

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ จะใช้วิธีการออกแบบของมาตรฐาน ACI 211.3-75 (Revised 1987) (Reapproved 1992) และ ACI 211.4R-93 ประกอบการวิจัย เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานกับกำลังอัด ให้ใช้ได้กับเถ้าลอยแม่เมาะ ในร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 35 และอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานระหว่าง 0.33 ถึง 0.48 ซึ่งผังการดำเนินการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และรายละเอียดวิธีการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 เลือกอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์ตามวิธีการของ ACI กำหนดอัตราส่วน w/c ไม่ต่ำกว่า 0.33 ซึ่งจะให้อัดโดยเฉลี่ยประมาณ 500 กก./ซม.² ที่อายุ 28 วัน แต่สำหรับงานวิจัยนี้ คอนกรีตผสมเถ้าลอยจะดัดแปลงจากอัตราส่วน w/c เป็น w/b โดยใช้อัตราส่วนเดียวกันกับ w/c ของ ACI โดยพิจารณาอัตราส่วน w/b 4 ค่า ได้แก่ 0.33 0.38 0.43 และ 0.48 ตามลำดับ แต่ละอัตราส่วนจะแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0 15 25 และ 35 ตามลำดับ

3.1.2 กำหนดค่าการยุบตัวให้เป็นศูนย์ โดยวัดจาก Vebe Test โดยกำหนดค่า Vebe time ให้เท่ากับ 5-10 วินาที

3.1.3 เลือกขนาดหินใหญ่สุด การเลือกขนาดหินใหญ่สุดขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างได้แก่ ความกว้าง ความหนา ระยะห่างระหว่างเหล็กเส้น ขนาดใหญ่สุดของหินต้องไม่ใหญ่จนกระทั่งไม่สามารถเทคอนกรีตลงแบบหล่อได้ โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดขนาดใหญ่สุดของหินไว้ไม่เกิน

1/5 ของค้ำในในที่แคบที่สุดของแบบหล่อ

1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น

3/4 ของระยะช่องว่างที่น้อยที่สุดระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ขนาดหินใหญ่สุดคือ 3/4 นิ้ว เนื่องจากเป็นขนาดหินที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับการผสมคอนกรีตกำลังอัดปกติ

3.1.4 ประมาณปริมาณน้ำและฟองอากาศ ปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับค่าการยุบตัวและขนาดใหญ่สุดของหิน การใส่เถ้าลอยทำให้ค่าการยุบตัวเปลี่ยนแปลงไป ผลที่ตามมาคือความต้องการปริมาณน้ำในคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไปด้วย ส่วนปริมาณฟองอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดหินใหญ่สุด การใส่เถ้าลอยทำให้ปริมาณฟองอากาศเปลี่ยนแปลง เนื่องจากขนาดอนุภาคของเถ้าลอยในส่วนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาที่มีขนาดเล็กสามารถเข้าไปในช่องว่างแทนที่อากาศทำให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตลดลง โดยเฉพาะเถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนสูง ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) สูงเช่นเดียวกัน เป็นผลให้เกิดอนุภาคที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาแทรกอยู่ในคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตาม เถ้าลอยที่มีการสูญเสียเนื่องจากการเผาไม่เกินร้อยละ 3 ถือว่ามีผลต่อปริมาณฟองอากาศน้อยมาก สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณการสูญเสียเนื่องจากการเผาโดยเฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.6 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 3 ประกอบกับการใช้วิธีการผสมแบบแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนไม่เกินร้อยละ 35 ทำให้อนุภาคของเถ้าลอยในส่วนที่ทำหน้าที่เป็นมวลรวมขนาดละเอียดที่เข้าไปแทรกระหว่างเนื้อคอนกรีตมีน้อย ดังนั้นจึงมีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตน้อยด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงสมมุติให้ปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยไม่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต

3.1.5 คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณเถ้าลอย เมื่อได้ปริมาณน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน ก็สามารถคำนวณหาปริมาณสารเชื่อมประสานได้ดังนี้

$$b = \frac{w'}{R_{wb}} \quad (3.1)$$

โดยที่ b = ปริมาณสารเชื่อมประสาน

w' = ปริมาณน้ำ

R_{wb} = อัตราส่วน w/b ที่เลือก

จากนั้นก็สามารรถคำนวณหาปริมาณเถ้าลอยได้ดังนี้

$$f = \frac{Pb}{100} \quad (3.2)$$

โดยที่ f = ปริมาณเถ้าลอย

P = ร้อยละการแทนที่ด้วยถ้ำลอย
และ ปริมาณปูนซีเมนต์ จาก

$$c = b - f \quad (3.3)$$

โดยที่ c = ปริมาณปูนซีเมนต์

3.1.6 คำนวณปริมาณหิน ปริมาณหินที่ใช้ผสมคอนกรีตขึ้นอยู่กับขนาดหินใหญ่สุดและหน่วยน้ำหนักของหิน ปริมาณหินต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตรสามารถหาได้จากตารางสำหรับการออกแบบของ ACI ดังตารางที่ 2.7 และ 2.8 ในบทที่ 2

3.1.7 คำนวณปริมาณทราย เมื่อทราบปริมาตรของวัสดุผสมอื่นทั้งหมดแล้ว ปริมาณทรายก็สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S = 1000 - A \quad (3.4)$$

โดยที่ S = ปริมาตรทรายมีหน่วยเป็น ลิตร

A = ปริมาตรวัสดุผสมทั้งหมดยกเว้นทราย มีหน่วยเป็น ลิตร

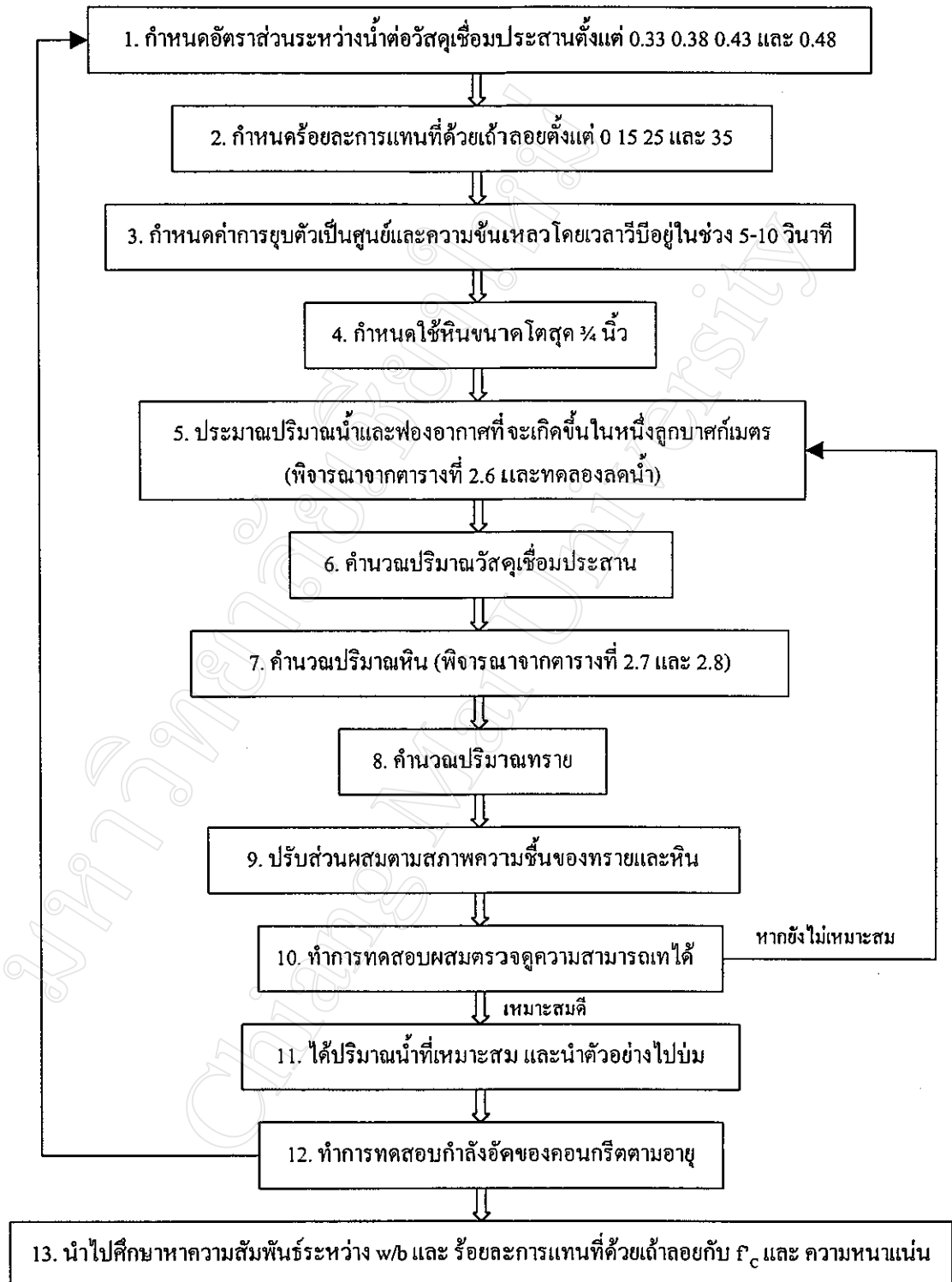
จากนั้นถ้าต้องการปริมาณทรายโดยน้ำหนัก ก็สามารถหาได้จาก

$$s = G_s S \quad (3.5)$$

โดยที่ s = ปริมาณทราย โดยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

3.1.8 ปรับส่วนผสมตามสภาพความชื้นทรายและหิน ในสภาพจริงทรายและหินไม่ได้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง บางครั้งทรายและหินมีสภาพแห้งหรือเปียกกว่าสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง เมื่อนำไปผสมทำคอนกรีตจะทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้คลาดเคลื่อนไป กล่าวคือ ในกรณีที่ทรายและหินมีสภาพแห้ง ปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไป บางส่วนจะถูกหินและทรายดูดซับเอาไว้ ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้น้อยกว่าที่ออกแบบไว้ หรือในกรณีที่ทรายและหินมีสภาพเปียก ปริมาณน้ำส่วนเกินก็จะเข้าไปรวมกับปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไป ทำให้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมมากกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งปริมาณน้ำที่เปลี่ยนไปจะมีผลโดยตรงต่อกำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้นก่อนจะนำส่วนผสมที่คำนวณได้มาใช้ จะต้องมีการปรับส่วนผสมใหม่ตามสภาพความชื้นจริงของทรายและหิน เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำใกล้เคียงกับสภาพอิ่มตัวผิวแห้งมากที่สุด



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่มีการยุบตัวเป็นศูนย์ผสมเถ้าลอยโดยปรับปรุงวิธีการตามมาตรฐานสถาบันคอนกรีตอเมริกา

3.1.9 การทดลองผสม เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผสมคอนกรีต เพื่อตรวจสอบความยุบตัวว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามความต้องการก็ต้องปรับส่วนผสมใหม่

3.2 การเตรียมชุดตัวอย่าง

ในการทดสอบจะใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาด 100x200 มม. แยกออกเป็น 4 ชุด ตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน (w/b) ดังนี้ 0.33 0.38 0.43 และ 0.48 ตามลำดับ โดยแปรผันตามปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในปริมาณต่างๆดังนี้ 0% 15% 25% และ 35% ตามลำดับ และในแต่ละชุดจะทำการทดสอบที่อายุ 7 14 28 และ 56 วัน ตามลำดับ ใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตชุดละ 5 ตัวอย่าง รวมทั้งหมดคิดเป็น 320 ตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1

โดยที่ สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีรูปแบบคือ NSP-XX-D-N

NS	หมายถึง ชุดคอนกรีตที่มีค่าความยุบตัวเป็นศูนย์
P	หมายถึง ปริมาณร้อยละของเถ้าลอยที่แทนที่ปูนซีเมนต์
XX	หมายถึง อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน
D	หมายถึง อายุวันที่ทดสอบ
N	หมายถึง ลำดับก้อนที่ในแต่ละชุดการทดสอบ

การอ่านสัญลักษณ์

ตัวอย่าง NS0-0.33-28-5 หมายถึง คอนกรีตที่มีค่าความยุบตัวเป็นศูนย์ไม่ผสมเถ้าลอยที่มีอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 0.33 ทดสอบที่อายุ 28 วัน ก้อนที่ 5

ชุดตัวอย่าง NS15-0.38 หมายถึง คอนกรีตที่มีค่าความยุบตัวเป็นศูนย์ผสมเถ้าลอยด้วยการแทนที่ร้อยละ 15 ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 0.38 ทั้งหมด 20 ก้อน

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีการออกแบบการทดสอบและเตรียมก้อนตัวอย่าง

W/B	จำนวนก้อนตัวอย่างสำหรับแผนการที่ขึ้นด้วยแต่ละแม่แบบทดสอบที่อายุต่างๆ															
	0% (คอนกรีตควบคุม)				15%				25%				35%			
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน
0.33	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.38	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.43	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.48	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

หมายเหตุ ใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาด 100 x 200 มม. รวม 320 ก้อน

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง
- ข. ใ้ลลย จากอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- ค. ทราบแม่น้ำปิง
- ง. หินขนาดใหญ่มากที่สุด 3/4"
- จ. น้ำประปา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆจึงทำการทดสอบวัสดุต่าง ๆ ตามมาตรฐานดังนี้

- ก. ปูนซีเมนต์

ความถี่จำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188

- ข. มวลรวม

ขนาดกละ ควรมีส่วนกละตามมาตรฐาน ASTM C33

ความถี่จำเพาะ

ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128

หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127

ความถี่ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C70 และ ASTM C566

ความถี่ของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C125

หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่างๆดังกล่าวแล้ว จึงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภาพรูปที่ 3.1

3.4 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

3.4.1 ตรวจสอบสภาพ และเตรียมแบบหล่อ โดยการประกอบแบบและทาน้ำมันให้พร้อมใช้งาน

3.4.2 ชั่งน้ำหนักวัสดุที่ใช้ผสม ได้แก่ น้ำ ปูนซีเมนต์ ใ้ลลย ทราย และหิน ที่จัดเตรียมไว้ ตามที่คำนวณ (ใช้ตารางการคำนวณในภาคผนวก ก.)

3.4.3 ทำความสะอาดเครื่องผสม และเครื่องมือวัดค่าความยุบตัว โดยใช้ผ้าประปา ล้างแล้วใช้ผ้าเช็ดพอหมาดๆ ให้เครื่องมือที่สัมผัสกับคอนกรีตอยู่ในสภาพอ้อมตัวผิวแห้ง เพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำเนื่องจากเครื่องมือ ซึ่งจะให้น้ำในส่วนผสมน้อยกว่าที่คำนวณไว้

3.4.4 ทำการผสมปูนทรายและน้ำในเครื่องผสมก่อนการผสมจริง โดยใช้อัตราส่วนเดียวกันกับส่วนผสมที่ผสมจริง จากนั้นเทปูนทรายลงเครื่องผสมให้เคลือบผิวทั้งหมดแล้วเทส่วนเกินทิ้ง เพื่อลดการสูญเสียปูนทรายในส่วนผสมจริงขณะทำการผสม

3.4.5 นำวัสดุเทลงในเครื่องผสมโดยมีขั้นตอนดังนี้

- ก. เทหินและทรายลงในเครื่องผสม เปิดเครื่องคลุกเคล้าให้เข้ากัน
- ข. เทปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลงในเครื่องผสม เปิดเครื่องผสมเป็นเวลา 3-5 นาทีไม่ควรใช้เวลาน้อยเกินไป เพราะจะทำให้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยไม่คลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่ควรใช้เวลามากเกินไป เพราะทำให้หินเสียดสีกับโม่จนเกิดฝุ่นมากเกินไป เป็นผลให้เกิดการสูญเสียค่าความยุบตัว (slump loss)
- ค. เทน้ำที่จะผสมลงในเครื่อง โดยแบ่งน้ำเทลงเป็น 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 10 วินาที เพื่อให้ น้ำคลุกเคล้ากับส่วนผสมอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ หลังจากเทน้ำหมดปล่อยเครื่องให้ผสมต่ออีกประมาณ 1 นาที (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องไม่ด้วย)

3.4.6 เทส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ออกจากเครื่องผสม ตรวจสอบวัดค่าความยุบตัวของคอนกรีตโดยใช้เครื่อง Vebe test ถ้าค่าความยุบตัวเป็นไปตามที่ต้องการ ก็นำไปเทลงแบบหล่อคอนกรีตที่เตรียมไว้ เพื่อนำไปทดสอบกำลังอัดต่อไป แต่ถ้าไม่ได้ตามที่ต้องการก็เริ่มทำการผสมใหม่ โดยถ้าค่าความยุบตัวมากเกินไปต้องปรับปริมาณน้ำในตารางการคำนวณลง แต่ถ้าค่าความยุบตัวน้อยเกินไปก็ปรับปริมาณน้ำในตารางการคำนวณขึ้น และปรับอัตราส่วนผสมอื่น ตามตารางการคำนวณ