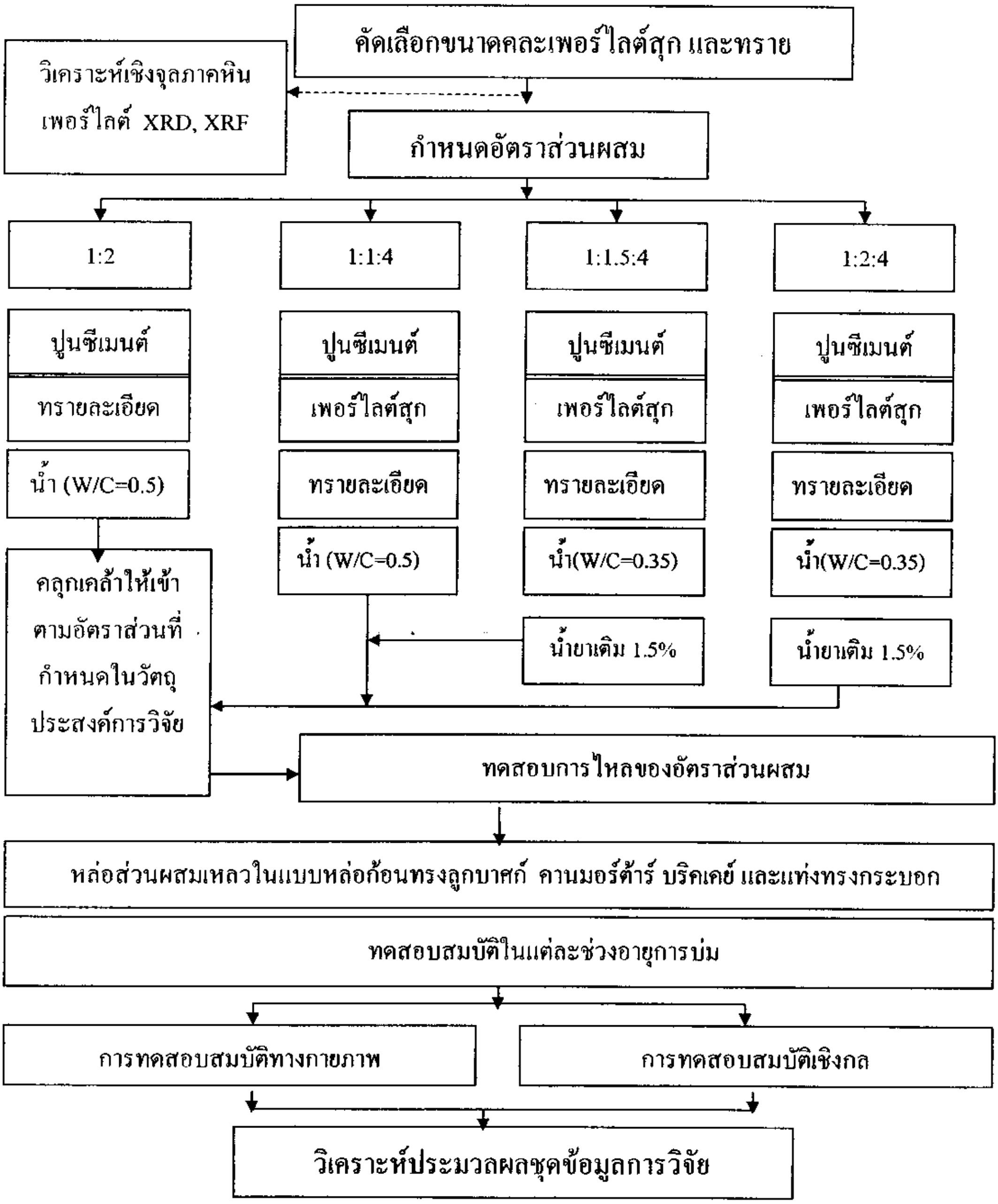
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยด้านการพัฒนามอร์ต้าร์มวลเบา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้เพอร์ไลต์สุกมาใช้เป็นมวลรวมผสมหลักในการพัฒนาสมบัติของมอร์ต้าร์เบาโดยได้ ดำเนินการตามขั้นตอนของวิธีการวิจัยในภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 แผนผังขั้นตอนการศึกษา

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการทดสอบแบ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ออกได้ 3 ประเภท คือ เครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจลักษณะทางจุลภาค เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้หล่อก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจลักษณะทางจุลภาค

ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงจุลภาคนั้นเป็นของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อันประกอบด้วย

- เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer ซึ่งใช้ดำเนินการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของมวลรวมเพอร์ไลต์
- เครื่อง X- Ray Diffraction ใช้ดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกซึ่งจะชี้บอกประเภทชนิดและปริมาณของแร่
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเพอร์ไลต์และก้อนตัวอย่าง

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

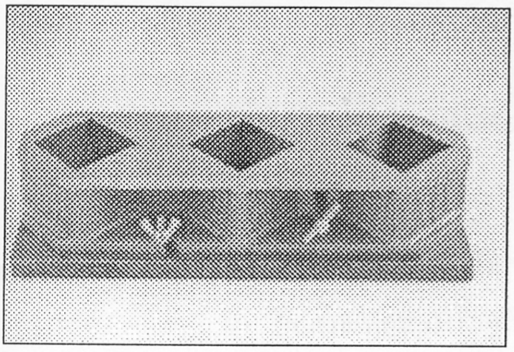
สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพควบคุม ได้แสดงตัวอย่างชุดเครื่องมือและอุปกรณ์หลักๆ ประกอบไปด้วย

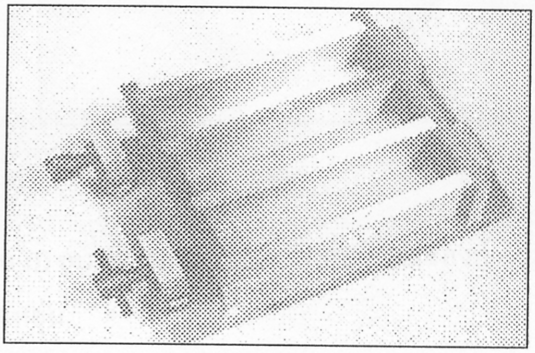
- ชุดเครื่องวิเคราะห์การหาขนาดคละของตัวอย่างตามข้อกำหนด ASTM
- ชุดอุปกรณ์การทดสอบการดูดซึมน้ำ
- ชุดอุปกรณ์การทดสอบความคงตัว
- ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 2610 กรัม (± 0.01 กรัม)
- ชุดเครื่องมือวัดความละเอียด ±0.001 มม.
- ตู้อบขนาดความจุ 0.2 ลบ.ม. ระบบตั้งและควบคุมอุณหภูมิ ±110 องศา
- ชุดน้ำยาและกระดาษวัดหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 2610 กรัม ± 0.01 กรัม
- ชุดถาดหรือถัง โถแก้ว และภาชนะบรรจุ หรือแช่ตัวอย่าง

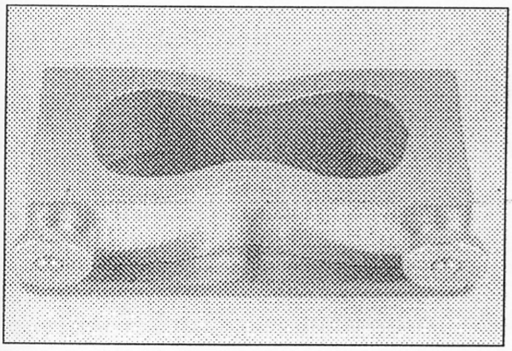
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้หล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์

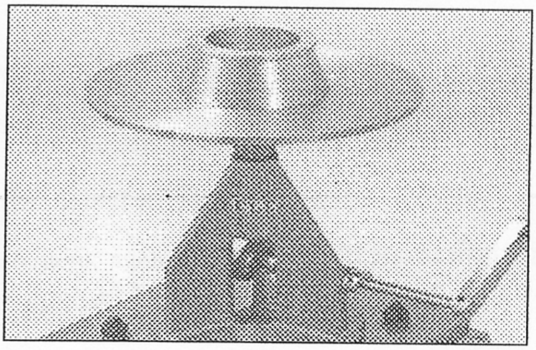
ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์เพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพเชิงจุลภาค และสมบัติทางกลมาตรฐาน ASTM ซึ่งได้แสดงไว้ภาพประกอบ 3.2 ซึ่งประกอบด้วย

- แบบหล่อก้อนมอร์ต้าร์ขนาด 5x5x5 ซม. (ASTM C 109)
- แบบหล่อคานมอร์ต้าร์ ขนาด 5x5x14 ซม. (ASTM C 595)
- แบบหล่อก้อนมอร์ต้าร์ทดสอบกำลังดึง (ASTM C 190)
- แบบหล่อแท่งตัวอย่างทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. (ASTM C 469)
- ชุดทดสอบการไหลของมอร์ต้าร์ (ASTM C 230)
- ชุดครอบหัวแท่นตัวอย่างทรงกระบอก (ASTM C 469)


ก)


ข)


ค)

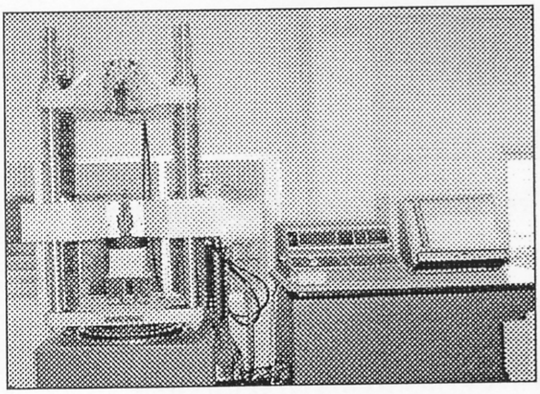

ง)

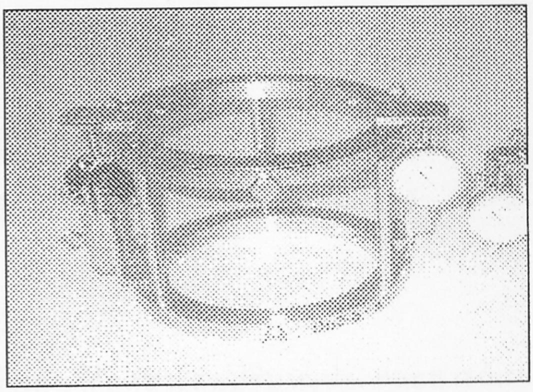
ภาพประกอบ 3.2 ชุดเตรียมและเก็บตัวอย่าง ก) แบบหล่อก้อนมอร์ต้าร์สำหรับทดสอบกำลังอัด ข) แบบหล่อคานมอร์ต้าร์ ค) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรับกำลังดึง และ ง) ชุดทดสอบการไหลมอร์ต้าร์สด

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล

ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งใช้ในการทดสอบก้อนตัวอย่าง นั้นได้ใช้เครื่องทดสอบสมบัติอเนกประสงค์ (universal test machine) กำลังความสามารถ

60 ตัน รุ่น UN453 ยี่ห้อ ELE เป็นหลักในการใช้ทดสอบหาผลกำลังอัด กำลังดึง กำลังดัด และชุดอุปกรณ์ทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3


ก)


ข)

ภาพประกอบ 3.3 ชุดเครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกล ก) เครื่องทดสอบกำลังวัสดุอเนกประสงค์ และ ข) อุปกรณ์ทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น

3.2 วัสดุที่ใช้ในการผสม

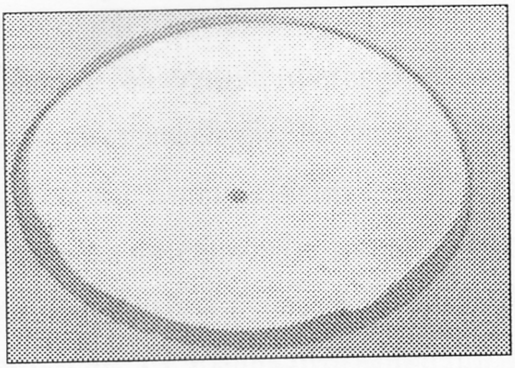
วัสดุที่ใช้ในการหล่อมอร์ต้าร์ได้แยกออกเป็นวัสดุมวลรวมละเอียดผสมได้แก่ ทรายละเอียด และหินเพอร์ไลต์สุก ส่วนวัสดุที่เป็นเนื้อประสานได้แก่ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง และน้ำยาเสริมสมบัติมอร์ต้าร์ในที่นี้ได้ใช้ 2 ประเภทคือ น้ำยาลดปริมาณน้ำ (water reducing and retarding) และน้ำยากักกระจายฟองอากาศ (air-entraining agent) รายละเอียดการจัดและคัดสมบัติของวัสดุเพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการกำหนดสมบัติของก้อนตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.2.1 วัสดุมวลรวมละเอียด

วัสดุมวลรวมละเอียดที่ใช้ได้แก่ ทรายละเอียด และเพอร์ไลต์สุกที่ผ่านการคัดขนาดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 (ขนาด 0.0098 นิ้ว) ถึงเบอร์ 200 (0.0029 นิ้ว) ซึ่งการคัดตัวอย่างในแต่ละครั้งใช้ชุดตัวอย่างครั้งละ 5000 กรัม จนได้ปริมาณพี่พอเพียงในการนำไปเป็นส่วนผสม

3.2.2 วัสดุเนื้อประสาน

วัสดุที่ใช้เป็นตัวประสาน อันได้แก่ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง สำหรับการสร้างก้อนตัวอย่างทุกอัตราส่วนผสมโดยที่น้ำสะอาด จะเป็นตัวทำละลายเพื่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในองค์ประกอบในเนื้อของซีเมนต์กับเนื้อวัสดุมวลรวมผสาน



ภาพประกอบ 3.4 ขนาดคละของหินเพอร์ไลต์สุกที่ใช้เป็นมวลรวมผสมในมอร์ต้าร์

3.2.3 สารเคมีผสมเพิ่ม

สำหรับสารที่ใช้เสริมกำลังของตัวอย่างอันได้แต่สารลดปริมาณน้ำ และสารกักกระจายฟองอากาศในก้อนตัวอย่าง ซึ่งการใช้สารดังกล่าวเพื่อการหวังผลเชิงบวกด้านสมบัติบัติการนำไปใช้งานของก้อนตัวอย่าง ดังมีรายละเอียดและข้อกำหนดของสารต่อไปนี้

1) สารกักกระจายฟองอากาศ

ในงานวิจัยนี้ ใช้สารเคมีชื่อทางการค้าว่า แอร์ (Air) สำหรับเพิ่มความคงทนต่อสภาวะอากาศ สมบัตินี้เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับพื้นที่อากาศร้อนสลับเย็น เช่น ทะเลทรายหรือหิมะแข็งตัวแล้วละลายหรือเขื่อนรับน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ไม่แตกร้าวปริมาณการใช้จะควบคุมในช่วงที่คอนกรีตมีฟองอากาศระหว่างร้อยละ 4 ถึง 6 ในช่วงนี้ฟองอากาศจะช่วยการผสมคอนกรีต ทำให้ใช้น้ำลดลง ความแข็งจึงเพิ่มขึ้นและมีสมบัติการทำงานดีขึ้น ผิวเนียนสวยขึ้น แต่หากใช้น้อยไปจะไม่เพียงพอต่อการยืดหดตัวและหากใช้มากไปกำลังกลับลดลง ฉะนั้นปริมาณการใช้ต้องคงที่สำหรับปูนก่อปูนฉาบให้ใช้ปอร์ตแลนด์พลาส หรือมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ตาม ASTM C 260 สำหรับวิธีการใช้นั้นใช้น้ำยา 50 ลบ.ซม.ต่อปูนซีเมนต์ 1 ถุง

2) สารลดปริมาณน้ำ

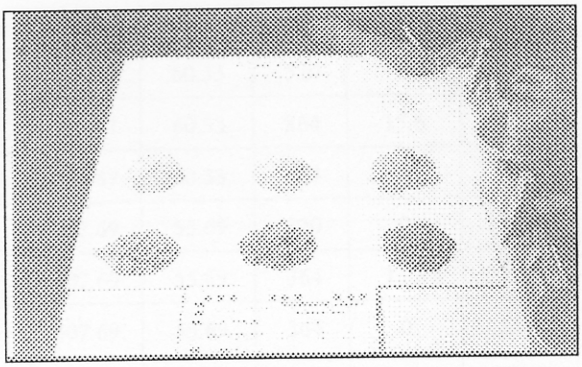
ในงานวิจัยนี้ ใช้สารชื่อทางการค้าว่า สารลอทพลาส (Lotplas) Part 1 เป็นน้ำยาผสมคอนกรีต ซึ่งไม่มีส่วนผสมของแคลเซียมคลอไรด์ จึงไม่เป็นอันตรายต่อเหล็กเสริม และเพิ่มความสามารถเทได้ให้กับมอร์ต้าร์สดแม้จะลดปริมาณน้ำลงไปก็ตาม การใช้สารนี้ทำให้สามารถลดน้ำที่ใช้ผสมและได้กำลังที่สูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีสรรพคุณตามมาตรฐาน B.S. 5075:1982

3.2.4 น้ำที่ใช้ผสม

น้ำที่ใช้ในงานผสมสำหรับการหล่อก้อนตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ได้ใช้น้ำสะอาดโดยได้ใช้น้ำประปาอุณหภูมิ 25 ^{0} ซ.

3.3 การออกแบบส่วนผสม

การทดลองเชิงการวิจัยครั้งนี้ ได้ออกแบบส่วนผสมอยู่ในช่วงการใช้อัตราส่วนผสมของเพอร์ไลต์ครอบคลุมในส่วนการทดแทนทรายละเอียดคิดเป็นร้อยละ 66.7, 72.7, 80.0 ของอัตราส่วนผสม 1:2:4, 1:1.5:4 และ 1:1:4 ตามลำดับ ทั้งกลุ่มมอร์ต้าร์ตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม โดยใช้อัตราส่วนน้ำกับปริมาณซีเมนต์ W/C = 0.35 และ 0.5 ของกลุ่มตัวอย่าง HRRM, APM, OPC และ PM ดังแสดงรายละเอียดของอัตราส่วนผสมไว้ในตารางที่ 3.1 และรูปแสดงการหาปริมาณสัดส่วนที่ใช้ผสมภาพประกอบ 3.5 สำหรับภาพประกอบ 3.6 การแสดงปริมาณสัดส่วนมวลรวมในอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละของกลุ่มมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการวิจัย



ภาพประกอบ 3.5 การหาสัดส่วนผสมในห้องปฏิบัติการ

3.4 การหล่อก้อนตัวอย่าง

การสร้างก้อนตัวอย่างเป็นขั้นตอนการผสมตัวอย่างหลังการออกแบบอัตราส่วนผสม เพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่าง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.7 ซึ่งมี 4 ประเภทด้วยกันคือ ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ คานสี่เหลี่ยม ก้อนเอวคอด หรือบริคเคย์ (briquet) และตัวอย่างทรงกระบอก

ขั้นตอนการหล่อก้อนตัวอย่างเพื่อศึกษา เริ่มจากการนำมวลรวมเพอร์ไลต์ที่ได้ตระเตรียมไว้เทผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง ตามอัตราส่วนการผสมตามการออกแบบไว้ตารางที่ 3.1 ซึ่งมีตัวอย่าง 4 ชุดด้วยกันคือ กลุ่มมอร์ต้าร์ควบคุม (OPM) อัตราส่วนผสม 1:2 และกลุ่มมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์ปกติ (PM) ใช้ค่า W/C เท่ากับ 0.5 กลุ่มมอร์ต้าร์ใส่น้ำยาลดปริมาณน้ำ (HRRM) และกลุ่มมอร์ต้าร์ใส่สารกักกระจายฟองอากาศ (APM) ใช้ค่า W/C เท่ากับ 0.35 ซึ่งกลุ่มมอร์ต้าร์ผสมหินเพอร์ไลต์สุกใช้อัตราส่วนผสมของมวลรวมคือ 1:1:4, 1:1.5:4 และ 1:2:4 สำหรับสารลดปริมาณน้ำและสารกักกระจายฟองอากาศ ใช้ผสมเพิ่มในอัตราส่วนร้อยละ 1.5 ต่อปริมาณของปูนซีเมนต์ การผสมมวลรวมให้เข้ากันได้นั้นได้คลุกเคล้าด้วยมือจนสังเกตเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมน้ำและสารหรือน้ำ

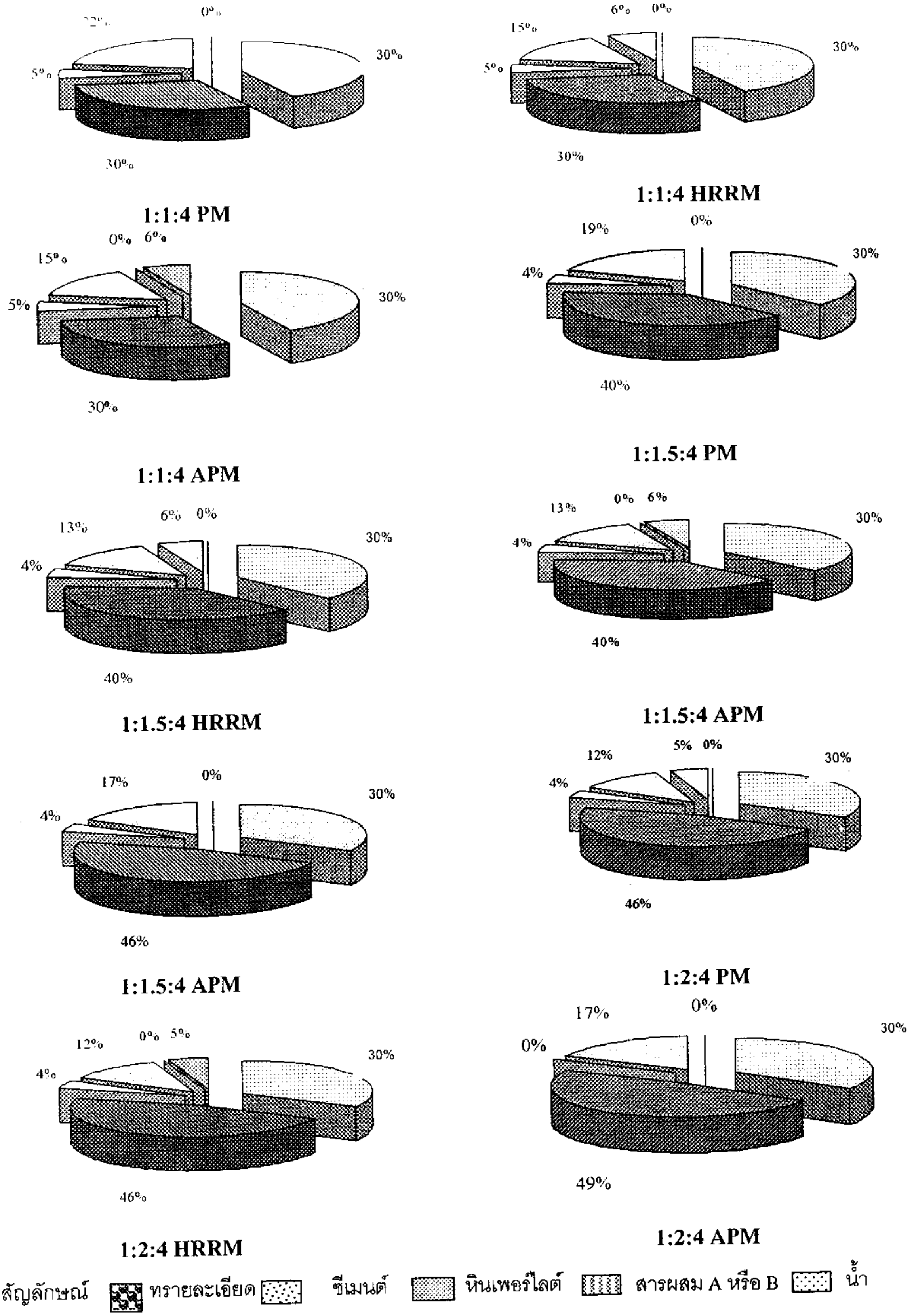
ยาที่ใช้ปรับสมบัติของมอร์ต้าร์ตัวอย่างตามจำนวนที่คำนวณและชั่งไว้จนหมด หลังจากนั้นก็ทำการคลุกเคล้าจนเข้ากันดี แล้วให้เทหรือหล่อลงในแบบมอร์ต้าร์ คานมอร์ต้าร์ บริคเคย์และทรงกระบอก หลังหล่อแล้วเสร็จทิ้งไว้จนครบอายุ 24 ชม. จึงนำก้อนตัวอย่างออกจากแบบไปบ่มในอุณหภูมิห้อง ซึ่งจำนวนก้อนตัวอย่างที่หล่อขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบสมบัติดังกล่าวทั้งสิ้น 940 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของมวลรวมในมอร์ต้าร์ที่ศึกษา

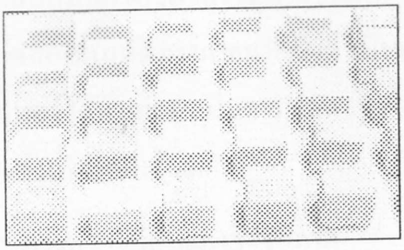
อัตราส่วนผสม	ประเภทมอร์ต้าร์	ปริมาณของสารที่ใช้เป็นส่วนผสม (ต่อ1 ลบ.ม.)						หมายเหตุ
		ซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	เพอร์ไลต์ (กก.)	น้ำ (ลิตร)	สาร A (ลิตร)	สาร B (ลิตร)	
1-2.	OPM	1040	1466.67	0	520	0	0	1.ถพ.ปูน = 3.142 2.ถพ.ทราย = 2.531 3.ความหนาแน่นเพอร์ไลต์ = 90.5 กก.ต่อ ลบ.ม 3.สารเพิ่มใช้ร้อยละ 1.5 ของ ปูนซีเมนต์ ประกอบด้วย - สารA = สารลดปริมาณน้ำ - สาร B = สารกักกระจายฟองอากาศ
1-1-4.	PM	1040	366.67	60.33	520	0	0	
	HRRM	1040	366.67	60.33	364	15.6	0	
	APM	1040	366.67	60.33	364	0	15.6	
1-1.5-4.	PM	1040	507.69	55.69	520	0	0	
	HRRP	1040	507.69	55.69	364	15.6	0	
	APM	1040	507.69	55.69	364	0	15.6	
1-2-4.	PM	1040	628.57	51.71	520	0	0	
	HRRM	1040	628.57	51.71	364	15.6	0	
	APM	1040	628.57	51.71	364	0	15.6	

ตารางที่ 3.2 จำนวนก้อนตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ

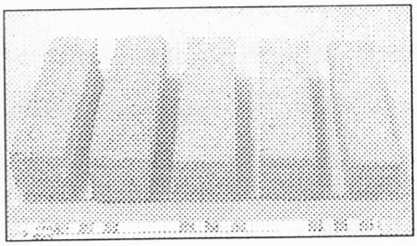
ประเภทการทดสอบ	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนก้อนตัวอย่าง
การดูดซึมน้ำ	5x5x5	120
หดตัวแบบแห้ง	5x5x5	120
ความคงตัว	5x5x5	120
ความหนาแน่น	5x5x5	120
กำลังอัด	5x5x5	120
กำลังดัด	5x5x14	120
กำลังดึง	5x4.5x7	120
โมดูลัสยืดหยุ่น	ϕ 15 x 30 ซม.	100
รวม		940 ตัวอย่าง



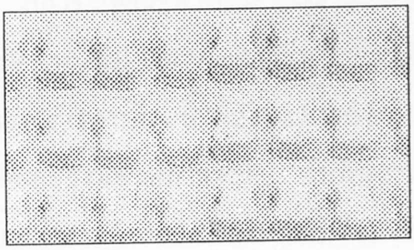
ภาพประกอบ 3.6 ปริมาณมวลรวมในอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละของกลุ่มมอร์ต้าร์



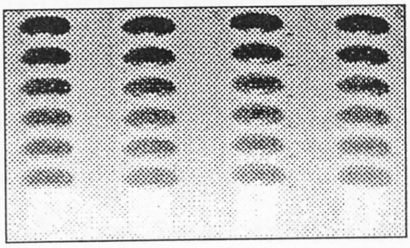
ก)



ข)



ค)

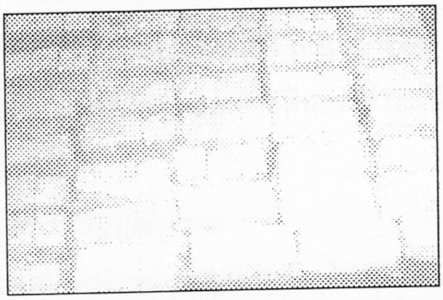


ง)

ภาพประกอบ 3.7 ก้อนตัวอย่าง ก) สำหรับการทดสอบกำลังอัด ข) คานตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังดัด ค) ตัวอย่างทดสอบกำลังดึง และ ง) ตัวอย่างสำหรับการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

3.5 การบ่มก้อนตัวอย่าง

การบ่มก้อนตัวอย่างดำเนินการการบ่มในอุณหภูมิห้องปกติ และมีการบรรจุก้อนตัวอย่างในถุงพลาสติกใสถุงละ 3-5 ก้อน เพื่อกันการความชื้นระเหยออกจากก้อนตัวอย่างเร็วเกินไป ซึ่งจะเป็นการบ่มแบบอากาศ สำหรับอายุการบ่มของก้อนตัวอย่างได้แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มอายุการบ่มคือ อายุการบ่ม 3, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.8 สำหรับแท่งตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกำหนดอายุการบ่ม 3, 7,14, 21 และ 28 วัน เมื่อตัวอย่างในแต่ละชุดมีอายุการบ่มครบในแต่ละช่วงอายุดังกล่าว ก่อนที่จะนำตัวอย่างมาทดสอบต้องนำก้อนตัวอย่างมาเทครอบหัวท้ายด้วยกำมะถันเหลวก่อนนำมาทดสอบ



ภาพประกอบ 3.8 การบ่มอากาศของก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ไว้ในถุงพลาสติก

3.6 การทดสอบสมบัติของมวลรวมเพอร์ไลต์

การทดสอบสมบัติทางกายภาพซึ่งดำเนินการทดสอบตัวอย่างวัสดุในข้อ 3.2 โดยเฉพาะวัสดุหลัก คือหินเพอร์ไลต์ และดำเนินการทดสอบตัวอย่างวัสดุทั้งก่อนและหลังการทดสอบหรือการผสมตัวอย่างซึ่งประกอบด้วย

3.6.1 การตรวจลักษณะเชิงจุลภาค

มีการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอย่างโดยวิธีการกวาดด้วยกล้องจุลทรรศน์ (SEM) และการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแร่หรือสารประกอบในเพอร์ไลต์โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)ซึ่งวิธีการวิจัยนี้ได้ส่งชุดตัวอย่างหินเพอร์ไลต์ดิบ และเพอร์ไลต์สุกอย่างละ 3 ชุดตัวอย่างให้ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ดำเนินการวิเคราะห์ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธี SEM ได้เริ่มจากการนำตัวอย่างมาหล่อเคลือบทองในเป้าหล่อชุดตัวอย่าง นำเครื่องวิเคราะห์โดยใช้รังสีเอ็กซ์ส่องกวาดด้วยกำลังขยายสูงบันทึกภาพผิวที่ถ่ายได้ตามต้องการ สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธี XRF และ XRD ได้นำตัวอย่างไปบดเป็นผง (powder) แล้วน้ำเข้าบรรจุในถาดแก้วขนาดเล็กอัดให้แน่นและเรียบเสมอผิวหน้า นำไปติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางแท่นรองรับที่หมุนรอบตัวเองได้ จากนั้นก็จะดำเนินการปล่อยลำรังสีไปกระทบกับตัวอย่างแล้วเครื่องจะเริ่มดำเนินการแปรผลการวิเคราะห์ออกมาทางเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งบันทึกภาพและแปรผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของโปรแกรมที่ได้ติดตั้งไว้

3.6.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของมวลรวมเพอร์ไลต์ ก่อนที่จะนำไปผสมในการหล่อก้อนตัวอย่าง ประกอบด้วยการทดสอบดังต่อไปนี้

1) การทดสอบขนาดคละ

การทดสอบหาของหินเพอร์ไลต์และทรายโดยคัดตัวอย่างและหาโมดูลัสความละเอียด ตามวิธีการของ ASTM C 136 โดยทำการคัดอย่างมาชุดละ 500 กรัม ต่อ 1 ชุดตัวอย่างการทดสอบการคัดขนาดนำเข้าเครื่องใส่ตะแกรงสำหรับการคัดขนาดซึ่งได้เรียงตามลำดับโดยเริ่มจากขนาดของตะแกรงขนาด 60, 100, 120, 160, 200 เมช และถาดรอง การคัดขนาดหินเพอร์ไลต์ที่เผาสุกแล้วให้มีขนาดเท่ากับทรายละเอียดได้นำขนาดของหินเพอร์ไลต์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 60 และค้างขนาด 200 เมช มาใช้เป็นส่วนผสม

2) การทดสอบความหนาแน่นรวม

การทดสอบความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหินเพอร์ไลต์ที่ผ่านกระบวนการเผาทำให้สุกและทรายละเอียด ตามวิธีการของ ASTM C 29 การทดสอบได้ดำเนินการอัดมวลรวมแห้งลง

ในภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีส่วนสูงเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ แล้วดำเนินการหาน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของมวลรวมนั้น สมบัติด้านความหนาแน่นเป็นสมบัติเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสม หรือกล่าวได้อีกแบบหนึ่งคือเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักโดยปริมาตรของมวลรวมในชุดอุปกรณ์การชั่งตวงมาตรฐาน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.9 ก)

3) การทดสอบการดูดซึมน้ำ

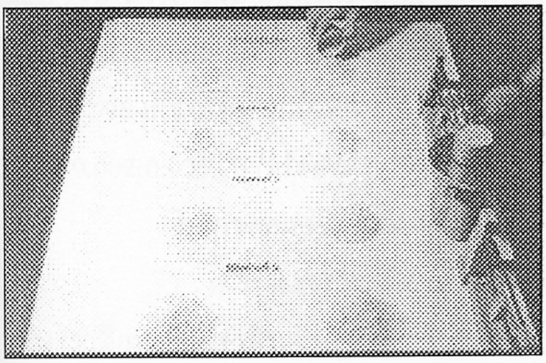
การทดสอบดูดซึมน้ำได้ดำเนินการตามวิธีของ ASTM C 127, C 128 และ C 70 ตัวอย่างที่ใช้นี้จะเป็นตัวอย่างหินเพอร์ไลต์เผาสุกแล้วและทรายละเอียดโดยใช้ตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่ผ่านการหาปริมาตรและน้ำหนักแล้วมาแช่ในน้ำสะอาดหรือน้ำกลั่น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง พร้อมนำเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 110^0 ซ. เป็นเวลา 12 ชั่วโมงจึงนำผลมาชั่งหาน้ำหนักสุทธิของเพอร์ไลต์เผาสุกและทรายละเอียด เพื่อวิเคราะห์หาค่าการดูดซึมน้ำโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ (3. 1) และดังภาพประกอบ 3.9 ข) ซึ่งเป็นตัวอย่างการหาค่าการดูดซึมน้ำต่อไป

$$A_b = \frac{W_w - W_d}{W_w} x\, 100 \qquad \text{.................................... (3.1)}$$

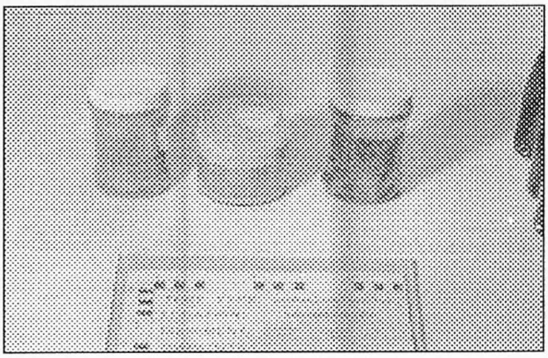
เมื่อกำหนดให้ A_b = ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

W_w = น้ำหนักตัวอย่างเปียก หน่วยเป็น กรัม (g)

และ W_d = น้ำหนักตัวอย่างแห้งผ่านการอบ 24 ชั่วโมง หน่วยเป็น กรัม (g)

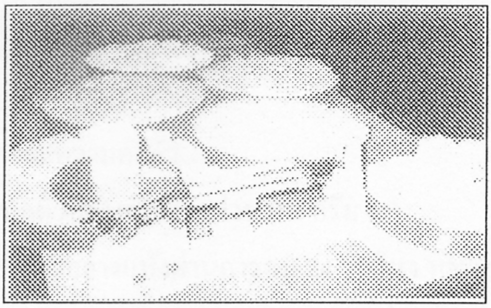


ก)



ข)

ภาพประกอบ 3.9 การหาสมบัติ ก) สมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์ และ ข) การดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์และทราย



ภาพประกอบ 3.10 การหาขนาดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง

3.7 การทดสอบสมบัติของมอร์ต้าร์

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของมอร์ต้าร์มวลเบาได้ดำเนินการทดสอบในส่วนของกลุ่มมอร์ต้าร์ควบคุม (OPM) กลุ่มมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์เผาสุก (PM) กลุ่มมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์เผาสุกที่ใส่สารลดปริมาณน้ำ(HRRM) และกลุ่มมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์เผาสุกที่ใส่สารกักฟองอากาศ (APM) โดยมีการทดสอบผลสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของก้อนตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.7.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ทั้ง 4 กลุ่ม ในแต่ละอัตราส่วนส่วนผสมและในแต่ละช่วงอายุการบ่มจะดังภาพประกอบภาพประกอบ 3.10 ประกอบด้วย

1) การทดสอบการหดตัว

เป็นการทดสอบเพื่อหาการเปลี่ยนรูปของตัวอย่างหลังการบ่มในแต่ละช่วงอายุการบ่มซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างโดยอาศัยความสัมพันธ์ของผลการทดสอบซึ่งเป็นการหาคาการหดตัวของก้อนตัวอย่างโดยอาศัยการวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก การเปรียบเทียบเป็นร้อยละของความหนาแน่นที่ขาดหายหรือลดลงไป ซึ่งค่าการหดตัวของคอนกรีตกำหนดไว้ไม่เกินช่วง 0.002-0.0050 หรือร้อยละ 0.2-0.05 ของปริมาตร

2) การทดสอบความคงตัว

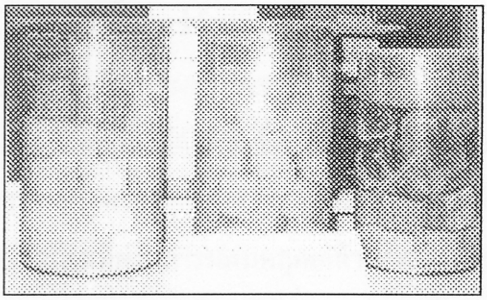
การทดสอบความคงตัวดำเนินการตาม ASTM C 230 โดยการนำก้อนตัวอย่างแช่ในโซเดียมซัลเฟตเป็นตัวผสมในน้ำความเข้มข้นร้อยละ 5 ทุกกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.11 โดยกำหนดอายุการแช่เป็นระยะเวลา 3, 7, 14, 21, 28 และ 60 วัน เมื่อครบกำหนดในการแช่ของแต่ละช่วงอายุก็นำก้อนตัวอย่างมาชั่งขณะอิ่มตัวผิวแห้ง รวมทั้งชั่งก้อนตัวอย่างที่ผ่านการนำเข้าตู้อบควบคุมครบ 12 ชั่วโมง แล้วนำผลการทดสอบดังกล่าวมาหาค่าความคงตัวของก้อนตัวอย่างในแต่ละช่วงอายุได้ โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ 3.2 เป็นผลร้อยละของค่าความคงตัวของก้อนตัวอย่าง

$$D_u = \frac{W_w - W_d}{W_w} x\,100 \qquad \text{.....................................} (3.2)$$

เมื่อกำหนดให้ D_u = ค่าร้อยละความคงตัว

W_w = น้ำหนักตัวอย่างเปียก หน่วยเป็น กรัม (g)

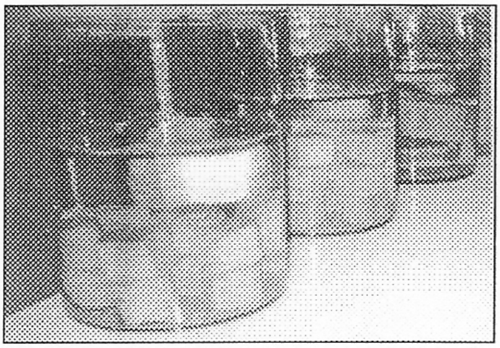
และ W_d = น้ำหนักตัวอย่างแห้งผ่านการอบ 24 ชั่วโมง หน่วยเป็น กรัม (g)



ภาพประกอบ 3.11 การทดสอบหาค่าความคงตัว

3) การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำดำเนินการทดสอบตาม ASTM C 127 โดยนำก้อนตัวอย่างดำเนินการโดยแช่ตัวอย่าง อย่างต่อเนื่องทุกกลุ่มอายุการบ่มในน้ำสะอาด ซึ่งเมื่อก้อนตัวอย่างมีอายุการบ่มครบ 3, 7, 14,21, 28 และอายุการบ่ม 60 วัน หลังจากที่แช่ก้อนตัวอย่างในแต่ช่วงอายุการบ่มครบ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.12 จึงนำก้อนตัวอย่างมาชั่งในรูปแบบของตัวอย่างอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วจึงนำก้อนตัวอย่างเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 110^0 ซ. ครบ 12 ชั่วโมงจึงนำตัวอย่างมาชั่งหาค่าน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำผลที่มาวิเคราะห์หาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำได้ในสมการ (3.3)



ภาพประกอบ 3.12 ก้อนมอร์ต้าร์ทดสอบการดูดซึมน้ำแช่ในโถแก้ว

$$A_b = \frac{W_w - W_d}{W_w} x\,100 \qquad \text{.......................................(3.3)}$$

เมื่อกำหนดให้ A_b = ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

W_w = น้ำหนักตัวอย่างเปียก หน่วยเป็น กรัม (g)

และ W_d = น้ำหนักตัวอย่างแห้งผ่านการอบ 24 ชั่วโมง หน่วยเป็น กรัม (g)

4) การทดสอบการไหลของเนื้อมอร์ต้าสด

การทดสอบการไหลดำเนินการตาม ASTM C 230 เป็นการทดสอบในขั้นแรกของการสร้างก้อนตัวอย่างซึ่งจะเป็นสภาพของมอร์ต้าร์สดซึ่งการหาค่าอัตราการไหลของตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมนี้จะทำให้ทราบผลถึงความข้นเหลวของอัตราส่วนผสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งการทดสอบจะเริ่มจากการนำมอร์ต้าร์สดที่ผ่านการผสมคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาเทลงในกรวยตัดกระทุ้งให้ทั่วกรวย 25 ครั้ง ปาดและเติมให้เต็มกรวย แล้วจึงยกกรวยแบบหล่อออก ทำการยกขึ้นลงเป็นจำนวน 15 ครั้งภายใน 15 วินาที มอร์ต้าร์สดจะกระจายไปโดยรอบๆ แล้ววัดศูนย์กลางการแผ่กระจายของมอร์ต้าร์ แล้วนำผลดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ในสมการ (3.4) ซึ่งจะได้ค่าที่แสดงร้อยละอัตราการไหลของมอร์ต้าร์สดได้

$$Flow(\%) = \frac{D - D_o}{D_o} x100 \qquad \text{.................................... (3.4)}$$

เมื่อกำหนดให้ $Flow\,(\%)$ = การไหล

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของมอร์ต้าร์สดหลังการทดสอบ

และ D_o = เส้นผ่าศูนย์กลางเดิมของมอร์ต้าร์ที่ฐานมีค่าเท่ากับ 25 ซม.

3.7.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของมอร์ต้าร์

การทดสอบสมบัติเชิงกลของกลุ่มมอร์ต้าร์ประกอบการทดสอบกำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึงโดยทำงานทดสอบในแต่ละช่วงอายุการบ่มของแต่ละชุดตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM ประกอบด้วย

1) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบรับกำลังอัดของก้อนมอร์ต้าร์ (ASTM C 109) เป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการชี้นำถึงสมบัติด้านอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี การทดสอบก้อนตัวอย่างก้อนมอร์ต้าร์ขนาด 5x5x5 ซม. ขนาดรูปทรงกระบอก 15x30 ซม. ของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง และแต่ละ

ช่วงอายุการบ่มของชุดตัวอย่างยกเว้นการทดสอบกำลังอัดของรูปตัวอย่างทรงกระบอกจะไม่มีการทดสอบที่อายุการบ่ 60 วัน ซึ่งค่าผลการทดสอบในแต่ละชุดใช้ตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่างในแต่ละชุดการทดสอบ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.13 ก) และ ง) ซึ่งการทดสอบนี้จะได้ผลกำลังอัดประลัยที่กระทำบนหน้าตัดผิวเรียบสม่ำเสมอของก้อนตัวอย่างโดยสามารถหากำลังอัดของก้อนตัวอย่างได้จากผลการทดสอบจากค่าความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ในสมการ (3.5)

$$\sigma c = \frac{F_c}{A_c} \qquad \text{.. (3.5)}$$

เมื่อกำหนดให้ σ_c = กำลังอัด หน่วยเป็น เมกกะพาสคัล (MPa)

F_c = แรงอัด หน่วยเป็น นิวตัน (N)

และ A_c = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงอัด หน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร (mm^2)

2) โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture)

การทดสอบกำลังดัดของคานมอร์ต้าร์ตาม ASTM C 243 ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบนี้ใช้แบบคานช่วงเดียวธรรมดา โดยมีฐานรองรับปลายทั้ง 2 ข้าง และให้กำลังกระทำตรงบริเวณกึ่งกลางคาน 5x5x14 ซม. ดังแสดงในภาพประกอบ 3.13 ข) ทุกชุดตัวอย่างการทดสอบโดยผลการรับกำลังดัดของก้อนตัวอย่างสามารถหานำมาหาค่ากำลังดัดได้ดังสมการ (3.6) โดยพิจารณาก้อนตัวอย่างหลังการวิบัติมิได้อยู่ในแนวตำแหน่งกึ่งกลางคานเสียทีเดียว ซึ่งโดยควบคุมค่ากำลังดัดจะมีค่าประมาณร้อยละ 11-23 ของกำลังอัดแต่จะมีค่าสูงกว่าผลการรับกำลังดึงร้อยละ 60-100 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดมวลรวมผสมในก้อนตัวอย่าง

$$R_b = \frac{3FL}{2bd^2} \qquad \text{.. (3.6)}$$

เมื่อกำหนดให้ R_b = โมดูลัสแตกร้าว หน่วยเป็นเมกกะพาสคัล (MPa)

F = แรงดัด หน่วยเป็นนิวตัน (N)

b, d = ความหนาและความกว้างของหน้าตัดตัวอย่าง หน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร (mm^2)

และ L = ระยะห่างระหว่างฐานรองรับคานตัวอย่าง หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

3) การทดสอบกำลังดึง (Tensile Strength)

การทดสอบกำลังดึงตาม ASTM C 190 ความสามารถในการรับกำลังดึงของมอร์

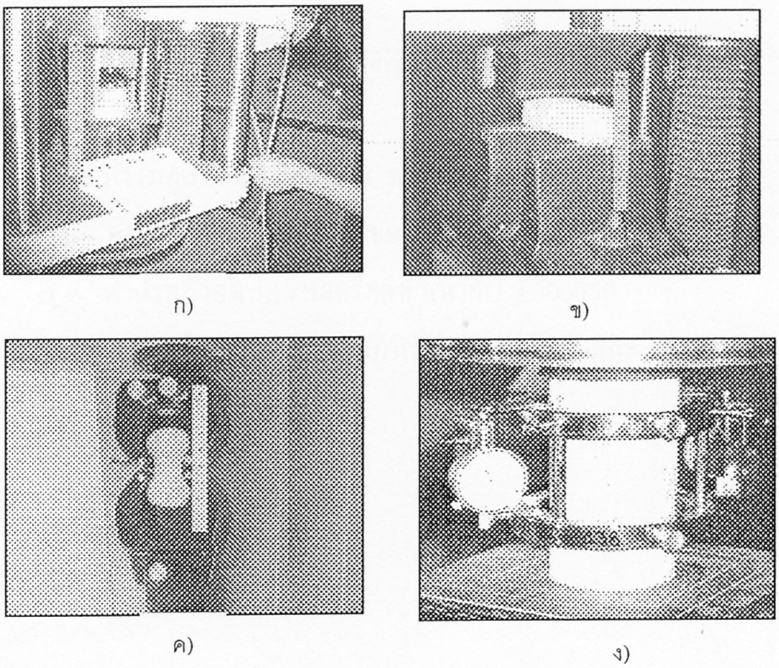
ต้าร์หรือคอนกรีตโดยควบคุมจะมีค่าต่ำมาก ประมาณร้อยละ 10 ของกำลังอัดประลัย ซึ่งการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจะไม่พิจารณาให้คอนกรีตรับกำลังดึงแต่อย่างใด ซึ่งจะกำหนดให้เป็นหน้าที่ของเหล็กเสริมเพียงอย่างเดียว แต่การหากำลังดึงของมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตก็สามารถทดสอบได้เช่นกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้การทดสอบหากำลังดึงในก้อนตัวอย่างได้ใช้การทดสอบแบบบริเคย์ของมอร์ต้าร์ ซึ่งก้อนตัวอย่างในการทดสอบนี้จะมีปลายใหญ่ทั้งสองด้านและจะคลอดตรงกลาง ซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดตรงกลางมีพื้นที่ประมาณ 1 ตารางนิ้ว ดังแสดงในภาพประกอบ 3.13 ค) โดยดำเนินการทดสอบก้อนตัวอย่างก้อนตัวอย่างทุกกลุ่มตัวอย่างและช่วงอายุการบ่ม ซึ่งกำลังดึงที่ใช้ดึงก้อนตัวอย่างควรกระทำอย่างสม่ำเสมอในที่นี้ไม่เกิน 275 ± 10 กิโลกรัมต่อนาที ซึ่งผลการทดสอบสามารถหาค่ากำลังที่เกิดต่อหน้าตัดรับกำลังดึงได้ ดังความสัมพันธ์ของสมการ (3.7)

$$\sigma t = \frac{F_t}{A_t} \qquad \text{.. (3.7)}$$

เมื่อกำหนดให้ σ_t = กำลังดึง หน่วยเป็นเมกกะพาสคัล (MPa)

F_t = แรงดึง หน่วยเป็นนิวตัน (N)

และ A_t = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดึง หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2)



ภาพประกอบ 3.13 การทดสอบสมบัติเชิงกลของก้อนมอร์ต้าร์ ก) กำลังอัด ข) กำลังดัดคาน ค) กำลังดึ และ ง) มาตรวัดค่าความเค้นและความเครียด

4) การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ดำเนินการทดสอบตาม ASTM C 469 งานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวอย่างเพื่อใช้หาค่าโมดูลัสและค่าปัวซองโดนใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกซึ่งแสดงขนาดตัวอย่างในตาราง 3.2 ข้างต้น ซึ่งการทดสอบได้แสดงในภาพประกอบ 3.13 ง)

โดยที่เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบประกอบด้วย

- เครื่องทดสอบกำลังอัด
- ชุด compressometer ซึ่งส่วนประกอบของมาตรการขยายตัว (extensometer)
- เครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานมีความละเอียด ± 0.1 กรัม
- เครื่องมือมีความวัดละเอียด ± 0.01 มม.

ภายหลังการบันทึกค่าผลทดสอบหาค่ากำลังอัดที่บันทึกความเครียดไปด้วย เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างทดสอบ จึงนำค่าทั้งหมดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความเครียด หลังจากนั้นคำนวณหาค่ากำลังอัดสูงสุด การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น โดยได้จากการลากเส้นตรงสัมผัสจากจุดเริ่มต้นของแกนไปยังจุดบนส่วนโค้งที่ร้อยละ 40 ของค่ากำลังอัดสูงสุดโดยใช้สมการ (3.8) หาค่าดังกล่าว

$$E_s = \frac{\sigma_e - \sigma_o}{E_e - 0.000050} \qquad \text{.......... (3.8)}$$

เมื่อกำหนดให้ E_s = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสัมผัส หน่วยเป็น เมกกะพาสคัล (MPa)

σ_e = ค่ากำลังอัดที่ร้อยละ 40 ของกำลังสูงสุด

σ_o = ค่ากำหลังอัดที่ความเครียดตัวเท่ากับ 0.000050

และ E_e = ความเครียดตัวตามแนวแกนที่กำลังเท่ากับร้อยละ 40 ของกำลังสูงสุด