

บทที่ 3

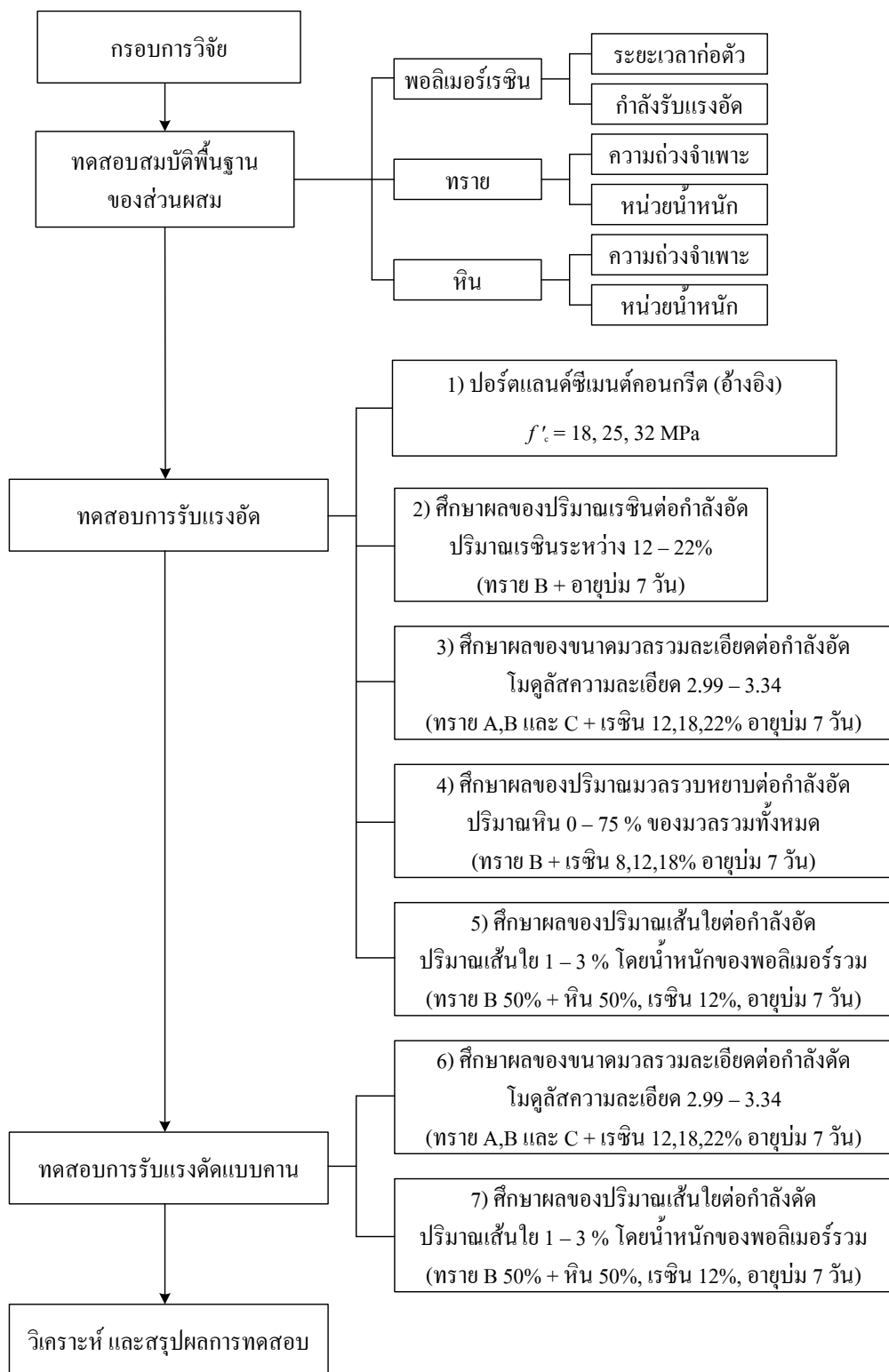
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของส่วนผสมต่อพฤติกรรมทางกลของพอลิเมอร์คอนกรีต งานวิจัยแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบคุณสมบัติวัสดุผสม และการทดสอบพฤติกรรมทางกลของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (อ้างอิง) และพอลิเมอร์คอนกรีต กรอบการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดแสดงรูปที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ได้แก่ พอลิเอสเตอร์เรซินและมวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสม คุณสมบัติที่ได้ในการทดสอบไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบตัวอย่างทดสอบให้สอดคล้องกับเครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ การศึกษาพฤติกรรมทางกลของตัวอย่างทดสอบทำโดยปรับเปลี่ยนตัวแปรอิสระ ได้แก่ ปริมาณเรซิน ขนาดของมวลรวมละเอียด ปริมาณมวลรวมหยาบ และปริมาณเส้นใย เพื่อศึกษาผลของส่วนผสมต่าง ๆ ต่อพฤติกรรมทางกลอันประกอบด้วย การทดสอบการรับแรงอัดและการรับแรงคด งานวิจัยนี้จะเตรียมตัวอย่างและทดสอบภายใต้ตัวแปรควบคุมเดียวกัน ได้แก่ ระยะเวลาและขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยาอายุบ่ม อุณหภูมิการบ่มและลำดับขั้นตอนการทดสอบ เป็นต้น การวิเคราะห์ผลจะเปรียบเทียบพฤติกรรมทางกลของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ได้กับพอลิเมอร์เรซินแข็ง และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั่วไป วิธีการทดสอบและจำนวนตัวอย่างทดสอบจะอธิบายโดยละเอียดแต่ละขั้นตอนในรายงานบทนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 พอลิเอสเตอร์พอลิเมอร์เรซิน

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบพอลิเมอร์คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้ พอลิเอสเตอร์เรซินที่ใช้นำเข้าและจัดจำหน่ายโดยบริษัท เจ เอ็น ทรานสอส (ประเทศไทย) จำกัด มีชื่อทางการค้า คือ ESTAR R289TP(N) ชนิดไอโซพาทาเลท และเป็นพอลิเอสเตอร์เรซินแบบพร้อมใช้ที่มีส่วนผสมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โคบอลต์แนฟเทเนต (cobalt naphthenate) มีลักษณะเป็นของเหลวใสสีชมพูอ่อนและมีความหนืดคล้ายน้ำมันเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 กรอบการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของพอลิเมอร์คอนกรีต

Constituents	Details
Resin	Unsaturated polyester resin, Commercial name: ESTAR R289TP(N), Isophthalate type
Catalyst	Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKPO) with 1% by weight
Promoter	Cobalt napthenate
Aggregate	Natural sand, crushed lime stone (maximum size 10 mm) and chopped glass fiber (length 3 – 4 mm)



รูปที่ 3.2 พอลิเอสเตอร์พอลิเมอร์เรซินเหลว

ตารางที่ 3.2 การทดสอบและจำนวนตัวอย่าง

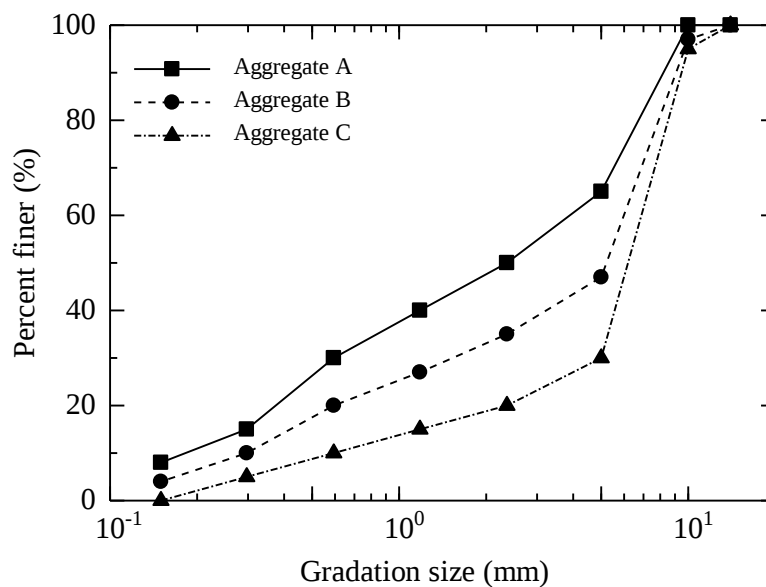
ประเภทมวลรวม	การทดสอบ	ปริมาณเรซินโดย น้ำหนักรวมของ พอลิเมอร์คอนกรีต	จำนวน (ตัวอย่าง)	หมายเลข ตัวอย่าง
หิน + ทราย	แรงอัด	ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ คอนกรีต $f'_c = 18 \text{ MPa}$	3	G1-180
		$f'_c = 25 \text{ MPa}$	3	G1-240
		$f'_c = 32 \text{ MPa}$	3	G1-320
ทรายโมดูลัสความละเอียด 3.20 (aggregate B)	แรงอัด	12%	6	G2B12
		14%	6	G2B14
		16%	6	G2B16
		18%	6	G2B18
		20%	6	G2B20
		22%	6	G2B22
ทรายโมดูลัสความละเอียด 2.99 (aggregate A)	แรงอัด	12%	6	G3A12
		18%	6	G3A18
		22%	6	G3A22
ทรายโมดูลัสความละเอียด 3.20 (aggregate B)	แรงอัด	12%	6	G3B12
		18%	6	G3B18
		22%	6	G3B22
ทรายโมดูลัสความละเอียด 3.40 (aggregate C)	แรงอัด	12%	6	G3C12
		18%	6	G3C18
		22%	6	G3C22
ทราย (aggregate B) 75% และหิน 25%	แรงอัด	12%	6	G4B75R12
ทราย (aggregate B) 50% และหิน 50%	แรงอัด	8%	6	G4B50R8
		12%	6	G4B50R12
		18%	6	G4B50R18
ทราย (aggregate B) 25% และหิน 75%	แรงอัด	12%	6	G4B25R12
ทราย (aggregate B) 50% หิน 50% และ เส้น ใยแก้ว 1% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ คอนกรีตรวม	แรงอัด	12%	6	G5B50F1
ทราย (aggregate B) 50% หิน 50% และ เส้น ใยแก้ว 2% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ คอนกรีตรวม	แรงอัด	12%	6	G5B50F2

ตารางที่ 3.2 การทดสอบและจำนวนตัวอย่าง (ต่อ)

ประเภทมวลรวม	การทดสอบ	ปริมาณเรซินโดย น้ำหนักรวมของ พอลิเมอร์คอนกรีต	จำนวน (ตัวอย่าง)	หมายเลข ตัวอย่าง
ทราย (aggregate B) 50% หิน 50% และ เส้นใยแก้ว 3% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตรวม	แรงอัด	12%	6	G5B50F3
ทรายโมดูลัสความละเอียด 2.99 (aggregate A)	แรงค้ำ	12%	3	G6A12
		18%	3	G6A18
		22%	3	G6A22
ทรายโมดูลัสความละเอียด 3.20 (aggregate B)	แรงค้ำ	12%	3	G6B12
		18%	3	G6B18
		22%	3	G6B22
ทรายโมดูลัสความละเอียด 3.40 (aggregate C)	แรงค้ำ	12%	3	G6C12
		18%	3	G6C18
		22%	3	G6C22
ทราย (aggregate B) 50% หิน 50% และ เส้นใยแก้ว 1% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตรวม	แรงค้ำ	12%	3	G7B50F1
ทราย (aggregate B) 50% หิน 50% และ เส้นใยแก้ว 2% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตรวม	แรงค้ำ	12%	3	G7B50F2
ทราย (aggregate B) 50% หิน 50% และ เส้นใยแก้ว 3% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตรวม	แรงค้ำ	12%	3	G7B50F3
รวมจำนวนชุดตัวอย่าง			174	

3.1.2 มวลรวม

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ ทรายธรรมชาติจากอำเภอฟิมาย จังหวัด นครราชสีมา ซึ่งเป็นมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการผลิตปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตโดยทั่วไปในพื้นที่ จังหวัดนครราชสีมาและพื้นที่ใกล้เคียง ทรายถูกนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา และอบแห้งที่ อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำมาคัดขนาดเพื่อใช้ในส่วนผสมต่อไป มวลรวมหยาบ ที่ใช้คือหินปูนบด ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ขนาดละเอียด ของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกปรับให้มีขนาดละเอียดแตกต่างกันจำนวน 3 แบบดังแสดง ในรูปที่ 3.3 โดยมวลรวมละเอียด A B และ C มีขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน BS 882 (1992) สำหรับมวลรวมแบบหลายขนาด (all-in aggregate) แต่ละสัดส่วนละเอียดมีค่าโมดูลัสความละเอียดที่ แตกต่างกัน คือ 2.99 3.20 และ 3.34 ตามลำดับ เส้นใยที่ใช้ผสมเพิ่มเป็นเส้นใยแก้ว (glass fiber) ตัดสั้น โดยมีขนาดความยาวทั่วไประหว่าง 3 ถึง 4 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 การกระจายขนาดของมวลรวมละเอียดที่ขนาดละเอียดต่าง ๆ



รูปที่ 3.4 เส้นใยแก้วตัดสั้น

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสม

3.2.1 พอลิเมอร์เรซิน

ก) ระยะเวลาก่อตัวและหน่วยน้ำหนัก

ภายหลังจากการผสมพอลิเมอร์เรซินกับตัวเริ่มปฏิกิริยา พอลิเมอร์เรซินจะเริ่มก่อตัว การทดสอบเวลาก่อตัวของพอลิเมอร์เรซินประยุกต์ใช้การทดสอบของซีเมนต์เพสต์โดยวิธีไวแคตตามมาตรฐาน ASTM C191 (2008)

ข) กำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังอัดของพอลิเมอร์เรซินแข็งทำเพื่อให้ทราบกำลังอัดประลัยและการพัฒนากำลังตามอายุบ่มของวัสดุประสาน การทดสอบทำโดยหล่อตัวอย่างพอลิเมอร์เรซิน ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 50 มิลลิเมตร จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างที่อายุบ่ม 1 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับ การทดสอบกำลังอัดทำที่อายุบ่มต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASTM C579 (2001)

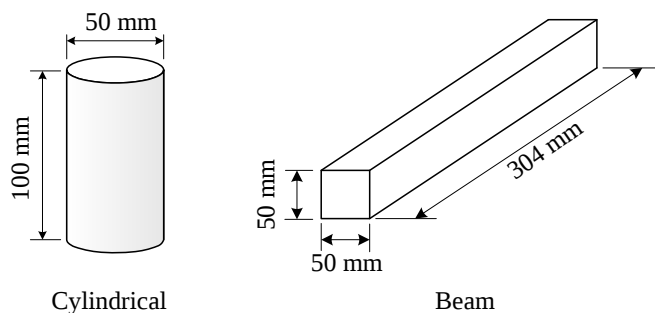
3.2.2 มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวมที่ทำการทดสอบมี 3 ประเภท คือ ความถ่วงจำเพาะรวม หน่วยน้ำหนัก และความทนทานต่อการขัดสี การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะรวมทำตามมาตรฐาน ASTM C128 (2007) สำหรับมวลรวมละเอียดและ ASTM C127 (2007) สำหรับมวลรวมหยาบ การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมทำตามมาตรฐาน ASTM C29 (2009) สำหรับ

มวลรวมหยาบจะทดสอบความทนทานต่อการขัดสีด้วยซึ่งทำตามมาตรฐาน ASTM C131 (2006) (มวลรวมขนาดเล็กกว่า 1-1/2 นิ้ว)

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างกระทำตามมาตรฐาน ASTM C579 (2001) และ ASTM C580 (2002) สำหรับการรับแรงอัดและการรับแรงค้ำตามลำดับ ตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ตัวอย่างทรงกระบอกสำหรับทดสอบการรับแรงอัด และตัวอย่างแบบคานสำหรับการรับแรงค้ำ ขนาดของตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 แบบแสดงดังรูปที่ 3.5 แบบหล่อสำหรับตัวอย่างทรงกระบอกและแบบคานทำจากโลหะที่แข็งแรง การติดตั้งแบบหล่อทั้ง 2 แบบทำตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ขนาดตัวอย่างทดสอบสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงค้ำ



(a) แบบหล่อทรงกระบอก



(b) แบบหล่อคาน

รูปที่ 3.6 แบบหล่อตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีต

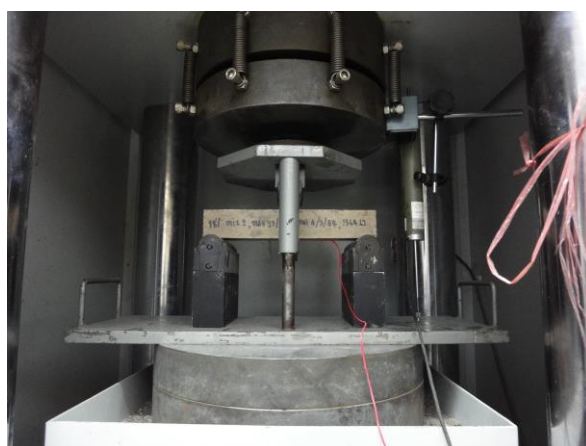
3.4 การทดสอบทางกล

3.4.1 การทดสอบการรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลของพอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้แรงอัด อันได้แก่ กำลังสูงสุด ความแข็งแรง และรูปแบบการวิบัติ การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 579 (2001) method C สำหรับขนาดตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร คุณสมบัติทางกลของวัสดุภายใต้แรงกดอัดที่สนใจ ได้แก่ หน่วยแรงที่พิกัดยืดหยุ่น (stress at proportional limit) หน่วยแรงประลัย (ultimate stress) และความเครียดที่หน่วยแรงอัดประลัย (strain at ultimate stress) จากผลการศึกษาเบื้องต้นของการพัฒนากำลังรับแรงอัดเบื้องต้นในหัวข้อ 3.2.1 แม้ว่าพอลิเมอร์เรซินเมื่อเติมตัวเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดการก่อตัวและสามารถพัฒนากำลังได้มากกว่าร้อยละ 90 ใน 1 วัน แต่เมื่อพอลิเมอร์เรซินผสมมวลรวมแล้วการพัฒนากำลังอัดจะเริ่มคงที่เมื่ออายุบ่ม 7 วัน ดังนั้น การทดสอบกำลังอัดจะทำเมื่อบ่มตัวอย่างได้อายุ 7 วัน

3.4.2 การทดสอบการรับแรงดัด

เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีต ดังนั้นงานวิจัยจึงทำการทดสอบการรับแรงดัดแบบคานตามมาตรฐาน ASTM C580 (2002) ตัวอย่างทดสอบจะมีขนาดหน้าตัด 50x50 มิลลิเมตร ยาว 304 มิลลิเมตร การทดสอบการรับแรงดัดทำที่อายุบ่ม 7 วัน เช่นเดียวกับการทดสอบการรับแรงอัด ระยะห่างของจุดรองรับเท่ากับ 254 มิลลิเมตร น้ำหนักบรรทุกกระทำที่กึ่งกลางคาน คุณสมบัติทางกลของวัสดุภายใต้แรงดัดที่สนใจ ได้แก่ หน่วยแรงดัดสูงสุด (flexural strength) และ โมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัด



รูปที่ 3.7 การติดตั้งตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตสำหรับการทดสอบการรับแรงดัด