.4.4 ชั้นการทดสอบชนิดที่มีเสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 2 ท่อน  
(Two Bottom Steel Reinforcement: 2BS)



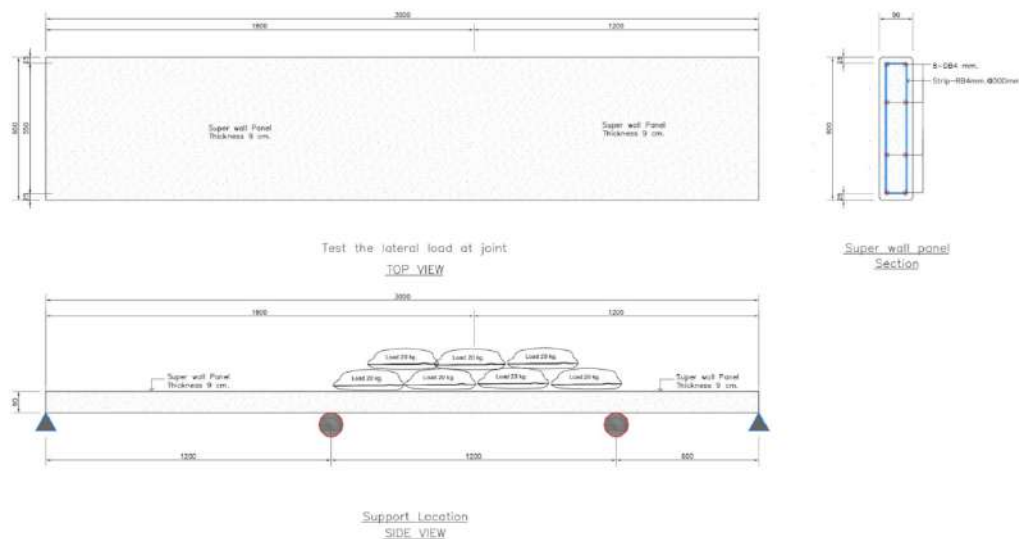
รูปที่ 3.9 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 4 (2BS)

3.4.5 ชั้นการทดสอบชนิดที่มีเสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 2 ท่อน  
(Two Top & Bottom Steel Reinforcement: 2TBS)



รูปที่ 3.10 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 5 (2TBS)

3.4.6 ชั้นการทดสอบแผ่นคอนกรีตยาว 3.00 ม. ชนิดไม่มีรอยต่อ  
(No Steel Reinforcement, No joint: NSNJ)



รูปที่ 3.11 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 6 (NSNJ)

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาแผ่นคอนกรีตมวลเบาให้การเชื่อมรอยต่อมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าแผ่นคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่มีรอยต่อ การทดสอบชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาได้แบ่งตามลักษณะตำแหน่งการเสริมเหล็กและปริมาณเหล็กที่ใช้ โดยมีชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ชิ้นงาน ประกอบไปด้วย

1. ชนิดไม่มีเหล็กในรอยต่อ (No Steel Reinforcement with Joint: NSWJ)
2. เสริมเหล็กเดียวด้านล่างระหว่างแผ่น 1 ท่อน (One Bottom Steel Reinforcement: 1BS)
3. เสริมเหล็กเดียวด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน  
(One Top & Bottom Steel Reinforcement: 1TBS)
4. เสริมเหล็กเดียวด้านล่างระหว่างแผ่น 2 ท่อน (Two Bottom Steel Reinforcement: 2BS)
5. เสริมเหล็กเดียวด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 2 ท่อน  
(Two Top & Bottom Steel Reinforcement: 2TBS)
6. แผ่นคอนกรีตมวลเบายาว 3.00 ม. ชนิดไม่มีรอยต่อ  
(No Steel Reinforcement, No Joint: NSNJ)



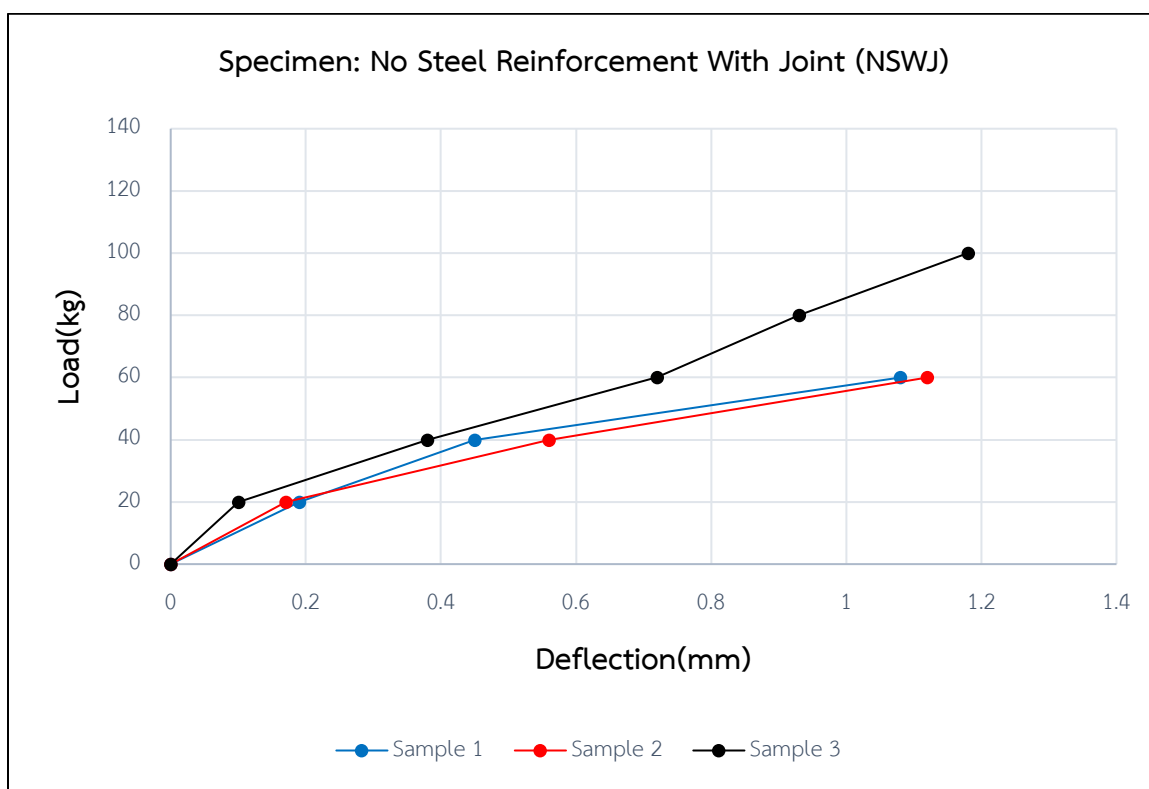
## 4.1 ผลการทดสอบ

### 4.1.1 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 1

ขั้นการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีการเสริมเหล็กเดียวในรอยต่อ (No Steel Reinforcement With Joint: NSWJ) จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโก่งตัวของรูปแบบ NSWJ

	Load at first crack (kg)	Deflection(mm)
Specimen No.1	60	1.08
Specimen No.2	60	1.12
Specimen No.3	100	1.18



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 1 (NSWJ)



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSWJ ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSWJ ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSWJ ตัวอย่างที่ 3

#### 4.1.2 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 2

ขึ้นการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดเสริมเหล็กเดียวด้านล่างระหว่างแผ่น 1 ท่อน (One Bottom Steel Reinforcement (1BS) จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโก่งตัวของรูปแบบ 1BS

	Load at first crack (kg)	Deflection(mm)
Specimen No.1	300	2.53
Specimen No.2	240	2.67
Specimen No.3	200	3.12



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 2 (1BS)



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1BS ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1BS ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1BS ตัวอย่างที่ 3

### 4.1.3 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 3

ขึ้นการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดเสริมเหล็กเดียวด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน (One Top & Bottom Steel Reinforcement: 1TBS) จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโก่งตัวของรูปแบบ 1TBS

	Load at first crack (kg)	Deflection(mm)
Specimen No.1	300	3.06
Specimen No.2	320	2.34
Specimen No.3	400	3.00



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 3 (1TBS)



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1TBS ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1TBS ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 1TBS ตัวอย่างที่ 3

#### 4.1.4 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 4

ขึ้นการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดเสริมเหล็กเดียวด้านล่างระหว่างแผ่น 2 ท่อน (Two Bottom Steel Reinforcement: 2BS) จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโก่งตัวของรูปแบบ 2BS

	Load at first crack (kg)	Deflection(mm)
Specimen No.1	320	3.04
Specimen No.2	260	2.86
Specimen No.3	420	3.58



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 4 (2BS)



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2BS ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2BS ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2BS ตัวอย่างที่ 3



#### 4.1.5 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 5

ขึ้นการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดเสริมเหล็กเดี่ยวด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 2 ท่อน (Two Top & Bottom Steel Reinforcement: 2TBS) จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโก่งตัวของรูปแบบ 2TBS

	Load at first crack (kg)	Deflection(mm)
Specimen No.1	360	3.12
Specimen No.2	400	3.13
Specimen No.3	240	2.10



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 5 (2TBS)



รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2TBS ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2TBS ตัวอย่างที่ 2



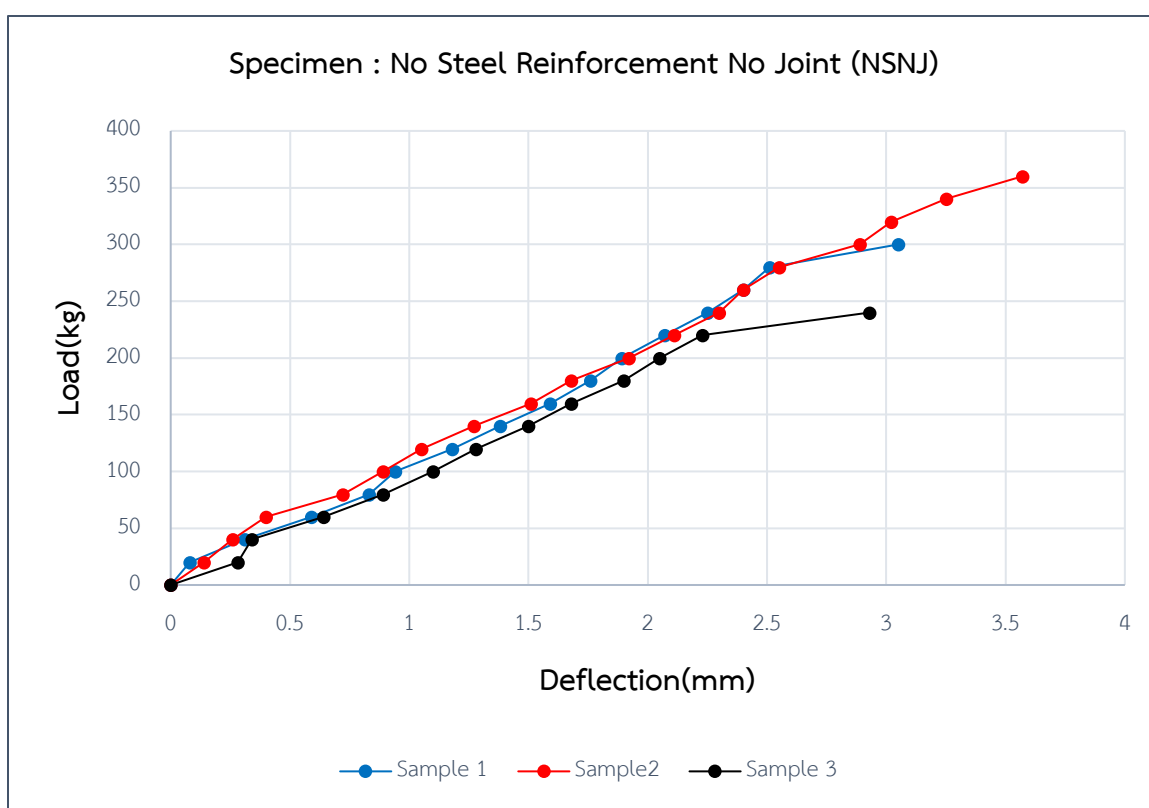
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ 2TBS ตัวอย่างที่ 3

#### 4.1.6 ผลการทดสอบรูปแบบการทดสอบที่ 6

ขึ้นการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กยาว 3.00 ม. ชนิดไม่มีรอยต่อและไม่มีเสริมเหล็กเดี่ยว (No reinforced steel No joint : NSNJ) จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้.

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแสดงค่าน้ำหนักและค่าโก่งตัวของรูปแบบ NSNJ

	Load at first crack (kg)	Deflection(mm)
Specimen No.1	300	3.05
Specimen No.2	360	3.57
Specimen No.3	240	2.93



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบที่ 6 (NSNJ)



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSNJ ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSNJ ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายรอยแตกของรูปแบบ NSNJ ตัวอย่างที่ 3

## 4.2 รายละเอียดของผลการทดสอบ

### 4.2.1 ลักษณะตำแหน่งและรายละเอียดการเกิดรอยแตก (Crack behavior)

ตารางที่ 4.7 ลักษณะบริเวณที่เกิดรอยแตกของแต่ละรูปแบบการเชื่อมรอยต่อ

Specimen case	Sample	Crack Behavior	
		Crack at joint	Crack at panel
No Steel Without Joint	1		X
	2		X
	3		X
No Steel With Joint	1	X	
	2	X	
	3	X	
One Bottom Steel	1		X
	2	X	
	3		X
One Top & Bottom Steel	1		X
	2	X	
	3		X
Two Bottom Steel	1		X
	2		X
	3	X	
Two Top & Bottom Steel	1		X
	2		X
	3		X

จากตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเกิดรอยแตกร้าวที่รอยต่อมีการเชื่อมต่อที่มีประสิทธิภาพโดยการเสริมเหล็กเดือยให้มีขนาดและปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงและไม่เกิดการแตกร้าวที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อชนิดที่มีการเสริมเหล็กเดือยเข้าไปจะมีความแข็งแรงมากกว่าการเชื่อมต่อที่ไม่มีเหล็กเดือยเห็นได้จาก One Bottom Steel กับ No Steel With Joint ที่เมื่อเสริมเหล็กเดือยเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนจากการเกิดรอยแตกที่บริเวณรอยต่อเป็นการเกิดรอยแตกที่บริเวณแผ่นผนังคอนกรีตแทน ซึ่งวิธีเชื่อมต่อที่ดีที่สุดคือการเชื่อมต่อด้วย Two Top & Bottom Steel ซึ่งไม่เกิดการแตกร้าวที่บริเวณรอยต่อเลย แต่ถึงอย่างนั้นการเชื่อมต่อด้วยวิธีการนี้จะเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองวัสดุและแรงงานมากที่สุด ทำให้อาจจะไม่เหมาะสมกับการใช้งานหน้างานจริงและใช้ต้นทุนที่สูง

#### 4.2.2 ค่าการเกิดโก่งตัวสูงสุดช่วงเวลาที่เกิดรอยแตก

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเทียบกับมาตรฐาน มอก.1510-2541

Specimen case	Sample	Load (kg)	Deflection (mm)	Span length (mm)	Allowable Deflection(mm)	Condition
No steel without joint	1	300	3.05	1200	4.00	'Pass'
	2	360	3.57	1200	4.00	'Pass'
	3	240	2.93	1200	4.00	'Pass'
No steel with joint	1	60	1.08	1200	4.00	'Pass'
	2	60	1.12	1200	4.00	'Pass'
	3	100	1.18	1200	4.00	'Pass'
One Bottom Steel	1	300	2.53	1200	4.00	'Pass'
	2	240	2.67	1200	4.00	'Pass'
	3	200	3.12	1200	4.00	'Pass'
One Top & Bottom Steel	1	300	3.06	1200	4.00	'Pass'
	2	320	2.34	1200	4.00	'Pass'
	3	400	3.00	1200	4.00	'Pass'
Two Bottom Steel	1	320	3.04	1200	4.00	'Pass'
	2	260	2.86	1200	4.00	'Pass'
	3	420	3.58	1200	4.00	'Pass'
Two Top & Bottom Steel	1	360	3.12	1200	4.00	'Pass'
	2	400	3.13	1200	4.00	'Pass'
	3	240	2.10	1200	4.00	'Pass'

Reference Test: TIS 1510-2541 (Allowable Deflection  $\leq L/300$ )

จากการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 6 รูปแบบการเสริมเหล็ก รูปแบบละ 3 ตัวอย่างได้ผลสรุปค่าการเกิดการโก่งตัวที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TIS 1510-2541) ที่ได้กำหนดให้ค่าการโก่งตัวที่ยอมรับได้ไม่เกินระยะ  $L/300$  ซึ่งในการทดสอบตัวอย่างทั้งสิ้น 18 ตัวอย่างให้ค่าการโก่งตัวที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

### 4.2.3 ค่ารับน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.9 สรุปค่ารับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเทียบกับมอก.1510-2541

Specimen case	Sample	Load (kg)	Area m <sup>2</sup>	Load N/m <sup>2</sup>	Minimum Load(N/m <sup>2</sup> )	Condition
No Steel without Joint	1	300	0.72	4088	500	'Pass'
	2	360	0.72	4905	500	'Pass'
	3	240	0.72	3270	500	'Pass'
No Steel with Joint	1	60	0.72	818	500	'Pass'
	2	60	0.72	818	500	'Pass'
	3	100	0.72	1363	500	'Pass'
One Bottom Steel	1	300	0.72	4088	500	'Pass'
	2	240	0.72	3270	500	'Pass'
	3	200	0.72	2725	500	'Pass'
One Top & Bottom Steel	1	300	0.72	4088	500	'Pass'
	2	320	0.72	4360	500	'Pass'
	3	400	0.72	5450	500	'Pass'
Two Bottom Steel	1	320	0.72	4360	500	'Pass'
	2	260	0.72	3543	500	'Pass'
	3	420	0.72	5723	500	'Pass'
Two Top & Bottom Steel	1	360	0.72	4905	500	'Pass'
	2	400	0.72	5450	500	'Pass'
	3	240	0.72	3270	500	'Pass'

จากการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 6 รูปแบบการเสริมเหล็กเดี่ยว รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลสรุปค่าการรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 500 นิวตันต่อตารางเมตรซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TIS 1510-2541) ที่ได้กำหนดให้ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำไว้ โดยในการทดสอบตัวอย่างทั้งสิ้น 18 ตัวอย่างให้ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกผ่านเกณฑ์ทุก

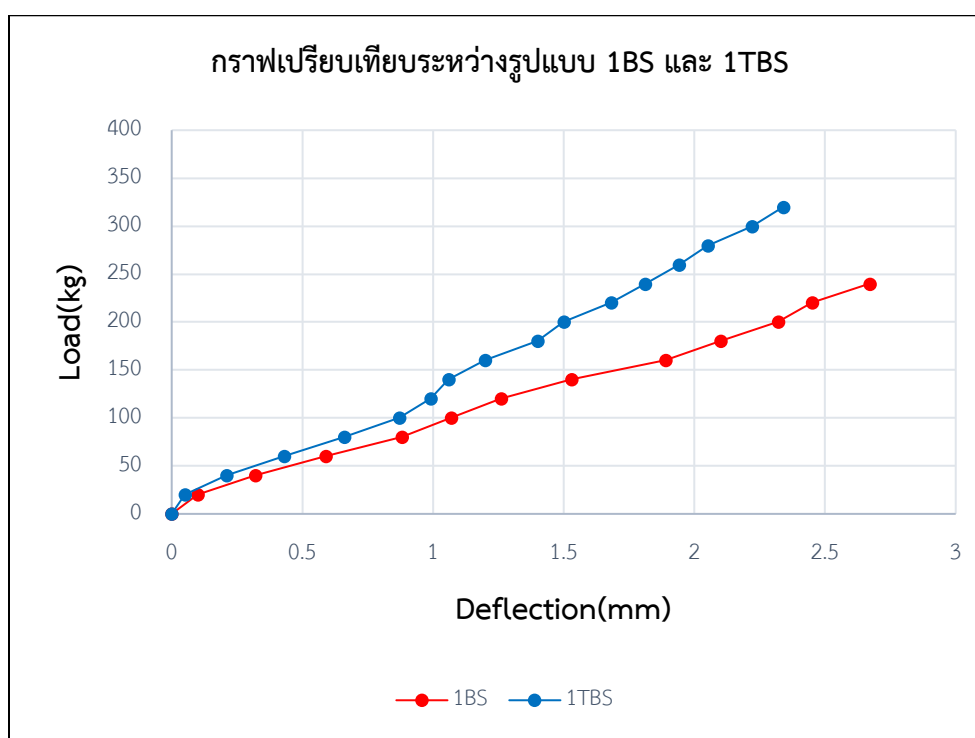


ตัวอย่าง นอกจากนี้ในชั้นตัวอย่างที่เสริมเหล็กเดียวในรอยต่อสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่า 1600 นิวตันต่อตารางเมตรอีกด้วย

#### 4.3 อภิปรายผลการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้

##### 4.3.1 การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้ของรูปแบบ 1BS กับ 1TBS

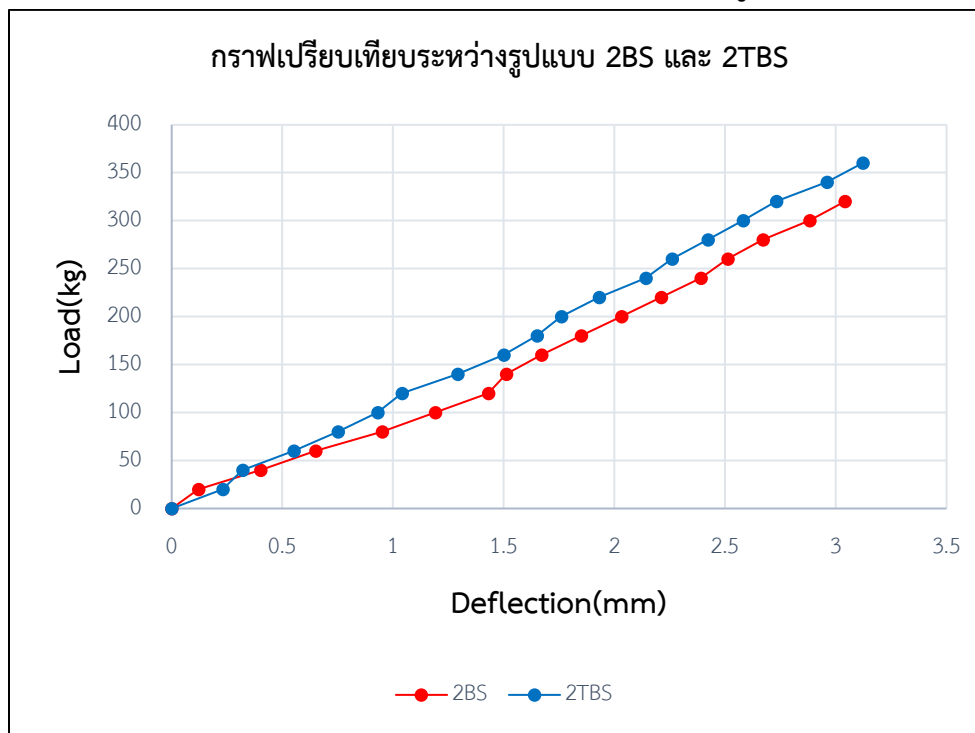
การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้ทั้ง 6 รูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นรวมทั้งสิ้น 18 ชั้นตัวอย่างซึ่งได้ทำการคัดเลือกค่ามัธยฐานมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1BS และ 1TBS

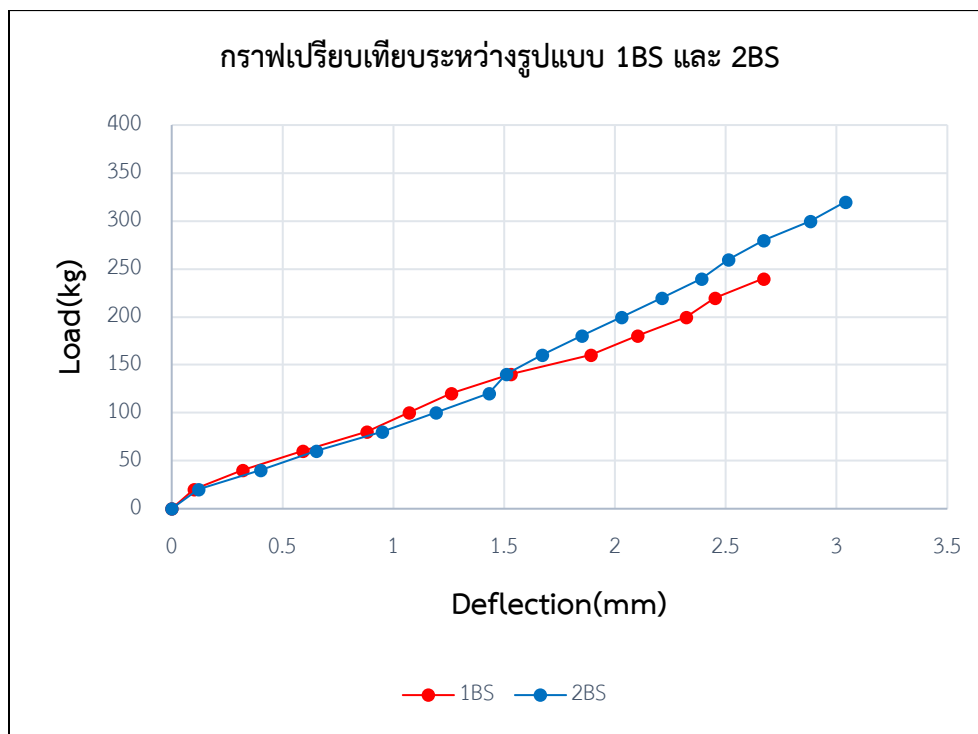
จากกราฟสามารถเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของรูปแบบที่ใส่เหล็กเดียวเพียง 1 ท่อน คือระหว่าง 1 Bottom Steel และ 1 Top Bottom Steel ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบ 1 Top Bottom Steel มีค่าการโก่งตัวที่น้อยกว่า 1 Bottom Steel เพราะว่าความแข็ง (Stiffness) ของแผ่นคอนกรีตที่มีการเชื่อมต่อในรูปแบบ 1 Top Bottom มีค่ามากกว่า และ รูปแบบ 1 Top Bottom Steel สามารถรับน้ำหนัก Uniform Load ได้มากกว่ารูปแบบ 1 Bottom Steel

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้ของรูปแบบ 2BS กับ 2TBS



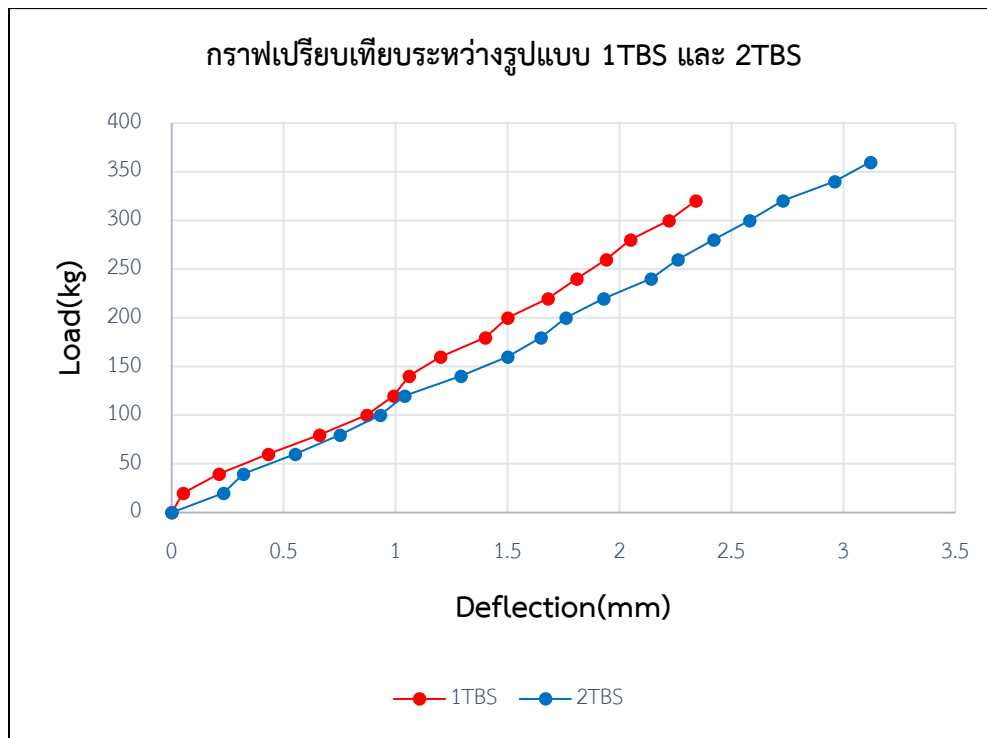
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 2BS และ 2TBS

จากกราฟสามารถเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของรูปแบบที่ใส่เหล็กเดียว 2 ท่อน คือระหว่าง 2 Bottom Steel และ 2 Top Bottom Steel ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบ 2 Bottom Steel มีค่าการโก่งตัวที่ใกล้เคียงกับ 2 Top Bottom Steel และ รูปแบบ 2 Top Bottom Steel สามารถรับน้ำหนัก Uniform Load ได้ใกล้เคียงกับ 2 Bottom Steel



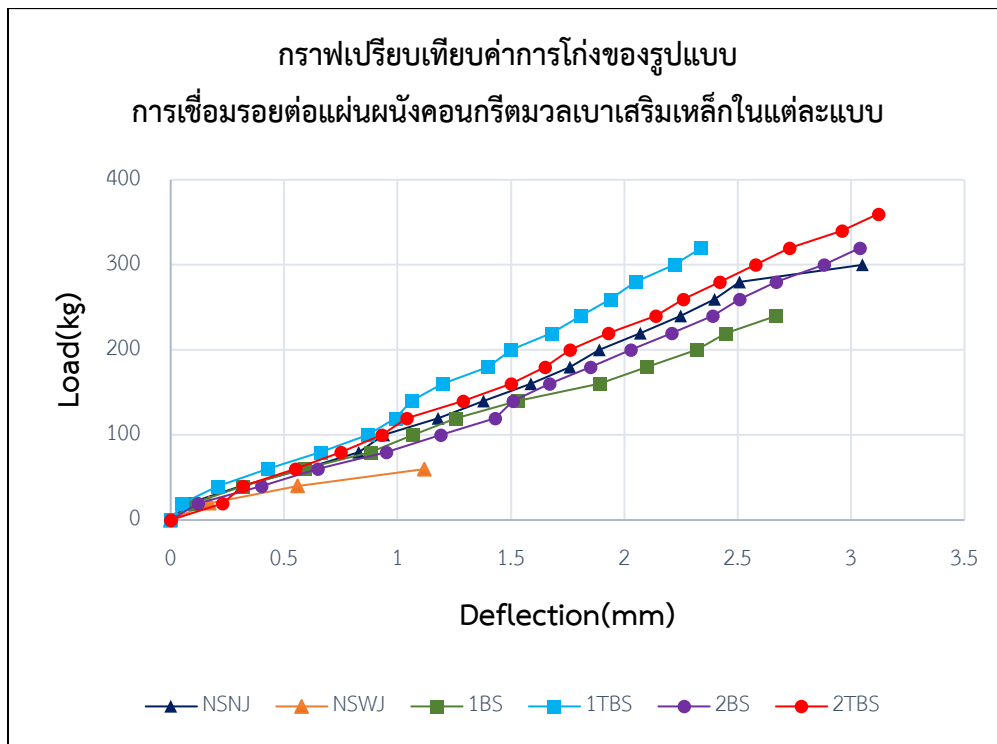
**รูปที่ 4.27** ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1BS และ 2BS

จากกราฟสามารถเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของรูปแบบที่ใส่เหล็กเดียว 1 ท่อนและ 2 ท่อน คือระหว่าง 1 Bottom Steel และ 2 Bottom Steel ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบที่มีการเสริมเหล็กเดียว 2 ท่อนคือ 2 Bottom Steel สามารถรับแรง Uniform Load ได้มากกว่าการเสริมเหล็กแบบ 1 Bottom Steel เนื่องจากการเสริมเหล็กเดียว 2 ท่อนสามารถช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรง (Stiffness) ได้มากกว่าการเสริมเหล็กเดียว 1 ท่อน



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1TBS และ 2TBS

จากกราฟสามารถเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของรูปแบบที่ใส่เหล็กเดียว 1 ท่อนและ 2 ท่อน คือระหว่าง 1 Top Bottom Steel และ 2 Top Bottom Steel ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบที่มีการเสริมเหล็กเดียว 2 ท่อนคือ 2 Bottom Steel สามารถรับแรง Uniform Load ได้มากกว่าการเสริมเหล็กเดียวแบบ 1 Top Bottom Steel เนื่องจากการเสริมเหล็กเดียว 2 ท่อนสามารถช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรง (Stiffness) ได้มากกว่าการเสริมเหล็กเดียว 1 ท่อน



**รูปที่ 4.29** ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของทั้ง 6 รูปแบบ

จากกราฟ Load-Deflection ของ 6 รูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก สามารถแสดงให้เห็นว่า รูปแบบ 1 Top Bottom Steel Reinforcement มีค่าความโก่งตัวที่น้อยที่สุดและรูปแบบ 2 Top Bottom Steel Reinforcement สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด รูปแบบ 1 Top Bottom Steel Reinforcement มีค่า First Crack Load ที่ใกล้เคียงกับรูปแบบ No Steel Without Joint

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารอยต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กให้สามารถเพิ่มความสูงของแผ่นได้โดยที่มีประสิทธิภาพการรับแรงเทียบเท่าชนิดไม่มีรอยต่อ ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำงานประเภทอาคารสูงได้ดีไม่ว่าจะเป็นคอนโดมิเนียม อาคารสำนักงาน หรืออาคารสาธารณะต่างๆ อีกทั้งยังช่วยในด้านการลดการสูญเสียวัสดุที่เกิดความเสียหายได้โดยไม่ต้องนำไปผ่านกระบวนการผลิตซ้ำ จากงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงการรับแรงดัดของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กรูปแบบต่างๆ ประกอบไปด้วยแผ่นตัวอย่างจำนวน 6 รูปแบบการเชื่อมรอยต่อ รูปแบบละ 3 ตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 18 ตัวอย่าง พบว่า การเชื่อมรอยต่อการรับแรงของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้น เมื่อมีการเสริมเหล็กเดี่ยวเข้าไปที่รอยต่อทำให้ตัวแผ่นผนังคอนกรีตสามารถรับแรงได้มากขึ้นสังเกตได้จากการตำแหน่งการเกิดรอยแตกที่ไม่อยู่ในระนาบของรอยต่อ นอกจากนี้แผ่นคอนกรีตยังมีพฤติกรรมเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าเมื่อเสริมเหล็กเดี่ยวเข้าไปมากขึ้นก็ย่อมต้องรับแรงได้มากขึ้นนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่ารูปแบบการเสริมเหล็กเดี่ยวที่ให้กำลังการรับแรงใกล้เคียงกับแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีรอยต่อมากที่สุด คือ ขึ้นการทดสอบเสริมเหล็กเดี่ยวด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน (One Top & Bottom Steel Reinforcement) ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ค่าการรับแรงดัดได้ใกล้เคียงกับแผ่นผนังคอนกรีตชนิดไม่มีรอยต่อมากที่สุด เนื่องจากทำการเสริมเหล็กเดี่ยวรับแรงทั้งสองด้านเพื่อรับแรงที่อาจเกิดขึ้นทั้งสองฝั่งของผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก นอกจากนี้ยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ตามมาตรฐานที่กำหนดและให้ค่าการโก่งตัวที่ต่ำที่สุด

#### 5.2 ข้อจำกัดในการทำโครงการ

จากการทดสอบการวางถุงปูนบนแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก เชื่อมรอยต่อ มีข้อจำกัดในการอ่านค่าจาก Dial Guage เนื่องจากการติดตั้ง Dial Guage เพื่อวัดค่าความโก่งตัวเนื่องจากการรับแรงจากถุงปูนจำเป็นต้องติดตั้งภายใต้แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก จึงไม่สามารถอ่านค่าจาก Dial Guage และจดบันทึกได้โดยตรง เนื่องจากมีพื้นที่ในการอ่านค่าจากเข็มหน้าปัดไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงทำการแก้ไขปัญหาด้วยการถ่าย Dial Guage ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นจึงนำไปอ่านค่าจาก Dial Guage ภายหลัง อีกทั้งไม่สามารถทำการทดสอบจนถึงจุดวิบัติได้เนื่องจากจะทำให้ Dial gauge ได้รับความเสียหาย

### 5.3 แนวทางในการทำวิจัยขั้นต่อไป

จากการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก นั้นได้ศึกษาเกี่ยวกับการโก่งตัวของแผ่นคอนกรีตและการรับน้ำหนักบรรทุกที่จะนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการเสริมกำลังการรับแรงที่รอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก ให้ได้สามารถรับแรงได้เทียบเท่าหรือดีกว่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก ชนิดไม่มีรอยต่อ ซึ่งการทดสอบนั้นได้ทำการจำลองโมเดลในลักษณะการวางตัวราบลงบนจตุรรองรับและวางน้ำหนักลงบนแผ่นคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบ

การทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก ที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบการรับแรงดัดในการตรวจสอบพฤติกรรมการรับแรงและด้วยข้อจำกัดทางด้านพื้นที่และอุปกรณ์การทดสอบ จึงคิดว่ามีแนวทางที่ควรพัฒนาในการทำวิจัยขั้นต่อไป

1. พิจารณาระยะการวางจตุรรองรับที่แตกต่างกัน เพื่อพิจารณาผลของการวางจตุรรองรับในการโก่งตัวและรับน้ำหนักบรรทุก
2. ทำการยกชุดทดสอบขึ้นเพื่อให้มีพื้นที่การทำงานสะดวกยิ่งขึ้นและปรับปรุงการวางจตุรรองรับให้สามารถเลื่อนได้อีกทั้งทำให้มีความแข็งแรงและได้ระนาบเดียวกัน
3. จัดทำอุปกรณ์ป้องกันเครื่องมือตรวจวัด (Dial gauge) เพื่อให้สามารถทดสอบได้ถึงกำลังประลัยของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก โดยอุปกรณ์ไม่ได้รับความเสียหายจากการกดทับ
4. วิเคราะห์การเกิดรอยแตกที่เกิดขึ้นตามน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้น
5. พิจารณาการรับแรงเฉือนที่มีผลมาจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวในแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

## บรรณานุกรม

- Barbara Szudrowicz, G. Z. (2018). Sound insulation performance of aerated concrete walls .
- Irwan Nuryana, H. F. (2021). Flexure and Vibration Performance Analysis of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Slab.
- Keyvani, A. (2014). Thermal performance and Fire resistance of autoclaved aerated concrete exposed humidity conditions.
- Khaied A. Soudski, J. S. (1996). Horizontal connection for Precast Concrete Shear panels under cyclic shear loading.
- Raghav Tandon, S. M. (2021). Shear and tensile bond strengths of autoclaved aerated concrete(AAC) masonry with different mortar mixtures and thickness. *Journal of Engineering Issues and Solutions*.
- Ramin Vaghei, F. H. (2014). Evaluate Performance of Precast Concrete wall to wall connection.
- Tianjun Zhang, J. D. (2020). Experimental Study on Shear Behavior of Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Slab. *Journal of Physics: Conference Series*.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2542, ธันวาคม 28). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.). Retrieved from สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.): [https://tisi.go.th/website/standardlist/list\\_measures](https://tisi.go.th/website/standardlist/list_measures)



ภาคผนวก

ตารางที่ A.1 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ NSWJ

Load	Deflection(mm)		
(kg)	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	0	0	0
20	0.19	0.17	0.1
40	0.45	0.56	0.38
60	1.08	1.12	0.72
80			0.93
100			1.18

ตารางที่ A.2 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1BS

Load	Deflection(mm)		
(kg)	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	0	0	0
20	0.07	0.1	0.13
40	0.29	0.32	0.43
60	0.45	0.59	0.73
80	0.75	0.88	1.01
100	0.86	1.07	1.23
120	1.05	1.26	1.47
140	1.24	1.53	1.99
160	1.43	1.89	2.39
180	1.59	2.1	2.78
200	1.72	2.32	3.12
220	1.93	2.45	
240	2.07	2.67	
260	2.21		
280	2.39		
300	2.53		

ตารางที่ A.3 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 1TBS

Load	Deflection(mm)		
(kg)	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	0	0	0
20	0.16	0.05	0.11
40	0.35	0.21	0.24
60	0.66	0.43	0.53
80	0.9	0.66	0.79
100	1.13	0.87	0.91
120	1.28	0.99	1.13
140	1.5	1.06	1.34
160	1.99	1.2	1.59
180	2.11	1.4	1.76
200	2.35	1.5	1.89
220	2.49	1.68	2.07
240	2.61	1.81	2.25
260	2.7	1.94	2.41
280	2.86	2.05	2.6
300	3.06	2.22	2.77
320		2.34	2.9
340			3.11
360			3.19
380			3.36

ตารางที่ A.4 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 2BS

Load	Deflection(mm)		
(kg)	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	0	0	0
20	0.12	0.05	0.09
40	0.4	0.33	0.32
60	0.65	0.58	0.58
80	0.95	1.05	0.91
100	1.19	1.09	1
120	1.43	1.32	1.22
140	1.51	1.55	1.42
160	1.67	1.79	1.63
180	1.85	1.95	1.79
200	2.03	2.12	1.95
220	2.21	2.35	2.13
240	2.39	2.52	2.31
260	2.51	2.86	2.45
280	2.67		2.59
300	2.88		2.74
320	3.04		2.89
340			3.04
360			3.15
380			3.29
400			3.45
420			3.58

ตารางที่ A.5 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ 2TBS

Load	Deflection(mm)		
(kg)	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	0	0	0
20	0.23	0.15	0.13
40	0.32	0.26	0.22
60	0.55	0.48	0.28
80	0.75	0.78	0.32
100	0.93	0.93	0.4
120	1.04	1.04	0.61
140	1.29	1.21	0.9
160	1.5	1.39	1.15
180	1.65	1.59	1.44
200	1.76	1.7	1.69
220	1.93	1.86	1.95
240	2.14	1.98	2.1
260	2.26	2.18	
280	2.42	2.27	
300	2.58	2.45	
320	2.73	2.6	
340	2.96	2.76	
360	3.12	2.85	
380		3.06	
400		3.13	

ตารางที่ A.6 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวของรูปแบบ NSNJ

Load	Deflection(mm)		
(kg)	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	0	0	0
20	0.08	0.14	0.28
40	0.31	0.26	0.34
60	0.59	0.4	0.64
80	0.83	0.72	0.89
100	0.94	0.89	1.1
120	1.18	1.05	1.28
140	1.38	1.27	1.5
160	1.59	1.51	1.68
180	1.76	1.68	1.9
200	1.89	1.92	2.05
220	2.07	2.11	2.23
240	2.25	2.3	2.93
260	2.4	2.4	
280	2.51	2.55	
300	3.05	2.89	
320		3.02	
340		3.25	
360		3.57	

## อิทธิพลของเหล็กเดือยที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กต่อพฤติกรรมการรับแรงดัด

### The influence of dowel bars at the joints between reinforced lightweight concrete panels on the bending behavior

ณัฐวรรณ รัตกิจนาร<sup>1</sup> เตชิต พรสุขเกษม<sup>2</sup> วิฑิต ปานสุข<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

#### บทคัดย่อ

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเริ่มถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องการแรงงานคนในการทำงานมาก เนื่องจากแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กช่วยในการลดระยะเวลาและปริมาณแรงงานในการติดตั้ง กำหนดขอบเขตของงานและวางเป้าหมายในการทำงานได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถควบคุมคุณภาพวัสดุให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด ในขณะที่เกี่ยวกับการขนส่งเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษาแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กก่อให้เกิดความเสียหาย นอกจากนี้การใช้งานในอาคารสูงที่มีความสูงต่อชั้นที่จำเป็นต้องมีการต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในแนวตั้ง ยังคงเป็นข้อจำกัดที่ทางผู้ศึกษาเล็งเห็น บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนารอยต่อของคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กให้สามารถต่อแผ่นในแนวตั้งได้ช่วยให้สามารถลดการสูญเสียวัสดุที่หน้างานและเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานให้มากยิ่งขึ้น โดยได้อาศัยมาตรฐานการทดสอบตามสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมาเป็นแนวทางในการทดสอบและเปรียบเทียบค่าการทดสอบที่ได้กับค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงดัดและพฤติกรรมการรับแรงดัดของแต่ละรูปแบบในการเชื่อมต่อเพื่อนำมาหารูปแบบการเชื่อมต่อที่เหมาะสมและให้ค่าการรับแรงดัดใกล้เคียงหรือเทียบเท่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแผ่นเต็มชนิดไม่มีรอยต่อ

คำสำคัญ : แผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก; รอยต่อระหว่างแผ่นในแนวตั้ง; การทดสอบการรับแรงดัด

#### Abstract

Reinforced lightweight concrete wall panels are increasingly being used in large construction projects that require a significant amount of manual labor. These panels help reduce the time and labor needed for installation, allowing for precise project scope and goal setting, and ensuring material quality meets specified standards. However, transportation, handling, and storage of the panels can cause damage. Additionally, using these panels in high-rise buildings, where vertical jointing is necessary due to the height of each floor, remains a challenge. This research paper aims to present methods for developing the vertical joints of reinforced lightweight concrete panels to minimize material loss on-site and enhance operational efficiency. The study follows testing standards set by the Thai Industrial Standards Institute, comparing test results with the standard values. The tests show the panels' flexural strength and behavior under different joint configurations, helping to identify the most suitable connection method that provides flexural strength comparable to or equivalent to seamless reinforced lightweight concrete panels.

Keywords: Reinforced lightweight concrete panels; Vertical joints between panels; Flexural Test

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันค่าแรงงานและวัสดุมีต้นทุนที่สูงขึ้นอีกทั้งเวลาที่เป็นสิ่งที่ไม่สามารถซื้อคืนกลับมาได้ การก่อสร้างอาคารบ้านเรือนแบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมมาก คือ การก่ออิฐมวลเบาหรืออิฐมวลเบาแล้วทำการฉาบปูน ซึ่งมีกระบวนการในการทำงานมากตั้งแต่ การก่ออิฐ การผูกเหล็ก การเข้าไม้แบบ ทำเสาเอ็นและทับหลัง กระบวนการทั้งหมดนี้ล้วนแล้วแต่ต้องใช้แรงงานคนและเวลาอย่างมาก

อิฐมวลเบาหรืออิฐมวลเบาจำเป็นต้องอาศัยแรงงานคนจำนวนมาก ประกอบเป็นงานที่ต้องอาศัยทักษะในการทำงานเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพ อีกทั้งวัสดุมีขนาดเล็กที่เกิดการแตกหักและเกิดการเสียหายของวัสดุ ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้น แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจึงเป็นทางเลือกสำหรับการก่อสร้างที่ต้องการความรวดเร็ว มีคุณภาพและเกิดความเสียหายที่หน้างานน้อย เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการควบคุมจากโรงงานที่มีมาตรฐานและขึ้นคอนกรีตมีขนาดใหญ่แต่น้ำหนักเบาทำให้ติดตั้งได้อย่างง่าย อย่างไรก็ตามแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กยังคงมีข้อจำกัดในด้านของความสูงต่อแผ่นที่ไม่มากนักเนื่องมาจากการขนส่งที่มีขีดจำกัด แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจึงจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อแผ่นคอนกรีตเพื่อให้อุปสรรคต่อความต้องการแก่ผู้ใช้งานอาคาร นอกจากนี้การเก็บรักษาแผ่นผนังคอนกรีตที่โรงงานผลิตเป็นระยะเวลาานส่งผลให้แผ่นผนังมีความเสียหายบริเวณหัวและท้ายแผ่นส่งผลให้ความสูงต่อแผ่นที่ใช้งานลดลง การพัฒนารอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจึงจะช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้เพื่อเป็นการลดการเกิดขยาะจากอุตสาหกรรมก่อนกระบวนการผลิตซึ่งลดการเกิดคาร์บอนลงได้อย่างมาก

โครงการนี้จึงมีเป้าหมายที่จะพัฒนารอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเพื่อรองรับการใช้งานที่มีความต้องการใช้กำแพงที่มีความสูงมากกว่าอาคารปกติทั่วไปและเป็นลดการเกิดการสูญเสียโดยการใชแผ่นคอนกรีตที่แตกหักมาต่อกันเพื่อให้ได้ความสูงที่ต้องการ ทางผู้ศึกษาได้ทำการจำลองการรับแรงในรูปแบบต่างๆเพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงดัดและศึกษาพฤติกรรมของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเพื่อหาแบบการเชื่อมต่อแผ่นที่เหมาะสมที่สุดในด้านความสามารถการรับแรงดัดเมื่อเทียบกับแผ่นผนังคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ

## 2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาพัฒนารอยต่อของชิ้นส่วนแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กด้วยข้อมูลทางเทคนิคของวัสดุและมาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้อง ผู้ศึกษาได้รวบรวมข้อมูลต่างๆจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 2.1 แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

#### 2.1.1 กำลังอัดของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

กำลังอัดของวัสดุคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุรูพรุนและคุณภาพของสารยึดเกาะเป็นหลัก อิทธิพลของโครงสร้างวัสดุรูพรุนมีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญมากกว่าการเจริญเติบโตของสารยึดเกาะ โดยรูพรุนที่มีขนาดเล็กจะทำให้วัสดุคอนกรีตมวลเบามีความแข็งแรง การเพิ่มความหนาแน่นจะสัมพันธ์กับกำลังการรับแรงอัดที่สูงขึ้น ซึ่งความหนาแน่นที่ลดลงสามารถทำให้รูพรุนเพิ่มในโครงสร้าง ส่งผลกับความ

แข็งแรง การศึกษาด้วยวิธีที่หลากหลายสามารถทราบได้ถึงวิธีการปรับปรุงกำลังรับแรงอัด อย่างเช่น การแทนที่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วยสารเติมแต่งอย่างถั่วลอย ซีโอไรท์ธรรมชาติหรือถั่วถั่วหิน สารเติมแต่งเหล่านี้สามารถเพิ่มคุณสมบัติ เช่น ความแข็งแรงทางกายภาพ โครงสร้างจุลภาค และการนำความร้อน ความสมดุลระหว่างความรูพรุนและความแข็งแรงเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่นการกระจายขนาดรูพรุน คุณภาพของสารยึดเกาะและพารามิเตอร์การประมวลผล โดยปัจจัยต่างๆเหล่านี้พิจารณาเพื่อคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาที่แตกต่างกัน กำลังรับแรงอัดของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 10 เมกะปาสคาล ในขณะที่ความหนาแน่นแตกต่างกันไปตั้งแต่ 300 ถึง 1,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

#### 2.1.2 การกันความร้อนและการกันเสียงของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

คอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี เนื่องจากค่านำความร้อนของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.1-0.7 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ที่ 400-1700 กก./ลบ.ม. โดยประสิทธิภาพการเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กดีกว่าคอนกรีตทั่วไปเป็นอย่างมาก ซึ่งค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 1.6-2.0 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความหนาแน่นสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน โดยความหนาแน่นที่ต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่า ในด้านการเป็นฉนวนกันเสียง คอนกรีตมวลเบาจะเป็นฉนวนกัน เสียงที่ดีขึ้นขึ้นกับปัจจัยในหลาย ๆ อย่าง (Barbara Szudrowicz, 2018)

#### 2.1.3 การกันไฟของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

ผลกระทบของความชื้นและอุณหภูมิบนผนังคอนกรีตมวลเบา ส่งผลต่อความสามารถในการทนไฟได้ของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กสืบเนื่องจากการทนไฟจากการทดสอบ ทำการทดสอบอุณหภูมิตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ไปถึง 1000 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 900 องศาเซลเซียส บล็อก AAC จะมีสีเข้มและน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดจะลดลง แต่ที่ 1000 องศาเซลเซียส บล็อกคอนกรีตมีสีขาวสว่างกว่า น้ำหนักที่ลดลงและกำลังรับแรงอัดนี้บ่งชี้ถึงการสูญเสียมวลและคุณสมบัติทางกล เนื่องจากการการสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยคอนกรีตมวลเบาสามารถทนไฟที่ 1100 องศาเซลเซียสได้นานกว่า 4 ชั่วโมง ทำให้สามารถป้องกันและจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้ (Keyvani, 2014)

#### 2.1.4 การซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กมีการดูดซึมน้ำที่สูง เนื่องจากมีรูพรุนสูงและมีช่องทางระบายน้ำที่กว้างขวาง การดูดซึมน้ำจะเกิดขึ้นผ่าน capillary holes ที่มีรูพรุนเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และ ช่องระบายอากาศใหญ่ รูซึมชนเหล่านี้ประกอบด้วยรูซึมชนเปิดซึ่งเชื่อมต่อกัน โดย



ความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงของ AAC มีผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างและประสิทธิภาพเชิงความร้อนในโครงการก่อสร้าง

### 2.1.5 ประสิทธิภาพในการทำงานของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนี้สามารถติดตั้งที่หน้างานได้ง่ายกว่าการก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากสามารถติดตั้งได้เลยยังมีน้ำหนักที่เบาและไม่จำเป็นต้องมีการก่ออิฐ อีกทั้งแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กยังเป็นงานระบบแห้ง ส่งผลให้หน้างานนั้นมีความสะอาด ทำให้สามารถทำงานในขั้นตอนอื่นได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

### 2.2 รอยแตกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

การเชื่อมต่อระหว่างผนังคอนกรีตสำเร็จรูประหว่างแผ่นมีความสำคัญอย่างมากต่อการถ่ายเทน้ำหนักภายในระบบผนังสำเร็จรูป ซึ่งรอยต่อมีความสำคัญในด้านการลดการแตกร้าวที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างคอนกรีตมวลเบาหรือยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างคอนกรีตโดยไม่เกิดแรงต้าน โดยสามารถแบ่งประเภทของรอยต่อออกได้เป็น 3 ประเภทคือ รอยต่อหดตัว รอยต่อแยกหรือรอยต่อขยายตัว รอยต่อก่อสร้าง รอยแตกร้าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านล่างของผนังและตามบริเวณที่เป็นรอยต่อประสานและจุดเชื่อมต่อเนื่องจากการรับน้ำหนักในระนาบด้านข้าง การทำความเข้าใจถึงโหมดความล้มเหลวของโหนดต่างๆมีความสำคัญสำหรับการออกแบบการเชื่อมต่อในโครงสร้างผนังคอนกรีตเพื่อความปลอดภัยและความทนทานภายใต้โหนดแบบต่างๆ

### 2.3 ความสามารถในการรับแรงเฉือน

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นมีความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดได้ดี แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ต่ำเหมือนกับคอนกรีตทั่วไป ซึ่งการพิจารณาแรงเฉือนที่จะเกิดกับรอยต่อในแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นมีความซับซ้อนต่ำเนื่องจากใช้เป็นผนังภายในและผลจากแรงในแนวอนค่อนข้างน้อย การพิจารณาแรงเฉือนในแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบไม่มีรอยต่อ การรับแรงเฉือนจากการทดสอบของ Tianjun (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542) Zhang และ Jinzhen Dai (Tianjun Zhang, 2020) พบว่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นสามารถเกิดการวิบัติอันเนื่องมาจากแรงเฉือนได้ 3 รูปแบบ ประกอบไปด้วย Shear Compression Failure, Bond Failure และ Diagonal Tension Failure ซึ่งแยกกันประเภทการวิบัติโดย Shear span ratio คือ ค่า Shear span / Effective height of section( $h_0$ ) และ Shear span คือ ค่าต่ำสุดของระยะที่เกิดแรงกดบนแผ่นเหล็กและขอบของจตุรกรรับ การเกิดการวิบัติแบบ Shear Compression นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อ shear ratio = 2.5 การเกิดการวิบัติแบบ Diagonal Tension จะเกิดขึ้นเมื่อ Shear ratio = 5.0 การเกิดการวิบัติแบบ Bond Failure นั้นเกิดขึ้นได้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากจะไปเกิดการวิบัติรูปแบบอื่นก่อน

### 2.4 ความสามารถในการรับแรงดัด

การต้านทานแรงดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กนั้นสามารถทดสอบได้จากการจำลองน้ำหนักบรรทุกที่

เกิดขึ้นจริงซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C78 ที่กำหนดเกี่ยวกับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดของคอนกรีตโดยให้น้ำหนักกระทำเป็นจุด 3 ตำแหน่ง ซึ่งได้มีงานวิจัยของ Irwan Nuryana และ Husnul Fikri (Irwan Nuryana, 2021) ที่ได้ทำการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่มีรอยต่อขนาด 2000x600x125 mm จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบการรับแรงโมเมนต์ดัด (average principal load) 4.48 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร หรือ 460 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

### 2.5 มาตรฐานการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีช่องอากาศ-อบไอน้ำได้ถูกกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1510-2541 ซึ่งแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ออกเป็น 4 ประเภท คือ แผ่นผนังภายนอกใช้สำหรับทำผนังภายนอกอาคาร, แผ่นผนังภายในใช้สำหรับทำผนังภายในอาคาร, แผ่นหลังคาใช้สำหรับกรุหลังคา, และแผ่นพื้นใช้สำหรับทำพื้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

ประเภท แผ่นผนังภายนอก แผ่นผนังภายใน ที่มีขนาดความกว้าง 600 มม. และความยาวไม่เกิน 6000 มม. ต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 500, 800, 1200, 1600 นิวตันต่อตารางเมตร ตามแต่ขนาดความหนาของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในช่วง 75-200 มม.

### 2.6 มาตรฐานการทดสอบการโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบา

#### 2.6.1 วิธีทดสอบ

ใช้แรงกด (P) กดลงบนคานทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการโก่งตัวที่จุดศูนย์กลางในอัตรา 0.05 มิลลิเมตร ต่อวินาที โดยประมาณจนถึงค่าสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก วัดค่าแรงกดและค่าการโก่งตัว เพื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัว หมายเหตุ น้ำหนักบรรทุกเท่ากับแรงกด (P) ทหารด้วยพื้นที่แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบา ( $b \times L$ )

#### 2.6.2 การรายงานผล

รายงานค่าการโก่งตัวของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดซึ่งได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัว และน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก โดยมีคุณลักษณะที่ต้องการ คือ การโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบา จะต้องมีความไม่เกิน  $L/300$  (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

## 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

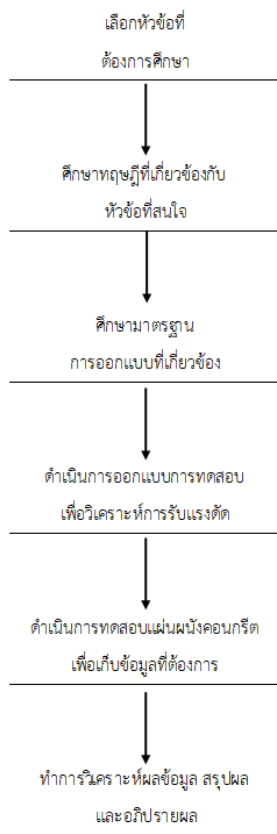
ผู้วิจัยดำเนินงานวิจัยโดยการออกแบบการทดสอบจากมาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้อง โดยการวิเคราะห์การเกิดขึ้นของแรงกระทำและจุดรองรับที่เหมาะสมเพื่อหาการรูปแบบการเชื่อมรอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กให้มีประสิทธิภาพการรับแรงดัดเทียบเท่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีรอยต่อและประหยัดมากที่สุด

### 3.1 ศึกษาลักษณะข้อมูลที่ต้องการทำการเก็บค่าจากการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ตัวแปรที่ต้องทำการศึกษาจากการทดสอบและวางแผนการเก็บค่าที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการเชื่อมรอยต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่แตกต่างกันทั้ง 6 รูปแบบ โดยมีรายละเอียด

การข้อมูลดังนี้ แรงที่กระทำต่อแผ่นคอนกรีต ค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้น ความยาวของแผ่นคอนกรีตมวลเบา ความยาวของเหล็กเสริมเดียว รูปแบบของเหล็กเดียว รูปแบบและตำแหน่งของการเกิดการวิบัติ ระยะเวลาฝังของเหล็กเดียว ตำแหน่งของจตุรรองรับ ประเภทของจตุรรองรับ

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 1 แผนภาพการดำเนินโครงการ

#### 3.2.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเหล็กรับแรงเฉือนระหว่างรอยต่อ

ค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวทางการปฏิบัติงานในปัจจุบัน ในการเสริมกำลังให้แก่แผ่นผนังไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการก่ออิฐฉาบปูน ผนังสำเร็จรูป (Pre cast) หรือผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบรูปแบบการเสริมกำลังของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

#### 3.2.2 ศึกษามาตรฐานการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบา

ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานการทดสอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาออกแบบการทดสอบให้ใกล้เคียงหรือเป็นมาตรฐานมากที่สุด

#### 3.2.3 ออกแบบการทดสอบผนังแผ่นคอนกรีตมวลเบาเชื่อมรอยต่อ

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงเพื่อจำลองรูปแบบการทดสอบให้เสมือนจริงมากที่สุด ทั้งการออกแบบจตุรรองรับ การ

วางน้ำหนักบรรทุก แนวทางการวางเหล็กรอยต่อและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลสรุปแนวทางการทดสอบ

#### 3.2.3.1 ความยาวของแผ่นคอนกรีตที่นำมาทดสอบ

จุดประสงค์ของการดำเนินงานวิจัยคือ เพื่อทำการเสริมกำลังของแผ่นคอนกรีตที่มีรอยต่อให้สามารถรับแรงได้มากกว่าหรือเทียบเท่ากับแผ่นคอนกรีตมวลเบาชนิดที่ไม่มีรอยต่อ จากการศึกษาพบว่าอาคารทั่วไปมีความสูงระหว่างชั้นที่จำเป็นต้องมีการติดตั้งผนังในช่วงประมาณ 2.60 - 3.00 เมตร จึงได้ทำการเลือกความยาวแผ่นผนังที่ 1.80 เมตร และ 1.20 เมตรมาต่อกันซึ่งได้ความยาวรวมทั้งสิ้น 3.00 เมตร

#### 3.2.3.2 การวางน้ำหนักลงบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ

โดยทั่วไปแล้วผนังภายในหรือภายนอกอาคารทำหน้าที่รับแรงด้านข้างที่มีอิทธิพลมาจากแรงลมที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอและเท่ากัน จึงได้เลือกการศึกษารับแรงแบบ Uniform load ที่กระทำต่อแผ่นคอนกรีตมวลเบา โดยทำการจำลองการทดสอบแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในลักษณะการทดสอบแบบแนวนอนเพื่อหาค่าการรับน้ำหนักมากที่สุดก่อนการเกิดรอยแตก เนื่องจากข้อจำกัดในการทดสอบในลักษณะเดียวกับกรติดตั้งทำได้ยากและใช้ต้นทุนสูง

#### 3.2.3.3 การเลือกประเภทและตำแหน่งจตุรรองรับในแบบจำลองการทดสอบ

จากการวิเคราะห์การติดตั้งของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กที่มีการใช้ในปัจจุบัน แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กมีรูปแบบการติดตั้งที่มีการยึดรั้งที่บริเวณหัวและท้ายของแผ่นคอนกรีตมวลเบา และมีการเสริมเหล็ก Shear key เชื่อมระหว่างแผ่น อย่างไรก็ตามการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในลักษณะพฤติกรรมที่วางในระนาบแนวนอนไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมการรับแรงที่เกิดขึ้นจริงได้อันเนื่องมาจากน้ำหนักของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเอง จึงได้ทำการกระจายจตุรรองรับให้น้ำหนักของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กส่งผลต่อรอยต่อให้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถพฤติกรรมของการวางจตุรรองรับได้โดยจำลองพฤติกรรมการยึดรั้งด้วยเหล็ก Dowel ที่บริเวณหัวและท้ายแผ่นเป็นจตุรรองรับแบบ Pin-support ที่บริเวณปลายแผ่นผนังคอนกรีตด้านที่ไม่มีรอยต่อ และได้จำลองจุดที่มีการเสริมเหล็ก Shear key ที่รอยต่อระหว่างแผ่น เป็นจตุรรองรับแบบ Roller support ในระยะห่างจตุรรองรับ 60 cm จากข้อมูลข้างต้นสามารถวิเคราะห์รูปแบบการทดสอบและการวางจตุรรองรับได้ดังต่อไปนี้ การทดสอบเป็นในรูปแบบการวางแผ่นผนังคอนกรีตในแนวนอนขนาดความยาว 1.80 เมตรและ 1.20 เมตรมาต่อกัน เสริมจตุรรองรับที่ปลายด้านที่ไม่มีรอยต่อด้วย Pin support และเสริมจตุรรองรับห่างจตุรรองรับ 60 cm ทั้งสองด้านด้วย Roller Support ซึ่งจะทำการวางน้ำหนักกระจายลงบนระหว่าง Roller support ทั้งสองอันโดยมีพื้นที่รับแรงเท่ากับ 0.72 ม.<sup>2</sup>

#### 3.2.4 ออกแบบการเก็บข้อมูลการทดสอบ

##### 3.2.4.1 การเลือกขอบเขตของค่าการจذبที่ก้นน้ำหนักบรรทุก

จากการทดสอบจะแสดงผลของแรงที่แผ่นคอนกรีตมวลเบาสามารถรับได้ โดยจะพิจารณาแรงที่สามารถรับได้ถึงจุด First crack เพียงเท่านั้น

เนื่องจากการใช้งานจริงกับสิ่งก่อสร้าง ผู้ใช้งานไม่สามารถยอมให้เกิดรอยแตกร้าวจากการใช้งานเพื่อความปลอดภัยในความปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจะแสดงผลของน้ำหนักที่แผ่นคอนกรีตสามารถรับได้โดยพิจารณาถึงจุด First Crack เพียงเท่านั้น

### 3.2.4.2 การบันทึกตำแหน่งรอยร้าวการแตก

จากการทดสอบที่ได้ทำการเพิ่มน้ำหนักจนแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กจนเกิดรอยแตก ซึ่งรอยแตกที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทนั่นคือ รอยแตกที่รอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก, และรอยแตกที่ไม่ได้เกิดขึ้นที่รอยต่อก็คือแตกที่บริเวณตัวแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

### 3.2.4.3 การบันทึกการโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก

จากสภาวะการใช้งานที่จะมีแรงกระทำไปแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กทำให้เกิดการโก่งตัวขึ้น จึงได้ทำการจดบันทึกค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นและนำไปเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจและรู้สึกปลอดภัยขณะใช้งาน

### 3.2.5 ดำเนินการทดสอบ

ดำเนินการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเชื่อมรอยต่อตามที่ได้ออกแบบการทดสอบและเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

### 3.2.6 พิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบรูปแบบการเชื่อมต่อในรอยต่อที่มีการเสริมเหล็กเดียวที่แตกต่างกันออกไปเพื่อรูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กในแนวตั้งที่ให้ค่าการรับแรงดัดใกล้เคียงหรือเทียบเท่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีรอยต่อแผ่นให้มากที่สุดโดยใช้วัสดุให้ต่ำที่สุด

### 3.2.7 สรุปผลและอภิปรายผลการทดสอบ

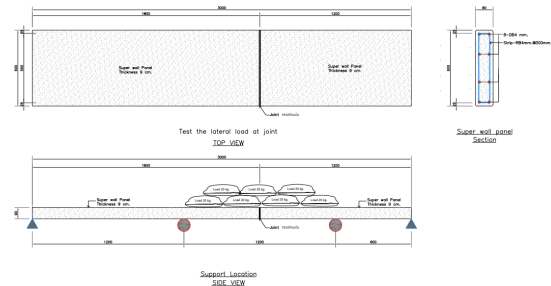
จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าการเสริมเหล็กเดียวที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กชนิดไม่มีการต่อแผ่น เพื่อนำรูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นไปใช้งานจริงและอ้างอิงเป็นมาตรฐานการติดตั้งต่อไปในอนาคต

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

จากการทดสอบที่ต้องการวัดค่าการโก่งตัวของแผ่นคอนกรีต โดยได้เลือกเครื่องมือ Dial gauge เพื่อทำการตรวจวัดซึ่งมีความละเอียดเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตรและสามารถวัดค่าได้สูงสุด 25 มิลลิเมตร

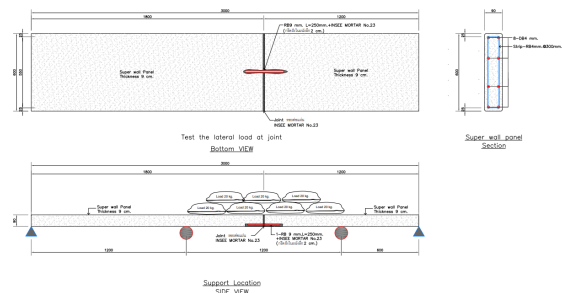
### 3.4 สรุปแบบขึ้นตัวอย่างการทดสอบ

#### 3.4.1 ไม่มีเหล็กในรอยต่อ (No Steel Reinforcement with Joint)



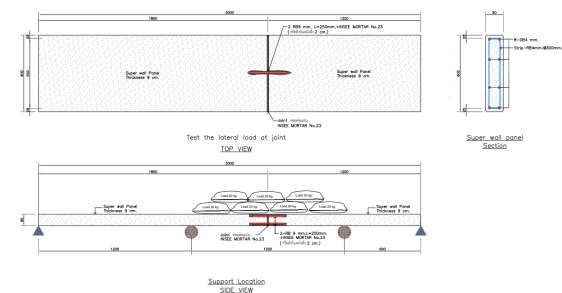
รูปที่ 2 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 1 (NSWJ)

#### 3.4.2 เสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 1 ท่อน (One Bottom Steel Reinforcement)



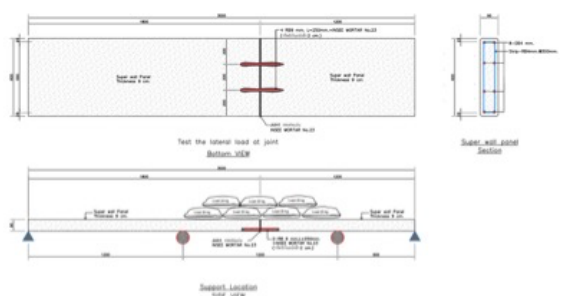
รูปที่ 3 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 2 (1BS)

#### 3.4.3 เสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน (One Top & Bottom Steel Reinforcement)



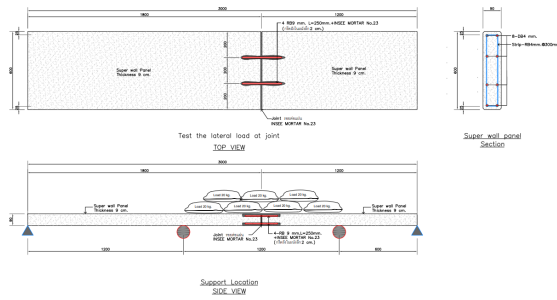
รูปที่ 4 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 3 (1TBS)

#### 3.4.4 เสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 2 ท่อน (Two Bottom Steel Reinforcement)



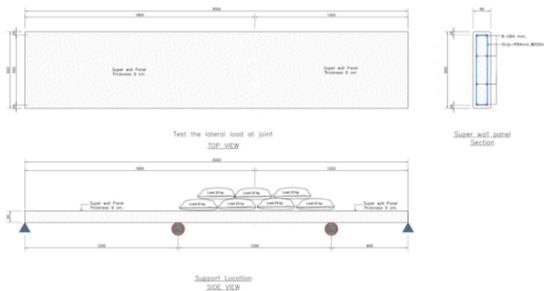
รูปที่ 5 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 4 (2BS)

3.4.5 เสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 2 ท่อน  
(Two Top & Bottom Steel Reinforcement)



รูปที่ 6 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 5 (2TBS)

3.4.6 แผ่นคอนกรีตมวลเบา 3.00 ม. ชนิดไม่มีรอยต่อ (No Steel Reinforcement, No Joint)



รูปที่ 7 ภาพจำลองรูปแบบการทดสอบที่ 6 (NSNJ)

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารอยต่อของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กเพื่อเพิ่มขีดจำกัดในการทำงาน โดยทำการทดสอบการรับกำลังผ่านโมเมนต์ดัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1510-2541) ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาให้การเชื่อมรอยต่อมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่มีรอยต่อ การทดสอบชิ้นส่วนผนังคอนกรีตมวลเบาได้แบ่งตามลักษณะตำแหน่งการเสริมเหล็กเดียวและปริมาณเหล็กที่ใช้ โดยมีชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง ตัวอย่าง 3 ชิ้นงาน ประกอบไปด้วย

- ไม่มีเหล็กในรอยต่อ (No Steel Reinforcement with Joint: NSWJ)
- เสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 1 ท่อน (One Bottom Steel Reinforcement: 1BS)
- เสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน (One Top & Bottom Steel Reinforcement: 1TBS)
- เสริมเหล็กด้านล่างระหว่างแผ่น 2 ท่อน (Two Bottom Steel Reinforcement: 2BS)

- เสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 2 ท่อน (Two Top & Bottom Steel Reinforcement: 2TBS)
- แผ่นคอนกรีตมวลเบายาว 3.00 ม. ชนิดไม่มีรอยต่อ (No Steel Reinforcement, No Joint: NSNJ)

4.1 รายละเอียดของผลการทดสอบ

4.1.1 ลักษณะตำแหน่งและรายละเอียดการเกิดรอยแตก (Crack behavior)

ตารางที่ 1 ลักษณะบริเวณที่เกิดรอยแตกของแต่ละรูปแบบการเชื่อมรอยต่อ

Specimen case	Sample	Crack Behavior	
		Crack at joint	Crack at
No Steel Without Joint	1		X
	2		X
	3		X
No Steel With Joint	1	X	
	2	X	
	3	X	
One Bottom Steel	1		X
	2	X	
	3		X
One Top & Bottom Steel	1		X
	2	X	
	3		X
Two Bottom Steel	1		X
	2		X
	3	X	
Two Top & Bottom Steel	1		X
	2		X
	3		X

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเกิดรอยแตกนั้นถ้าหากที่รอยต่อมีการเชื่อมต่อที่มีประสิทธิภาพโดยการเสริมเหล็กให้มีขนาดและปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้รอยต่อนั้นมีความแข็งแรงและไม่เกิดการแตกร้าวที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อชนิดที่มีการเสริมเหล็กเข้าไปจะมีความแข็งแรงมากกว่าการเชื่อมต่อที่ไม่มีเหล็กเห็นได้จาก One Bottom Steel กับ No Steel With Joint ที่เมื่อเสริมเหล็กเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนจากการเกิดรอยแตกที่บริเวณรอยต่อเป็นการเกิดรอยแตกที่บริเวณแผ่นคอนกรีต ซึ่งวิธีเชื่อมต่อที่ดีที่สุดคือการเชื่อมต่อด้วย Two Top & Bottom Steel ซึ่งไม่เกิดการแตกร้าวที่บริเวณรอยต่อเลย แต่ถึงอย่างนั้นการเชื่อมต่อด้วยวิธีการนี้จะป็นวิธีที่สิ้นเปลืองวัสดุและแรงงานมากที่สุดทำให้อาจจะไม่เหมาะสมกับการใช้งานงานจริงและใช้ต้นทุนที่สูง

#### 4.1.2 ค่าการเกิดโก่งตัวสูงสุดช่วงเวลาที่เกิดรอยแตก

ตารางที่ 2 สรุปค่าการโก่งตัวของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.1510-2541

Specimen case	Sample	Load (kg)	Deflection (mm)	Condition
No steel without joint	1	300	3.05	'Pass'
	2	360	3.57	'Pass'
	3	240	2.93	'Pass'
No steel with joint	1	60	1.08	'Pass'
	2	60	1.12	'Pass'
	3	100	1.18	'Pass'
One Bottom Steel	1	300	2.53	'Pass'
	2	240	2.67	'Pass'
	3	200	3.12	'Pass'
One Top Bottom Steel	1	300	3.06	'Pass'
	2	320	2.34	'Pass'
	3	400	3.00	'Pass'
Two Bottom Steel	1	320	3.04	'Pass'
	2	260	2.86	'Pass'
	3	420	3.58	'Pass'
Two Top Bottom Steel	1	360	3.12	'Pass'
	2	400	3.13	'Pass'
	3	240	2.10	'Pass'

จากการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 6 รูปแบบการเสริมเหล็ก รูปแบบละ 3 ตัวอย่างได้ผลสรุปค่าการเกิดการโก่งตัวที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TIS 1510-2541) ที่ได้กำหนดให้ค่าการโก่งตัวที่ยอมรับได้ไม่เกินระยะ  $L/300$  ซึ่งในการทดสอบตัวอย่างทั้งสิ้น 18 ตัวอย่างให้ค่าการโก่งตัวที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

#### 4.1.3 ค่ารับน้ำหนักบรรทุก

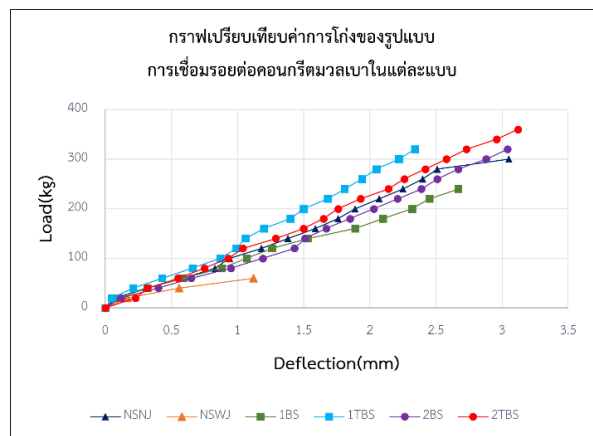
ตารางที่ 3 สรุปค่าการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับ มอก.1510-2541

Specimen case	Sample	Load N/m <sup>2</sup>	Minimum Load(N/m <sup>2</sup> )	Condition
No steel without joint	1	4088	500	'Pass'
	2	4905	500	'Pass'
	3	3270	500	'Pass'
No steel with joint	1	818	500	'Pass'
	2	818	500	'Pass'
	3	1363	500	'Pass'
One bottom steel	1	4088	500	'Pass'
	2	3270	500	'Pass'
	3	2725	500	'Pass'
One Top & Bottom steel	1	4088	500	'Pass'
	2	4360	500	'Pass'
	3	5450	500	'Pass'
Two Bottom Steel	1	4360	500	'Pass'
	2	3543	500	'Pass'
	3	5723	500	'Pass'
Two Top & Bottom Steel	1	4905	500	'Pass'
	2	5450	500	'Pass'
	3	3270	500	'Pass'

จากการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 6 รูปแบบการเสริมเหล็ก รูปแบบละ 3 ตัวอย่างได้ผลสรุปค่าการรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 500 นิวตันต่อตารางเมตรซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TIS 1510-2541) ที่ได้กำหนดให้ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำไว้ โดยในการทดสอบตัวอย่างทั้งสิ้น 18 ตัวอย่างให้ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกผ่านเกณฑ์ทุกตัวอย่าง นอกจากนี้ในชิ้นตัวอย่างที่เสริมเหล็กในรอยต่อสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่า 1600 นิวตันต่อตารางเมตรอีกด้วย

#### 4.2 อภิปรายผลการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้

##### 4.2.1 การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวและน้ำหนักที่สามารถรับได้



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของทั้ง 6 รูปแบบ

จากกราฟ Load-Deflection ของ 6 รูปแบบการเชื่อมต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก สามารถแสดงให้เห็นว่า รูปแบบ 1 Top Bottom Steel Reinforcement มีค่าความโก่งตัวที่น้อยที่สุดและรูปแบบ 2 Top Bottom Steel Reinforcement สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด รูปแบบ 1 Top Bottom Steel Reinforcement มีค่า First Crack Load ที่ใกล้เคียงกับรูปแบบ No Steel Without Joint

## บทสรุป

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารอยต่อแผ่นคอนกรีตมวลเบาให้สามารถเพิ่มความสูงของแผ่นได้โดยที่มีประสิทธิภาพการรับแรงเทียบเท่าชนิดไม่มีรอยต่อ ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำงานประเภทอาคารสูงได้ดีไม่ว่าจะเป็นคอนโดมิเนียม อาคารสำนักงาน หรืออาคารสาธารณะต่างๆ อีกทั้งยังช่วยในด้านการลดการสูญเสียวัสดุที่เกิดความเสียหายได้โดยไม่ต้องนำไปผ่านกระบวนการผลิตซ้ำ จากงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงการรับแรงของแผ่นคอนกรีตมวลเบาแบบต่างๆ ประกอบไปด้วยแผ่นตัวอย่างจำนวน 6 รูปแบบการเสริมกำลัง รูปแบบละ 3 ตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 18 ตัวอย่างพบว่า การเสริมกำลังการรับแรงของแผ่นคอนกรีตมวลเบา นั้น เมื่อมีการเสริมเหล็กเข้าไปที่รอยต่อทำให้ตัวแผ่นคอนกรีตสามารถรับแรงได้มากขึ้นสังเกตได้จากผลการตำแหน่งการเกิดรอยแตกที่ไม่อยู่ในระนาบของรอยต่อ นอกจากนี้แผ่นคอนกรีตยังมีพฤติกรรมเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าเมื่อเสริมเหล็กเข้าไปมากขึ้นก็ย่อมต้องรับแรงได้เยอะขึ้นนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่ารูปแบบการเสริมเหล็กที่ให้อำนาจการรับแรงใกล้เคียงกับแผ่นคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่มีรอยต่อมากที่สุด คือ ขึ้นการทดสอบเสริมเหล็กด้านบนและด้านล่างระหว่างแผ่น ด้านละ 1 ท่อน (One Top & Bottom Steel Reinforcement) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากทำการเสริมเหล็กรับแรงทั้งสองด้านเพื่อรับแรงที่อาจเกิดขึ้นทั้งสองฝั่งของผนังคอนกรีตมวลเบาและให้อำนาจการรับแรงเทียบเท่ากับแผ่นคอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีรอยต่อ นอกจากนี้ยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐาน (มอก.1510-2541) และให้ค่าการโก่งตัวที่ต่ำที่สุด

### กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาบัตรเล่มนี้ในระดับบัณฑิตศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร. วิจิต ปานสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรที่มีความกรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขปริญญาบัตร ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการจัดทำปริญญาบัตรจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับแหล่งข้อมูลและแหล่งการเรียนรู้สำหรับศึกษาข้อมูลเพื่อดำเนินงานวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ข้าพเจ้าได้ตั้งไว้ทุกประการ

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคน ที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา

## เอกสารอ้างอิง

- Abdullah Keyvani. (2014). Thermal performance and Fire resistance of autoclaved aerated concrete exposed humidity conditions.
- Farzad Hejazi,Hafez Taheri,Mohd Saleh Jaafer,Abang Abdullah Abang Ali Ramin Vaghei. (2014). Evaluate Performance of Precast Concrete wall to wall connection.
- Genowefa Zapotoczna Sytek,Piotr Gebarowski Barbara Szudrowicz. (2018). Sound insulation performance of aerated concrete walls .
- Jeffrey S. West,Sami H. Rizkalla,Bruce Blackett Khaied A. Soudski. (1996). Horizontal connection for Precast Concrete Shear panels under cyclic shear loading.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (28 ธันวาคม 2542). *สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.)*. เข้าถึงได้จาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.): [https://tisi.go.th/website/standardlist/list\\_measures](https://tisi.go.th/website/standardlist/list_measures)