บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในการก่อสร้างอาคารทั่วไป เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าส่วนสำคัญของอาคารที่ใช้รับน้ำหนักนั้นได้แก่ พื้น คาน เสา และฐานราก คานเป็นโครงสร้างสำคัญที่จะถ่ายน้ำหนักจากพื้นผ่านลงไปยังเสา ในการก่อสร้างทั่วไปจะเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก คานคอนกรีตอัดแรง เหล็กและไม้ สำหรับอาคารขนาดเบา เช่น บ้านพักอาศัย และตึกแถวทั่วไป ส่วนมากมักใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กและไม้ คานคอนกรีตเสริมเหล็กมีน้ำหนักมาก และใช้ไม้แบบ ทำให้ค่าก่อสร้างสูง ส่วนคานไม้รับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่มากนัก นับวันก็จะหาไม้ยากขึ้น และมีราคาแพงมากขึ้น นอกจากนี้การใช้ไม้ในการก่อสร้าง ทำให้ต้องโค่นป่าไม้ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย นี่เป็นสาเหตุที่จะวิจัยหาวิธีที่จะลดน้ำหนัก และราคาค่าก่อสร้างของคาน โดยหาวัสดุที่เบากว่า และรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีที่มีอยู่ในท้องตลาด เช่น อิฐ นำมาดัดแปลงทำเป็นคาน และตัดปัญหาการใช้ไม้แบบ การวิจัยนี้จะนำเอาอิฐ และคอนกรีตมาใช้งานร่วมกัน โดยทำเป็นคานประกอบคอนกรีต – อิฐ เสริมเหล็ก โดยใช้คอนกรีตซึ่งรับแรงอัดได้ดีกว่าอิฐ ในช่วงรับแรงอัดตอนบน ส่วนตอนกลางรูปตัด ซึ่งรับแรงอัดน้อยกว่า จะใช้ อิฐโปร่งเป็นการลดน้ำหนักของตัวคาน คานประกอบคอนกรีต – อิฐเสริมเหล็กนี้เกือบจะไม่ต้องใช้ไม้แบบเลย เมื่อประหยัดไม้แบบได้ จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างถูกลง อีกประการหนึ่ง เมื่อใช้ไม้แบบน้อยลง การตัดไม้ทำลายป่าก็ลดน้อยลงด้วย เป็นการสงวนป่าไม้เอาไว้ได้ และโดยทางอ้อม ก็จะช่วยป้องกันการเกิดน้ำท่วมได้ เมื่อคานประกอบคอนกรีต – อิฐเสริมเหล็กมีน้ำหนักเบา ราคาค่าก่อสร้างฐานรากจะถูกลง ทำให้ราคาค่าก่อสร้างของอาคารทั้งหมดถูกลงด้วย

1.2 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

งานก่อ (Masonry) เป็นงานที่ประกอบด้วยอิฐ และปูนสอ ซึ่งสมัยก่อนใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น ปล่องไฟ ผนัง กำแพง เขื่อน เสา คาน และอื่น ๆ แต่ไม่มีการเสริมเหล็กในระยะหลัง และปัจจุบันนี้ได้ปรับปรุงวัสดุให้ดีขึ้น และมีการเสริมเหล็กทั้งแบบเสริมเหล็กธรรมดา และเสริมเหล็กแบบอัดแรงก่อน หรืออัดแรงที่หลัง เพื่อใช้รับน้ำหนักได้มาก และดียิ่งขึ้น

ปี 1837 นายพันเอก Pasley (1) ได้ทดลองคานอิฐก่อเสริมเหล็ก 3 ตัว มีหน้าตัดกว้าง 18 นิ้ว ลึก 12 นิ้ว ก่อด้วยอิฐ 4 ก้อน ระยะช่วงยาว 10 ฟุต คานตัวที่ 1 ก่ออิฐด้วยปูนซีเมนต์ล้วน ๆ (ไม่ผสมทราย) ไม่มีเหล็กเสริม เกิดการวิบัติ เมื่อน้ำหนักบรรทุก 498 ปอนด์ คานตัวที่ 2 ก่ออิฐด้วยปูนซีเมนต์ล้วน ๆ เสริมเหล็ก ด้วยลวดเหล็ก 5 เส้น โดยวางลวด 2 เส้นในรอยเชื่อมปูนสอบน วางลวด 1 เส้นในรอยเชื่อมกลาง และวางลวด 2 เส้นในรอยเชื่อมปูนสอล่าง ซึ่งลวด 2 เส้นล่างจะรับหน่วยแรงดึง คานตัวที่ 2 วิบัติเมื่อน้ำหนักบรรทุก 4723 ปอนด์ คานตัวที่ 3 เสริมลวดเหล็กลักษณะเดียวกับคานตัวที่ 2 แต่ใช้ปูนสอที่ประกอบด้วยปูนขาว 1 ส่วน และทราย 3 ส่วน เกิดการวิบัติเมื่อน้ำหนักบรรทุกอยู่ระหว่าง 400 และ 500 ปอนด์ การทดลองของ Pasley ชี้ให้เห็นว่า ขณะนั้นยังไม่เข้าใจการวางให้เหล็ก และวัสดุก่อกระทำร่วมกันในการต้านแรง และสูตรเอ็มไพริกัลที่หาได้จากการทดลองก็ไม่สามารถจะหาขนาด และเหล็กเสริมขององค์อาคารโครงสร้างที่แปรผันในรูปหน้าตัด และระยะช่วงได้

ปี 1923 กรมโยธาธิการของอินเดีย (2) ได้พิมพ์ "Note on Reinforced Brick Work" ของ A. Brebner ใน Technical Paper No. 38 ซึ่ง Brebner ได้รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคาน และแผ่นพื้นเสริมเหล็ก โดยสรุปไว้ว่า "คานอิฐเสริมเหล็กและแผ่นพื้นอิฐเสริมเหล็ก อาจจะออกแบบได้เช่นเดียวกับทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็ก"

ปี 1923 D.E. Parsons, A.H. Stang และ J.W.McBurney (3) ได้ทดลองหาความต้านทานแรงเฉือนของคานวัสดุอิฐเสริมเหล็ก 18 ตัว มีรูปหน้าตัดประมาณ 1 ฟุต คูณ 1 ฟุต ระยะช่วงยาว 12 ฟุต คานแต่ละตัวเสริมเหล็กข้ออ้อย 6 เส้น มีพื้นที่หน้าตัดเส้นละ

---

1. Harry C. Plummer and John A Blume: "Reinforced Brick Masonry and Lateral Force Design" Structural Clay Products Institute, Washington D.C., 1953 p.3

2. Harry C. Plummer and John A. Blume. Ibid, p.4

0.5 ตารางนิ้ว เป็นเหล็กรับแรงดึง ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ปูนสอมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ส่วน ปูนขาว 0.15 ส่วน ทราย 3 ส่วน โดยปริมาตร มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ 2 จุด ที่ Quarter point ผลการทดลองได้ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดมีช่วงจาก 65 ถึง 159 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในรายงานกล่าวว่า "กำลังแรงดึง และแรงเฉือนของวัสดุก่อมีความสัมพันธ์ใกล้กับความต้านทานแรงดึงทะแยงของคานวัสดุก่อ"

เขาได้เขียนกราฟค่าหน่วยแรงเฉือนอยู่ในรูปฟังชันของอัตราส่วนช่วงแรงเฉือน $\frac{a}{d}$ (อัตราส่วนช่วงแรงเฉือน คือ ระยะทาง a จากฐานรองรับไปยังจุดน้ำหนักบรรทุก หารด้วยความลึกประสิทธิผลของคานจากเหล็กเสริมไปยังขอบบนสุดของคาน) ซึ่งได้ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่า หน่วยแรงเฉือนเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนช่วงแรงเฉือน ปรากฏการณ์นี้ก็เกิดขึ้นในคานคอนกรีตเสริมเหล็กเช่นกัน นอกจากนี้เขาพบว่ากำลังต้านสุดจะได้จากคานที่รอยเชื่อมฐานตั้งฉากกับช่วงคาน ค่ากำลังเฉือนต่ำสุดของอิฐแบบฟลาเดลเฟียมีค่า 48 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งเป็นค่าประมาณ 4% ของกำลังอัดของปริซึมวัสดุก่อแบบเดียวกัน แต่กำลังเฉือนต่ำสุดของอิฐแบบชิคาโกมีค่าประมาณ 8.5% ของกำลังอัดของปริซึมวัสดุก่อค่ากำลังเฉือนต่ำสุดของคานที่มีรอยเชื่อมฐานขนานกับช่วงคาน มีค่า 88 ปอนด์/ตารางนิ้ว สำหรับอิฐแบบฟลาเดลเฟีย ซึ่งค่านี้เทียบได้ 5.3% ของกำลังอัดของปริซึมอิฐ สำหรับอิฐแบบชิคาโกมีค่า 154 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งเทียบได้มากกว่า 15% ของปริซึมอิฐ อิฐแบบชิคาโกมีกำลังเฉือนดีกว่าเนื่องจากมีการดูดซึมน้อยกว่า

ปี 1933 M.O. Withey [4] ได้ทดลองคานอิฐเสริมเหล็ก 25 ตัว มีหน้าตัด 8 นิ้ว คูณ 8 นิ้ว ระยะช่วงยาว 8 ฟุต มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมแนวนอนในช่วง 0.56 ถึง 2.3% และใช้เหล็กปลอกหลายเปอร์เซนต์เป็นตัว ๆ ไป มีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบ Third point loading ใช้ปูนสอประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 3 : ปูนขาว : ทราย 1 : 0.78 : 4.7 โดยปริมาตร ผลการทดลองคานส่วนมากวิบัติด้วยแรงดึงในเหล็กเสริม แต่มีคาน 3 ตัวที่วิบัติเนื่องจากการกดในวัสดุก่อ และส่วนมากของการวิบัติแบบแรงดึง ค่าหน่วยแรงอัดที่คำนวณได้ในวัสดุก่อ ปรากฏว่า เข้าใกล้แรงประลัย เมื่อเขานำผลที่ได้มาเขียนกราฟ และเปรียบเทียบแรงดัดประลัยจะได้เหมือนกับแรงดัดประลัยในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ

---

3. D.E. Parsons, A.H.S. ang and J.W. McBurney: "Shear tests of Reinforced Brick Masonry Beam", National Bureau of Standards Research Paper 504, 1932
4. Withey, M.O. : "Test on Brick Masonry Beam" ASTM, Proceeding of the thirth-sixth annual meeting, Vol. 33, Technical paper, Part II, p.651 - 669, 1933

$$m = q(1-0.59q) \leq 0.4$$

โดยที่ $m = \frac{Mu}{bd^2 fm'}$ และ $q = \frac{p\,fy}{fm^1}$

d = ความกว้างของคาน d = ความลึกประสิทธิผล

M_u = แรงดัดประลัย fm^1 = กำลังอัดของวัสดุก่อ

p = เปอร์เซนต์เหล็ก

เนื่องจากความเปราะที่สังเกตเห็นในบางการทดลอง และประสบการจำกัดการทดลองกับคานวัสดุก่อเสริมเหล็กมาก การคำนวณแรงดัด m จึงถูกจำกัดประมาณ 0.4

กำลังเฉือนเป็นตัวสำคัญมากที่จะหาค่ากำลังแบกทานประลัยของคานวัสดุก่อ และกำลังเฉือนเป็นคุณสมบัติกำลังวิกฤตของวัสดุก่อ

เขาสรุปผลการทดลองดังนี้ คือ

1. ที่ซึ่งต้องการเหล็กรับแรงเฉือน และไม่มีเหล็กเสริมแนวนอนหักคอม้า ระยะเรียงของเหล็กปลอก ควรใช้ประมาณครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผลของคาน

2. การทดลองชี้ให้เห็นว่า สูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงเฉือนหน่วยแรงยึดหน่วง และการโก่ง สำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถนำมาใช้ในการคำนวณสำหรับคานอิฐเสริมเหล็กได้

3. เพื่อที่จะให้ได้กำลังดี ต้องอุดรอยเชื่อมต่อให้เต็ม

ปี 1951 ที่ University of Southern California, Robert R. Schneider (5) ได้รายงานการทดลองคานวัสดุอิฐเสริมเหล็ก ซึ่งมีจุดมุ่งหมายใหญ่ เพื่อที่จะหากำลังเฉือน ที่จะเป็นตัววัดความต้านทานแรงดึงทะแยงของคานวัสดุอิฐเสริมเหล็ก และหาตัวประกอบที่มีผลเกี่ยวกับคุณสมบัตินี้ แรงเฉือนเป็นตัวประกอบวิกฤตในการออกแบบคานวัสดุอิฐเสริมเหล็กบอย ๆ

---

5. Harry C. Plummer and John A. Blume : Ibid, p.85

เชาทดลองคานวัสดุอิฐเสริมเหล็ก 27 ตัว ระยะช่วงยาว 55 $\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งออกแบบให้วิบัติในแรงดึงทะแยง การก่อสร้างคานใช้อิฐมาวางเรียงด้านขวาง 2 – 3 ก้อน เพื่อเป็นหน้าตัด ใช้อิฐก่อเรียงตามยาวของคาน ปูนสอที่ใช้ มีส่วนผสม 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ประกอบด้วยปูนซีเมนต์: ปูนขาว : ทราย = 1 : 0.16 : 3 โดยปริมาตร แบบที่ 2 ประกอบด้วย 1 : 0.3 : 4.5 โดยปริมาตร เหล็กที่ใช้มี 2 ชนิด คือ เหล็กข้ออ้อยตามแบบ ASTM Specification A305 และเหล็กข้ออ้อยมาตรฐาน การก่อสร้างใช้ช่างก่อ 2 พวก คือ ช่างที่มีฝีมือดี และช่างไม่มีฝีมือ

ผลการทดลองปรากฏว่า คานทั้งหมดวิบัติโดยแรงดึงทะแยงหน่วยแรงดึงในเหล็ก หน่วยแรงอัดในวัสดุก่อ และหน่วงแรงยึดหน่วงที่น้ำหนักบรรทุกประลัยมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยแรงที่เกิดในคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเพียงพอ ผลการทดลองเกี่ยวกับแรงเฉือนดังนี้

1. ปูนสอ ค่าหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยของคานที่ก่อด้วยปูนสอแบบที่ 2 จะมากกว่าก่อด้วยปูนสอแบบที่ 1 ปูนสอแบบที่ 1 จะให้ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยประมาณ 79% และ 67% ของปูนสอแบบที่ 2 สำหรับคานที่ก่อด้วยช่างฝีมือดี และช่างไม่มีฝีมือตามลำดับ

2. ฝีมือช่าง คานที่ก่อด้วยช่างมีฝีมือจะให้ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยสูงกว่าคานที่ก่อด้วยช่างไม่มีฝีมือ

Zelger [6] ได้เสนอแนะสมการในการคำนวณหาหน่วยแรงเฉือนในคานวัสดุก่อดังนี้

$$\tau = \frac{V}{jdb} \quad (1 - \frac{\mu}{\lambda})$$

โดยที่ μ = สัมประสิทธิ์เสียดทาน $\simeq$ 0.5

λ = อัตราส่วนช่วงแรงเฉือน = $\frac{a}{jd}$

(ค่า λ = 0.8 เป็นค่าที่น้อยที่สุดที่ใช้ในสมการนี้)

จากข้อมูลรายงานมีเหตุผลเพียงพอที่สมมุติว่าที่อัตราส่วนช่วงแรงเฉือนสูง กำลังเฉือนของคานวัสดุก่อมีค่าประมาณ 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือมากกว่า หรือ 4 ถึง 10% ของกำลังอัด

---

6. Zelger : "Neue Wege bei der Bemessung Von Ziegelsturzen" Die Ziegelindustrie, Heft 4, 1964

การดูดซึมของอิฐมีอิทธิพลต่อกำลังเฉือน Hilsdorf [7] พบว่ากำลังเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นเมื่ออิฐมีการดูดซึม 10% ผลเสียหายของกำลังเฉือนเนื่องจากการดูดซึมที่สูงแก้ไขได้โดยใช้ปูนสอเปียกเล็กน้อย

Saven Sahlin [8] ได้เสนอแนะว่าพฤติการของวัสดุก่อเสริมเหล็กคล้ายคลึงกับคอนกรีตเสริมเหล็ก คานวัสดุก่อที่ใส่เหล็กเสริมมากเกินไป จะเปราะมากกว่าคานคอนกรีตที่ใส่เหล็กเสริมมากเกินไป และความสัมพันธ์ของขนาดแรงดึงเฉือน และกำลังอัดสำหรับวัสดุก่อจะแตกต่างจากคอนกรีตเสริมเหล็ก

Mason Vaugh [9] ได้ทดลองคานอิฐเสริมเหล็ก 6 ตัว มีรูปหน้าตัด $8\frac{1}{4}$ นิ้ว คูณ 14 นิ้ว ระยะช่วง 12 ฟุต ใช้เหล็กกลมผิวเรียบ $\frac{3}{4}$ นิ้ว จำนวน 2 เส้น มีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบ Third point loading คาน 3 ตัวแรกไม่มีเหล็กปลอก และใช้อัตราส่วนของปูนสอประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ทราย = 1 : 2 ส่วนคาน 3 ตัวหลังมีเหล็กปลอก และใช้อัตราส่วนของปูนสอประกอบด้วยปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย 1 : 0.1 : 3 ผลการทดลองจะมีคานเพียง 1 ตัวที่ไม่มีเหล็กปลอกวิบัติ โดยแรงเฉือนที่ค่า 69 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ส่วนคานอีก 2 ตัวที่ไม่มีเหล็กปลอกวิบัติโดยแรงยึดหน่วง ส่วนคานที่มีเหล็กปลอกจะวิบัติโดยแรงดึง ซึ่งมีคาน 2 ตัว จะวิบัติเข้าใกล้จุดคลากของเหล็ก หน่วยแรงยึดหน่วงที่มากที่สุด 180 ปอนด์ / ตารางนิ้ว และหน่วยแรงเฉือนมีค่า 102 ปอนด์/ตารางนิ้ว

Martin J. Feeney และ Raymond W. Miller [10] ได้ทดลองคานอิฐเสริมเหล็ก 10 ตัว เพื่อที่ศึกษาการกระทำของคานเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุก มีระยะช่วง 5 ฟุต และ 10 ฟุต ใช้อัตราส่วนผสมของปูนสอประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย 1 : 0.15 : 3 ใช้เหล็กข้ออ้อย $\frac{1}{2}$ นิ้ว จำนวน 2 เส้น และงอขอที่ปลายทั้งสองข้าง ไม่มีเหล็กปลอก มีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบ Third point loading อิฐที่ใช้มีกำลังอัด 4715 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ผลการทดลองได้ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงถึง 84 ปอนด์ / ตารางนิ้ว

---

7. Hilsdorf, Hubest : "Bcwehrtes Ziegelmauerwerk" Materialprii-fungsant fur das Bauwesen de Technishen Hochschule Munchen, Bcricht Nr. 33, 1962
8. Sven Sahlin : "Structural Masonry" Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1971
9. James H. Hansen : "Development in Reinforced Brick Masonry" Proceeding of ASCE, March 1933 p. 412

ที่รอยแตกร้าวครั้งแรก และค่าหน่วยแรงเฉือนมากที่สุด 154 ปอนด์ / ตารางนิ้ว รอยแตกร้าว จะเกิดขึ้นตามรอยเชื่อมต่อปูนสอ คานบางตัวจะเกิดรอยแตกร้าวผ่านอิฐเป็นมุมต่าง ๆ สาเหตุการวิบัติครั้งแรกในแต่ละกรณี คือ วัสดุก่อมีแรงดึงน้อย อย่างไรก็ตามรอยแตกร้าวในแนวดิ่งใกล้กึ่งกลางของคานชี้ให้เห็นว่าไม่เป็นการวิบัติ โดยการยึดหน่วง หรือการเฉือน ในที่สุดเขาสรุปว่า สูตรต่าง ๆ ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบคานอิฐเสริมเหล็กได้

Hugo Filippi [11] วิศวกรของ Common Brick Manufactures Association of America ได้ทดลองคานอิฐเสริมเหล็กจำนวน 6 ตัว มีขนาดหน้าตัด 8 นิ้ว x 13 $\frac{3}{8}$ นิ้ว มีเหล็กข้ออ้อย $\frac{3}{8}$ นิ้ว จำนวน 3 เส้น เป็นเหล็กเสริมไม่งอขอที่ปลาย ไม่มีเหล็กปลอก คาน 3 ตัวแรกใช้อัตราส่วนของปูนสอประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย 1 : 1 : 6 ส่วนอีก 3 ตัวหลัง ใช้อัตราส่วนของปูนสอ คือ 1 : 0.15 : 3 อิฐที่ใช้มีกำลังอัด 2626 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ใช้น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบ Third point loading ผลการทดลอง คานทั้งหมดจะวิบัติโดยแรงเฉือน ที่รอยแตกร้าวครั้งแรก ค่าหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ย 25 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ที่น้ำหนักบรรทุกประลัย ค่าหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ย 40 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าจะต้องใช้เหล็กปลอก หรือเหล็กคอม้าช่วยรับแรงเฉือน ส่วนระยะโก่งก็เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักบรรทุกอย่างธรรมดา และภายในน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบจะ มีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{360}$ ของระยะช่วงมาก

James H. Hansen [12] ได้ทดลองคานอิฐเสริมเหล็ก 2 ตัว คานตัวที่ 1 มีรูปหน้าตัด 12 นิ้ว x 17 $\frac{3}{4}$ นิ้ว ระยะช่วง 16 ฟุต คานตัวที่ 2 มีรูปหน้าตัด 8 นิ้ว x 11 นิ้ว ระยะช่วง 11 ฟุต ส่วนผสมของปูนสอประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย = 1 : 0.25 : 3 อิฐมีกำลังอัดเฉลี่ย 3044 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ใช้เหล็กข้ออ้อยไม่งอขอ ใช้เหล็กปลอก 4 ขา มีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบ Third point loading คานตัวที่ 1 ก่อคานที่จะทดลอง คานตัวที่ 2 ก่อสร้างที่พื้นแล้วยกขึ้นไปวางที่ฐานรองรับที่จะทดลอง ผลการทดลองจะได้ลักษณะการแตกร้าวทันทีที่น้ำหนักบรรทุกมีค่าเป็น 2.4 และ

10. James H. Hansen : Ibid, p.418
11. James H. Hansen : Ibid, p. 421
12. James H. Hansen : Ibid, p. 422

4.8 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณ ส่วนการแตกร้าวครั้งแรกและระยะโก่งที่ยอมให้จะมีค่ามากกว่า 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณได้ในแต่ละกรณี

เขาสรุปไว้ว่า โครงสร้างที่ใช้อิฐจะมีน้ำหนักเบากว่าใช้คอนกรีตประมาณ 20% และในตอนสุดท้ายสรุปไว้ดังนี้

1. สมมุติฐานที่ยอมรับในการคำนวณออกแบบของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบของวัสดุอิฐเสริมเหล็กได้

2. หน่วยแรงยึดหน่วงควรจะจำกัดแค่ 80 ปอนด์ / ตารางนิ้ว

3. หน่วยแรงเฉือนควรจะจำกัดเพียง 25 หรือ 30 ปอนด์ / ตารางนิ้ว หากเกินจากนี้ ก็ต้องใช้เหล็กปลอก หรือเหล็กงอคอม้าในคาน

4. อัตราส่วน $\frac{E_s}{E_b}$ อยู่ระหว่าง 20 และ 30

5. ปูนสอ ควรมีอัตราส่วนประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย = 1 : 0.25 : 3 โดยปริมาตร

ปี 1955 ที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน Jesse C. Saemann [13] ได้ทดลองคานคอนกรีตวัสดุก่อเสริมเหล็ก 25 ตัว โดยเทคอนกรีตลงในบล็อก ซึ่งทำด้วยทราย กรวด และเซย์ไดท์ รูปรางน้ำ มีเหล็กข้ออ้อยเป็นเหล็กเสริมเอก ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (เหล็กปลอก) ส่วนผสมของปูนสอที่ใช้เชื่อมรอยต่อบล็อก มี 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ทราย = 1 : 0.25 : 3 และแบบที่ 2 = 1 : 1 : 6 มีระยะช่วง 4 - 20 ฟุต โดยมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ 2 จุด แบบ Quarter - points คานที่ทดลองได้ออกแบบไว้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นคานสั้น ออกแบบควบคุมโดยหน่วยแรงเฉือน กลุ่มที่ 2 เป็นคานยาว ออกแบบควบคุมโดยแรงดัด ติดเกจวัดความเครียด SR - 4 gage, Mechanical gage ที่เหล็ก คอนกรีต และวัสดุก่อ เพื่อหาความเครียดที่เกิดขึ้น

---

13. Jesse C. Saemann : "Investigation of the Structural Propertics of Reinforced Concrete Masonry" National Concrete Masonry Association, Illinois, 1955

ในการคำนวณออกแบบน้ำหนักบรรทุก ใช้หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของวัสดุก่อ และคอนกรีตมีค่า 0.33 fm^1 และ 0.45 fc^1 ตามลำดับ หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ในวัสดุก่อและคอนกรีตมีค่า 0.02 fm^1 และ 0.03 fc^1 ตามลำดับ

ผลการทดลองซึ่งเขานำเอามาเปรียบเทียบกับทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็ก ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนของหน่วยแรงที่คำนวณได้ที่ผิวบนสุดของคอนกรีตต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ในคอนกรีตมีค่า 0.86 ค่าที่ได้นี้สำหรับคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กมาก ยังน้อยกว่าค่าที่ได้จากคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กที่ออกแบบสมดุลย์ ในการทดลองจะได้ค่าน้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณไว้ เฉลี่ยประมาณ 7% ค่าที่มากกว่านี้ เนื่องจากสาเหตุหนึ่ง คือ คอนกรีตรับแรงดึงได้เล็กน้อย ซึ่งจะทิ้งไว้ในทฤษฎี หรือกำลังคอนกรีตมากกว่าที่ได้จากการทดสอบกดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก เพราะว่าการบ่มที่แตกต่างกัน ค่าเผื่อความปลอดภัยที่คำนวณได้จากอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ทดลองได้ (บวกน้ำหนักของคานด้วย) ต่อน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้นั้น สำหรับคานที่ใช้บล็อกแบบทรายและกรวด จะมีค่าเผื่อความปลอดภัยเฉลี่ย 4.5 สำหรับคานรับแรงเฉือน และ 3.0 สำหรับคานรับแรงดัด ที่มีเปอร์เซนต์เหล็กที่ออกแบบสมดุลย์ และ 4.0 สำหรับคานรับแรงดัด ที่มีเปอร์เซนต์เหล็กสูงกว่า คานที่ใช้บล็อกแบบเฮย์ไดท์ มีค่าเผื่อความปลอดภัยเฉลี่ยประมาณ 4.0 สำหรับคานรับแรงเฉือน และ 3.5 สำหรับคานรับแรงดัดที่มีเปอร์เซนต์เหล็กสูงกว่า คานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กสูงกว่าจะมีค่าต่าง ๆ มากกว่าคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กที่ออกแบบสมดุลย์ ดังนี้ คือ น้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้สูงกว่าประมาณ 15% น้ำหนักบรรทุกประลัยสูงกว่าประมาณ 65% และค่าเผื่อความปลอดภัยสูงกว่าประมาณ 35%

หน่วยแรงยึดหน่วงเหล็กไม่เป็นที่น่าวิตกสำหรับคาน และการยึดหน่วงระหว่างคอนกรีต และบล็อกใช้ได้ สำหรับคานรับแรงดัด ค่าระยะโก่งที่ทดลองได้ที่น้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้จะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าระยะโก่งที่คำนวณได้ เมื่อคิดว่าคานนั้นเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กล้วน ๆ 25% ค่าที่มากกว่านี้เนื่องจากจุดอ่อนที่ระนาบรอยเชื่อมต่อปูนสอ

เขาสรุปว่า โดยทั่ว ๆ ไปพฤติการของคานคอนกรีตวัสดุก่อเสริมเหล็ก มีลักษณะคล้ายกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก การคำนวณออกแบบคานคอนกรีตวัสดุก่อเสริมเหล็กสามารถที่จะใช้ทฤษฎีคำนวณออกแบบของคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้โดยปลอดภัย

ปี 1965 Kenneth Thomas [14] ได้ทดลองคานอิฐอัดแรงจำนวน 2 ตัว เพื่อจะศึกษาการรับน้ำหนัก โดยมีแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอยู่บนคานอิฐอัดแรง ผลการทดลองปรากฏว่า คานอิฐอัดแรงทั้งสองวิบัติเนื่องจากเกินกำลังหน่วยแรงดึงประลัยของอิฐ หน่วยแรงดึงประลัยขณะที่คานวิบัติมีค่าประมาณ 6 ถึง 8 ก.ก./ซ.ม.^{2} และสรุปว่าอิฐอัดแรงใช้เป็นคานได้

Thomas ได้สรุปผลการทดลองคานอิฐอัดแรงของ Mr. L.S. Ng ซึ่งใช้น้ำยาอีป๊อกซี่ก่ออิฐ ดังนี้

1. คานจะวิบัติเมื่อหน่วยแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ 9.6 ก.ก./ซ.ม.^{2}

2. ผลการทดสอบแรงดัด ได้ค่าโมดูลัสแตกร้าวอยู่ในช่วง 23.9 ถึง 47.4 ก.ก./ซ.ม.^{2}

3. หน่วยแรงดึงที่จุดกึ่งกลางคานเท่ากับ 53.4 ก.ก./ซ.ม.^{2}

Mehta และ Fincher [15] ได้ทดลองคานอิฐอัดแรงโดยวิธีอัดแรงแบบดึงก่อน จำนวน 6 ตัว ผลการทดลองปรากฏว่า

1. การเรียงของอิฐไม่มีผลต่อคุณลักษณะของคานเลย

2. การยึดหน่วงระหว่างอิฐกับปูนสอ และระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับปูนสอเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3. คานอิฐจะสามารถรับแรงอัดตามที่คาดหมายไว้ได้ ถ้าการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนได้ถูกป้องกันไว้

---

14. Thomas, K. : "Current Post-tension and Prestressed Brickwork and Ceramics in Great Britain" Paper 34, Texas Proceeding, 1969, p. 285-301

15. Mehta, K.C. and Fincher, D. "Structural Behavior of Pretensioned Prestressed Masonry Beam" Paper 35, SIBMAC Proceeding, 1970

การคืบและการหดตัว เกิดขึ้นในอิฐน้อยกว่าในคอนกรีตมาก

Dr. Frank B.Johnson และ Prof. J Neils Thompson (16) ได้หาค่าอัตราส่วนช่วงแรงเฉือนวิกฤตต่อความลึกของคาน (ช่วงแรงเฉือนวิกฤต คือระยะทางวิกฤตจากฐานรองรับไปยังจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำที่ทำให้เกิดความวิบัติแบบแรงเฉือน ซึ่งจะไม่เกิดการแทรกแซงโดยผลของน้ำหนักบรรทุกใกล้เคียง) เขาทดลองคานวัสดุก่อเสริมเหล็ก 6 ตัว ระยะช่วงยาว 10 ฟุต ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ใช้ปูนสอยึดหน่วงสูง (I a tex polymer) มีน้ำหนักบรรทุกสมมาตรกระทำ 2 จุด ผลการทดลองปรากฏว่าคานทั้งหมดวิบัติแบบแรงเฉือนโดยเกิดรอยแตกร้าวที่กึ่งกลางที่ผิวภายในของปูนสอ และอิฐ และได้อัตราส่วนช่วงแรงเฉือนวิกฤตต่อความลึกประสิทธิผลเท่ากับ 2.5

หลังจากนั้นเขาได้สร้างคานวัสดุก่อเสริมเหล็กใหม่อีก 16 ตัว โดยใช้อัตราส่วนช่วงแรงเฉือนวิกฤตต่อความลึกประสิทธิผลเท่ากับ 2.5 ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน ใช้ปูนสอยึดหน่วงสูง และปูนสอธรรมดา (ปูนซีเมนต์ - ปูนขาว) อย่างละ 8 ตัว เพื่อจะหาหน่วยแรงเฉือน ปกติรอยแตกร้าวเริ่มแรก เนื่องจากแรงเฉือนสามารถหาได้ก่อนจะถึงน้ำหนักบรรทุกประลัย ผลการทดลองปรากฏว่า รอยแตกร้าวเริ่มแรกเนื่องจากแรงเฉือนจะเริ่มต้นใกล้กึ่งกลางความลึกของคาน และที่ระยะเดียวกันข้างนอกของจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำในคานที่ก่อด้วยปูนสอยึดหน่วงสูง ที่มีอัตราส่วน น้ำ - ซีเมนต์ ต่ำ รอยแตกร้าวเริ่มแรกจะเกิดขึ้นในวัสดุก่อทำมุมทะแยง 45° เข้าไปหาจุดน้ำหนักบรรทุกกระทำในทิศทางหนึ่ง และอีกทางหนึ่งเข้าไปหาฐานรองรับ ในคานที่ก่อด้วยปูนสอแบบปูนซีเมนต์ - ปูนขาว รอยแตกร้าวเริ่มต้นแตกตามรอยเชื่อมต่อปูนสอที่ผิวภายใน แบบรูปชั้นบรรไดตรงไปเหล็กเสริม และจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ ในการทดลองคานทุก ๆ ตัว ปรากฏว่าการวิบัติปฐมภูมิเป็นแบบการเฉือน และขณะเกิดการวิบัติทุติยภูมิ จะเกิดการปริของคานที่ระดับของเหล็กเสริม รอยปรินี้เริ่มต้นจากจุดที่เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการเฉือนมาบรรจบกับเหล็กเสริมรับแรงดึง แล้วค่อย ๆ ปริไปตามแนวเหล็กนั้น เข้าหาฐานรองรับ

---

16. Frank B. Johnson and J. Neils Thompson, : "Desugning Engineering and Construction with Masonry Products" Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1969, p. 150-160

ค่าแรงเฉือน เขาหาได้จากสูตร

$$Vu = \frac{Wb\ L}{2} + \frac{Wwf}{2} + \frac{P}{2} - Wb\left(\frac{a}{12} - \frac{d}{24}\right)$$

โดยที่ Vu = แรงเฉือนประลัยทั้งหมด หน่วยปอนด์

Wb = น้ำหนักของคาน หน่วยปอนด์/ฟุต

L = ความยาวของคาน หน่วยฟุต

Wwf = น้ำหนักคานเหล็กรูป WF ที่ใช้ถ่ายแรงกดลงบนคานที่ใช้ทดลอง หน่วยปอนด์

P = น้ำหนักบรรทุกที่กระทำ หน่วย ปอนด์

a = ช่วงแรงเฉือน หน่วย นิ้ว

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน หน่วย นิ้ว

$Wb\left(\frac{a}{12} - \frac{d}{24}\right)$ แทนน้ำหนักส่วนหนึ่งของคานในอาณาเขตจุดแรงปฏิกิริยา และจุดที่เกิดจากรอยแตกร้าวเริ่มแรกเนื่องจากแรงเฉือน

หน่วยแรงเฉือนที่คำนวณได้หาจาก

$$v_u = \frac{1.5\,Vu}{bd}$$

จากผลการทดลองทั้งหมด เขาสรุปไว้ดังนี้ คือ

1. กำลังเฉือนของคานวัสดุก่อเสริมเหล็กขึ้นอยู่กับอัตราส่วน น้ำ - ซีเมนต์ของปูนสอ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน น้ำ - ซีเมนต์ของปูนสอ จะทำให้กำลังเฉือนในคานลดลง

2. คานวัสดุก่อเสริมเหล็กที่ก่อด้วยปูนสอยึดหน่วงสูง และใช้อัตราส่วน น้ำ - ซีเมนต์ ช่วง 0.35 ถึง 0.47 จะให้กำลังเฉือนสูงสุดในช่วง 263 ถึง 406 ปอนด์/ตารางนิ้ว ส่วนที่ก่อด้วยปูนสอธรรมดา และใช้อัตราส่วนน้ำ - ซีเมนต์ ช่วง 0.40 ถึง 0.56

จะให้กำลังเฉือนสูงสุดจาก 214 ถึง 338 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งจะเห็นว่าค่ากำลังเฉือนเหล่านี้มีค่าสูง

ปี 1968 ที่ Asin Intitute of Technology William H. Lorell (17) ได้ทำการทดสอบแรงดัดของอิฐ โดยทดลองคานอิฐบล็อกก่อนเดียวเสริมเหล็กธรรมดา โดยใช้อิฐบล็อกรูป ⊥ วางเรียงต่อกันเป็นแถวเดียว แล้วกรอกคอนกรีตที่บล็อกส่วนบน และที่ปีกสองข้าง ซึ่งมีเหล็กเส้นวางอยู่ ส่วนตรงกลางเป็นรูปกลวง ใช้น้ำหนักบรรทุกกระทำบนคาน 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เป็นน้ำหนัก 2 แรงกระทำที่ระยะ $\frac{1}{3}$ ของระยะช่วงคาน ซึ่งแรงแบบนี้จะให้อาณาเขตของโมเมนต์คงที่ยาว แบบที่ 2 เป็นน้ำหนักบรรทุกกระทำที่จุดกึ่งกลางช่วง น้ำหนักบรรทุกแบบนี้จะให้โมเมนต์สูง และอัตราส่วนแรงเฉือนต่อโมเมนต์ต่ำกว่าแบบแรก ผลการทดลองปรากฏว่า คานที่มีช่วงยาวไม่เกิน 5 ฟุต การวิบัติจะเกิดแบบแรงเฉือนดึง คือ เกิดการวิบัติขึ้นที่แนวดึงตรงรอยเชื่อมต่อของก้อนอิฐ ส่วนคานที่มีช่วงยาวเกิน 5 ฟุต การวิบัติจะเกิดแบบการอัด - ดัด (Compression - flexural failure) คือ อิฐและหรือรอยเชื่อมต่อบนสอที่ผิวรับแรงอัดในเขตที่มีโมเมนต์สูงจะวิบัติโดยการดัด

1.3 <u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

ในการวิจัยคานประกอบคอนกรีต - อิฐเสริมเหล็กนี้มีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้ คือ

1.3.1 เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) ในการใช้คานประกอบดังกล่าว ในการก่อสร้างอาคารขนาดเบา เช่น บ้านพักอาศัย และตึกแถว เป็นต้น โดยพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ไม้แบบ และคำนึงถึงน้ำหนักของคาน และราคาค่าก่อสร้างของอาคารนั้น

1.3.2 เพื่อที่จะศึกษาพฤติการ (Behavior) ของคานประกอบนี้

1.3.3 เพื่อนำความรู้ที่ได้จากข้อ 1.3.1 และข้อ 1.3.2 มาใช้ประโยชน์ในการคำนวณออกแบบคานประกอบคอนกรีต - อิฐเสริมเหล็ก แทนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

---

17. William H. Lorell : "The Structural Properties and Characteristics of Vitrified Clay Element" The Research of the Institute of Technology, Thailand, 1968.

และคานไม้ โดยควบคุมดังนี้ คือ

1.3.3.1 ควบคุมน้ำหนักบรรทุกใช้งาน มิให้เกินช่วงพิกัดยืดหยุ่น

1.3.3.2 มิให้เกิดรอยแตกร้าวในส่วนประกอบของอาคาร หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ควบคุมระยะโก่งของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

1.3.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างระหว่างคานประกอบคอนกรีต - อิฐเสริมเหล็ก และคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่บรรทุกน้ำหนักเท่ากัน ซึ่งจะเกี่ยวโยงถึงราคาค่าก่อสร้างทั้งหมดของอาคารด้วย

1.4 <u>ขอบข่ายของการวิจัย</u>

ขอบข่ายของการวิจัยครั้งนี้มีดังต่อไปนี้ คือ

1.4.1 เป็นคานช่วงเดียวธรรมดา มีรูปหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่านั้น ไม่รวมถึงคานต่อเนื่อง คานยื่น และคานอย่างอื่น

1.4.2 ในการวิจัยนี้ได้พยายามใช้อิฐที่มีขายตามท้องตลาด โดยไม่ต้องนำมาดัดแปลงอย่างไรเลย

1.4.3 การทดลองจะเปลี่ยนแปรช่วงคาน และเปอร์เซนต์เหล็กเสริมเป็นสำคัญ เหล็กเสริมเอกจะไม่งอคอม้า แต่จะเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน และใช้ปูนสอส่วนผสมเดียวตลอด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 3 : ทราย = 1 : 3 โดยปริมาตร ยกเว้นกาน B7 - 1.50 ม.

1.4.4 จะศึกษาถึงพฤติการของคานระหว่างก่อสร้างด้วย

1.4.5 จะศึกษาผลของการก่อสร้างที่ไม่ดี อาทิเช่น การก่อปูนสอระหว่างก้อนอิฐ ในแนวดิ่งไม่ดี

1.4.6 การหดตัว (Shrinkaye) การคืบ (Creep) ในคอนกรีต อิฐ และปูนสอ จะไม่นำมาพิจารณา

1.4.7 การทดลองให้คานรับแรงดัด และแรงเฉือนเท่านั้น (ไม่เกิดแรงบิด) น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบ Static และ Monotonic ไม่ได้ให้น้ำหนักบรรทุกกระทำกลับไปกลับมา

1.4.8 เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างของคานประกอบคอนกรีต - อิฐเสริมเหล็กกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีน้ำหนักบรรทุก และระยะช่วงคานที่เท่ากัน โดยพิจารณาราคาวัสดุก่อสร้าง ค่าแรง ไม้แบบ และน้ำหนักของคาน

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

ปกติในการก่อสร้างคานทั่วไปจะใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีราคาแพง มีน้ำหนักมาก และต้องใช้ไม้แบบด้วย (นับวันไม้แบบจะหายาก และราคาแพงยิ่งขึ้น) สำหรับคานประกอบคอนกรีต - อิฐเสริมเหล็ก จะไม่ต้องใช้ไม้แบบเลย ถ้าเป็นคานคอดิน หรือเป็นคานที่วางอยู่บนผนังอิฐ ถ้าเป็นคานที่ไม่มีผนังรับก็อาจใช้ไม้ค้ำยันบ้าง (แต่ยังน้อยกว่าที่ต้องใช้กับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก) ซึ่งก็ใช้ได้หลายครั้ง อีกประการหนึ่งน้ำหนักของคานประกอบนี้ก็น้อยกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดเดียวกัน ราคาค่าก่อสร้างจึงลดลงด้วย ฉะนั้นเมื่อได้ศึกษาพฤติการของคานประกอบนี้แล้ว จะทำให้รู้ขอบข่ายของการใช้คานประกอบนี้ได้ สามารถเอามาใช้กับอาคารขนาดเบา เช่น บ้านพักอาศัย โดยเฉพาะบ้านจัดสรร และตึกแถว ซึ่งสร้างเป็นจำนวนมาก จะทำให้ตัดการใช้ไม้แบบลง เป็นการช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งจะมีผลดีต่อการสงวนป่า และรักษาสิ่งแวดล้อมมาก

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

002274

1.6.1 ศึกษาและเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.6.2 ทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ ดังนี้

1.6.2.1 กำลังอัดประลัยของอิฐโปร่ง

1.6.2.2 การดูดซึมของอิฐโปร่ง

1.6.2.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐโปร่ง

1.6.2.4 กำลังอัดประลัยของปูนสอ

1.6.2.5 กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตมาตรฐานและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

1.6.2.6 กำลังดึงของเหล็กเส้น และโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก

1.6.3 กำหนดออกแบบคานประกอบคอนกรีต - อิฐเสริมเหล็ก แล้วก่อสร้างคานประกอบดังกล่าว ติด Strain gage ที่เหล็กเสริมเอก เหล็กปลอก คอนกรีต และอิฐ

1.6.4 ทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของคานข้อ 1.6.3

1.6.5 วิเคราะห์คานประกอบที่ทดลองเสร็จแล้ว และเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างของคานประกอบกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.6.6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1.7 นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค

การดัดวิบัติ	Flexural failure
การเฉือนวิบัติ	Shear failure
การยึดหน่วงวิบัติ	Bond failure
การอัด - ดัดวิบัติ	Compression - flexural failure
การคืบ	Creep
การดูดซึม	Absorption
การแยกด้วยตะแกรงร่อน	Sieve analysis
การวิบัติ	Failure
การรูด	Slip

การหดตัว	Shrinkage
เกจวัดความเครียด	Strain gage
เกจวัดระยะโก่ง เกจวัดระยะยืด	Dial gage
กำลังคลาก	Yield strength
จุดคลาก	Yield point
คานช่วงเดี่ยวธรรมดา	Simple beam
คานต่อเนื่อง	Continuous beam
คานยื่น	Cantilever beam
ความเครียด	Strain
ค่าเผื่อความปลอดภัย	Factor of safety
งานก่อ วัสดุก่อ	Masonry
แตกร้าว	Crack
น้ำหนักบรรทุก	Load
น้ำหนักบรรทุกแตกร้าว	Cracking load
น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้	Allowable load
น้ำหนักบรรทุกประลัย	Ultimate load
หน่วยแรง	Stress
หน่วยแรงดึง	Tensile stress
หน่วยแรงอัด	Compressive stress
หน่วยแรงเฉือน	Shearing stress
ปูนสอ ปูนก่อ	Mortar
พิกัดยืดหยุ่น	Elastic limit
โมดูลัสยืดหยุ่น	Modulus of elasticity
โมดูลัสแตกร้าว	Modulus of rupture
โมดูลัสความละเอียด	Finess modulus

ระยะโก่ง	Deflection
แรงดัด	Moment
รอยเชื่อมต่อปูนสอ	Mortar joint
อัตราส่วนช่วงแรงเฉือน	Shear span ratio
อัตราส่วนความเหนี่ยว	Ductility ratio