บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ การออกแบบส่วนผสมและส่วนผสมที่ได้จากการออกแบบ วิธีการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างทดสอบทั้งในส่วนของการทดสอบค่าการยุบตัว การทดสอบกำลังอัด และการทดสอบการซึมผ่านน้ำ การผสมคอนกรีต การเข้าแบบ การบ่มและการเก็บรักษา และการออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังหัวข้อต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

3.1.2 แบบคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด 10 x 20 เซนติเมตร

3.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 กิโลกรัม

3.1.4 เครื่องผสมคอนกรีตแบบโม่

3.1.5 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

3.1.6 ชุดทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีต

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย มอก.15 เล่ม 1

3.2.2 หิน ใช้หินมีขนาดใหญ่สุด 20 มิลลิเมตร ที่มีขนาดและมาตรฐาน ASTM C33 (ASTM International, 2018) และความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.70

3.2.3 ทราย ใช้ทรายแม่น้ำล้างสะอาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 (ASTM International, 2018) และความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.65

3.2.4 น้ำ ใช้น้ำประปา

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3.2.5 น้ำยางพารา ใช้น้ำยางพารา ชนิด LA-TZ จากบริษัท DS Rubber Co., Ltd. จังหวัดระยอง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 61.95 เป็นเนื้อยางแห้งร้อยละ 60.92

3.3 การออกแบบส่วนผสม

การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและประหยัด คุณสมบัติของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ที่

ใช้เป็นส่วนประกอบ การควบคุมคุณภาพของวัสดุจึงมีความสำคัญอย่างมาก นอกจากนี้การควบคุมการทำงานและการทดสอบที่เป็นมาตรฐานเป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต และต้องให้ความสำคัญต่อความสามารถเทได้ กำลังและความคงทนของคอนกรีตความสามารถทำงานได้ง่ายเมื่อคอนกรีตยังเหลวอยู่ สามารถรับแรงกระทำเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วและเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตสามารถทนทานต่อการใช้งานในสภาพต่าง ๆ ภายหลังจากการออกแบบส่วนผสมแล้วจะต้องมีการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามซึ่งหากส่วนผสมที่ทดลองผสมไม่เป็นไปตามที่ต้องการจำเป็นต้องมีการปรับส่วนผสมใหม่ ทั้งนี้การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้จริงในการผสมและทำคอนกรีตย่อมทำให้เกิดความมั่นใจว่าจะได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติและคุณภาพตามที่ต้องการ

ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตต้องรู้คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผสม เช่นความถ่วงจำเพาะ ขนาดคละ การดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น โมดูลัสความละเอียดของทรายหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ และความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ เป็นต้น งานวิจัยนี้ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามวิธีของ ACI 211.1-91 (ACI Committee 211, 2002 (Reapproved)) โดยกำหนดค่ายุบตัวที่ 7.5 – 12.5 เซนติเมตร กำลังอัดออกแบบเท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์เท่ากับ 3.15 ส่วนขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ และค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายจะได้จากการทดสอบ

3.4 การทดสอบโมดูลัสความละเอียดมวลรวม

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127-88 (ASTM International, 2001) โดยใช้หินตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry, SSD) มาทดสอบ

3.5 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

การศึกษาครั้งนี้ใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกา ขนาด 10 x 20 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนผสมตามที่ระบุในตารางที่ 3.1 ซึ่งกำลังอัดออกแบบที่ใช้สำหรับตัวอย่างในการทดสอบนี้เท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยการออกแบบด้วยมาตรฐาน ACI (ACI Committee 211, 2002 (Reapproved)) จะเป็นกำลังอัดสำหรับตัวอย่างรูปทรงกระบอกเท่านั้น การบ่มใช้วิธีการแช่ตัวอย่างคอนกรีตในน้ำจนถึงอายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน โดยสัญลักษณ์ที่ใช้ในตารางที่ 3.1 ได้แก่ HRL คือคอนกรีตกำลังอัดออกแบบที่ 450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และชุดตัวเลข 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 คือร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำยางข้นที่แทนที่น้ำในส่วนผสม ตามลำดับ

3.6 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติหลัก 3 อย่างของคอนกรีต ได้แก่ การยุบตัวขณะสด กำลังอัด และการซึมผ่านของน้ำ โดยในแต่ละการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.6.1 การทดสอบค่าการยุบตัว

การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143 (ASTM Internationa, 2020) โดยค่ายุบตัวของคอนกรีตควบคุมที่ออกแบบไว้มีค่าระหว่าง 7.5 และ 12.5 เซนติเมตร ซึ่งจะนำมาเป็นค่ามาตรฐานเทียบกับคอนกรีตที่ผสมน้ำยางข้นในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามที่ระบุในตารางที่ 3.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำยางข้นต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตขณะสด ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีต

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้ในงานวิจัยต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

รายการ	รายการปริมาณวัสดุ (กก/ลบ.ม.)					
	ซีเมนต์	น้ำยางข้น	ทราย	หิน	น้ำ	สารลดน้ำพิเศษ
Control	540	-	680	915	215.6	6.8
HRL-0.5	540	1.1	680	915	214.6	6.8
HRL-1.0	540	2.2	680	915	213.5	6.8
HRL-1.5	540	3.2	680	915	212.4	6.8
HRL-2.0	540	4.3	680	915	211.3	6.8

3.6.2 การทดสอบกำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่น

การทดสอบกำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นในงานวิจัยนี้ดำเนินการพร้อมกันด้วยเครื่องทดสอบแบบ Universal Testing Machine ที่สามารถบันทึกค่ากำลังอัดและการทรุดตัวตามแนวแรงได้พร้อมกัน ตัวอย่างการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ทดสอบที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยค่ากำลังอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแต่ละส่วนผสมจะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในส่วนผสมนั้น ๆ จำนวนส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง

3.6.3 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

ตัวอย่างการทดสอบการซึมผ่านของน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร จากแต่ละส่วนผสมในตารางที่ 3.1 โดยเตรียมจาก

ตัวอย่างชนิดเดียวกับการทดสอบกำลังอัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร นำมาตัดเป็นแว่นโดยตัดส่วนหัวและส่วนท้ายออกด้านละ 5 เซนติเมตร และนำส่วนที่เหลือตรงกลางมาตัดแบ่งครึ่งที่จุดกึ่งกลาง โดยที่ใบตัดมีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างเหลือความยาวท่อนละ 4 เซนติเมตร ซึ่งค่าการซึมผ่านของน้ำของแต่ละส่วนผสมจะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 ชิ้นที่มาจากตัวอย่างก้อนเดียวกัน ซึ่งขั้นตอนการทดสอบและการคำนวณผลทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

ก. นำตัวอย่างที่ตัดได้ขนาดแล้วมาหล่อเคลือบด้านข้างด้วย Epoxy โดยรอบตลอดความสูง 4 เซนติเมตร โดยระมัดระวังไม่ให้ Epoxy ไหลไปโดนผิวสัมผัสด้านบนและด้านล่างของตัวอย่าง โดยการหล่อให้แบ่งเท Epoxy เป็นชั้น ๆ จำนวน 2-3 ชั้น ตามความเหมาะสม เพื่อให้ Epoxy แข็งตัวได้อย่างทั่วถึง และหมั่นไล่ฟองอากาศที่อยู่ระหว่างผิวคอนกรีตและ Epoxy ที่เคลือบผิวอยู่ เพื่อไม่เกิดเป็นโพรงที่น้ำสามารถไหลมาสะสมได้

ข. เมื่อตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ Epoxy แข็งตัวดีแล้ว ให้นำตัวอย่างมาประกอบใส่เซลล์ของชุดทดสอบ ให้ขันน็อตทั้ง 4 มุมของเซลล์ให้แน่นพอตึงมือ และระมัดระวังไม่ให้ขันแน่นเกินไป เนื่องจากอาจทำให้แผ่นอะคริลิกของชุดเซลล์แตกหักเสียหายได้

ค. ต่อสายแรงดันสูงเข้ากับเซลล์ ซึ่งจะต้องขันให้แน่น ไม่ให้อากาศซึมผ่านได้

ง. เติมน้ำผ่านวาล์ว ตัวที่ 1 จนน้ำเต็มเซลล์ เมื่อน้ำเต็มเซลล์จึงการปิดเซลล์ ในกรณีที่ไม่สามารถเติมน้ำจนเต็มเซลล์ได้ สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยการประกอบตัวอย่างในขั้นตอน “ข” ในสภาวะจมน้ำ ซึ่งจะทำให้น้ำเต็มอยู่ในชุดเซลล์ตั้งแต่ขั้นตอนการประกอบเซลล์

จ. เติมน้ำจนกระทั่งระดับน้ำอยู่ในหลอดวัด (Transparent Tube) แล้วจึงปิดวาล์วเพื่อรักษาความดันภายในท่อ ซึ่งจะรักษาระดับน้ำในท่อไว้ให้คงที่

ฉ. ต่ออีกด้านหนึ่งของสายทนแรงดันสูงเข้ากับถังออกซิเจนที่มีชุดควบคุมแรงดันอยู่ ขันวาล์วให้แน่นไม่ให้อากาศรั่วซึมได้ และให้เปิดวาล์วดังกล่าวให้อากาศในถังออกซิเจนไหลเข้าชุดทดสอบได้

ช. ทำการปรับแรงดันภายในชุดทดสอบให้คงที่ระดับ 5 บาร์ โดยดูจากเกจวัดที่ติดอยู่ที่ชุดโครงทดสอบ อ่านค่าเป็นช่วง ๆ โดยช่วงเริ่มต้นระดับน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากแรงดันที่เพิ่มขึ้น ให้บันทึกค่าระดับน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยให้บันทึกค่าระดับน้ำทุก 1 ชั่วโมง จนได้อัตราการลดลงของระดับน้ำสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตด้วยความเร็วคงที่

ซ. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 เมื่อ Q คือ Net flow rate มีหน่วยเป็น m^3/sec, ΔV คือปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร, Δt คือเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป มีหน่วยเป็นวินาที, K_p คือ Coefficient of permeability หน่วยเป็น m/sec, ρ คือความหนาแน่นของคอนกรีต มีหน่วยเป็น kg/m^3, L คือ ระยะทางที่น้ำไหลผ่าน มีหน่วยเป็นเมตร, g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าคงที่เท่ากับ 9.81 m/sec^3, P คือ ความดันที่

ใช้ดันน้ำจากทางเข้า มีหน่วยเป็น N/m^2 และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างด้านน้ำเข้า มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad 3.1$$

$$K_p = \frac{\rho L g Q}{P A} \quad 3.2$$

3.7 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีต เริ่มจากการออกแบบส่วนผสมจากนั้นนำส่วนผสมที่ต้องใช้ คือ น้ำ ทราย ปูนซีเมนต์ และ หิน มาชั่งน้ำหนักตามที่ได้ออกแบบไว้ในตารางที่ 3.1 โดยหินและทรายจะต้องทำการล้างและร่อนผ่านตะแกรงตามที่กำหนด ผสมคอนกรีตด้วยเครื่องโม่ปูนแบบลูกข่างโดยจะลำเลียงส่วนผสมเข้าเครื่องผสมเป็นลำดับ ได้แก่ หิน และทราย เปิดเครื่องผสมให้หินและทรายกระจายตัวกันดีก่อน จากนั้นจึงเติมน้ำที่ผสมกับน้ำยางข้นตามสัดส่วนที่ได้เตรียมเอาไว้แล้วในปริมาณเล็กน้อย และตามด้วยปูนซีเมนต์บางส่วน สังเกตการผสมด้วยตาให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และให้เติมน้ำสลับกับซีเมนต์เป็นระยะ ๆ จนหมดตามสัดส่วนที่ได้เตรียมไว้ ปล่อยเครื่องผสมให้ทำงานอีกระยะหนึ่งโดยให้สังเกตว่าส่วนผสมเข้ากันดีและมีซีเมนต์เพสต์เคลือบหรือหุ้มผิวของมวลรวมทั้งหมดแล้วจึงนำคอนกรีตสดส่วนหนึ่งมาทดสอบค่าการยุบตัว ในกรณีที่ชุดคอนกรีตควบคุมมีค่าการยุบตัวไม่อยู่ในช่วง 7.5-12.5 ซม. ตามที่ออกแบบไว้ จะใช้น้ำยาเคมีผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษ Type F หรือสารลดน้ำพิเศษร่วมกับหน่วงการก่อตัว Type G มาทดลองแบบลองผิดลองถูกเพื่อหาปริมาณน้ำยาเคมีผสมเพิ่มที่จะใช้เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่ออกแบบไว้ และจะใช้ปริมาณของน้ำยาดังกล่าวกับส่วนผสมอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด เพื่อให้ได้ผลกระทบที่เกิดจากน้ำยางข้นเพียงอย่างเดียว จากนั้นจึงเข้าแบบต่อไป

3.8 การเข้าแบบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบหล่อมาตรฐานสำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ทำจากเหล็กมีความแข็งแรงผิวด้านในเรียบ สามารถคงรูปทรงกระบอก และสามารถป้องกันน้ำไม่ให้รั่วออกมาจากแบบหล่อได้

มาตรฐาน ASTM C 192 (ASTM International, 2019) ได้กำหนดให้หล่อคอนกรีตลงแบบมาตรฐานเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาณคอนกรีตเท่ากัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้งด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 61 เซนติเมตร โดยชั้นที่ 2 และ 3 ต้องกระทุ้งให้ทะลุไปยังชั้นที่ต่ำกว่า 2.5 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง เมื่อครบทั้ง 3 ชั้น แล้วจึงทำการปาดผิวหน้า

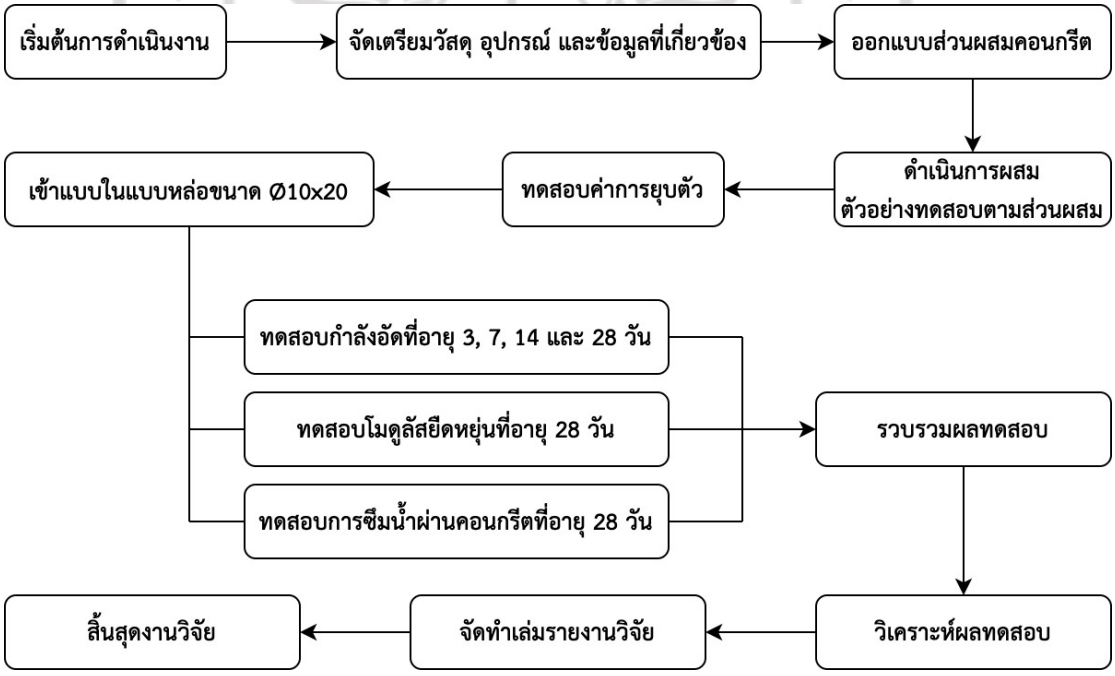
ของคอนกรีตให้เรียบ และทิ้งคอนกรีต อุณหภูมิระหว่าง 16 ถึง 27 องศาเซลเซียส โดยไม่รบกวนจนคอนกรีตแข็งตัว การถอดแบบจะทำเมื่อคอนกรีตมีอายุ 24±8 ชั่วโมงและนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบกำลังอัดตามอายุที่กำหนด

3.9 การบ่มและการเก็บรักษา

บ่มตัวอย่างคอนกรีตในน้ำให้น้ำท่วมตัวอย่างตลอดเวลาและให้นำตัวอย่างขึ้นมาก่อนทดสอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง ให้ทดสอบขณะผิวหมาด ระยะในการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

3.10 การออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัย

การออกแบบงานวิจัยจะอ้างอิงตามกรอบการทดลองการออกแบบส่วนผสม การวางแผนเตรียมความพร้อมทั้งข้อมูล วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือ ไปจนกระทั่งการเก็บผลการทดสอบและจัดทำเล่มรายงานตามที่แสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย