

# พฤติกรรมของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด

## BEHAVIORS OF MORTARLESS REINFORCED CONCRETE MASONRY WALL UNDER AXIAL COMPRESSION

สิทธิชัย เลิศวิชัย

นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี [civil3281@hotmail.com](mailto:civil3281@hotmail.com)

สิทธิชัย แสงอาทิตย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี [sitichai@ccs.sut.ac.th](mailto:sitichai@ccs.sut.ac.th)

**บทคัดย่อ :** บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอพฤติกรรมของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัด และทำการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงกดอัดที่ได้กับสมการออกแบบของ ACI และของ Australian Standard ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ความชะลูดของผนังและรูปแบบการกรอกปูนกรอก จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ผนังโดยส่วนใหญ่มีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นตรงถึง 65-80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของผนัง จากนั้น พฤติกรรมของผนังจะเป็นแบบไม่เชิงเส้นตรงจนกระทั่งถึงจุดรับแรงสูงสุด การวิบัติของผนังมีลักษณะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป โดยที่ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องและผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องมีค่ากำลังรับแรงกดอัดสูงสุดใกล้เคียง แต่ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องมีค่าความแกร่งสูงกว่าผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องอยู่ในช่วง 8-19 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นแล้ว ค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ทดสอบได้มีค่าอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ในช่วง 3.38-6.44 และ 2.06-4.54 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงกดอัดที่ยอมรับได้ที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ ACI และของ Australian Standard ตามลำดับ

**ABSTRACT :** The objectives of this paper is to present the behavior of mortarless reinforced concrete masonry wall subjected to axial compression and to compare the obtained ultimate compressive strength with the allowable compressive strength calculated by using the ACI and Australian Standard design equations. The variables studied were the slenderness ratios and the grouting patterns. From the study, it was found that the behavior of the masonry wall was linear up to 65 to 80% of the ultimate compressive strength of the wall. Then, the behavior was nonlinear to the ultimate compressive strength. The failure of the masonry walls were in the progressive mode of failure. The wall with fully grouted and partially grouted had a very close value of the ultimate compressive strength. But, the wall with fully grouted had the stiffness 8-19% higher than that of the wall with partially grouted. Also, it was found that the factor of safety of the obtained ultimate compressive strength were in the range of 3.38-6.44 and 2.06-4.54 when compared to the allowable compressive strength calculated by using the ACI and Australian Standard design equations, respectively.

**KEYWORDS :** MORTARLESS REINFORCED CONCRETE MASONRY WALL, CONCRETE BLOCK, AXIAL COMPRESSION

## 1. บทนำ

โครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศไทยมักจะถูกออกแบบและก่อสร้างโดยระบบโครงสร้างแบบเสา-คาน ซึ่ง เป็นรูปแบบการก่อสร้างที่ค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เวลานาน และ ต้องการแรงงานที่มีทักษะและประสบการณ์สูง นอกจากนี้แล้ว การก่อสร้างโครงสร้างดังกล่าวต้องใช้แบบหล่อคอนกรีต ซึ่ง มักจะทำด้วยไม้ ทำให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าอันเป็นผลเสียต่อ สภาพแวดล้อม ในต่างประเทศ ได้มีการพัฒนารูปแบบก่อสร้าง ซึ่งสามารถขจัดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้เสาและคานคือ ผนัง วัสดุรองรับน้ำหนัก (load bearing masonry wall) (อนุสรณ์ และอนิรุทธ์, 2542) โดยทั่วไปแล้ว ในการก่อสร้างผนังวัสดุรองรับน้ำหนัก ชั้นตอนการก่อปูนก่อ (mortar) จะเป็นชั้นตอนที่ เสียเวลาและต้องการช่างที่มีฝีมือแรงงานสูง ดังนั้น เพื่อเป็นการ ลดปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนารูปแบบการก่อสร้างผนัง ดังกล่าวแบบไม่ใช้ปูนก่อคือ 1.) การก่อสร้างโดยใช้อิฐดินซีเมนต์ โดยอิฐดินซีเมนต์ได้ถูกออกแบบให้มีรูปร่างที่ยึดขัดกัน ได้ ระหว่างก้อน (interlocking) อย่างไรก็ตาม ผนังระบบนี้จะไม่ค่อย มีความแข็งแรงมากนักเมื่อต้องรับแรงกระทำทางด้านข้าง (lateral load) อีกทั้งยังไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับการก่อสร้างบ้าน ระดับกลางขึ้นไป (อนุสรณ์และอนิรุทธ์, 2542) 2.) การก่อสร้าง โดยใช้ผนังคอนกรีตบล็อกอัดแรง (prestressed concrete masonry wall) โดยทำการเสริมลวดอัดแรงภายในช่องที่เพปูนกรอก (grout) จากนั้น ทำการอัดแรงโดยใช้ไฮดรอลิกแจ็ก (hydraulic jack) (Marzahn, 1992) การก่อสร้างผนังระบบนี้จำเป็นต้องใช้ความรู้ และทักษะความสามารถของแรงงานที่ค่อนข้างสูงและมีค่าใช้จ่าย สูง ทำให้การก่อสร้างรูปแบบนี้ยังไม่เหมาะสมสำหรับการ ก่อสร้างภายในประเทศไทย

ในกรณีผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กแบบใช้ปูนก่อ ข้อกำหนดของ American Concrete Institute ACI 530-92 แบ่งผนังดังกล่าว ออกเป็น 2 ประเภทคือ ผนังที่มีอัตราส่วนความชะลูดมากกว่า หรือเท่ากับ 99 จะเป็นผนังสูง การวิบัติของผนังประเภทนี้ภายใต้ แรงกดอัดในแนวแกนจะเป็นการวิบัติแบบเสถียรภาพโดยเกิด การโก่งเดาะด้านข้าง (lateral buckling) ถ้าผนังที่มีอัตราส่วน ความชะลูดน้อยกว่า 99 จะเป็นผนังเตี้ย การวิบัติของผนังประเภท นี้ภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนจะเกิดจากการวิบัติของวัสดุ (material failure) เป็นหลัก ในการออกแบบผนังเตี้ย มาตรฐาน ACI ได้เสนอสมการแรงกดอัดที่ยอมให้ (allowable compressive

force) ของผนัง โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (working stress design) ดังที่แสดงในสมการที่ 1

$$P_d = \left( 0.25 f'_m A_n + 0.65 A_{sr} F_s \right) \left[ 1 - \left( \frac{h}{140r} \right)^2 \right] \quad (1)$$

โดยที่  $P_d$  คือแรงกดอัดที่ยอมให้ของผนัง  $f'_m$  คือกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมวัสดุก่อ (compressive strength of masonry)  $A_n$  คือพื้นที่หน้าตัดสุทธิของวัสดุก่อ  $A_{sr}$  คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม  $F_s$  คือหน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงกดอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม โดยมีค่าได้ไม่เกิน 165.5 MPa สำหรับเหล็กเสริมเกรด 60  $h$  คือความสูงของผนัง  $r$  คือ radius of gyration ของผนังที่กว้าง 1 เมตร โดยหาได้จากสมการ  $r = \sqrt{t^2 / 12}$  โดยที่  $t$  คือความหนาของผนัง

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่า สมการดังกล่าวไม่มีเทอมที่แทน กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกปรากฏอยู่ เนื่องจาก ACI พิจารณาว่าปูนกรอกมีผลต่อกำลังของผนังค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม มีมาตรฐานการออกแบบของประเทศอื่น เช่น Australian Standard AS3700-98 ได้พิจารณาถึงกำลังของปูนกรอกด้วย โดยได้เสนอสมการออกแบบผนังวัสดุก่อเสริมเหล็กแบบใช้ปูนกรอก โดยวิธีกำลัง (ultimate stress design) ดังที่แสดงในสมการที่ 2

$$F_d \leq \phi k_s \left[ f'_m A_b + k_c \sqrt{\frac{f'_{cg}}{1.3}} A_c + f_{sy} A_s \right] \quad (2)$$

โดยที่  $F_d$  คือแรงกดอัดที่ใช้ออกแบบผนัง ซึ่งคำนวณได้ตาม ข้อกำหนดของ Australian Standard และคูณด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร (live load)  $A_b$  คือพื้นที่หน้าตัดสุทธิของวัสดุก่อ  $f'_{cg}$  คือ กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอก โดยมีค่าได้ไม่เกินกำลังรับแรงกดอัดของก้อนวัสดุก่อ  $A_c$  คือพื้นที่หน้าตัดของปูนกรอก  $f_{sy}$  คือ กำลังครากของเหล็กเสริม  $A_s$  คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม  $\phi$  คือตัวคูณลดกำลัง (capacity reduction factor) มีค่าเท่ากับ 0.75 สำหรับผนังวัสดุก่อเสริมเหล็ก  $k_s$  คือตัวคูณลด (reduction factor) หาได้จากสมการ  $k_s = 1.18 - 0.03S_r$  แต่มีค่าไม่เกิน 1.0 โดยที่  $S_r$  คืออัตราส่วนความชะลูด ซึ่งหาได้จากสมการ  $S_r = a_v H / k_t t$  เมื่อ  $a_v$  คือสัมประสิทธิ์ของความชะลูด

(slenderness coefficient) มีค่าเท่า 1.0 เมื่อผนังถูกรองรับที่ปลายบนสุดและล่างสุดของผนัง  $H$  คือความสูงของผนัง  $k_c$  คือสัมประสิทธิ์ความหนา (thickness coefficient) ถ้าผนังไม่มีเสาเอ็นยึดแล้ว  $k_c$  ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.0  $k_c$  คือตัวคูณกำลัง (strength factor) ของปูนกรอก โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.4 สำหรับคอนกรีตบล็อกกลวงที่มีความหนาแน่นมากกว่า 2000 kg/m<sup>3</sup> นอกเหนือจากนั้นแล้ว ให้ใช้  $k_c$  เท่ากับ 1.2

จุดประสงค์หลักของการศึกษาคือ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักและการวิบัติของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อซึ่งถูกกระทำโดยแรงกดอัดในแนวแกนแบบเป็นจุด และเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงกดอัดที่ทดสอบได้กับสมการออกแบบของ ACI และของ Australian Standard โดยที่ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยอัตราส่วนความชะลูดของผนัง 3 ค่าได้แก่ 19.79 60.62 และ 70.52 และรูปแบบการกรอกปูนกรอก 2 รูปแบบได้แก่ กรอกช่องเว้นช่อง (partially grouted) และกรอกทุกช่อง (fully grouted)

## 2. ตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบ

### 2.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

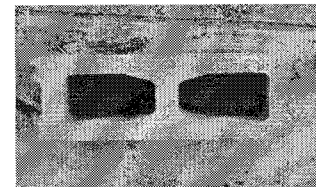
การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยได้กระทำตามมาตรฐานของ American Society for Testings and Materials (ASTM) คือ การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมตามมาตรฐาน ASTM E8 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกตามมาตรฐาน ASTM 1019-89a การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C140-96 และการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของปริซึมคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน ASTM E447-92b

### 2.2 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดของผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

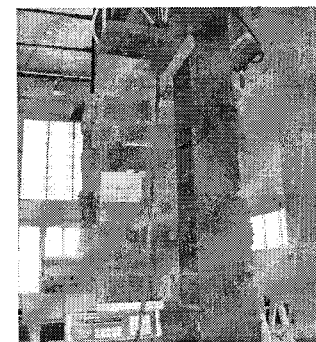
ตัวอย่างผนังแต่ละผนังจะถูกก่อสร้างขึ้นด้วยคอนกรีตบล็อกกลวงที่ถูกผลิตโดยโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดสระบุรี ดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยมีขนาด 39x19x14 เซนติเมตรและจัดเป็นคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก. 57-2530 ประเภทรับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้น

ขั้นตอนการก่อสร้างตัวอย่างผนังทดสอบมีดังนี้ 1). ทำการปรับพื้นที่สำหรับใช้ในการสร้างตัวอย่างทดสอบให้ได้ระดับโดยการใช้มอร์ตาร์ปรับระดับ 2). นำคอนกรีตบล็อกมาวางเป็นชั้นๆ

แบบสลับก้อน (running bond) โดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ และหลังจากวางเสร็จในแต่ละชั้นแล้วจึงทำการตรวจสอบการได้ระนาบของคอนกรีตบล็อกด้วยระดับน้ำ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนผนังมีความสูง 1.20 เมตร หรือ 6 ก้อนตามข้อกำหนดของ ACI 530.1-92 ตารางที่ 4.3.3.4 3). ทำการเสริมเหล็กในแนวความสูงของผนัง โดยพยายามควบคุมให้เหล็กเสริมอยู่ในแนวตั้งให้มากที่สุด 4). ทำการเทพูนกรอกที่มีอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ทราย: หิน เท่ากับ 1: 2.25:3.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งตามมาตรฐาน ACI 530.1-92 ตารางที่ 4.2.2.1 จัดว่าเป็นปูนกรอกชนิดหยาบ (coarse grout) ลงในโพรงช่องว่างของผนังคอนกรีตบล็อกตามรูปแบบที่กำหนดไว้แล้วทิ้งตัวอย่างทดสอบไว้ 1 วันเพื่อให้ปูนกรอกแข็งตัวและมีกำลังพอที่จะรับน้ำหนักคอนกรีตบล็อกในชั้นต่อไปได้ 5). ทำการก่อสร้างผนังเพิ่มจากเดิมโดยใช้ชั้นตอนเหมือนที่กล่าวไว้ข้างต้นจนได้ความสูงของผนังตามที่ต้องการ แล้วจึงปล่อยให้ผนังมีอายุครบ 7 วัน 6). ทำการติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับ loading frame ดังที่แสดงในรูปที่ 2 จากนั้น ทำการติดตั้ง dial gage ที่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูง เพื่อใช้วัดค่าการโก่งตัวทางด้านข้าง และที่ปลายด้านบนบนของผนังบนแผ่นรับแรงแบกทาน เพื่อใช้วัดค่าการหดตัวในแนวแกนของผนัง ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้



รูปที่ 1 คอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 2 การติดตั้งผนังตัวอย่างทดสอบเข้ากับ loading frame

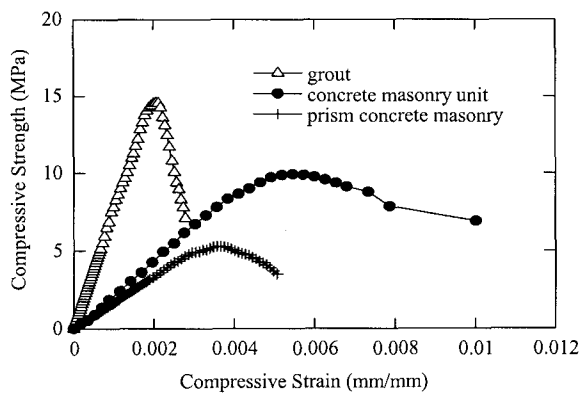
## 3. ผลการทดสอบ

### 3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

จากการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (stress) และความเครียด (strain) ของปูนกรอก ก้อนคอนกรีตบล็อก และปริซึมคอนกรีตบล็อกแบบไร้ปูนก่อนมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 3 โดย กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมีค่า 8.48 MPa กำลังรับแรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ยของปริซึมคอนกรีตบล็อกไร้ปูนก่อนมีค่า 5.23 MPa กำลังรับแรงกดอัดของปูนกรอกเฉลี่ยมีค่า 13.18 MPa และกำลังรับแรงดึงที่จุดครากเฉลี่ยของเหล็กเสริมมีค่า 376.85 MPa

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ

ชื่อตัวอย่างทดสอบ	อัตราส่วนเหล็กเสริม	อัตราส่วนความขรุขระ	กรอกปูนกรอก	จำนวน
80-P	0.015	19.79	ช่องเว้นช่อง	2
245-P	0.015	60.62	ช่องเว้นช่อง	2
285-P	0.015	70.52	ช่องเว้นช่อง	2
80-F	0.015	19.79	ทุกช่อง	2
245-F	0.015	60.62	ทุกช่อง	2
285-F	0.015	70.52	ทุกช่อง	2

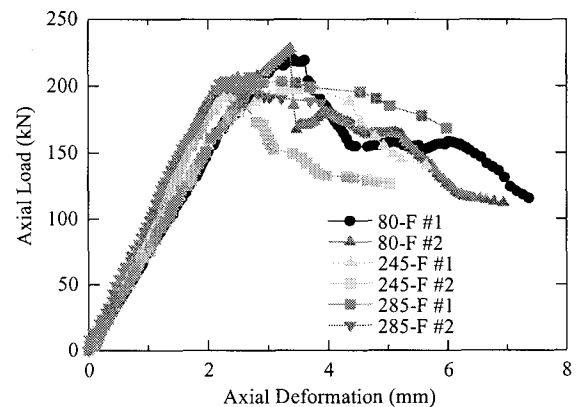


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

### 3.2 พฤติกรรมและลักษณะการวิบัติของผนัง

รูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัด (axial load) และระยะหดตัวในแนวแกน (axial deformation) ที่หัวคของผนัง จากรูปจะเห็นได้ว่า โดยรวมแล้ว พฤติกรรมการรับแรงของผนังจะถูกแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกผนังจะมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นตรง (linear) จนถึงค่าแรงกดอัดประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงกดอัดสูงสุดของผนัง ที่จุดนี้จะสังเกตเห็นรอยแตกแรกเกิดขึ้นในผนังที่สังเกตได้จากการแตกร้าวของคอนกรีตบล็อก จากนั้น พฤติกรรมของผนังจะเริ่มเข้าสู่ช่วงที่สอง

ซึ่งความชันของกราฟจะเริ่มลดลงเนื่องจากการแตกร้าวที่มีมากขึ้น ทำให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นน้อยลงในขณะที่ระยะหดตัวในแนวแกนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่ผนังรับแรงกดอัดสูงสุด อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมของผนังในช่วงที่สองนี้เกิดขึ้นน้อยมากและในบางผนังตัวอย่างไม่มีพฤติกรรมดังกล่าว เนื่องจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างผนังมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นตรงจนถึงกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดและจุดคลาก สุดท้าย พฤติกรรมของผนังจะเข้าสู่ช่วงที่สาม ซึ่งแรงกระทำต่อผนังจะตกลงอย่างรวดเร็ว โดยที่ระยะหดตัวในแนวแกนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงมาก เนื่องจากการวิบัติของคอนกรีตบล็อกและปูนกรอกและการคลากของเหล็กเสริม การวิบัติของผนังในลักษณะนี้อาจถือได้ว่าเป็นการวิบัติแบบค่อยเป็นค่อยไป (progressive mode of failure)



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดกับระยะหดตัวในแนวแกนที่หัวคของผนัง

ขอให้สังเกตด้วยว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบผนังประเภทเดียวกันมีการกระจายตัวพอสมควร เนื่องจากคอนกรีตบล็อกที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบมีความไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ ระบายผิวสัมผัสของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนไม่ได้สัมผัสกันแบบเต็มหน้าตัดภายใต้แรงในแนวแกนจึงเกิด stress concentration ที่บางจุดบนผิวสัมผัสสูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้จุดดังกล่าวเกิดการวิบัติก่อน

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติทางกลของผนังที่ทดสอบได้ โดยที่ค่าแรงกดอัดที่ผนังเกิดรอยแตกร้าวแรกจะประมาณได้โดยใช้สมการที่ 2 จาก principle of compatibility เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุอยู่ในช่วงเส้นตรงแล้ว คอนกรีตบล็อก ปูนกรอก และเหล็กเสริมจะร่วมกันรับแรงกระทำและมีค่าความเครียดเกิดขึ้นเท่ากัน จากกราฟในรูปที่ 3 เมื่อเหล็กเสริมเกิดการครากและปูนกรอกถึงจุดประลัยที่

ความเครียดประมาณ 0.0021 แล้ว คอนกรีตบล็อกยังคงมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงเส้นตรง เมื่อนำค่าหน่วยแรงกดอัดที่เกิดขึ้นในวัสดุที่ความเครียดดังกล่าวแทนค่าลงในสมการที่ 2 โดยไม่ต้องคูณค่าตัวคูณลดกำลังแล้ว จะได้ค่าแรงกดอัดที่ผนังเกิดรอยแตกเร็วแรก เมื่อเปรียบเทียบแรงกดอัดที่คำนวณ ได้ดังกล่าวกับค่าแรงกดอัดที่เกิดรอยแตกเร็วแรกที่ได้จากการสังเกตพบว่ามีค่าโดยเฉลี่ยแตกต่างกันประมาณ  $\pm 13$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะเกิดมาจากการสังเกตรอยแตกเร็วแรกที่แท้จริงกระทำได้นยาก และความแตกต่างของคุณสมบัติเฉลี่ยของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณกับค่าคุณสมบัติจริงของวัสดุที่ใช้ในผนังตัวอย่าง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อ

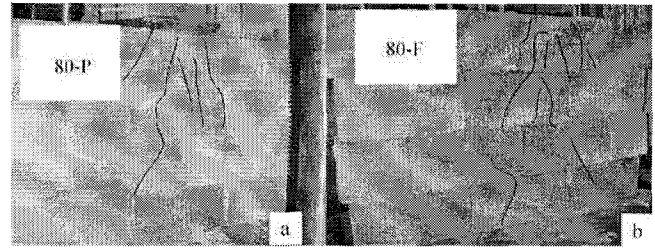
ตัวอย่างทดสอบ	แรงกดอัดที่เกิดรอยแตกเร็วแรก <sup>1</sup> (kN)	แรงกดอัดที่เกิดรอยแตกเร็วแรก <sup>2</sup> (kN)	แรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ย (kN)	ความแกร่งเฉลี่ย (kN/m)
80-P	126.41	135.00	233.70	71,916.82
245-P	82.80	100.30	194.55	76,934.72
285-P	71.96	79.44	180.70	74,252.67
80-F	135.90	146.00	224.10	85,599.50
245-F	89.01	115.80	195.45	83,657.32
285-F	77.36	73.03	205.39	82,191.46

<sup>1</sup> ค่าแรงกดอัดที่เกิดรอยแตกเร็วแรกที่คำนวณได้จากสมการที่ 2

<sup>2</sup> ค่าแรงกดอัดที่เกิดรอยแตกเร็วแรกที่สังเกตได้จากการทดสอบ

ผนังที่ใช้ในการทดสอบจะมีพฤติกรรมการวิบัติอื่นเนื่องมาจากกำลังของวัสดุ โดยการโก่งตัวทางด้านข้างเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงสุดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร การวิบัติของผนังมีลักษณะเป็นการแตกเร็วแบบเฉือนทแยง (diagonal shear failure) เนื่องจากแรงดึงร่วมกับแรงเฉือนที่เกิดจากการยึดขัดกันระหว่างมวลรวมของคอนกรีตบล็อกและปูนกรอก สำหรับชุดผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องว่างจะมีลักษณะการแตกเร็วดังที่แสดงในรูปที่ 5(a) โดยที่รอยแตกเร็วจะเอียงทำมุมประมาณ 25-30 องศากับแนวดิ่ง และสำหรับชุดผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง รอยแตกเร็วที่เกิดขึ้นจะเอียงทำมุมประมาณ 20 องศากับแนวดิ่ง ดังที่แสดงในรูปที่ 5(b) การวิบัติในรูปแบบดังกล่าวนี้เกิดจากการที่ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่อง มีเหล็กเสริมและปูนกรอกที่ถูกเทเต็มทุกช่องซึ่งสามารถช่วยต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากแรงกดอัดทำให้รอยแตกเร็วเกิดขึ้นในลักษณะถูกบังคับให้แตกเป็นมุมที่แคบ ในทางตรงกันข้าม ผนังแบบกรอก

ช่องว่างช่องซึ่งไม่ได้กรอกปูนกรอกและไม่มีเหล็กเสริมทุกช่องแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะสามารถถูกส่งผ่านไปยังช่องผนังที่อยู่ติดกันได้เป็นระยะทางที่ไกลกว่า เนื่องจากไม่มีปูนกรอกที่เป็นตัวช่วยต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะการการวิบัติของผนัง

#### 4.วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวิจัย

จากตารางที่ 3 พบว่า ผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องมีค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ทดสอบได้ไม่แตกต่างจากผนังกรอกปูนกรอกช่องว่างช่อง โดยผนังทั้งสองรูปแบบมีค่ากำลังรับแรงกดอัดแตกต่างกันอยู่ในช่วง  $\pm 3$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการกรอกปูนกรอกไม่ได้มีส่วนช่วยทำให้กำลังรับแรงกดอัดมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับที่มาตรฐาน ACI ไม่นำเทอมของปูนกรอกมาพิจารณา นอกจากนั้นแล้ว ยังพบอีกว่า ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีความแกร่งสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกแบบช่องว่างช่อง โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.5-19.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุเนื่องมาจาก ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีพื้นที่ของปูนกรอกมากกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องว่างช่อง ซึ่งพื้นที่ของปูนกรอกดังกล่าวสามารถช่วยต้านทานการหดตัวของผนังที่เกิดขึ้นจากแรงกดอัด

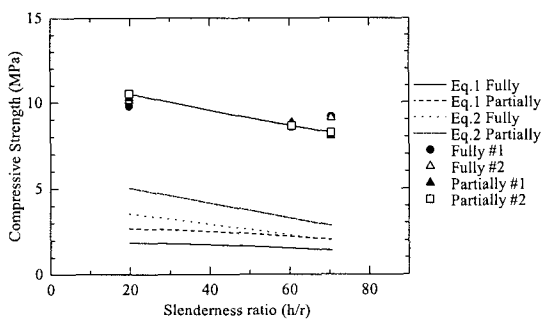
ตารางที่ 4 แสดงค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดของผนังซึ่งหาได้จาก การนำเอาค่าแรงกดอัดสูงสุดหารด้วยพื้นที่ของแผ่นเหล็กรับแรงแบกทาน (bearing plate) และเมื่อเปรียบเทียบหน่วยแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับสมการออกแบบของ ACI และของ Australian Standard แล้วจะพบว่า ค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบมีค่ามากกว่าค่าหน่วยแรงกดอัดที่ยอมให้ของ ACI และค่าหน่วยแรงกดอัดที่คำนวณได้จากทอมทางด้านซ้ายมือของสมการที่ (2) ของ Australian Standard หารด้วย load factor โดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.38 ถึง 6.44 เมื่อเทียบกับค่าหน่วยแรงกดอัดที่ยอมให้ของ ACI และ 2.06 ถึง 4.54 เมื่อเทียบกับค่าหน่วยแรงกดอัดที่คำนวณได้จากสมการของ Australian Standard ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อัตราส่วนความ

ปลอดภัยที่ได้จากสมการออกแบบของ ACI มีค่ามากกว่า อัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากสมการออกแบบของ Australian Standard เนื่องจากว่าสมการออกแบบของ ACI ไม่ได้พิจารณาถึงผลของปูนกรอก ดังนั้น การออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อจึงควรทำตามมาตรฐานของ ACI มากกว่ามาตรฐาน Australian Standard เนื่องจากให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูง และในประเทศไทย การควบคุมคุณภาพวัสดุต่างๆ ยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควรและความไม่เคยชินในการออกแบบของวิศวกรและการก่อสร้างของคณงาน นอกจากนี้แล้วยังพบว่า อัตราส่วนความปลอดภัยของผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีค่ามากกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่องประมาณ 35-60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องมีความปลอดภัยสูงกว่าผนังที่กรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง

ตารางที่ 4 ค่าหน่วยแรงแรงกดอัดสูงสุดของผนังที่ได้จากการทดสอบและจากสมการออกแบบ

ตัวอย่างทดสอบ	Test (a) (MPa)	ACI.(b) (MPa)	AS 3700 (c) (MPa)	FS. a/b	FS. a/c
80-P	10.39	2.68	5.03	3.88	2.06
80-F	9.91	1.85	3.55	5.34	2.79
245-P	8.65	2.22	3.27	3.89	2.65
245-F	8.48	1.54	2.30	5.52	3.68
285-P	8.03	2.04	2.84	3.94	2.83
285-F	9.08	1.41	2.00	6.44	4.54

รูปที่ 9 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดและอัตราส่วนความชะลูดของผนัง จากรูปจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยประมาณ และมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสมการออกแบบทั้งสองโดยที่กำลังรับแรงกดอัดมีค่าลดลง เมื่อผนังมีอัตราส่วนความชะลูดมากขึ้น



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกดอัดและอัตราส่วนความชะลูดของผนัง

## 5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนพบว่า

1. ในช่วงแรก ผนังจะมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นตรงจนถึงประมาณ 65- 80 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดอัดสูงสุด จากนั้น ผนังจะมีพฤติกรรมเป็นแบบไม่เชิงเส้น เมื่อแรงกดอัดมีค่าสูงสุดแล้ว กำลังรับแรงกดอัดของผนังจะลดลงและระยะหดตัวในแนวแกนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และผนังจะวิบัติแบบค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากการวิบัติของวัสดุ โดยมีรูปแบบการแตกร้าวของผนังแบบเฉือนทแยง ซึ่งผนังแบบกรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีมุมของรอยแตกร้าวที่แคบกว่ามุมของรอยร้าวในผนังแบบกรอกปูนกรอกช่องเว้นช่อง
2. ผนังที่กรอกปูนกรอกทั้งสองรูปแบบมีค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ทดสอบได้ใกล้เคียงกัน โดยผนังที่กรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีความแข็งแรงมากกว่าผนังซึ่งกรอกปูนช่องเว้นช่องประมาณ 8.5 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นแล้ว อัตราส่วนความปลอดภัยของผนังเมื่อเทียบกับสมการออกแบบของ ACI อยู่ในช่วง 3.38 ถึง 6.44 และอยู่ในช่วง 2.06 ถึง 4.54 เมื่อเทียบกับ Australian Standard โดยที่ผนังที่มีอัตราส่วนความชะลูดที่สูงกว่าและกรอกปูนกรอกทุกช่องจะมีอัตราส่วนความปลอดภัยสูงกว่า
3. การออกแบบผนังคอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กแบบไร้ปูนก่อควรทำตามมาตรฐานของ ACI มากกว่ามาตรฐาน Australian Standard โดยอาจจะใช้สมการที่ (1) ได้โดยตรง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก. 57-2530, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม
- [2] อนิรุทธิ์ รงไชย และ อนุสรณ์ อินทร์ชัย, คอนกรีตบล็อกเสริมเหล็กทางเลือกใหม่ของการก่อสร้างบ้านในเมืองไทย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5, หน้า MAT-128ถึง MAT-134, 2542
- [3] Australian Standard Masonry Structures AS3700-1998, Standard Australian International, NSW, Australia.
- [4] Marzhan, G., Dry-Stacked Masonry in Comparison with Mortar Jointed Masonry, LACER, No. 2, 1997, pp. 353-365.
- [5] Specifications for Masonry Structures (ACI 530.1-92/ASCE6-92/TMS602-92), American Concrete Institute, Detroit, 1992.