หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การเตรียมตัวอย่างทดสอบและวัสดุที่ใช้

2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบใช้ขนาดเดียวกันตลอดการวิจัย เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 15 ซม. และยาว 100 ซม. ตัวอย่างทดสอบแบ่งตามตัวแปรได้ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกให้เหล็กเสริมยืนเป็นตัวแปร โดยใช้เหล็กเสริมยืน 4 เส้น ขนาดแตกต่างกันไป ตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ถึง 28 มม. ตัวอย่างทดสอบในกลุ่มนี้มี 6 ตัวอย่าง ใช้เหล็กปลอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ทุกระยะ 15 ซม. ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็ก ส่วนรูปที่ 2.1 ก. แสดงขนาดเสา

กลุ่มที่สอง ให้การเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกเป็นตัวแปร มีเหล็กเสริมยืนและจำนวนเหล็กปลอกเท่ากันหมดทุกตัวอย่างทดสอบ โดยมีเหล็กเสริมยืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. จำนวน 4 เส้น และเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ทุกระยะ 15 ซม. ตัวอย่างทดสอบในกลุ่มนี้มี 5 ตัวอย่าง ปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างทดสอบได้หล่อส่วนหัวท้ายให้ยื่นออกเพื่อการจัดระยะเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุก ทั้งนี้จะเสริมเหล็กพิเศษให้เกินพอเพื่อรับแรงเฉือนและแรงดัดที่เกิดบริเวณส่วนยื่นอันนั้น ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบในกลุ่มนี้ ส่วนรูปที่ 2.1 ข แสดงขนาดเสาและการเสริมเหล็กพิเศษต่าง ๆ

2.2 วัสดุ

1. เหล็กเสริมยืน

เป็นเหล็กข้ออ้อย ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม SD-30 ซึ่งกำหนดให้กำลังคลากไม่น้อยกว่า 3000 กก/ซม^2. และกำหนดค่ายืดตัวไม่น้อยกว่า 17 % กำลังเหล็กเสริมยืนได้ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A-370 ผลการทดสอบตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่างขนาดละ 3 เส้น สำหรับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นได้ทำการ

ทดสอบโดยใช้ Extensometer ให้ค่าเฉลี่ย 2.08×10^6 กก/ซม^2. ทั้งนี้ได้จากการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง

2. เหล็กปลอก

เหล็กปลอกที่ใช้ในการทดสอบนี้มีเพียงขนาดเดียว เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม SR-24 ซึ่งกำหนดให้มีกำลังคลากไม่น้อยกว่า 2400 กก/ซม^2. และกำหนดการยืดตัวไม่น้อยกว่า 21 % เนื่องจากการวิจัยนี้ไม่ได้เน้นความสำคัญของเหล็กปลอก จึงไม่ได้ทำการทดสอบกำลังดึงของเหล็กปลอกเหล่านี้ อย่างไรก็ดี เหล็กปลอกได้เสริมให้มีจำนวนมากเกินพอโดยถือ ACI-318-77[23] เป็นเกณฑ์กำหนด

3. แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

แบบหล่อที่ใช้เป็นเหล็กแผ่นหนา 2 มม. มีการเชื่อมเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กฉากขนาด L 25x25x3 มม. โดยรอบ และเชื่อมไครงยึด (Stiffener) ทุกระยะ 50 ซม. เมื่อเชื่อมเรียบร้อยแล้วจะเจียขอบและผิวให้เรียบ ต่อจากนั้น ประกอบเข้าด้วยกัน โดยใช้น็อตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว เป็นตัวยึดทุกระยะ 15 ซม. ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวและบิดงอในขณะที่เทและจี้คอนกรีต นอกจากนี้ แบบด้านข้างยังจะต้องมีค้ำยันตรงกลางด้วยเหล็กฉากเพื่อป้องกันแบะออกของแบบอีกด้วย

ก่อนเทคอนกรีตทุกครั้ง จะต้องขัดผิวแบบหล่อให้สะอาดด้วยแปรงลวด แล้วทาน้ำมันแบบเพื่อป้องกันการยึดเกาะของคอนกรีต นอกจากนี้ น็อตทุกตัวจะต้องทาน้ำมัน เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตที่หล่นลงไปเกาะ ซึ่งอาจทำให้ถอดแบบยากและกระทบกระเทือนต่อกำลังคอนกรีตในขณะถอดแบบ แบบหล่อที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วพร้อมที่จะเทคอนกรีต จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2

4. คอนกรีตกำลังสูงมาก

เป็นคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมคล้ายคลึงกับคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป แต่

จะลดสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ให้น้อยลง ซึ่งจะทำให้คอนกรีตแห้งและทำงานยาก แต่ขณะเดียวกันก็จะเพิ่มการไหลลื่นของคอนกรีตโดยการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตเข้าไปช่วย เพื่อที่จะสามารถเทเข้าแบบได้ และสามารถควบคุมคุณภาพให้สม่ำเสมอได้ นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังให้หินและทรายสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนและพยายามควบคุมสัดส่วนผสมตลอดจนขั้นตอนการผสมให้ถูกต้องแม่นยำ วัสดุส่วนผสมที่ใช้มีรายละเอียดดังนี้

ก. <u>หิน</u>

การเลือกหินสำหรับผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากนั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่งอันหนึ่ง Bloem, Burgess และ Gaynor[24] แนะนำว่า ขนาดของหินควรมีขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะหินขนาดเล็กมีพื้นที่สำหรับยึดเหนี่ยวระหว่างหินและ Cement paste มาก อีกประการหนึ่งหินย่อยซึ่งมาจากการไม่ ถ้ามีขนาดเล็กแทบจะไม่มีรอยแตกเล็ก ๆ (micro crack) ในหิน เมื่อนำไปผลิตคอนกรีตจะทำให้ได้คอนกรีตกำลังสูง ขนาดใหญ่สุดของหินที่แนะนำสำหรับคอนกรีตกำลังสูงมากควรเป็น $\frac{1}{2}$ นิ้ว

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้หินปูนจากโรงโม่แถวราชบุรี ตามปกติหินชนิดนี้สามารถรับแรงอัดได้ถึง 1600 กก/ซม^2. หินที่ใช้ได้นำมาร่อนคัดเลือกเอาเฉพาะส่วนที่ผ่านตะแกรง $\frac{1}{2}$ นิ้วเท่านั้น ต่อจากนั้นทำการแยกด้วยตะแกรงร่อนเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียด ตาม ASTM C-136 ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 พบว่า ปริมาณคละเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C-33 และค่าโมดูลัสความละเอียดเป็น 6.52

ข. <u>ทราย</u>

ทรายที่เหมาะสมกับการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากซึ่งแนะนำโดย Freedman[25] กล่าวว่า ควรมีโมดูลัสความละเอียดระหว่าง 2.7 ถึง 3.2 ปริมาณคละควรเป็นไปตาม ASTM C-33 และทรายที่ดีต้องมี Mica ผสมอยู่น้อย สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้ทรายแม่น้ำแม่กลองซึ่งมีขนาดใหญ่สุด 3/8 นิ้ว จากการวิเคราะห์ความละเอียดโดยใช้ตะแกรงร่อนตาม ASTM C-136 ให้ค่าโมดูลัสความละเอียด 2.87 และปริมาณคละอยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดไว้ใน ASTM C-33 กราฟ

แสดงปริมาณคละได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4

ค. ซีเมนต์

คอนกรีตกำลังสูงมากสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ Type 3 อันเป็นซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็วและให้กำลังสูงเมื่ออายุยังน้อย ซีเมนต์ชนิดนี้ผลิตตาม มอก. 15

ง. สารผสมเพิ่ม

เป็นแบบ Superplasticizer เพื่อเพิ่มความไหลลื่นและให้ความสะดวกในการเทคอนกรีต และสามารถช่วยลดจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตได้ น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้เป็นของเหลว สีน้ำตาล ส่วนผสมทางเคมีที่สำคัญ คือ β-naphthalene acid จำนวนน้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้ไม่ได้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต แต่จะแปรผันตามน้ำหนักของซีเมนต์ และจำนวนผสมได้จากการทดลองผสม (Trial and Error) จนได้จำนวนที่เหมาะสมและได้กำลังคอนกรีตสูงตามต้องการ

สัดส่วนการผสมคอนกรีต

ในการหาสัดส่วนการผสมคอนกรีตกำลังสูงมาก National Crushed Stone Association[26] ได้แนะนำว่า หินควรแยกขนาดไว้เป็นกลุ่ม ๆ (Batch) แล้วค่อยออกแบบส่วนผสมระหว่าง batch ทีหลังให้ได้ปริมาณคละตาม ASTM C-33 ส่วนทรายต้องมีความชื้นอยู่ตลอดเวลาอย่างน้อยที่สุดจะต้องมีความชื้นขนาดผิวแห้ง (Saturated Surface dry condition)

สำหรับงานวิจัยนี้ สัดส่วนการผสมคอนกรีต ได้จากการทดลองผสม (Trial and Error) โดยเริ่มจากหาสัดส่วนระหว่างหินกับทรายโดยเคร่า ๆ จากการแนะนำของ Blick[12] สำหรับขนาดใหญ่สุดของหินเป็น $\frac{1}{2}$ นิ้ว และทรายมีโมดูลัสความละเอียด 2.80 ควรใช้หิน 60 % ของผลรวมของหินและทราย การทดลองผสมจึงเริ่มขึ้นที่จุดนี้ โดยใช้หินต่อทรายเป็นอัตราส่วน 1.5:1.0 แล้วทำการแปรผันปริมาณซีเมนต์ โดยครั้งแรกใช้ซีเมนต์ 65 % ของน้ำหนักทราย ให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่คือ 0.3 แล้วค่อยเพิ่มซีเมนต์ไปเรื่อย ๆ ครั้งละ 5 % จนกระทั่ง

ถึง 90 % ผลการทดสอบพบว่า การใช้ซีเมนต์เกิน 75 % ของน้ำหนักทรายไม่ทำให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ซีเมนต์ถึง 90 % กลับทำให้กำลังคอนกรีตลดลงเสียอีก ดังแสดงในตารางที่ 2.4 อันดับ 1-6 จึงเลือกใช้ซีเมนต์ 75 % ของน้ำหนักทราย ดังนั้น สัดส่วนระหว่าง ซีเมนต์:ทราย:หิน ในขณะนี้คือ 1.000:1.333:2.000 ต่อจากนั้นจึงทำการทดลองผสมโดยให้ปริมาณน้ำผสมคอนกรีตเป็นตัวแปร แต่ซีเมนต์คงที่ โดยเริ่มจากสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.28 แล้วค่อยลดลงไปเรื่อย ๆ เป็น 0.26, 0.25 และ 0.24 แต่ขณะเดียวกันต้องหาอัตราการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตควบคู่ไปด้วย กล่าวคือ เมื่อลดปริมาณน้ำลงก็เพิ่มน้ำยมผสมคอนกรีตขึ้นไปจนเห็นว่ามี Workability ที่สามารถทำงานได้ ผลการทดลองแสดงไว้ตามตารางที่ 2.4 อันดับ 7-10 และพบว่าเมื่อใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.24 น้ำยาผสมคอนกรีต 2.378 % ของน้ำหนักซีเมนต์ เป็นอัตราที่พอเหมาะให้กำลังคอนกรีตประมาณ 800 กก/ซม^2. เมื่ออายุ 28 วัน

ต่อจากนี้จึงค่อยปรับปรุงสัดส่วนระหว่างหินกับทรายอีกเล็กน้อย โดยรักษาสัดส่วนผสมอันอื่นให้คงที่ให้หมด แต่เพิ่มหินขึ้น แล้วคอยสังเกตดูกำลังคอนกรีต ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 อันดับ 11-16 และพอสรุปได้ว่า จากสัดส่วนเดิม ซีเมนต์:ทราย:หิน เท่ากับ 1.000:1.333:2.000 ควรเปลี่ยนเป็น 1.000:1.333:2.165

สัดส่วนการผสมคอนกรีตกำลังสูงมากในงานวิจัยนี้สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.5 คอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว จะมีลักษณะไหลลื่นทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของน้ำยาผสมคอนกรีต ตอนหล่อตัวอย่างทดสอบจะทำการจี้ทั้งที่แบบและคอนกรีนควบคู่กันไป การทดสอบกำลังคอนกรีตทำตาม ASTM C-39 และ C-496 โดยเก็บตัวอย่างเป็นแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกสุ่มจากการหล่อตัวอย่างทดสอบครั้งละ 6 แท่ง ทำการทดสอบพร้อมกับการทดสอบตัวอย่างทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดประลัยอยู่ระหว่าง 780-890 กก/ซม^2. โดยมีค่าเฉลี่ย 854 กก/ซม^2. นอกจากนี้ในการทดสอบกำลังอัดได้ติดเกจวัดความเครียดไฟฟ้า เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นด้วย และรูปที่ 2.5 ถึง 2.8 เป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดทรงกระบอก และพบว่า โมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าระหว่าง 4.31-4.90 กก/ซม^2. x 10^5 โดยมีค่าเฉลี่ย 4.60x10^5 กก/ซม^2. ดังดังรายละเอียดในตารางที่ 2.6

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

1. การเตรียมเหล็กเสริมยืน

โดยการตัดเหล็กออกเป็นท่อน ๆ มีความยาวตามต้องการด้วยเครื่องตัดเหล็กไฟฟ้าแล้วจึงทำการติดเกจวัดความเครียดชนิดไฟฟ้า โดยจะติดบริเวณกึ่งกลางความยาวเหล็กซึ่งจะเริ่มด้วยการขัดบริเวณที่ติดเกจให้เรียบและปราศจากสนิมและน้ำมัน และถ้าบริเวณที่จะติดยังมีจุดดำในเนื้อเหล็กเนื่องจากข้อบกพร่องการผลิต ต้องขัดออกให้หมด ก่อนติดเกจต้องทำความสะอาดบริเวณที่จะติดด้วยน้ำยาคาร์บอนด์เตตะคลอไรด์ แล้วทำเครื่องหมายตำแหน่งที่จะติดให้ชัดเจน ในการติดจะใช้กาวชนิดแห้งเร็ว กล่าวคือ จะแข็งตัวภายใน 1 นาที เกจวัดความเครียดชนิดไฟฟ้าที่ใช้ติดเหล็กเสริมยืนเป็นชนิดฟอยด์ ที่มีแผ่นพลาสติกแปะหลัง ความยาวเกจ 10 มม. ความต้านทาน 120 โอห์ม เกจเฟคเตอร์ 2.12 เหล็กเสริมยืนเส้นหนึ่งติดเกจเพียงหนึ่งตัว หลังจากติดเกจเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงทำการต่อสายไฟ และนำเหล็กปลอกมาผูกยึดเป็นโครงเข้าด้วยกัน

2. การเตรียมแบบ

แบบหล่อคอนกรีตต้องทำความสะอาดและทาผิวด้วยน้ำมันทาแบบ เพื่อให้ถอดแบบง่าย ดังกล่าวแล้วข้างต้น หลังจากนั้นจึงเอาเหล็กเสริมยืนที่ผูกเสร็จเรียบร้อยแล้วมาวางเข้าที่ บังคับไม่ให้เหล็กเสริมเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ต้องการ โดยเจาะรูด้านข้างแบบเสียบเหล็ก ϕ 9 มม. เพื่อบังคับไม่ให้เคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ส่วนด้านข้างบังคับโดยเสียบเหล็กกลม ϕ 20 มม. ยันไว้ทั้งสองด้าน การถอดโครงบังคับเหล็กเสริมยืนออกจะได้กล่าวต่อไป

3. การหล่อตัวอย่างทดสอบ

เมื่อเตรียมแบบและเหล็กเสริมยืนเรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มลงมือเทคอนกรีต ในการหล่อตัวอย่างครั้งหนึ่ง ๆ จะหล่อพร้อมกัน 3 ตัวอย่างทดสอบ ใช้คอนกรีตประมาณ 0.127 ม^3. ผสมด้วยโม่ซึ่งหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดจุ 0.167 ม^3. ในการหล่อแต่ละครั้งจะผสมเพียงครั้งเดียว และเพื่อให้เนื้อคอนกรีตคลุกเคล้าเข้ากันดีอย่างสม่ำเสมอ จึงแบ่งวัสดุแต่ละอย่างออกเป็น

4 ส่วน แล้วเริ่มทำการผสมโดยผสมแห้งระหว่างส่วนแรงของหิน ทรายและซีเมนต์ แล้วเติมน้ำผสมน้ำยาผสมคอนกรีตส่วนแรกลงไปผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จึงเติม หิน ทราย และซีเมนต์ส่วนที่สองลงไปให้ไม่หมุนจนเนื้อคอนกรีตเข้ากันดี จึงเติมน้ำผสมน้ำยาผสมคอนกรีตส่วนที่สองพอคอนกรีตเข้ากันดีจึงเติมส่วนที่สามและสี่ตามลำดับ ในการเทลงแบบจะถ่ายคอนกรีตจากโม่ลงกะบะก่อน แล้วจึงใช้พลั่วตักลงแบบ ครั้งแรกใส่คอนกรีตประมาณ 3/4 ของแบบ ทำการจี้ทั้งในคอนกรีตและแบบ ต่อจากนั้น จึงถอดโครงบังคับเหล็กเสริมยื่นออก เติมคอนกรีตและจี้ที่แบบจนเต็มแบบ การหล่อตัวอย่างจะสิ้นเสร็จลงด้วยการปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบด้วยเกรียง ในการหล่อคอนกรีตแต่ละครั้ง จะเก็บแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกไว้ 6 แท่ง เพื่อทดสอบคุณภาพของคอนกรีตควบคู่กันไป

4. <u>การบ่มคอนกรีต</u>

เมื่อหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้วประมาณ 3 ชั่วโมง จะปิดคลุมตัวอย่างและแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยกระสอบป่านเปียก แล้วทิ้งตัวอย่างและแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกไว้ในแบบตลอดคืนแล้วจึงถอดแบบ หลังจากนั้นจะแช่น้ำไว้ 7 วัน จึงปล่อยให้บ่มในอากาศที่ห้องทดลอง เพื่อเตรียมการทดลองต่อไป