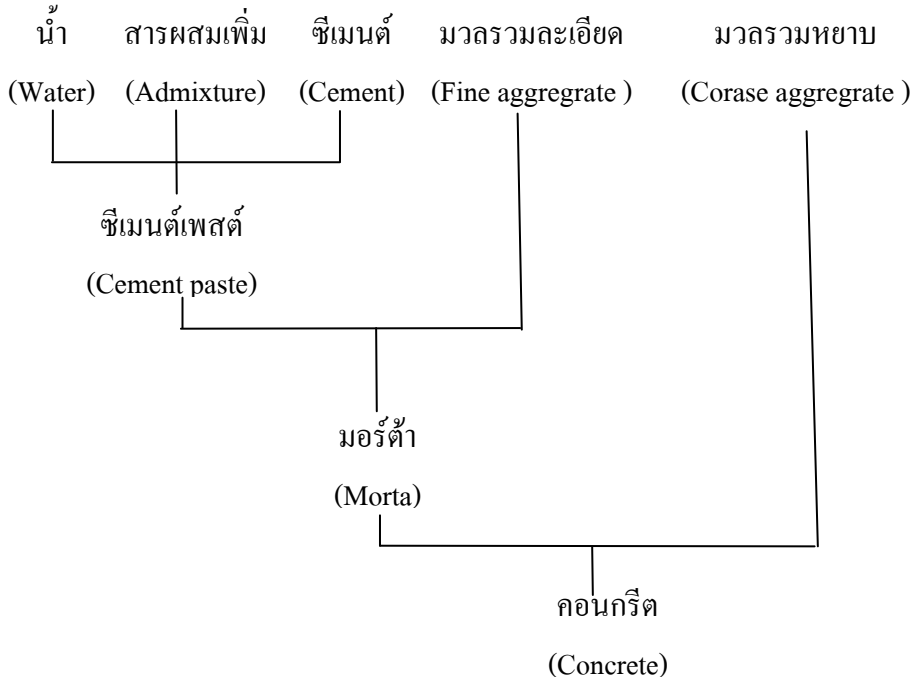
บทที่ 2

ชนิดของปูนซีเมนต์ (Type of Cements)

2.1 บทนำ

คอนกรีตประกอบด้วยวัสดุหลายๆ อย่างจึงมีการกำหนดชื่อของส่วนประกอบต่างๆ ไว้ดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการเรียกชื่อส่วนต่างๆของคอนกรีต

ไฮดรอลิกซีเมนต์ เป็นซีเมนต์ซึ่งก่อตัวและแข็งตัวโดยปฏิกิริยาเคมีที่ทำกับน้ำ และสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ ดังนั้นปูนซีเมนต์ก็ถือว่าเป็นไฮดรอลิกซีเมนต์

ระยะเวลาการก่อตัวของไฮดรอลิกซีเมนต์ เป็นคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่มาตรฐานของ ASTM-C150 [1] ได้กำหนดไว้เป็นช่วงของเวลาตามตารางที่ 2.1

ดังนั้นถ้ามีการตรวจสอบระยะเวลาการก่อตัวของไฮดรอลิกซีเมนต์ แล้วเวลาที่ได้ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แสดงว่าซีเมนต์ชนิดนั้นไม่ได้มาตรฐานหรืออาจจะมีความผิดพลาดบางประการขณะทดสอบ ซึ่งจะมีผลกับระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงเวลาการก่อตัวของไฮดรอลิกซีเมนต์ [1]

ชนิดของซีเมนต์ / การทดสอบ	1	2	3	4	5
Gillmore Test					
Initial Set, min., not less than	60	60	60	60	60
Final Set, min., not less than	600	600	600	600	600
Vicat Test					
Time of Setting, min., not less than	45	45	45	45	45
Time of Setting, min., not less than	375	375	375	375	375

2.2 ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งแบ่งตาม ASTM C-150 [1] มี 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. Type I ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) นิยมใช้ในงานก่อสร้างทั่วๆ ไปให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนัก ให้ความร้อนปานกลาง และเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างองค์อาคารของโครงสร้างโดยทั่วๆ ไป เช่น พวก เสา คาน ฐานราก ธรรมดา ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

2. Type II ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดขึ้นช้ากว่าของ Type I ในปัจจุบันนี้ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีจำหน่ายในบ้านเรา ในสหรัฐอเมริกานิยมเอาปูนซีเมนต์ชนิดที่ I และ II มารวมกันแล้วใช้ชื่อว่า Type I & II

3. Type III ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันค่อนข้างสูงกว่า Type I มาก การรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ชนิดนี้ที่อายุ 3 วัน จะมีค่าเท่ากับกำลังของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์แบบ Type I ที่อายุ 7 วันได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราสามเพชร ตราพญานาคสีแดง

วิธีการเพิ่มการรับกำลังให้รวดเร็วขึ้นของปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำได้โดยเพิ่มปริมาณของ C_3S ให้มากขึ้น นอกจากนั้นยังทำการบดปูนชนิดนี้ให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น C_3S ที่มีอยู่ในปูน Type III อาจมีค่าสูงถึงร้อยละ 70 (Type I มีค่าประมาณร้อยละ 50) ส่วนการบดให้ละเอียดนั้นปูนซีเมนต์ Type III นี้ อาจมีค่า Fineness อย่างน้อยเท่ากับ 325 $ม^2/กก.$

เนื่องจากปูนชนิดนี้มีอัตราการเพิ่มกำลังที่เร็วมาก ดังนั้นจะมีความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงมากด้วย ดังนั้นจึงไม่สมควรที่จะใช้ปูนชนิดนี้มาใช้กับงานคอนกรีตขนาดใหญ่หรือคอนกรีตหลา (Mass concrete) เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจาก Heat of hydration ได้ง่าย

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีราคาแพงกว่า ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ในงานที่ต้องแข่งกับเวลา เช่นงานซ่อมแซมที่ต้องการเปิดใช้ในระยะเวลากำจัดหรืองานคอนกรีตอัดแรง

การก่อตัว (Setting time) ของปูนชนิดที่ III จะมีค่าการก่อตัวเร็วกว่าปูนชิดที่ I ไม่มากนัก ซึ่งหากทดสอบโดยใช้เข็มไวแคต แทบจะไม่เห็นความแตกต่างของปูนทั้ง 2 ชนิดนี้ วิธีที่อาจจะบอกได้คือ ทดสอบการรับกำลังของปูนมอร์ต้าร์ที่อายุต้นๆ เช่น 1 วัน หรือ 3 วัน อีกวิธีหนึ่งที่สามารถบอกความแตกต่างได้อย่างรวดเร็วคือ ด้วยการใช้นิ้วมือบีบสัมผัสความละเอียดของปูนซีเมนต์ทั้งสองชนิดปูนซีเมนต์ชนิดที่ III จะมีความละเอียดกว่า

4. Type IV ปูนซีเมนต์ปอร์ต์แลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความร้อนสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำมากเพราะมีปริมาณ C_3S น้อย คือโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 30 แต่จะมีน้อย C_2S ค่อนข้างสูง คือเฉลี่ยถึงร้อยละ 46 (C_2S ให้กำลังสูงในภายหลัง แต่ C_3S ให้กำลังสูงในช่างแรกๆ คือ 28 วัน) ดังนั้นจึงเหมาะกับงานคอนกรีตขนาดใหญ่ๆ เช่นพวกงานเขื่อน เป็นต้น

ปูนชนิดนี้ยังไม่มีผู้ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศไทย

5. Type V ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อต้านซัลเฟต (Sulfate–Resisting Portland Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะมีปริมาณของ C_3A ($3CaO.\ Al_2O_3$) ต่ำ คือโดยทั่วไปไม่เกินร้อนละ 5 เพราะ C_3A จะทำให้เกิดการรวมตัวกับซัลเฟตได้ง่ายดังนั้นถ้า C_3A น้อย จะไม่มีการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตการกัดกร่อนจะมีค่าน้อยลง ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า และตราปลาฉลาม

การกัดกร่อนของซัลเฟตจะเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง C_3A กับ ยิบซัม ($CaSo_4.2H_2O$) ซึ่งจะทำให้เกิด Calsium sulphoaluminate ($3CaO.\ Al_2O_3.3Ca\ SO_4.31\ H_2O$) หรือในกรณีที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว Calcium aluminate hydrate ($3CaO.\ Al_2O_3.12\ H_2O$) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะรวมตัวกับซัลเฟตในน้ำทะเลทำให้เกิด Calcium sulphoaluminate ซึ่งเป็นสารที่มีการขยายตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้นถึง 2.27 เท่าการขยายตัวที่มากขนาดนี้จะค่อยๆ เบ่ง จนทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวในที่สุด เมื่อลด C_3A ลง จะสามารถลดการกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟตลงได้ ดังนั้นสิ่งก่อสร้างที่คาดว่าจะมีปัญหาทางด้านซัลเฟต ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 หรือหากจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์ประเภที่ I ควรกำหนดให้ค่า w/c ต่ำๆ คือ w/c ไม่ควรเกิน 0.44 และมีค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 340 กก./ซม^2. เพื่อทำให้ค่าการซึมผ่านน้ำ (Permeability) ต่ำ ๆ จะได้มีการกัดกร่อนน้อยๆ

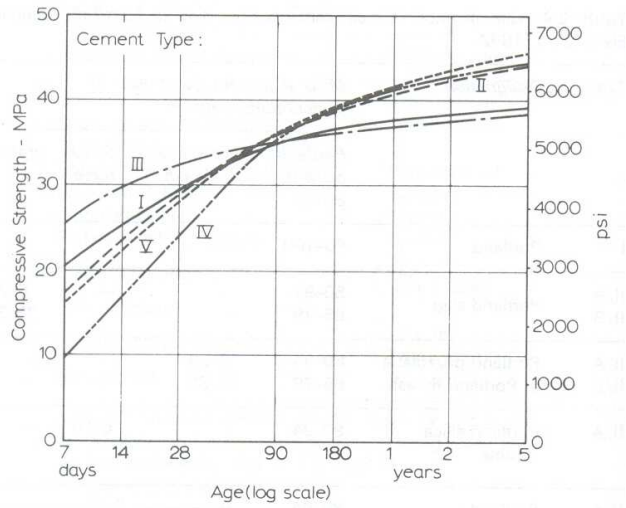
องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ประเภท ตามมาตรฐาน ASTM C-150 ที่มีการเก็บตัวอย่างและทดสอบ จากนั้นหาค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด สามารถแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภท [2]

Cement	Value	Compound composition, per cent								Number of sample
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	Free CaO	MgO	Ignition loss	
	Max.	67	31	14	12	3.4	1.5	3.8	2.3	
Type I	Min.	42	8	5	6	2.6	0.0	0.7	0.6	
	Mean	49	25	12	8	2.9	0.5	2.4	1.2	21
Type II	Max.	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2.0	
	Min.	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5	
	Mean	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	1.0	28
Type III	Max.	70	38	17	10	4.6	4.2	4.8	2.7	
	Min.	34	0	7	6	2.2	0.1	1.0	1.1	5
	Mean	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9	
Type IV	Max.	44	57	7	18	3.5	0.9	4.1	1.9	16
	Min.	21	34	3	6	2.6	0.0	1.0	0.6	
	Mean.	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1.0	
Type V	Max.	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	
	Min.	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.8	
	Mean	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1.0	22

ข้อสังเกตจากตารางที่ 2.1 คือ

- Type III มีค่าเฉลี่ยของ C_3S สูงสุด
- Type IV มีค่าเฉลี่ยของ C_3S ต่ำสุด
- Type V มีค่าเฉลี่ยของ C_3A ต่ำสุด
- Type I มีค่า C_3S และ C_2S ไม่ต่ำสุด และไม่สูงสุด



รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงอัตราการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภท เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ 335 กก/ม^3 [2]

คุณสมบัติอื่นๆ ที่ต้องการของปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทตามมาตรฐาน ASTM C-150 แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติที่ต้องการของปูนซีเมนต์แต่ละประเภทตาม มอก. 15 เล่ม 1 [3]

	ประเภทหนึ่ง	ประเภทสอง	ประเภทสาม	ประเภทสี่	ประเภทห้า
1.ความละเอียด (Fineness)					
พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface)					
ตารางเซนติเมตรต่อกรัม (ให้เลือกวิธีทดสอบได้)					
1.1 ทดสอบด้วยเทอร์บิติมิเตอร์ (Turbidimeter Test Wagner)					
ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	1600	1600		1600	1600
ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	1500	1500		1500	1500
1.2 ทดสอบด้วยแอร์เพอมีอะบิลิตี้ (Air Permeability Test, Blaine) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	2800	2800		2800	2800
ค่าต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งตารางเซนติเมตรต่อกรัม	2600	2600		2600	2600
2. ความอยู่ตัว (Soundness)					
การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟว์ (Autoclave Expansion) สูงสุดร้อยละ	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) คุณสมบัติที่ต้องการของปูนซีเมนต์แต่ละประเภท

	ประเภทหนึ่ง	ประเภทสอง	ประเภทสาม	ประเภทสี่	ประเภทห้า
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting) (ให้เลือกทดสอบได้					
3.1 ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)					
การก่อตัวระยะต้น (Initial Set) ไม่น้อยกว่า- นาที	60	60	60	60	60
การก่อตัวปลาย (Final Set) ไม่มากกว่า- ชั่วโมง	10	10	10	10	10
3.2 ทดสอบแบบไวแคท (Vicat Test)					
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์					
ปอร์ตแลนด์ เล่ม 9 การเริ่มก่อตัวไม่น้อยกว่า- นาที	45	45	45	45	45
4. ปริมาณอากาศในมอร์ต้า (Air Content of Mortar) เมื่อเตรียมและทดสอบตามวิธีในมาตรฐาน					
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 13 โดยปริมาณกว่าร้อยละ	12	12	12	12	12
5. แรงอัด (Compressive Strength) แรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตา(Mortar Cube) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ตามขนาด (Graded Standard Sand) 2.75 ส่วน โดยน้ำหนักเตรียมและทดสอบตามวิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 12 ต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนดตามเกณฑ์อายุข้างล่างนี้					
1 วันในอากาศชื้น กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร			120		
1 วันในอากาศชื้น ——┐ กิโลกรัมแรงต่อตาราง					
6 วันในน้ำ ——┘ เซนติเมตร	150	130		55	105
11 วันในอากาศชื้น ——┐ กิโลกรัมแรงต่อตาราง					
27 วันในน้ำ ——┘ เซนติเมตร	245	245		140	210
6.ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Heat of Hydration)					
7 วัน สูงสุด คาลอรี่ต่อกรัม		70		60	
28 วัน สูงสุด คาลอรี่ต่อกรัม		80		70	
7. การก่อตัวผิดปกติ (False Set)					
ระยะจมสุดท้าย (Final Penetration) ต่ำสุด ร้อยละ	50	50	50	50	50
8.การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต (Sulphate Expansion)					
14 วัน สูงสุด ร้อยละ					0.045

2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พิเศษ

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ชนิดที่กล่าวมาแล้วยังมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อีกบางประเภทที่นิยมใช้กันในประเทศไทย

ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) ในการทำหินขัด หรืองานตบแต่งที่ต้องการความสวยงาม นิยมใช้ปูนซีเมนต์ขา (คนละชนิดกับปูนขาว) มาผสมกับสีต่างๆ เพื่อให้คอนกรีตหรือมอร์ต้า มีสีที่สวยงามขึ้น ปูนซีเมนต์ขาว จะมีสีขาว ไม่เหมือนกับปูนซีเมนต์ทั่วไปที่ใช้ในงานก่อสร้างซึ่งมักจะมีสีเทา

วัตถุดิบที่นำมาทำปูนซีเมนต์ขาวจะมีออกไซด์ของธาตุเหล็ก และแมงกานีสต่ำมากๆ หรือไม่มีเลย ซึ่งอาจใช้ดินขาวจีน (China Clay) กับดินสอพอง หรือหินปูนซึ่งไม่มีออก์ไซด์ของธาตุเหล็กและแมงกานีส

พลังงานที่ใช้ในการเผาเม็ดปูนเม็ดคือน้ำมันแทนที่จะใช้ถ่านหิน (ใช้ถ่านหินจะถูกกว่าใช้น้ำมัน แต่ถ่านหินจะมีออกไซด์ของธาตุเหล็กและแมงกานีส) ดังนั้นปูนซีเมนต์ขาวจึงมีราคาสูงกว่าปูนซีเมนต์ทั่วๆ ไป และใช้ในการตบแต่งมากกว่าที่จะใช้ในงานเสา คาน พื้น หรือฐานราก

ปูนสำหรับบ่อน้ำมัน (Oil Well Cement) โดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตได้สูง ผสมกับสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ปูนประเภทนี้จะใช้สำหรับงานเจาะน้ำมัน โดยจะผสมปูนซีเมนต์ประเภทนี้แล้วปั้มลงไปใต้ดิน บางที่ต้องปั้มลงไปถึงความลึก 6000 เมตร หรือมากกว่า และอุณหภูมิสูงถึง 170 องศาเซลเซียสซีเมนต์เพสต์นี้ยังต้องเหลวพอที่จะทำงานได้จนถึงประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะแข็งตัวโดยเร็ว

ปูนซีเมนต์ซิลิก้า หรือปูนซีเมนต์ผสม (Silica Cement or Mix Cement) ปูนประเภทนี้ได้จากการบดทรายหรือหินปูนให้ละเอียดพร้อมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ประเภทนี้คือ แข็งตัวช้า ไม่ยืดหรือหดตัวมาก ช่วยลดการแตกร้าวที่ผิว เหมาะสำหรับทำปูนก่อหรือปูนฉาบ เพราะจะได้มีเวลาในการทำงานนานขึ้น แต่ข้อควรระวังสำหรับปูนประเภทนี้คือ มีกำลังอัดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ I ค่อนข้างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้นๆ ซึ่งอาจต่ำกว่าปูนประเภทที่ I ถึง 3-4 เท่า และอายุภายหลังจาก 28 วันหรือ 60 วันไปแล้ว จะต่ำกว่าปูนประเภทที่ I ราว 1 เท่า ดังนั้นปูนซีเมนต์ผสมจึงไม่สมควรที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างองค์อาคารหลักคือ พวกเสา คาน พื้น หรือฐานราก เพราะหากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตที่เท่าๆ กัน กำลังอัดที่ได้จะต่ำกว่าที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ I มาก และอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ตารางที่ 2.3 แสดงถึงคุณสมบัติที่ต้องการของปูนซีเมนต์ผสม จะสังเกตเห็นว่ากำลังอัดที่ต้องการมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่เป็นปูนซีเมนต์ แบบที่ I ค่อนข้างมาก

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติที่ต้องการของปูนซีเมนต์ผสมตาม มอก. 80 [4]

คุณสมบัติ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบ
1.ความละเอียด (Fineness) พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface) ทดสอบด้วยวิธีแอร์เพอร์มีอะบิลิตีแบบของเบลน (Air Permeability Test, Blaine) ต่ำสุด ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	 2800	ให้ใช้วิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ มอก. 15 เล่ม 6 ข้อกำหนดการหาความละเอียดโดยแอร์เฟอร์มีอะบิลิติ (ซึ่งเทียบกับ ASTM : C 204)
2.ความอยู่ตัว(Soundness) การขยายตัวโดยวิธีโตเคลฟว์ (Autoclave Expansion) สูงสุด ร้อยละ	 0.6	ให้ใช้วิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ มอกๆ 15 เล่ม 11 ข้อกำหนดการหาการขยายตัวโดยวิธีออโตแคลฟว์ (ซึ่งเทียบกับ ASTM : C 151)
3.ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting) ทดสอบแบบไวแคต (Vicat Test) ไม่น้อยกว่า-นาที	 45 นาที	ให้ใช้วิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15 เล่ม 9 ข้อกำหนดการก่อโดยใช้เข็มแบบไวแคต (ซึ่งเทียบกับ ASM : C191)
4.ปริมาณอากาศในมอร์ต้า (Air Content of Mortar) โดยปริมาณสูงสุด ร้อยละ	12	ให้ใช้วิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15 เล่ม 13 ข้อกำหนดการหาปริมาณอากาศในมอร์ต้า (ซึ่งเทียบกับ ASTM: C 185)
5.แรงอัด (Compressive Strenght) แรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้า (Mortar Cube) ต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนดตามเกณฑ์อายุข้างล่างนี้		ให้ใช้วิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15 เล่ม 12 ข้อกำหนดการหาแรงอัด (ซึ่งเทียบกับ ASTM: C 109)
หนึ่งวันในอากาศชื้น — เมกะปาสกาล (ประมาณกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)	6.4 (65)	
สองวันในน้ำ		
หนึ่งวันในอากาศชื้น — เมกะปาสกาล (ประมาณกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)	11.3 (115)	
หกวันในน้ำ	50	
6.การก่อตัวผิดปกติ (False Set) ระยะจมสุดท้าย (Final Penetration) ต่ำสุดร้อยละ		การก่อตัวผิดปกติ : ให้ใช้วิธีในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ดแลนด์ มอก. 15 เล่ม 15 ข้อกำหนดก่อตัวผิดปกติ (ซึ่งเทียบกับ ASTM : C 451)

2.4 ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบ

ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบ ออกแบบไว้เพื่อทำมอร์ต้าสำหรับงานก่อฉาบเป็นปูนซีเมนต์ไฮโดรลิคประกอบด้วยวัสดุตั้งแต่ 1 ชนิด เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กาตะกรันเตาถลุง Slag cement และ ปูนขาวไฮโดรลิค ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบอาจจะประกอบด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ปูนขาว หินปูน ดินสอพอง ทาร์ล กากโลหะ หินเชลล์ หรือดิน ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบโดยขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการเท ความเหลวลื่น และการกักเก็บน้ำ มาตรฐาน ASTM C 191 [5] แบ่งปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบออกเป็นหลายประเภท ดังนี้

ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบประเภท N ใช้ผสมเป็นมอร์ต้าประเภท N (750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ตามมาตราฐาน ASTM C 270 [6] สามารถใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อทำเป็นมอร์ต้าประเภท M (2500ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และประเภท S (1800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) โดยไม่เพิ่มปูนขาว

ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบประเภท S ใช้ผสมเป็นมอร์ต้าประเภท S (1800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ตามมาตราฐาน ASTM C 270 [6] สามารถใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อทำเป็นมอร์ต้าประเภท M (2500ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) โดยไม่เพิ่มปูนขาว

ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบประเภท M ใช้ผสมเป็นมอร์ต้าประเภท M (2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ตามมาตราฐาน ASTM C 270 [6] โดยไม่เพิ่มปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ หรือปูนขาว ความสามารถในการเท กำลัง และสีของปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบ ควบคุมคุณภาพโดยกระบวนการผลิต นอกจากใช้ทำมอร์ต้าสำหรับงานก่อฉาบแล้วยังใช้ในงานฉาบปูน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่สามารถใช้ในงานคอนกรีตได้

2.4.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบ

ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบทุกประเภทควรมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความละเอียด ความคงตัว การขยายตัว ความข้นเหลว เวลาในการก่อตัว กำลังอัด ปริมาณอากาศ และการกักเก็บน้ำ ปูนซิเมนต์สำหรับงานก่อฉาบมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.8 –2.9

ความละเอียด

ความละเอียดวัดโดยใช้ตะแกรงร่อนเบอร์ 325 (45 ไมครอน) (ASTM C430 [7])

การคงตัวและการขยายตัวโดยหม้ออบความดัน

การขยายตัวของปูนซีเมนต์งานก่อฉาบเกิดเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของส่วนประกอบ ถ้ามีมากเกินไปจะเกิดการขยายตัวขึ้น การคงตัวสามารถวัดโดยการทดสอบการขยายตัวโดยหม้ออบความดัน (ASTM C151 [8])

ความข้นเหลว

การไหลตัวหาได้จากการทดสอบการไหลตามมาตรฐาน ASTM C230 [9] ทั้งวิธีทดสอบความข้นเหลวปกติและการทดสอบการไหลจะกำหนดปริมาณน้ำของเพสต์และมอร์ต้าตามลำดับเพื่อใช้ในการทดสอบภายหลัง การทดสอบทั้งสองหาเปรียบเทียบความแตกต่างของส่วนผสมเดียวกันจะมีค่าการไหลเท่ากัน

เวลาก่อตัว

ต้องมีการตรวจสอบถ้าปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อฉาบเกิดการก่อตัวเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ใน ASTM C91[10] การทดสอบดำเนินการโดยใช้เข็มแบบกิลมอร์ (ASTM C266 [11]) หรือเข็มแบบไวแคท (ASTM C191 [5]) การก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์เพสต์จะต้องไม่เกิดเร็วเกินไปและการก่อตัวครั้งสุดท้ายจะต้องไม่เกิดช้าเกินไป

กำลังอัด

กำลังอัด (กำหนดโดย ASTM C91 [10]) หาได้จากการทดสอบก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าร์ขนาดมาตรฐาน 2 นิ้ว โดยทดสอบตาม ASTM C109 [12] ก้อนลูกบาศก์นี้หล่อและบ่มตามวิธีที่แนะนำโดยใช้ทรายมาตรฐาน การวัดการพัฒนากำลังอัดกำหนดให้ใช้แรงอัด

ปริมาณอากาศ

ปริมาณอากาศวัดตามมาตรฐาน ASTM C185 [13] การกักกระจายอากาศของฟองอากาศที่กระจายไปทั่วจะเพิ่มความทนทานต่อการเกิดวงจรแข็งและละลายตัวของน้ำ

การอมน้ำ

คุณสมบัติที่ป้องกันการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว และสูญเสียสภาวะพลาสติกเรียกว่า การอมน้ำ คุณสมบัตินี้วัดการไหลภายหลังการดูดน้ำตามมาตรฐาน ASTM C109 [12]

2.5 ปูนซีเมนต์อื่นๆ

High Alumina Cement (HAC) หรือ Calcium Aluminate Cement ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศษ เพื่อทดทานต่อซัลเฟตแต่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานที่ต้องการกำลังอัดรวดเร็ว HAC ได้จากการเผารวมกันของหินปูน และ Bauxite ซึ่งก็คืออลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 1600 องศา จากนั้นนำมาบดสารประกอบของ HAC นี้จะแตกต่างกันมากจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปรวมทั้งสีของ HAC ก็จะเข็มกว่า เนื่องจากมีปริมาตรสารประกอบเหล็กอยู่ในจำนวน HAC บางทีก็เรียกว่า Cement Fondu ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ราคาแพงกว่าปูนซีเมนต์ทั่วๆไปมาก ดังนั้นจึงควรเลือกใช้เฉพาะในกรณีที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ในงานที่ต้องการใช้คอนกรีตทนซัลเฟตได้ดีมากๆ งานซ่อมคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดสูงในเวลาอันรวดเร็ว โดยจะได้กำลังอัดสูงถึง 240 กก./ตร.ซม. ในเวลาเพียง 6.8 ชั่วโมง รวมถึงการทำอิฐทดไฟแต่อย่างไรก็ตาม HAC มีข้อเสียคือในบริเวณที่มีภูมิอากาศร้อนชื้อ หรือเมื่อใช้คอนกรีตนี้เป็นเวลานานจะเกิดการสลายตัว Conversion

โดยความพรุนในเนื้อคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นแล้วความสามารถในการผ่านได้ของน้ำ ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัดผล ที่ตามมาก็คือกำลังอัดจะลดลงถึง80% ในการทำงานไม่ควรที่จะนำ HAC ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วๆ ไปเพราะ จะก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (Flash Set)

Magnesium Phosphate Cement หรือชื่อที่รู้จักทางการค้าคือ Set 45 ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ถูกคิดค้นขึ้นในประเทศอเมริกา มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ จะแข็งตัวและให้กำลังอัดสูงมากภายในเวลาเพียง 45 นาที เหมาะสำหรับใช้ในงานซ่อมต่างๆ โดยเฉพาะจะใช้ซ่อมแซมพื้นสนามบินในเวลาเกิดสงคราม ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.10-3.20 ถ้าเป็นปูนซีเมนต์ผสมแบบอื่นค่าก็จะต่ำกว่านี้ ซึ่งมีค่าประมาณ 3.15 ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมาก (ซึ่งก็จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากด้วยและทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวได้เร็ว) จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง

ปูนซีเมนต์ผสม

ในปัจจุบันการอนุรักษ์พลังงานเป็นเรื่องที่สำคัญและได้มีการนำวัสดุใหม่ๆมาใช้ทดแทนปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ไฮโดรลิคผลิตขึ้นโดยการผสมวัสดุละเอียดตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป วัสดุผสมเบื้องต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ กากตะกรันเตาถลุง เถ้าลอย และวัสดุปอซโซลาน หลังจากนั้นทำการผสมวัสดุประสานกับวัสดุผสมต่างๆ ผู้วิจัยทดสอบคุณภาพโดยใช้ซิลิกาฟูมและวัสดุอื่นๆในปูนซีเมนต์ผสม ปูนซีเมนต์ผสมตามมาตรฐาน ASTM C 595 [14] มีหลายประเภท ดังนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากตะกรันเตาถลุงประเภท IS
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาประเภท IP และ P
- Slag Cement ประเภท S
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาประเภทที่ I(PM)
- Slag Modefied portland cement ประเภทที่ I
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซิลิกาฟูม

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาประเภท IP ใช้ในวานก่อสร้างทั่วไป เช่น งานก่อสร้างเขื่อน ตอม่อ และฐานราก ผลิตขึ้นโดยการบดเม็ดปูนกับวัสดุปอซโซลาน หรือ ผสมวัสดุปอซโซลานกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากตะกรันเตาถลุง ปริมาณวัสดุปอซโซลานที่ใช้อยู่ระหว่าง 15 – 40% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากการทดสอบพบว่าคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท IP คล้ายกับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อย่างไรก็ตามกำลังที่ 28 วันของของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท IP มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เล็กน้อย (ประเภท IPC ให้กำลังเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) ปูนซิเมนต์ประเภท IP ระบุว่า มีสารกักกระจายฟองอากาศ ต่อต้านซัลเฟต หรือลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยการเติมตัวย่อ A, MS, LS หรือ MH ต่อท้าย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2 ได้

เอกสารอ้างอิง

1. American Society for Testing and Materials, ASTM C150-05: Standard Specification for Portland Cement, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
2. A. M. Neville, 1995, Properties of Concrete, 4rd Edition, Addison Wesley Longman Limited, England.
3. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 15-2532: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ, พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 4, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2539
4. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 80-2517: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม, พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 4, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2535
5. American Society for Testing and Materials, ASTM C191-04b: Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
6. American Society for Testing and Materials, ASTM C270-05: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.05.
7. American Society for Testing and Materials, ASTM C430-96: Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45-μm (No. 325) Sieve, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
8. American Society for Testing and Materials, ASTM C151-05: Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
9. American Society for Testing and Materials, ASTM C230/C230M-03: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
10. American Society for Testing and Materials, ASTM C91-03a: Standard Specification for Masonry Cement, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
11. American Society for Testing and Materials, ASTM C266-04: Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.

12. American Society for Testing and Materials, ASTM C109/C109M-05: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or [50 mm] Cube Specimens), ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
13. American Society for Testing and Materials, ASTM C185-02: Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.
14. American Society for Testing and Materials, ASTM C595-05: Standard Specification for Blended Hydraulic Cements, ASTM Standards on Disc, September 2005, Vol. 04.01.

คำถามท้ายบท

1) ปูนซีเมนต์มีกี่ประเภทตามมาตรฐาน ASTM อะไรบ้าง และแต่ละประเภทใช้งานอย่างไรบ้าง ให้ยกตัวอย่างที่มีขายในท้องตลาดมีตราอะไรบ้าง

2) งานก่ออิฐหรืองานฉาบปูนจึงนิยมใช้ปูนซีเมนต์ประเภทใด เพราะอะไร

3) ตารางข้างล่างแสดงองค์ประกอบเคมีของปูนซีเมนต์ ก, ข, ค, และ ง จงหาว่าปูนซีเมนต์ชนิดใดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภทที่ 1, ประเภทที่ 5, และปูนซีเมนต์ขาว นอกจากนี้ให้เหตุผลประกอบการเลือกด้วยว่าทำไมจึงคิดว่าเป็นปูนซีเมนต์ชนิดนั้นๆ

ปูนซีเมนต์	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ก	63	10	13	8
ข	57	15	12	8
ค	42	37	3	12
ง	50	27	11	1

-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คือปูนซีเมนต์ใด และมีเหตุผลที่สนับสนุนการเลือกอย่างไร
-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 คือปูนซีเมนต์ใด และมีเหตุผลที่สนับสนุนการเลือกอย่างไร
-ปูนซีเมนต์ขาวคือปูนซีเมนต์ใด และมีเหตุผลที่สนับสนุนการเลือกอย่างไร

4) มีงานก่อสร้างอยู่ 3 งานซึ่งได้แก่ งานก่อสร้างอาคารคอนกรีต 3 ชั้นที่มหาวิทยาลัย, งานก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง, และงานหล่อเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงของโรงงานเสาเข็มแห่งหนึ่ง หากนักศึกษามีปูนซีเมนต์ให้เลือกอยู่ 5 ชนิดคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, 3, 5, ปูนซีเมนต์ขาว, และปูนซีเมนต์ผสม นักศึกษามีหลักการอย่างไรในการเลือกปูนซีเมนต์เพื่อให้สอดคล้องกับชนิดของงานก่อสร้างนั้นๆ จงอธิบายเหตุผลประกอบการเลือกใช้ปูนซีเมนต์