บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในงานก่อสร้างพื้นระบบต่าง ๆ มีหลายอย่างที่สามารถจะลดต้นทุนการก่อสร้างลงได้ ตัวอย่างเช่น วัสดุที่ใช้ โดยทั่วไปแล้ววัสดุก่อสร้างจะใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีราคาสูง ฉะนั้นจึงควรเลือกใช้วัสดุที่มีราคาต่ำและใช้งานได้ดีตรงตามจุดประสงค์ อิฐโปร่งจึงเป็นวัสดุที่เหมาะแก่การใช้งาน เพราะสามารถรับแรงอัดได้ดี เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ผลิตขึ้นเองภายในประเทศ มีจำหน่ายตามท้องตลาด เป็นฉนวน กันเสียงได้ และน้ำหนักเบากว่าคอนกรีต

ปัจจุบันระบบพื้นมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น ระบบพื้นอิฐ "ซี-เอ็ม" ของบริษัทอุปกรณ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด ระบบพื้นอิฐ "เอส.บี.พี." ของบริษัท ผลิตภัณฑ์อิฐสยามจำกัด หรือพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และพื้นแบบอื่น ๆ ระบบพื้นอิฐโปร่งอัดแรงเป็นระบบพื้นแบบหนึ่งที่จะนำมาพิจารณาศึกษาถึงความเหมาะสมในการใช้งาน พื้นระบบนี้ใช้วิธีการอัดแรง แบบดึงทีหลัง (Post-tensioned) วิธีนี้ควรจะสะดวกต่อการติดตั้ง การก่อสร้างทำได้อย่างรวดเร็ว แล้วยังทำให้ประหยัดไม้แบบและไม้ค้ำยัน การก่อสร้างสามารถทำในหน่วยงานได้ซึ่งแตกต่างจากวิธีการอัดแรงแบบดึงก่อน (Pre-tensioned)

1.2 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

วิธีการอัดแรงเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่จะอัดแรงกับคอนกรีตหรือกับเหล็กก็ได้ ซึ่งวิธีการอัดแรงนี้จะได้รับประโยชน์มาก เมื่อนำไปใช้กับวัสดุที่ต้านทานแรงอัดได้ดี แต่รับแรงดึงได้น้อย

การอัดแรงที่หลังในงานอิฐได้มีมาตั้งแต่ ค.ศ. 1825 เมื่อ Mr. Brunel[1] ได้ใช้ในโครงการอุโมงค์ลอดใต้แม่น้ำเทมส์ (Thames Tunnel Project) โครงสร้างของงานนี้ยังเหลือตราบเท่าทุกวันนี้ ซึ่งเป็นตัวอย่างของการเสริมเหล็กหรือการอัดแรงในงานอิฐ

ผนังอิฐ อัดแรงรับแรงเฉือน (Prestressed brickwork shear wal. s) ได้ทำการทดลองโดย A.T. Henkley[2] ส่วน H.E. Tasker[3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผนังกำแพงอัดแรงวางบนดิน (Prestressed Brick or Block Walls on Reactive Soils)

Foster[4] ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับแท้งค์น้ำอิฐอัดแรง (Prestressed Brickwork Water Tank) ซึ่งประกอบด้วยแท้งค์วงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

---

(1)"Reinforced Brick Masonry", Bulletin No. 5 National Brick Manufactures Research Foundation, Febuary 1932.

(2)Henkley, A.T., Test of one storey pre-stressed brickwork shearwall. New Zealand Engineering. 21 (6), 15 June 1966. p. 245 - 252

(3)Tasker, H.E., Recommendations for the use of prestressed brick or block walls on reactive soils, Technical Record 52:75:349 Dept. of Works, Common wealth Experimental Bldg. Station.

(4)Forster, D., "Design and construction of a pre-stressed brickwork water tank," Paper 47, Second International Brick Masonry Conference, The British Ceramic Research Assoc., Apr., 1970.

40 ฟุต และลึก 16 ฟุต ใช้อิฐหนา 9 นิ้ว วางอยู่บนพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก อิฐหนา 9 นิ้ว ถูกอัดแรงในแนวดิ่งและในแนวเส้นรอบวง และยึดติดกับฐาน ผิวนอกใช้อิฐหนา 4 นิ้วครึ่ง เพื่อกันมิให้ปูนสอ (mortar) เล็ดลอดออกไป ความหนาทั้งหมดของผนังจะเท่ากับ 15 นิ้วครึ่ง เหล็กเสริมอัดแรงทั้งในแนวดิ่งและในแนวเส้นรอบวงใช้ขนาด 0.276 นิ้ว ซึ่งจะเสริมอยู่ในท่ออัดปูนสอ (Grout ducts) ในแนวดิ่ง และอยู่ใน โพลงอัดปูนสอ (Grout Cavity) ในแนวเส้นรอบวง

Gero[5] ทำการทดลองเรื่อง A prestressed masonry-reinforced concrete model space structure ซึ่งประกอบด้วยผนังอิฐรับน้ำหนัก (Load-bearing masonry walls) อยู่ระหว่างพื้นคอนกรีตบางสองพื้น บนและล่าง ผนังอิฐจะถูกอัดแรงโดยวิธีดึงทีหลังในแนวดิ่ง แล้วใช้พื้นเสมือนเป็นตัวยึด (anchor) เพื่อที่จะได้พื้นที่ห้องที่ไม่มีเสาขนาดอย่างน้อย กว้าง 70 ฟุต และยาว 70 ฟุต

ต่อไปจะกล่าวถึงงานค้นคว้าในประเทศอังกฤษเกี่ยวกับคานอิฐอัดแรง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 โครงการ โครงการที่ 1 ศึกษาโดย Kenneth Thomas, โครงการที่ 2 และ 3 เป็นผลงานต่อเนื่องกันโดย Dr. J.M. Plowman และ Mr. L.S. Ng. ตามลำดับ แล้ว Kenneth Thomas[6] ได้เป็นผู้สรุปผลงานสองโครงการหลังนี้

---

[5] Gero, J.S., "Prestressed masonry-reinforced concrete space structure" Paper 25, Designing Engineering and Construction with Masonry Products, ed. F.B. Johnson : Proceedings of International Conference on Masonry Structural Systems., Austin, Texas, 1969.

[6] Thomas, K., "Current post-tensioned and prestressed brickwork and ceramics in Great Britain", Paper 34, TAXAS Proceedings., 1969. op. cit., p. 285 - 301.

โครงการที่ 1 กระทำในปี ค.ศ. 1965 โดย Kenneth Thomas ได้รับผิดชอบสำหรับงานทดลอง คานอิฐอัดแรงจำนวนสองคาน เพื่อจะศึกษาการรับน้ำหนัก โดยมีแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอยู่บนคานอิฐอัดแรง ผลการทดลองปรากฏว่าคานอิฐอัดแรงทั้งสองจะวิบัติ (fail) เนื่องจากเกินกำลังหน่วยแรงดึงประลัยของอิฐ หน่วยแรงดึงประธาน (Principal tensile stress) ขณะที่คานวิบัติมีค่าประมาณ 6 ถึง 8 กก./ซม^2

โครงการที่ 2 เริ่มทดลองในปี ค.ศ. 1965 โดย Dr. J.M. Plowman ได้ตัดสินใจศึกษาดูว่าอิฐจะเหมาะสมสำหรับอัดแรงและสามารถนำมาทำเป็นพื้นระบบหนึ่งได้หรือไม่ ผลปรากฏว่าอิฐสามารถนำมาอัดแรงได้เป็นอย่างดี คานอิฐอัดแรงมีพฤติ-กรรมคล้ายกับคานคอนกรีตอัดแรง และการวิบัติ (failure) โดยแรงเฉือน เมื่อใช้ทำเป็นระบบพื้นจะไม่เป็นปัญหาใหญ่ที่นำมาพิจารณา ส่วนการวิบัติโดยแรงดึงจะเนื่องมาจากการยึดหน่วง (bond) ระหว่าง ปูนสอ (mortar) กับอิฐ อาจสรุปได้ว่าไม่มีเหตุผลทางวิชาการว่าทำไม อิฐอัดแรงจะไม่สามารถใช้เป็นคานหรือแผ่นพื้น ซึ่งประ-หยัดกว่าคอนกรีตและวัสดุอย่างอื่นมาก

โครงการที่ 3 เป็นผลงานการศึกษา โดย Mr. L.S. Ng, ซึ่งเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ของแผนกวิชาวิศวกรรมโยธา ของ Sunderland Technical College ในระหว่างปีการศึกษา 1965 – 1966

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือ

(ก) ศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของอิฐ เช่น กำลังอัดประลัย (Crushing Strength) โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture) และการคืบ (Creep)

(ข) เพื่อทดสอบกำลังยึดหน่วง (Bond Strength) ของวัสดุที่ใช้ก่ออิฐ

(ค) เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของคานอิฐอัดแรง แล้วสอบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกประลัยทางทฤษฎี

Thomas ได้สรุปผลการทดลองครั้งนี้ ซึ่งใช้น้ำยาอีป๊อกซี่ (Epoxy Resin) ก่ออิฐ ดังนี้

(1) คานจะวิบัติเมื่อหน่วยแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ 9.6 กก./ซม^2

(2) จากผลการทดสอบแรงดัด (Flexural Test) ค่าของโมดูลัสแตกร้าว จะมีค่าอยู่ในช่วง 23.9 ถึง 47.4 กก./ซม^2

(3) หน่วยแรงดึงที่จุดกึ่งกลางของคานจะเท่ากับ 53.4 กก./ซม^2

Mehta และ Fincher[7] ได้ทำการทดลองคานอิฐอัดแรง โดยวิธีอัดแรงแบบดึงก่อนจำนวน 6 คาน ขนาดหน้าตัดของคาน 10 คูณ 12 นิ้ว และยาว 7 ฟุต ผลปรากฏว่า คานวิบัติ (fail) โดยแรงอัดที่ต่อเนื่องจากแรงเฉือน (Shear-Compression) ที่หน่วยแรงเฉือนประลัย ซึ่งไม่น้อยกว่า 80 % ของค่าที่คาดหมายไว้

การคืนตัว (Recovery) ของระยะโก่ง (Deflection) หลังจากแตกร้าว เมื่อเอาน้ำหนักบรรทุกออกหมด จะเท่ากับ 95 % และรอยร้าวจะปิดทันที อย่างไรก็ตาม ขนาดของระยะโก่งสำหรับหน้าตัดไม่ร้าว จะได้เป็นสองเท่าของค่าที่คาดหมายไว้

ต่อไปนี้เป็นผลจากการทดลอง

(ก) การเรียง (Coursing patterns) ของอิฐ ไม่มีผลต่อคุณลักษณะของคานเลย

---

(7) Mehta, K.C. and Fincher, D. "Structural behaviour of pretensioned prestressed masonry beams," Paper 35, SIBMAC Proceedings., 1970. op. cit.,

(ข) การยึดหน่วงระหว่างอิฐกับปูนสอ และระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับปูนสอ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

(ค) คานอิฐจะสามารถรับแรงดัดตามที่คาดหมายไว้ได้ ถ้าการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้ถูกป้องกันไว้

การคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) เกิดขึ้นในอิฐน้อยกว่าในคอนกรีตมาก และทำให้ไม่มีผลต่อการอัดแรงเลย

จากการทดลองทั้งหมด ได้ชี้ให้ทราบว่าในตัวอาคารที่ต้องการช่วงกว้างของพื้นมาก ๆ ก็อาจสามารถก่อสร้าง โดยใช้โครงสร้างเป็นคานอัดแรงของวัสดุก่อได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้จะพิจารณาตัวคานอิฐโปร่งอัดแรง ซึ่งประกอบเป็นแผ่นพื้นสำเร็จรูป โดยเรียงต่อกันบนคานรองรับแล้วเทคอนกรีตทับหน้า การวิเคราะห์อาศัยทฤษฎีการอัดแรง (Theory of Prestressed) และทฤษฎีแผ่นพื้นทางเดียว (Theory of One-Way Slab)

วัตถุประสงค์ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.3.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรม การรับน้ำหนักของคานอิฐโปร่งอัดแรง และพิกัดของน้ำหนักบรรทุกที่ระดับต่าง ๆ ของคานนี้

1.3.2 เพื่อนำความรู้ที่ได้จากข้อ 1.3.1 มาเป็นประโยชน์ ในการคำนวณออกแบบ ระบบพื้นอิฐโปร่งอัดแรง โดยมีการควบคุมดังนี้คือ

(ก) ควบคุมน้ำหนักบรรทุกใช้งาน มิให้เกินช่วงพิกัดยืด (Elastic Limit)

(ข) ควบคุมระยะโก่งมากที่สุดที่ยอมให้ โดยจะไม่เป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวในส่วนประกอบของอาคาร

1.3.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐกิจของระบบพื้นอิฐโปร่งอัดแรงกับระบบพื้นอื่น ๆ

1.4 ขอบข่ายของการวิจัย

ขอบข่ายของการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของวัสดุที่ใช้ เช่น กำลังอัด (Compressive Strength) ของอิฐโปร่งและของปูนสอ, กำลังดึง (Tensile Strength) ของเหล็กเสริมอัดแรง, การทดสอบการดูดซึม (Absorption Test) ของอิฐโปร่ง และคิดวิธีการทางเทคนิค ในการก่ออิฐโปร่งด้วยปูนสอเป็นคาน

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการอัดแรงแบบดึงที่หลัง เพื่อนำมาปรับปรุงใช้ในการคำนวณออกแบบคานอิฐโปร่งอัดแรง

1.4.3 คำนวณออกแบบแผ่นเหล็กยึด (Steel Anchor Plate) และเลือกใช้หัวยึด (End Anchorage) โดยพิจารณาถึงความประหยัดและสะดวกต่อการสร้างและประกอบ

1.4.4 สร้างคานอิฐโปร่งอัดแรงตัวอย่าง สำหรับใช้ในการทดลอง โดยใช้อิฐโปร่งที่มีอยู่ในท้องตลาดแล้วดัดแปลงเล็กน้อย เพื่อความเหมาะสม ใช้ปูนสอเป็นตัวก่อระหว่างอิฐ และเหล็กเสริมอัดแรงกับอิฐด้วย เหล็กเสริมอัดแรงใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. จำนวน 2 เส้น ส่วนปลายทั้งสองของคานประกอบด้วยอิฐก่อนปลายสุดพร้อมกับแผ่นเหล็กยึด และหัวยึด

1.4.5 ทำการทดลองคานอิฐโปร่งอัดแรงตัวอย่าง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานอิฐโปร่งอัดแรง

1.4.6 ศึกษาพิกัดน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของพื้นระบบนี้

1.4.7 เปรียบเทียบในเชิงเศรษฐกิจของการก่อสร้างระหว่างพื้นระบบนี้กับพื้นระบบอื่น ๆ เมื่อมีลักษณะของน้ำหนักบรรทุกและระยะช่วงคาน (Span) ที่เท่ากัน ประเด็นที่พิจารณา ได้แก่ ราคาวัสดุก่อสร้าง ค่าแรงงาน ไม้แบบ และเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

จากการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการพิจารณา การใช้ระบบพื้นในอาคารทั่วไป เพราะทำให้ทราบถึงความเหมาะสม เมื่อนำเอาพื้นระบบนี้ไปใช้งาน พิจารณาจากผลการทดลอง ทำให้ทราบถึงพิกัดของน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ และเป็นไปตามข้อกำหนดของระยะโก่ง ระยะช่วงคานที่เหมาะสมกับการใช้พื้นระบบนี้ ผลจากการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐกิจของราคาค่าก่อสร้างระหว่างพื้นระบบนี้กับพื้นระบบอื่น ๆ จะเป็นแนวทางช่วยในการพิจารณาเลือกใช้ระบบพื้นสำหรับงานอาคารต่าง ๆ

1.6 วิธีที่ดำเนินการวิจัย

1.6.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.6.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ

1) กำลังอัดประลัยของอิฐโปร่ง

2) กำลังอัดประลัยของปูนสอ

3) กำลังดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง

4) คุณสมบัติการดูดซึมของอิฐโปร่ง

1.6.3 การคำนวณออกแบบคานอิฐโปร่งอัดแรง

1.6.4 การคำนวณออกแบบแผ่นเหล็กยึด และเทคนิคในการสร้างคานอิฐโปร่งอัดแรง

1.6.5 การเตรียมวัสดุ และการสร้างคานอิฐโปร่งอัดแรง

1.6.6 การทดลองการรับน้ำหนักของคานอิฐโปร่งอัดแรง

1.6.7 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐกิจของราคาค่าก่อสร้างระหว่างพื้นระบบนี้กับพื้นระบบอื่น ๆ

1.6.8 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1.7 นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค

การอัดแรงแบบดึงทีหลัง (Post-tensioned)

การอัดแรงแบบดึงก่อน (Pre-tensioned)

ผนังอิฐอัดแรงรับแรงเฉือน (Prestressed brickwork shear wall)

ผนังกำแพงอัดแรงวางบนดิน (Pre-stressed Brick or Block Walls on Reactive Soils)

แท้งค์น้ำอิฐอัดแรง (Prestressed Brickwork Water Tank)

แนวดิ่ง (Vertically)

แนวเส้นรอบวง (Circum ferentially)

ปูนสอ (mortar)

ทออัดปูนสอ (Grout duct)

โพลงอัดปูนสอ (Grout cavity)

ผนังอิฐก่อรับน้ำหนัก (Load-bearing masonry walls)

ตัวยึด (anchor)

วิบัติ (fail)

การวิบัติ (failure)

หน่วยแรงอัด (Compressive stress)

หน่วยแรงดึง (Tensile stress)

หน่วยแรงเฉือน (Shearing stress)

การยึดหน่วง (Bond)

กำลังอัดประลัย (Crushing strength)

โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture)

การคืบ (Creep)

กำลังยึดหน่วง (Bond strength)

น้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate Load)

น้ำยาอีป๊อกซี่ (Epoxy Resin)

การทดสอบแรงดัด (Flexural Test)

แรงอัดที่ต่อเนื่องจากแรงเฉือน (Shear-Compression)

การคืนตัว (Recovery)

ระยะโก่ง (Deflection)

แตกร้าว (Crack)

การเรียงอิฐ (Coursing patterns)

การหดตัว (Shrinkage)

พิกัดยืด (Elastic Limit)

ระยะช่วงคาน (Span)

การทดสอบการดูดซึม (Absorption Test)

หัวยึด (End Anchorage)

แผ่นเหล็กยึด (Steel anchor plate)