หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ ๔

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทำวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองหาคุณสมบัติทางฟิสิคส์ของวัสดุที่ใช้ ทำการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของคานประกอบอิฐเสริมเหล็ก คานประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก และแผ่นพื้นประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก

๔.๑ การทดลองหาคุณสมบัติทางฟิสิคส์ของวัสดุ

๔.๑.๑ การทดลองหาคุณสมบัติทางฟิสิคส์ของอิฐ

๔.๑.๑.๑ การดูดซึมน้ำของอิฐ ในการทดลองหาเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของอิฐใช้อิฐโปร่งจำนวน ๖ ตัวอย่าง หาเปอร์เซนต์การดูดซึมของอิฐโปร่งในเวลา $\frac{๑}{๒}$ ชั่วโมง และ ๒๔ ชั่วโมง

ผลจากการทดลองหาเปอร์เซนต์การดูดซึมของอิฐที่ $\frac{๑}{๒}$ ชั่วโมงและ ๒๔ ชั่วโมง ได้ค่าเฉลี่ย ๙.๒๐% และ ๑๐.๖๔% ตามลำดับ ดังตารางที่ ๔.๑

๔.๑.๑.๒ กำลังอัดประลัยของอิฐ ในการทดลองได้ใช้จำนวนอิฐโปร่ง ๘ ตัวอย่าง โดยทำการฉาบผิวหน้าตัดอิฐที่ตั้งฉากกับช่องของอิฐโปร่งให้เรียบ ในการทดลองให้แรงอัดกดในแนวขนานกับช่องของอิฐโปร่งและเพิ่มอัตราแรงอัดอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งถึงแรงอัดประลัย ดังรูปที่ ๔.๑

ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัยของหน้าตัดสุทธิของอิฐโปร่ง ๑๘๕ กก/ซม^{๒} ตารางที่ ๔.๒

สำหรับกำลังอัดประลัยและโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุก่อ ตามมาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อ (ว.ส.ท. ๑๐๐๕-๑๘) ที่ ๓๒๐๐ ให้คิดค่าหน่วยแรงอัดประลัยของวัสดุก่อ f'_m จากค่าที่ให้ไว้ในตารางในหัวข้อที่ ๔ (ภาคผนวก) จะได้

$$f'_m = ๑๑๓ \quad \text{กก/ซม}^{๒}$$

และโมดูลัสยืดหยุ่นหาได้จาก

$$E_m = ๑๐๐๐ f'_m$$

$$E_m = ๑.๑๓ \times ๑๐^{๕} \quad \text{กก/ซม}^{๒}$$

๔.๑.๒ การทดลองหาคุณสมบัติทางฟิสิคส์ของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้ในคานประกอบสำหรับการทดลองมี ๒ ขนาด คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๒ มม. และ ๑๕ มม. ในการทดลองได้ใช้เหล็กเสริมแต่ละขนาดจำนวน ๔ ตัวอย่าง เหล็กเสริมแต่ละตัวอย่างจะติดเกจวัดระยะยืด (dial gage) เพื่อจะวัดการยืดตัวของเหล็กเสริมในช่วงระยะยาว ๒๐ ซม. ทำการดึงเหล็กเสริมโดยเพิ่มอัตราแรงดึงอย่างสม่ำเสมอ และทำการอ่านการยืดตัวของเหล็กเสริมทุก ๆ แรงดึงที่เพิ่มขึ้น ๕๐ กก. จนกระทั่งถึงแรงดึงประลัย

ผลจากการทดลองได้ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงดึงและโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมได้ ดังตาราง ๔.๓ และรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยความเครียดของเหล็กเสริม ดังรูปที่ ๔.๑๙

จากผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงดึงคลากของเหล็กเสริม

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๒ มม. = ๓,๑๐๐ กก/ซม^{๒}

๑๕ มม. = ๒,๘๙๐ กก/ซม^{๒}

จากผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๒ มม. = ๒.๑๕ x ๑๐^{๖} กก/ซม^{๒}

๑๕ มม. = ๒.๑๒ x ๑๐^{๖} กก/ซม^{๒}

๔.๑.๓ การทดลองหาคุณสมบัติของปูนสอ

ปูนสอที่ใช้ในการก่ออิฐและอุดแนวร่องอิฐที่ใส่เหล็กเสริมใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ทราย ๑ : ๒.๕ โดยน้ำหนัก และ น้ำ : ปูนซีเมนต์ = ๐.๖๐ ลูกปูนสอที่ใช้ทดลองเป็นลูกบาศก์ขนาด ๒" x ๒" x ๒" ใช้ปูนสอจำนวน ๑๒ ตัวอย่าง การทดลองจะทำการกดลูกปูนสอลูกบาศก์โดยเพิ่มอัตรากำลังอัดอย่างสม่ำเสมอจนถึงลูกปูนสอแตกร้าว ดังรูปที่ ๔.๒

ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัยของลูกปูนสอ เท่ากับ ๒๐๕ กก/ซม^{๒} ตารางที่ ๔.๔

๔.๑.๔ การทดลองหาคุณสมบัติของคอนกรีต

ในการทดลองหาหน่วยแรงอัดประลัยและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต หาได้จากการทดลองแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕ ซม x ๓๐ ซม. จำนวน ๖ ตัวอย่าง

ใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน = ๑ : ๒.๕ : ๓ โดยน้ำหนัก และ น้ำ : ปูนซีเมนต์ = ๐.๕๓ แท่งคอนกรีตตัวอย่างได้รับการบ่มเช่นเดียวกับการบ่มคานทดลอง การทดลองจะทำการฉาบผิวหัวแท่งคอนกรีตให้เรียบและทำการติด Compressometer ยึดติดกับแท่งคอนกรีตตัวอย่าง และติดเกจวัดการหดตัว (Dial gage) เข้ากับ Compressometer ทำการกดแท่งคอนกรีตโดยเพิ่มอัตราแรงกดอย่างสม่ำเสมอ และอ่านค่าการหดตัวของแท่งคอนกรีตจากเกจวัดการหดตัวทุก ๆ แรงอัดที่เพิ่มขึ้น ๒,๐๐๐ กก. จนกระทั่งได้แรงอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตจะรับได้ ดังรูปที่ ๔.๓

ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงอัดประลัยและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต เท่ากับ ๒๓๐ กก/ซม^{๒} และ ๒.๒๘ x ๑๐^{๕} กก/ซม^{๒} ตามลำดับ ดังตารางที่ ๔.๕ รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดของคอนกรีต ดังรูปที่ ๔.๒๐

๔.๒ <u>การทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของคานประกอบ</u>

๔.๒.๑ เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของคานประกอบ

๑. Hydraulic jack พร้อมด้วยโครงสร้างเหล็กที่จะทำการทดลองคานประกอบ

๒. เกจวัดระยะโก่ง (mechanical dial gage) พร้อมขายึดแม่เหล็ก ใช้วัดระยะโก่งที่กึ่งกลางช่วงความยาวคานประกอบที่ทดลอง

๓. เกจวัดความเครียด (strain gage) แบบ KC-30-AL-11 ซึ่งมีระยะเกจ ๓๐ มม. ความต้านทาน ๑๒๐.๐ $\pm$ ๐.๓ โอห์ม เกจเฟคเตอร์ ๒.๐๘ $\pm$ ๑ % พร้อมทั้งเครื่อง Strain Indicator และเครื่อง Switching and Balancing Unit ของ Kyowa Electronic Instrument Co. Ltd.

๔. สายไฟฟ้า ใช้ต่อเกจวัดความเครียดเข้ากับเครื่อง Strain Indicator และ Balancing Unit

๕. กรัมกรีต ใช้เคลือบเกจวัดความเครียด เพื่อป้องกันเกจวัดความเครียดตอนเทคอนกรีต

๖. ไม้บรรทัดสเกล ใช้วัดระยะโก่งที่กึ่งกลางคานประกอบที่ทดลอง และวัดระยะต่าง ๆ

๔.๒.๒ การทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของคานประกอบ

ในการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของคานประกอบ จัดวางคานประกอบบนฐานรองรับลักษณะคานเชิงเดี่ยวธรรมดา (Simply Support) และทำการทดลองบรรทุกน้ำหนักแบบเป็นจุด (Third point Loading) ดังรูปที่ ๔.๔ และ ๔.๕ ตรงจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ จะปรับผิวคานให้ผิวสัมผัสเรียบเพื่อช่วยให้การกระจายน้ำหนักเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ คานทดลองจะติดเกจวัดระยะโก่งที่ท้องคานและไม้บรรทัดสเกลที่ข้างคาน ตรงกึ่งกลางช่วงความยาวคาน ทำการต่อสายไฟฟ้าของเกจวัดความเครียดเข้ากับเครื่อง Strain Indicator เป็นแบบ half bridge ต้องใช้ Dummy gage ซึ่งได้จัดเตรียมไว้แล้วหลังจากปรับเกจวัดระยะโก่งและเครื่องวัดความเครียดเรียบร้อย เริ่มทำการทดลองโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกโดยอาศัย hydraulic jack บันทึกระยะโก่งของคานประกอบจากเกจวัดระยะโก่งและไม้บรรทัดสเกลความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม อิฐและคอนกรีตจากเครื่อง Strain Indicator บันทึกระยะโก่งและความเครียดที่เกิดขึ้นทุก ๆ น้ำหนักบรรทุก (P) เพิ่มขึ้น ๒๕ กก. สำหรับคานประกอบอิฐเสริมเหล็ก และ ๕๐ กก. สำหรับคานประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก บันทึกลักษณะรอยแตกร้าวของคานประกอบที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งกำกับน้ำหนักบรรทุกขณะนั้นที่ปลายสุดของรอยแตกร้าวที่สังเกตเห็น สำหรับการทดลองคานประกอบ แสดงดังรูปที่ ๔.๔

๔.๓ <u>การทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก</u>

๔.๓.๑ เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นประกอบ

๑. คอนกรีตบล็อค ขนาด ๑๙ x ๕๒ x ๑๐ ซม. น้ำหนักโดยเฉลี่ยก้อนละ ๑๓.๕๐ กก. ใช้เป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายกระทำบนแผ่นพื้น

๒. เกจวัดระยะโก่ง พร้อมขายึดแม่เหล็ก และไม้บรรทัดสเกล ใช้วัดระยะโก่งที่กึ่งกลางช่วงความยาวพื้นประกอบที่ทดลอง

๔.๓.๒ การทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นประกอบ

ในการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นประกอบ จัดวางพื้นประกอบบนฐานรองรับลักษณะเชิงเดี่ยวธรรมดา ติดเกจวัดระยะโก่งใต้ท้องแผ่นพื้น ดังรูปที่ ๔.๕ การทดลองโดยให้แผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอเท่ากัน เพิ่มน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายครั้งละ ๑๒๐ กก/ม^{๒}

สำหรับแผ่นพื้น SA-1 และ ๑๒๕ กก/ม^{2} สำหรับแผ่นพื้น SB-1 บันทึกระยะโก่งของแผ่นพื้นประกอบทุกครั้งที่มีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก และบันทึกลักษณะรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นประกอบที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งกำกับน้ำหนักบรรทุกขณะนั้นที่ปลายสุดของรอยแตกร้าวที่สังเกตเห็น สำหรับการทดลองแผ่นพื้นประกอบแสดงดังรูปที่ ๔.๖

๔.๔ ลักษณะการแตกร้าวของคานประกอบ

๔.๔.๑ คานประกอบอิฐเสริมเหล็ก

คานประกอบอิฐเสริมเหล็ก A-1 และ A-2 มีช่วงความยาวของขอบฐานรองรับ ๒.๘๐ เมตร คาน B-1 และ B-2 มีช่วงความยาวของขอบฐานรองรับ ๓.๓๐ เมตร

จากการทดลองพบว่า รอยแตกร้าวครั้งแรกที่เริ่มปรากฏให้เห็นในคานทดลองเมื่อบรรทุกน้ำหนักช่วงประมาณ ๑๐๐-๒๐๐ กก. รอยแตกร้าวเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแนวดิ่งในเนื้ออิฐบริเวณกึ่งกลางคานทดลอง เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น จะเพิ่มรอยแตกร้าวในเนื้ออิฐและตรงรอยต่อระหว่างอิฐกับปูนสอ รอยแตกร้าวเหล่านี้ส่วนมากจะเกิดบริเวณกึ่งกลางคานทดลองช่วงระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำ และตรงบริเวณใกล้จุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ รอยแตกร้าวค่อนข้างจะเป็นแนวดิ่งเลื่อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจนกระทั่งคานทดลองวิบัติ ดังรูปที่ ๔.๗ และ ๔.๙-๔.๑๒

คาน A-1 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๒๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๔.๔๐ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๕๓๕ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๓๗.๐ มม.

คาน A-2 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๑๕๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๓.๖๐ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๓๒๕ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๒๗.๕๐ มม.

คาน B-1 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๑๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๒.๘๐ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๓๒๕ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๓๑.๖๐ มม.

คาน B-2 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๙๕ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๒.๒๐ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๔๒๕ มม. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๓๓.๘๐ มม.

๔.๔.๒ คานประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก

คานประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก A-3 และ A-4 มีช่วงความยาวของขอบฐานรองรับ ๒.๘๐ เมตร คาน B-3 และ B-4 มีช่วงความยาวของขอบฐานรองรับ ๓.๓๐ เมตร

จากการทดลองพบว่า รอยแตกร้าวครั้งแรกจะเริ่มปรากฏให้เห็นในคานทดลองเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ช่วงประมาณ ๑๐๐-๒๐๐ กก. รอยแตกร้าวเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแนวดิ่งในเนื้ออิฐบริเวณกึ่งกลางคานทดลอง เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น จะเพิ่มรอยแตกร้าวในเนื้ออิฐและตรงรอยต่อระหว่างอิฐกับปูนสอ รอยแตกร้าวเหล่านี้จะเกิดบริเวณกึ่งกลางคานทดลองช่วงระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำและตรงบริเวณใกล้จุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ รอยแตกร้าวค่อนข้างจะเป็นแนวดิ่งเลื่อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงขั้นต่อระหว่างอิฐโปร่งกับคอนกรีตเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจนกระทั่งคานวิบัติ ดังรูปที่ ๔.๗ และ ๔.๑๓-๔.๑๖

คาน A-3 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๒๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๑.๐๐ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๖๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๒๒.๐๐ มม.

คาน A-4 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๑๕๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๒.๒๐ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๕๕๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๑๗.๒๐ มม.

คาน B-3 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๑๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๒.๕ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๗๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๓๐.๐ มม.

คาน B-4 จะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเมื่อน้ำหนักบรรทุก (P) ๑๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางเท่ากับ ๒.๗ มม. และน้ำหนักบรรทุกเมื่อคานวิบัติ ๕๐๐ กก. ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเท่ากับ ๓๑.๐ มม.

๔.๕ ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้นประกอบ

แผ่นพื้นประกอบคอนกรีต-อิฐเสริมเหล็ก SA-1 และ SB-1 มีช่วงความยาวของขอบฐานรองรับ ๒.๘๐ เมตร และ ๓.๓๐ เมตรตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า รอยแตกร้าวครั้งแรกจะเริ่มปรากฏให้เห็นในแผ่นพื้น SA-1 และ SB-1 เมื่อน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอ ๓๖๐ กก/ม^{๒} และ ๓๗๕ กก/ม^{๒} ตามลำดับ รอยแตกร้าวเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแนวดิ่งในเนื้ออิฐส่วนมากจะอยู่บริเวณกึ่งกลางแผ่นพื้นทดลอง เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น จะเพิ่มรอยแตกร้าวในเนื้ออิฐและตรงรอยต่อระหว่างอิฐกับปูนสอ รอยแตกร้าวค่อนข้างจะเป็นแนวดิ่งเลื่อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงชั้นของคอนกรีตที่เททับบนแผ่นพื้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังรูปที่ ๔.๘ และ ๔.๑๗-๔.๑๘

ระยะโก่งที่กึ่งกลางคานเมื่อเกิดการแตกร้าวครั้งแรกของแผ่นพื้น SA-1 และ SB-1 เท่ากับ ๐.๑๒ มม. และ ๐.๑๔ มม. ตามลำดับ น้ำหนักบรรทุกเมื่อสิ้นสุดการทดลองของแผ่นพื้น SA-1 และ SB-1 เท่ากับ ๒,๒๘๐ กก/ม^{๒} และ ๒,๓๗๕ กก/ม^{๒} ตามลำดับ ระยะโก่งที่กึ่งกลางแผ่นพื้นเท่ากับ ๒๐.๐๐ มม. และ ๒๗.๕๐ มม. ตามลำดับ