

# การศึกษาอิทธิพลของเหล็กเสริมรอยต่อที่มีต่อกำลังรับแรงด้านข้างของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

## The study of the effect of steel reinforcement at joints on the lateral load capacity of Autoclaved Aerated Concrete Panels

นางสาว ต้นน้ำ ฤทธิสินธุ์<sup>1</sup>, นาย ปวริศ จุฑาวิตต์จรัส<sup>2</sup>, นาย ปิณณวิชญ์ จันทรรภา<sup>3</sup> และ รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

### บทคัดย่อ

จากการขยายตัวของสังคมเมืองอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว ทำให้การก่อสร้างอาคารจำเป็นต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วเพื่อให้ทันต่อความต้องการใช้งาน ดังนั้นการก่อสร้างในปัจจุบันจึงนิยมใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป เพื่อลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ซึ่งหนึ่งในชนิดที่มีการใช้งานที่แพร่หลายคือ

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ และเมื่อมีการนำไปใช้งานที่หลากหลายรวมถึงการก่อสร้างอาคารสูง การรับแรงทางด้านข้าง เช่น แรงลม จึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง เมื่อสำรวจการใช้งานพบว่า มีการใช้เหล็กเสริมบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป โดยไม่มีผลการวิจัยที่ชัดเจนเกี่ยวกับการใส่เหล็กเสริมที่รอยต่อมีส่วนช่วยในด้านกำลังรับแรงหรือไม่ จึงเป็นเหตุให้เกิดศึกษาในหัวข้อการใส่เหล็กเสริมรอยต่อช่วยเสริมให้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถต้านทานแรงด้านข้างได้ดีขึ้นจริงหรือไม่

คำสำคัญ: แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ; แรงทางด้านข้าง; เหล็กเสริมรอยต่อ

### Abstract

Due to the rapid expansion of urban society, the construction of buildings must be carried out quickly to meet the demands of usage. Therefore, in modern construction, precast concrete panels are commonly used to reduce construction time. One of the widely used types is autoclaved aerated reinforced concrete reinforced steel panel. It is important to consider the use of steel reinforcement when using in various applications, particularly those that require the resistance of lateral forces, such as wind. According to a survey, steel was introduced to reinforce joints without conclusive research to verify whether the reinforcement had a positive impact on the lateral strength of the panels. Therefore, a study

was conducted to investigate whether adding steel reinforcement helps to strengthen panels against lateral forces.

Key words: Autoclaved Aerated Concrete Wall; Lateral Force; Joint Reinforcement

### 1 บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากการขยายตัวของสังคมเมืองอย่างกว้างขวางและรวดเร็วทำให้การก่อสร้างอาคารจำเป็นต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วเพื่อให้ทันต่อความต้องการใช้งาน ดังนั้นการก่อสร้างในปัจจุบันจึงนิยมใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป เพื่อลดระยะเวลาในการก่อสร้าง วิจัยนี้จึงได้มีการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่ใช้ในการก่อสร้างผนังแทนผนังก่ออิฐ โดยแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำมีขนาด 60 x 240 x 9 เซนติเมตร แต่ละด้านของผนังจะมีเดือยตัวผู้และตัวเมียเพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมแต่ละแผ่นเข้าด้วยกัน โดยใช้ปูนอินทรียี่ห้อเบอร์ 23 ทำหน้าที่เป็นปูนกาวเชื่อมรอยต่อและใส่เหล็กเสริมข้อกลมขนาด 9 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตำแหน่ง ในรอยต่อระหว่างแผ่น แต่เนื่องด้วยมีความต้องการที่จะทราบถึงผลของความสามารถในการรับแรงด้านข้าง โดยจะทำการพิจารณาในส่วนของเหล็กเสริมรอยต่อระหว่างแผ่นผนัง ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบรอยต่อของผนังรูปแบบต่าง ๆ โดยกดแผ่นผนังในทิศทางกับพื้นเพื่อพิจารณาความสามารถในการรับแรงด้านข้างของผนัง เนื่องจากมีการนำแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปไปใช้ในการก่อสร้างอาคารสูง เช่น คอนโดมิเนียม โรงพยาบาล เป็นต้น ทำให้มีผลกระทบจากแรงด้านข้างที่เกิดจากแรงลม ทำให้มีความกังวลถึงความปลอดภัยในการทำงาน

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของวิจัย

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างและหาความสามารถในการรับแรงด้านข้างของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบ

ไอน้ำ และเพื่อศึกษาการใส่เหล็กเสริมระหว่างรอยต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

### 1.3 ขอบเขตของวิจัย

ศึกษาพฤติกรรมรับแรงดัดชันของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยทำการทดลองที่ประยุกต์มาจาก Crowd Pressure Test และ สังเกตรอยร้าวและเปรียบเทียบการโก่งตัวของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแต่ละกรณี

### 1.4 ผลลัพธ์ที่คาดหวัง

ถึงความสามารถในการรับแรงดัดชันของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำในแต่ละกรณี และ สามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ เพื่อพัฒนาการเลือกใส่เหล็กเสริมระหว่างรอยต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

## 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป

#### 2.1.1 การใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้าง

แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือชิ้นส่วนที่ถูกหล่อหรือเทในโรงงาน และนำมาใช้ในการก่อสร้าง โดยจะมีการออกแบบและผลิตไว้ล่วงหน้าตามการใช้งานและโครงสร้างที่ต้องการ การใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้างเป็นสิ่งที่พบเห็นบ่อยในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสะดวกและประหยัดเวลาในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์อื่น ๆ เช่น ลดการใช้วัสดุที่ไม่จำเป็น ลดการใช้แรงงาน ลดความเสียหายจากการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง และยังสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้อีกด้วย

ในปัจจุบันมีเปอร์เซ็นต์การใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในงานก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ เช่น อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน โรงแรม อพาร์ทเมนท์ โรงพยาบาล โรงเรียน และอื่น ๆ

ตัวอย่างเช่นในสหรัฐอเมริกาได้มีการคาดการณ์ว่า เปอร์เซ็นต์การใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้างจะเพิ่มขึ้นจากประมาณ 9.3% ในปี 2019 เป็น 10.2% ในปี 2024 และยังมีงานวิจัยกล่าวถึงการเพิ่มขึ้นของตลาดแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปในช่วงเวลา 2019-2025 ดังนั้นเป็นไปได้ว่า การใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้างยังคงเพิ่มขึ้นในอนาคตตามแนวโน้มของตลาดก่อสร้างโดยรวม

#### 2.1.2 แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ในปี ค.ศ.1881 ในประเทศสวีเดนโดย Michaclis ได้คิดค้นวัสดุก่อสร้างชนิดแรกที่ใช้ก่อด้วยไอน้ำโดยมีส่วนผสมของทราย ปูนซีเมนต์ และปูนขาว เป็นวัตถุดิบหลัก ต่อมาในปี ค.ศ 1914 ในประเทศอังกฤษ

Aylsworth ได้ทดลองทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อวัสดุก่อสร้าง โดยใช้สารก่อฟองอากาศเป็นตัวแทนทำปฏิกิริยาเคมี หลังจากนั้นประเทศสวีเดนในปี ค.ศ.1923 Eriksson ได้รวมการบ่มด้วยไอน้ำเข้ากับการเพิ่มฟองอากาศในเนื้อวัสดุ จากการพัฒนาค้นคว้าตามลำดับนี้ ขบวนการในการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณภาพเหนืออิฐและคอนกรีตจึงได้ถือกำเนิดขึ้นในปี ค.ศ.1929 ที่ประเทศสวีเดนตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

การผลิตแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำได้เริ่มขึ้นและได้รับความนิยม อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังสงครามและในปี ค.ศ. 1995 ประเทศเยอรมันได้มีการผลิต แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเพิ่มมากขึ้นทุกปี และมีการขยายกำลังการผลิตไปตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ คือ แผ่นคอนกรีตแบบ Precast ที่มีน้ำหนักเบา ประกอบด้วยทรายละเอียด ( $\text{SiO}_2$ ), Calcined Calcium Sulfate หรือ ยิปซั่ม ( $\text{CaSO}_4$ ), ปูนขาว, ซีเมนต์, น้ำ และผงอะลูมิเนียมประมาณ 0.05%–0.08% ต่อปริมาตร (ในบางประเทศใช้ Fly Ash แทนทรายละเอียด) โดยแผ่นคอนกรีตนี้จะถูกอบในเตา Autoclave ที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ทำให้ทรายละเอียดทำปฏิกิริยากับ Calcium Hydroxide ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ได้เป็น Calcium Silicate (CSH) นับล้าน ๆ ชั้น ซึ่งมีความแข็งแรงเป็นอย่างมาก มักจะอบด้วยระยะเวลา 12-14 ชั่วโมง โดยคอนกรีตจะสามารถใช้งานได้ทันทีหลังจากอบเสร็จและมีความสมบัติที่เป็นฉนวน ทนทานต่อไฟและเชื้อราได้ดี แต่เนื่องจากความหนาแน่นในแผ่นคอนกรีตที่น้อยจากฟองอากาศที่มีมากทำให้แผ่นคอนกรีตจะมี Compressive Strength ที่ต่ำ สามารถรับแรงได้ประมาณ 8,000 kPa (1,200 psi) ซึ่งเป็นประมาณ 50% ของคอนกรีตปกติ

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปที่นำมาใช้ในวิจัยนี้ ผลิตจากปูนซีเมนต์, ทรายละเอียด, ยิปซั่ม, ปูนขาว, น้ำ และสารกระจายฟองอากาศ (ผงอะลูมิเนียม) เสริมแรงด้วย Wire Mesh 4 mm. ผ่านการอบไอน้ำแรงดันและความร้อนสูงด้วยระยะเวลา 14 ชม. จากคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อรวมกับเหล็กเสริมแล้วทำให้แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปมีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น และมีความปลอดภัยสำหรับผู้อยู่อาศัย โดยแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปที่นำมาใช้

### 2.2 แรงดัดชันและการโก่งตัวของคอนกรีต

แรงดัดชัน (Lateral Force) คือแรงที่กระทำตั้งฉากกับแนวที่เหมาะสมของโครงสร้าง โดยมักจะเกิดจากแรงลม แรงแ้งน้ำ แรงโคลงเอียง แรงสั่น แรงเสียดทาน หรือแรงไหลอื่น ๆ ที่กระทำตั้งฉากกับโครงสร้าง

ในการออกแบบโครงสร้างแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป จะต้องพิจารณาคำนวณรอยต่อและแรงดัดชันเพื่อให้โครงสร้างสามารถรับแรงต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะต้องมีการใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงเพียงพอและมีความทนทานต่อแรงดัดชันด้วย

กำลังรับแรงดัดชันของแผ่นคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความหนาและความแข็งแรงของแผ่นคอนกรีตนั้น ๆ โดยทั่วไปแล้ว แผ่นคอนกรีตที่มีความหนาและความแข็งแรงมากกว่าจะสามารถรับแรงดัดชันได้มากขึ้น

ปัจจุบันสภาพสังคมเมืองที่มีพื้นที่น้อยทำให้มีการสร้างอาคารสูง จึงต้องเผชิญกับปัญหาจากแรงด้านข้างที่เกิดจากแรงลม ทำให้เกิดความเสียหายในบริเวณที่ไม่ใช่โครงสร้างหลัก เช่น กำแพง เนื่องจากไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการรับแรงด้านข้างหรือแรงกระทำใด ๆ แม้กรณีนี้ผนังอิฐก้อจะไม่ได้รับแรงกระทำจากแรงลมแต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้เกิดอันตรายได้เนื่องจากความไม่แข็งแรงของผนังอิฐก้อ จึงได้มีการนำผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปมาใช้ในงานมากขึ้น

โดยเมื่อพิจารณาถึงแรงลมที่มีการกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่แล้ว ศูนย์กลางของแรงจะอยู่ที่แนวกึ่งกลางของผนัง ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้ มีความคล้ายคลึงการกระจายแรงใน Crowd Pressure test ดังนั้นวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ Crowd Pressure test มาใช้กับแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

### 2.2 รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต

รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตมีหน้าที่ทำให้ชิ้นส่วนทางโครงสร้าง แข็งแรงขึ้น สามารถรับแรงต่อเนื่องและมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน หรืออาจทำหน้าที่เป็นช่องสำหรับเชื่อมหรือขันน๊อตของตัวต่ออื่น ๆ นอกจากนี้ ยังใช้เป็นช่องว่างเพื่อเพิ่มความสะดวกในการติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และใช้แก้ความคลาดเคลื่อนของขนาดหรือตำแหน่งของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในการก่อสร้าง และยังสามารถเป็นช่องสำหรับให้ผนังมีความอิสระในการยืดหรือหดตัว เนื่องจากความร้อนและความชื้นได้อีกด้วย

ประเภทของรอยต่อที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่

#### 2.2.1 รอยต่อแบบเปียก (Wet Joint)

รอยต่อแบบเปียกคือเป็นรอยต่อที่มีการใช้ปูนเป็นตัวเชื่อม รอยต่อแบบนี้ได้แก่ รอยต่อแบบใช้เหล็ก Dowel หรือรอยต่อระหว่างเตียงที่ใช้มอร์ตาร์ Grout โดยทั่วไปรอยต่อแบบเปียก จะใช้ในการต่อแผ่นคอนกรีตแนวตั้ง ซึ่งจะมีการใช้วัสดุประสานผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเสริมความแข็งแรง ในรอยต่อแบบเปียกจะยังไม่สามารถรับแรงต่าง ๆ ได้ทันทีต้องรอจนกว่าวัสดุประสานผสมแห้งและมีความแข็งแรงตามข้อกำหนด จึงจะเริ่มก่อสร้างต่อไปได้

#### 2.2.2 รอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint)

รอยต่อแบบแห้งคือรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตที่ไม่มีการใช้ปูนเพื่อเชื่อมต่อแผ่นคอนกรีต รอยต่อแบบนี้ได้แก่ รอยต่อแบบการใช้โบลท์ (Bolting) แบบการเชื่อม (Welding) หลังจากทำงานเสร็จแล้วจะทำการปิดรอยต่อด้วยมอร์ตาร์ และสามารถรับแรงต่าง ๆ ได้ทันที

### 2.4 ปูนมอร์ตาร์สำเร็จรูป

ปูนสำเร็จรูป หรือ ที่เรียกกันว่า ปูนมอร์ตาร์สำเร็จรูป จะเป็นปูนที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์, หินบดละเอียด และสารพิเศษ โดยจะมีการควบคุมสัดส่วนการผสมและคุณภาพของวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอและสะดวกต่อการใช้งาน ใช้งานง่ายแค่ฉีกถุงผสมน้ำก็สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องผสมทรายหรือสารเคมีเพิ่มเติม ซึ่งปูนแต่ละถุงจะแยกประเภทการใช้งานมาให้เลย ไม่ว่าจะเป็น ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับงานก่อทั่วไป, งานฉาบทั่วไป

, งานฉาบละเอียด, งานเทพรับพื้น และงานซ่อมเนกประสงค์ เป็นต้น แต่มีในขณะเดียวกัน ปูนสำเร็จรูปก็มีข้อจำกัดในการทำงานเช่นกัน คือ ปูนแต่ละถุงจะใช้ได้เฉพาะสำหรับงานนั้น ๆ ไม่สามารถนำไปใช้อย่างอื่นได้ เช่น ปูนสำเร็จรูปสำหรับงานก่อทั่วไปจะใช้สำหรับงานก่อผนังอย่างเดียว ไม่สามารถนำมาฉาบผนังได้ เป็นต้น

### 2.5 สลักรับแรงเฉือน (Shear Key)

Shear key เป็นรูปแบบของการต่อเชื่อมโครงสร้างของแผ่นคอนกรีต โดยมีลักษณะเป็นช่องเล็ก ๆ บนผิวแผ่นคอนกรีตที่ต่อกัน เพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความคงทนต่อแรงดึงและแรงอัดให้แผ่นคอนกรีตได้มากขึ้น โดย Shear key มักถูกใช้บนพื้นผิวแนวนอนของแผ่นคอนกรีตในการต่อเชื่อมกับแผ่นคอนกรีตอื่น ๆ หรือโครงสร้างเหล็กที่อยู่ภายในพื้นผิวของแผ่นคอนกรีต นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เสริมความสามารถในการรับแรงเฉือน ซึ่งในวิจัยนี้คือแรงด้านข้างที่เกิดจากแรงลม และยังเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนบนหน้าตัดของรอยต่ออีกด้วย

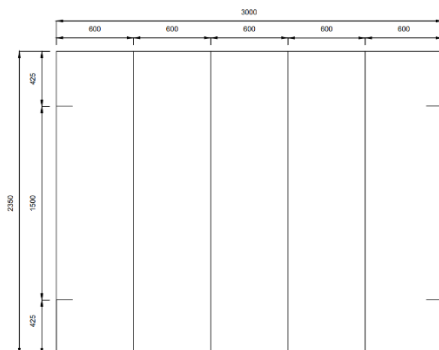
## 3 ระเบียบวิธีวิจัย

### 3.1 การติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป

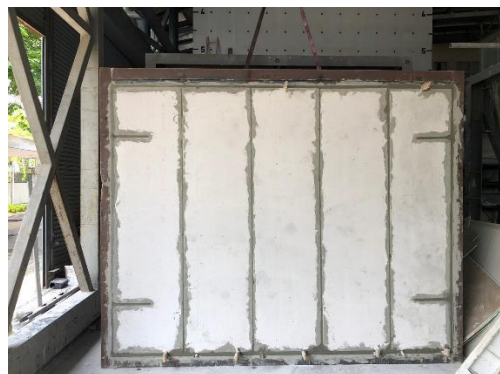
#### 3.1.1 กรณีศึกษาการต่อแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการรับแรงด้านข้างของผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป โดยจะมีผนังทั้งหมด 3 กรณี ได้แก่

#### 3.1.1.1 ผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปที่ไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อ (No shear key)

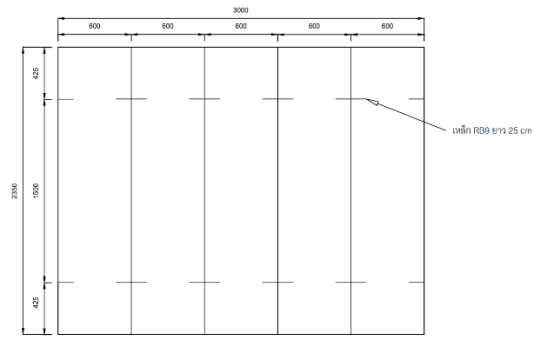


รูปที่ 1 Drawing ผนังกรณีไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อ



รูปที่ 2 ผนังกรณีไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อ

3.1.1.2 ผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปที่มีเหล็กเสริมรอยต่อ (RB9 ยาว 25 cm)

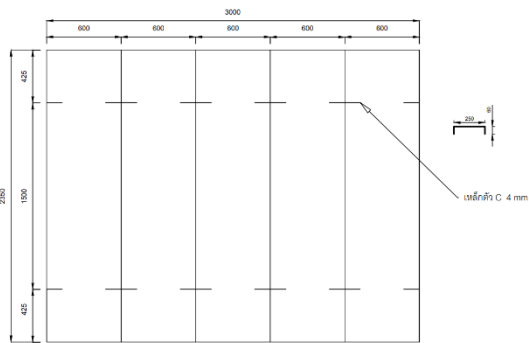


รูปที่ 3 Drawing ผนังกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อ (RB9 ยาว 25 cm)



รูปที่ 4 ผนังกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อ (RB9 ยาว 25 cm)

3.1.1.3 ผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปที่มีเหล็กเสริมรอยต่อรูปตัว C (RB4)



รูปที่ 1 Drawing ผนังกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อรูปตัว C



รูปที่ 2 ผนังกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อรูปตัว C

3.1.2 การติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป

แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปมีขนาด 60 x 240 x 9 เซนติเมตร และโครงเหล็กที่ทำหน้าที่เป็น Frame ยึดผนังมีขนาด 235 x 300 เซนติเมตร ดังนั้นจะต้องให้แผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปทั้งหมด 5 แผ่น และต้องมีการตัดส่วนบนของแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปออกประมาณ 5 เซนติเมตร เพื่อให้ขนาดพอดีกับโครงเหล็ก ในส่วนของรอยต่อระหว่างแผ่นจะทำการเชื่อมด้วยปูนอินทรีย์มอร์ตาร์ เบอร์ 23 ดังรูปที่ XX การติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปจะทำการติดตั้งทีละแผ่น ซึ่งจะหันด้านที่เป็นตัวเดียวและร่องเดียวเข้าหากันและทาปูนอินทรีย์มอร์ตาร์ เบอร์ 23 เป็นปูนกาวเชื่อมรอยต่อ ในการติดตั้งแต่ละแผ่นจะมีการเชื่อมเหล็ก RB9 เข้ากับโครงเหล็กเพื่อช่วยในการยึดตำแหน่ง ดังรูปที่ XX นอกจากนี้จะมีการใส่เหล็ก RB9 ที่ริมผนังทั้ง 2 ฝั่ง โดยจะมีระยะห่างกัน 150 เซนติเมตร และ 42.5 เซนติเมตร จากด้านบนและล่างของผนัง เนื่องจากในการก่อสร้างจริงจะมีการใส่เหล็กด้านข้างเพื่อยึดกับโครงสร้างอื่น ๆ เช่น เสา เมื่อติดตั้งจนครบ 5 แผ่นจะมีลักษณะเป็นดังรูปที่ XX และต้องทำการทิ้งแผ่นผนังไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน เพื่อให้ปูนในรอยต่อพัฒนา กำลัง

3.2 การตรวจวัดการโก่งตัวของผนัง

3.2.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1.1 คานที่ใช้ในการทดสอบ

ติดตั้งคานเหล็กกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร ที่ไว้กึ่งกลางแผ่นผนัง โดยจะต้องติดตั้งให้ขนานกับแนวนอนของแผ่นผนัง ดังรูปที่ 8



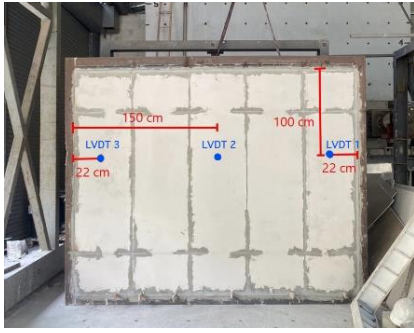
รูปที่ 8 การติดตั้งคานเหล็ก

3.2.1.2 Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

ติดตั้ง LVDT 5 เซนติเมตร 3 ตำแหน่ง ให้มีระยะห่างจากขอบ 22 เซนติเมตร ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของผนังและมีอีกตัวตรงกลางแผ่น โดยมีระยะห่างจากด้านบนของผนัง 1 เมตร ดังที่แสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 ตำแหน่งของ LVDT แต่ละตัว



รูปที่ 10 ตำแหน่งและระยะห่างของ LVDT

### 3.2.1.3 Hydraulic Jack

ติดตั้ง Hydraulic Jack เข้ากับ Load Cell จากนั้นนำไปติดตั้งไว้กับคานที่จะใช้กดเพื่อทดสอบผนัง โดยจะต้องติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางคานที่ใช้ในการกดผนัง

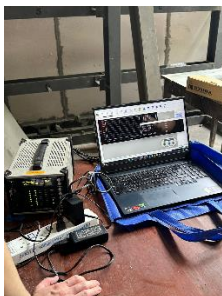


รูปที่ 11 การติดตั้ง Hydraulic Jack เข้ากับ Load Cell

### 3.2.2 การเก็บข้อมูลการโก่งตัวของแผ่นผนัง

#### 3.2.2.1 Data Logger

ทำการเชื่อมต่อ Load cell และ LVDT เข้ากับ Data Logger โดยเสียบสายสัญญาณของ Load cell เข้ากับ Channel 5 และเสียบสายสัญญาณของ LVDT 1, LVDT 2 และ LVDT 3 เข้ากับ Channel 6 ,Channel 7 และ Channel 8 ตามลำดับ จากนั้นทำการเชื่อมต่อ Data Logger เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรม DCS-100A โดยเก็บข้อมูลด้วยความถี่ 5 Hz และทำการ Set zero ข้อมูลก่อนการทดสอบ เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วจะนำค่าที่ได้มาบันทึกลงตารางด้วยโปรแกรม MS Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 12 การเชื่อมต่อ Data Logger

### 3.3 การทดสอบความสามารถในการรับแรงด้านข้างของแผ่นผนัง

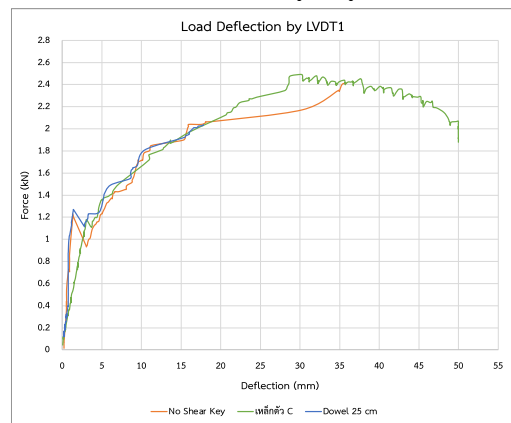
เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วเสร็จ เริ่มทำการทดสอบโดยกด Record ที่โปรแกรม DCS-100A จากนั้นทำการใส่ Load ผ่าน Hydraulic Jack

บันทึกค่า Load เมื่อผนังเกิดรอยร้าวครั้งแรก โดยหยุดใส่ Load เมื่อผนังมีการพังจน LVDT ไม่สามารถวัดค่าได้ ในระหว่างการทดสอบต้องมีผู้สังเกตการณ์คอยสังเกตลักษณะรอยร้าวของแผ่นผนัง

## 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

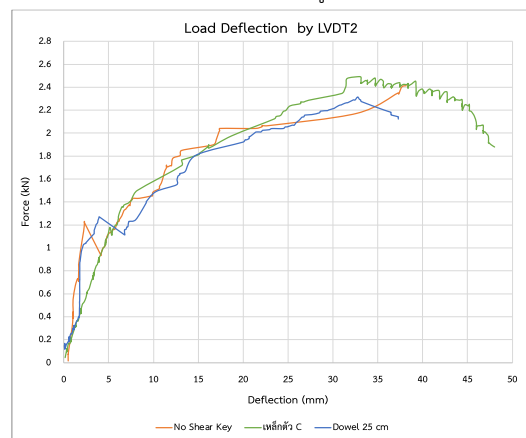
### 4.1 เปรียบเทียบ Load Deflection ที่ตำแหน่งต่างๆ ของแต่ละกรณี

ณ ตำแหน่ง LVDT 1 (ด้านซ้ายของแผ่นผนัง) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟ Stress-Strain ทั่วไป พบว่า กรณีไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อ และกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อตัว C มีพฤติกรรมค่อนข้างสมบูรณ์ โดยที่มีข้อมูลตั้งแต่ช่วงที่ผนังเกิดรอยแตกครั้งแรก จุดครากและจุดพังทลายที่ชัดเจน แต่ในกรณีเสริมรอยต่อ RB9 25 cm มีการหายไปของข้อมูลก่อนถึงจุดพังทลายเนื่องจาก LVDT มีขีดจำกัดในการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟการโก่งตัว ณ ตำแหน่ง LVDT 1

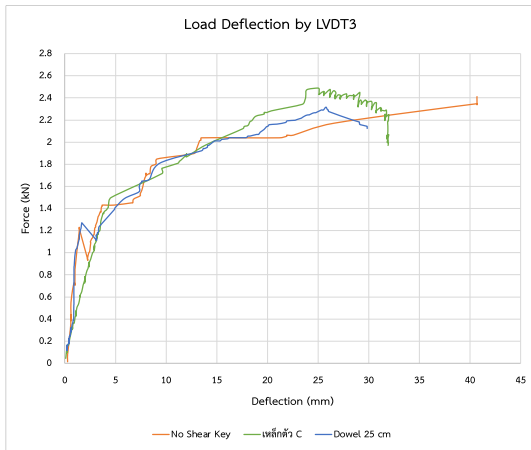
ณ ตำแหน่ง LVDT 2 (กึ่งกลางของแผ่นผนัง) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟ Stress-Strain ทั่วไป พบว่า กรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อ RB9 25 cm และกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อตัว C มีพฤติกรรมค่อนข้างสมบูรณ์ โดยที่มีข้อมูลตั้งแต่ช่วงที่ผนังเกิดรอยแตกครั้งแรก จุดครากและจุดพังทลายที่ชัดเจน กว่ากรณีไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อ ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 กราฟการโก่งตัว ณ ตำแหน่ง LVDT 2

ณ ตำแหน่ง LVDT 3 (ด้านขวาของแผ่นผนัง) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟ Stress-Strain ทั่วไป พบว่า กรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อ RB9 25 cm และกรณีมีเหล็กเสริมรอยต่อตัว C มีพฤติกรรมค่อนข้างสมบูรณ์ โดยที่มีข้อมูลตั้งแต่ช่วงที่ผนังเกิดรอยแตกครั้งแรก จุดครากและจุดพังทลายที่ชัดเจน กว่ากรณีไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อ แต่กรณีไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อจะมี

การโค้งตัวที่มากกว่ากรณีอื่นอย่างเห็นได้ชัดซึ่ง ค่อนข้างขัดแย้งกับตำแหน่งอื่นที่น้อยกว่า ซึ่งคาดว่าอาจเกิดจาก human error ในการติดตั้งผนัง



รูปที่ 15 กราฟการโค้งตัว ณ ตำแหน่ง LVDT 3

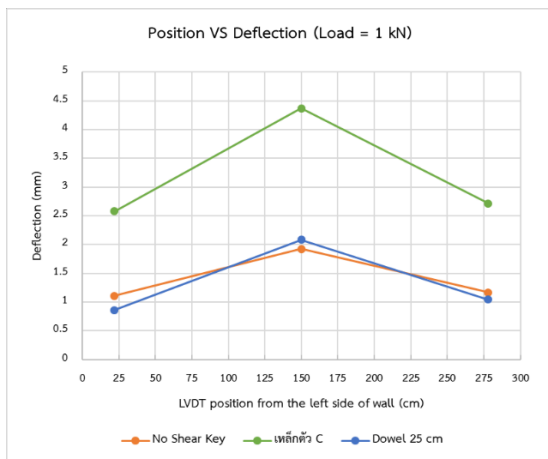
4.2 เปรียบเทียบการโค้งตัวแต่ละตำแหน่งเทียบกับ Load ต่าง ๆ

Deflection ที่ Load = 0.5 kN



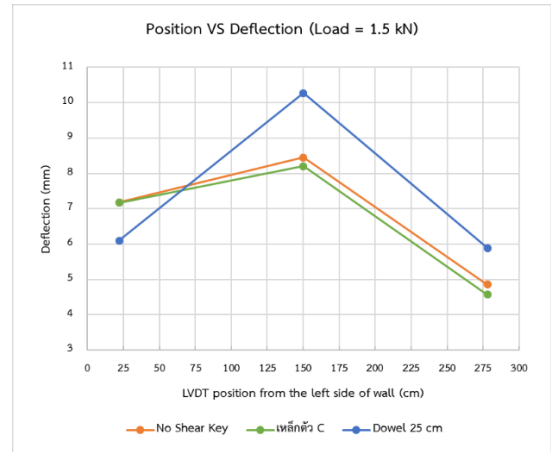
รูปที่ 16 กราฟการโค้งตัวที่ Load = 0.5 kN

Deflection ที่ Load = 1 kN



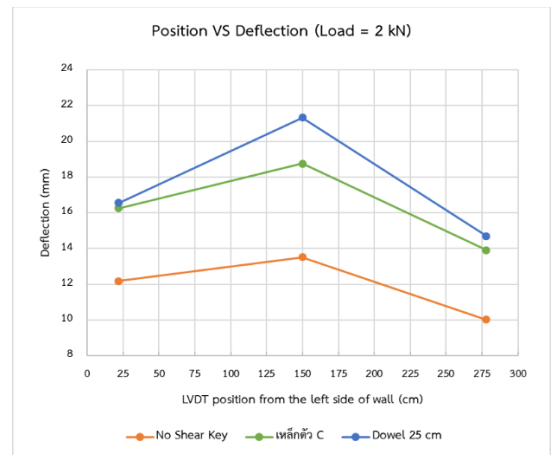
รูปที่ 17 กราฟการโค้งตัวที่ Load = 1 kN

Deflection ที่ Load = 1.5 kN



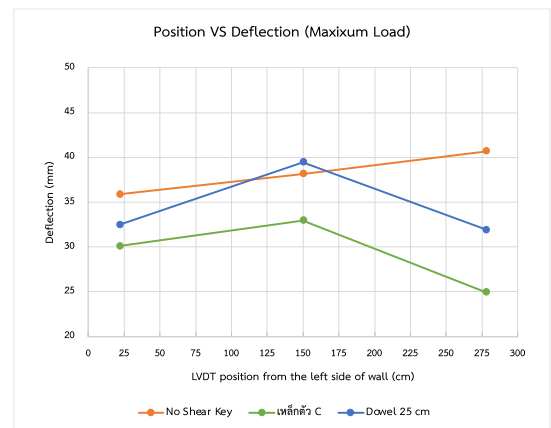
รูปที่ 18 กราฟการโค้งตัวที่ Load = 1.5 kN

Deflection ที่ Load = 2 kN



รูปที่ 19 กราฟการโค้งตัวที่ Load = 2 kN

Deflection ที่ Maximum Load



รูปที่ 20 กราฟการโค้งตัวที่ Maximum Load

โดยแต่ละกรณีมี Maximum Load มีดังนี้

Case	Maximum Load (kN)
No Shear Key	2.412
เหล็กตัว C	2.491
Dowel 25 cm	2.314

ตารางที่ 1 Maximum Load ของกรณีต่างๆ



เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า Deflection ในตำแหน่งที่มากที่สุดและ น้อยที่สุดของแต่ละกรณีในแรงต่าง ๆ จะได้ค่า ดังตารางที่ 2

Load Case	0.5 kN	1.0 kN	1.5k N	2.0 kN	Maximum
No Shear Key	0.473	0.817	3.600	3.488	4.803
เหล็กตัว C	0.873	1.794	3.636	4.838	8.025
Dowel 25 cm	0.976	1.223	4.380	6.622	7.572

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการโก่งตัวที่แรงต่าง ๆ

จากการทดสอบจะสังเกตเห็นได้ว่า ในช่วงที่ใส่แรง 0.5 kN ถึง 2 kN การใส่เหล็กเสริมรอยต่อไม่มีส่วนช่วยในการกระจายแรงเท่าที่ควร ทำให้ผนังมีการโก่งตัวตรงกลางมากกว่าด้านข้างอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาที่แรงสูงสุด (Maximum Load) จะพบว่าผนังมีการโก่งตัวใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง ดังรูปที่ 23

ดังนั้นจากการทดสอบจึงสรุปได้ว่า การใส่เหล็กเสริมรอยต่อไม่มีผลต่อการช่วยลดความแตกต่างในการโก่งตัวของแผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

## 5 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์กราฟ Load Deflection ของผลที่ได้ พบว่า กำลังรับแรงของแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และในกรณีผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปที่มีเหล็กเสริมรอยต่อ (RB9 ยาว 25 cm) รับแรงได้น้อยกว่ากรณีอื่น แต่เมื่อพิจารณาค่า Maximum Load ของแต่ละกรณีพบว่า มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 5% ซึ่งสาเหตุอาจเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการติดตั้ง มากกว่าที่จะเป็นผลจากประเภทของเหล็กในรอยต่อ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของ LVDT และการโก่งตัว ที่ Load ต่าง ๆ พบว่า การใส่เหล็กเสริมรอยต่อส่งต่อความแตกต่างของการโก่งตัวเพียงเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งกรณีที่ไม่มีเหล็กเสริมรอยต่อมีการโก่งตัวเป็นระนาบเดียวกันมากกว่ากรณีอื่น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณผู้ผลิตเครื่องตีพิมพ์สำเร็จรูปทำให้มีแรงสู่ไปกับการทำงานขอบคุณไอตอลวงต่าง ๆ ไม่ว่าจะ เป็น IVE และ LE SSERAFIM ที่คอยเยียวยาจิตใจอันแห่งเดียวให้มีแรงลุกขึ้นทำปริญญาโท ขอขอบคุณอมรสแอปเปิ้ลที่ทำให้หายง่วง ขอขอบคุณร้านคาราโอเกะทุกร้านที่เคยไปร้อง ขอขอบคุณร้านบุฟเฟต์ ชาบู และบ๊ิงย่างทุกร้าน (ที่อร่อย) ที่ทำให้มีทุกวันนี้ ขอขอบคุณ บิวกิ้ง พูมิพิงค์ อัสสรต้นกมล ที่เป็นแรงใจในยามยากลำบาก ขอขอบคุณโม้ไม่ตึกคาเฟ่ที่อยู่ให้ออนกอดในทุก ๆ คีนยามหลับไหล ขอขอบคุณ Lauv, Keshi, Peach Pit, Qler, Boy Pablo, Sam Wills, Lost Spaces และนักร้องมากมายสามารถทั้งหลาย ที่ผลิตเพลงคุณภาพช่วยเยียวยาจิตใจ และขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่คอยพูดคุยแลกเปลี่ยนชีวิตทุก

ช่วงเวลาของชีวิต รวมถึงเป็นกำลังใจให้กันอยู่เสมอ ขอขอบคุณมาก ๆ นะ



ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร. วิจิต ปานสุข สำหรับความรู้ คำแนะนำ และการตรวจสอบแก้ไขในการทำปริญญาโท ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พิชชา จงวิวัฒน์สกุล สำหรับอุปกรณ์ LVDT ขอขอบคุณครูเล็กและพี่ปริญญาโทสำหรับความช่วยเหลือในระหว่างการทดสอบ และขอขอบคุณบริษัท อินทรีย์ ซูเปอร์บล็อก จำกัด สำหรับการสนับสนุนวัสดุทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhi, Qing, et al. "Experimental Study on the Shear Behavior of Precast Wall Concrete Joints with/without Dowel Reinforcement." Materials (Basel, Switzerland), 7 Apr. 2020, [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7178702/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7178702/).
- [2] เจษฎาพงษ์ประสาธ, พิพิวัส คำแหลง, ศุภชัยโกสูงเนิน, เจษฎาพร ศรีภักดี, สุนิตา นุเสน และบุพผเวช พันธุ์ศรี, "ประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนของผนังคอนกรีตบล็อกมวลเบา" วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสินทร์ ฉบับที่ 3 หัวข้อ 2 , พ.ศ.2564, หน้า 28-35.
- [3] British Standard Institution, BS 5234-2:1992 Partitions (including matching linings). Specification for performance requirements for strength and robustness including methods of test ,1992
- [4] ภูวนันท์ จ., "ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป : เทคนิคการทำรอยต่อ", Arch SU Journal, vol. 4, p. 241, Jan. 2016.
- [5] Freedomia Focus Reports, Precast Concrete Products: United States, January 2 0 2 0 , <https://www.freedomiagroup.com/freedomia-focus/precast-concrete-products-united-states-ff60059.htm>
- [6] Precast Concrete Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By Application, And Segment Forecasts, 2022 - 2030: San Francisco, CA 94105, United States, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/precast-concrete-market>