ปูนซีเมนต์ผสมสำหรับงานโครงสร้าง

โดย ดร.ปัณฑ์ ปานถาวร
ผู้จัดการบริการเทคนิคโครงการ

ในประเทศไทย เรามักคุ้นเคยกับการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตาม มอก. 15 มาใช้ผสมคอนกรีตสำหรับโครงสร้าง แต่ในทวีปยุโรปและอเมริกา มีการทำปูนซีเมนต์ผสมมาใช้สำหรับโครงสร้างอย่างแพร่หลาย เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ ในอนาคตอันใกล้นี้ประเทศไทยจะเริ่มนำปูนซีเมนต์ผสมมาใช้สำหรับโครงสร้าง ลองมาทำความ รู้จักปูนซีเมนต์เหล่านี้ถึงประเภทและการนำมาใช้งาน

ปูนซีเมนต์ผสมสำหรับงานโครงสร้าง (Blended Cement หรือ Blended Hydraulic Cement) สามารถใช้งานได้เหมือนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผลิตโดยการผสมหรือบดร่วมกันระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolans) อาทิ เถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash หรือ Fly Ash) ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Ground Granulated Blastfurnace Slag หรือ Slagment) ดินเผา (Metakaolin) ซิลิกาฟูมจากการแยกซิลิก้อน (Silica Fume) เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เป็นต้น มาตรฐานของยุโรป EN 197-1 ได้จำแนกปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไว้ 4 ประเภทหลัก คือ CEM II III IV และ CEM V ซึ่งได้จำแนกย่อยไว้ 10 ประเภท ตั้งแต่ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์-ตะกรัน (Portland-slag Cement) ถึง ซีเมนต์คอมโพสิต (Composite Cement) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

Main type	Notation		Clinker content (%)	Content of other main constituents (%)
CEM1	Portland cement	CEM I	95 to 100	-
CEM II	Portland-slag cement	CEM II/A-S	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-S	65 to 79	21 to 35
	Portland-silica fume cement	CEM II/A-D	90 to 94	6 to 10
	Portland-Pozzolanic cement	CEM II/A-P	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-Q	65 to 79	21 to 35
		CEM II/A-Q	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-Q	65 to 79	21 to 35
	Portland-Fly ash cement	CEM II/A-V	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-V	65 to 79	21 to 35
		CEM II/A-W	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-W	65 to 79	21 to 35
	Portland-burnt shale cement	CEM II/A-T	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-T	65 to 79	21 to 35
	Portland-limestone cement	CEM II/A-L	80 to 94	6 to 20
		CEM II/A-LL	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-L	65 to 79	21 to 35
		CEM II/B-LL	65 to 79	21 to 35
	Portland-composite cement	CEM II/A-M	80 to 94	6 to 20
		CEM II/B-M	65 to 79	21 to 35
CEM III	Blastfurnace cement	CEM III/A	35 to 64	36 to 65
		CEM III/B	20 to 34	66 to 80
		CEM III/C	5 to 19	81 to 95
CEM IV	Pozzolanic cement	CEM IV/A	65 to 89	11 to 35
		CEM IV/B	45 to 64	36 to 55
CEM V	Composite cement	CEM V/A	40 to 64	36 to 60
		CEM V/B	20 to 38	62 to 80

ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทซีเมนต์ตามมาตรฐานยุโรป EN 197-1

โดยทั่วไปนั้นปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุหลัก ซึ่งอาจมากถึงร้อยละ 94 แต่ก็มีชนิดย่อยบางประเภทที่ประกอบด้วยวัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุหลัก อาทิ ซีเมนต์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Blast furnace Cement หรือ Slag Cement) ซึ่งมีสัดส่วนของตะกรันสูงถึงร้อยละ 65-95 ตัวอย่างเช่น ประเภท CEM III/C ประกอบด้วยตะกรันร้อยละ 81-95 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงร้อยละ 5-19 เป็นต้น

ส่วนในมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ASTM C 595 หรือ AASTHO M 240 ได้จำแนกประเภทของปูนซีเมนต์ผสมสำหรับงานโครงสร้างเอาไว้ 16 ประเภท และมีการเพิ่มคุณสมบัติในการต่อต้านปัญหาอัลคาไลซิลิก้า (Alkali-silica Reactivity) เป็นทางเลือกด้วย ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

Cement specification	Applications*						
	General purpose	Moderate heat of hydration	High early strength	Low heat of hydration	Moderate sulfate resistance	High sulfate resistance	Resistance to alkali-silica reactivity (ASR)**
ASTM C 150 (AASHTO M 85) portland cement	I	II (moderate heat option)	III	IV	II	V	Low alkali option
ASTM C 595 (AASHTO M 240) blended hydraulic cements	IS IP I(PM) I(SM) S, P	IS(MH) IP(MH) I(PM)(MH) I(SM)(MH)		P(LH)	IS(MS) IP(MS) P(MS) I(PM)(MS) I(SM)(MS)		Low reactivity option
ASTM C 1157 hydraulic cements***	GU	MH	HE	LH	MS	HS	Option R

ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทซีเมนต์ตามมาตรฐานอเมริกา ASTM และ AASHTO

ปูนซีเมนต์ผสมสำหรับงานโครงสร้างทั้ง 16 ประเภท มีดังนี้

1. IS ย่อมาจาก Portland Blast Furnace Slag คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก
2. IP Portland Pozzolan คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน
3. I(PM) Pozzolan-modified Portland คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรุงแต่งด้วยปอซโซลาน
4. I(SM) Slag-modified Portland คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรุงแต่งด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก
5. S Slag คือ ปูนซีเมนต์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก
6. P Pozzolan คือ ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน
7. IS(MH) Slag Moderate Heat Portland คือ ประเภท IS ความร้อนปานกลาง
8. IP(MH) Pozzolan Moderate Heat Portland คือ ประเภท IP ความร้อนปานกลาง
9. I(PM)(MH) Pozzolan-modified Moderate Heat Portland คือ ประเภท I(PM) ความร้อนปานกลาง
10. I(SM)(MH) Slag-modified Moderate Heat คือ ประเภท I(SM) ความร้อนปานกลาง
11. P(LH) Pozzolan Low Heat คือ ประเภท P ความร้อนต่ำ
12. IS(MS) Slag Moderate Sulfate Resistance Portland คือ IS ต้านซัลเฟตระดับปานกลาง
13. IP(MS) Pozzolan Moderate Sulfate Resistance Portland คือ IP ต้านซัลเฟตระดับปานกลาง
14. P(MS) Pozzolan Moderate Sulfate Resistance คือ ประเภท P ต้านซัลเฟตระดับปานกลาง
15. I(PM)(MS) Pozzolan-modified Moderate Sulfate Resistance Portland คือ I(PM) ต้านซัลเฟต ปานกลาง
16. I(SM)(MS) Slag-modified Moderate Sulfate Resistance Portland คือ I(SM) ต้านซัลเฟตระดับปานกลาง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (ประเภท IS) มีตะกรันระหว่างร้อยละ 25-70 โดยมวล (หรือโดยน้ำหนัก) ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (ประเภท IP) และปูนซีเมนต์ปอซโซลาน (ประเภท P) มีปอซโซลานระหว่างร้อยละ 15-40 โดยมวล สามารถใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป แต่ประเภท P จะสามารถใช้ได้กับงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังสูงในช่วงต้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรุงแต่งด้วยปอซโซลาน (ประเภท I(PM)) มีปอซโซลานน้อยกว่าร้อยละ 15 โดยมวล ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรุงแต่งด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็ก (ประเภท I(SM)) มีตะกรันเตาถลุงเหล็กน้อยกว่าร้อยละ 15 โดยมวล ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรุงแต่งเหล่านี้เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนปูนซีเมนต์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (ประเภท S) มีตะกรันเตาถลุงเหล็กอย่างน้อยร้อยละ 70 โดยมวล มีการใช้งานกว่าหนึ่งร้อยปีมาแล้วในหลายประเทศ เช่นงานรถไฟฟ้าใต้ดินที่กรุงปารีส เมื่อปี ค.ศ. 1889 ในปัจจุบันถูกใช้งานเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากมีผู้ผลิตเพิ่มขึ้น และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย สามารถใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ตั้งแต่งานพื้นถนนจนกระทั่งงานเขื่อน

ในอีกมาตรฐานหนึ่ง คือ ASTM C1157 ซึ่งกำหนดประเภทของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเอาไว้ 6 ประเภทตามการใช้งาน ได้ให้คำนิยามปูนซีเมนต์ผสมสำหรับงานโครงสร้างว่าเป็น

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปรุงแต่ง (Modified Portland Cement) คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีวัสดุผสมเพิ่มชนิดใดชนิดหนึ่งในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 โดยมวล
2. ปูนซีเมนต์ผสมไฮดรอลิกอื่น (Other Blended Hydraulic Cement) คือปูนซีเมนต์ที่ประกอบด้วยวัสดุหลักอย่างน้อยสองประเภทซึ่งมีมวลรวมกันมากกว่าร้อยละ 15

ซึ่งแยกประเภทการใช้งานดังนี้

1. GU (General Use) สำหรับใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่นงานถนน พื้น สะพาน เป็นต้น
2. HE (High Early Strength) สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องมีกำลังสูงในช่วงต้น เช่นงาน Slip Form งานพื้นหรือใช้เร่งกำลังในการเทคอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น
3. MS (Moderate Sulfate Resistance) สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องทนทานซัลเฟตปานกลาง เช่นงานระบายน้ำ
4. HS (High Sulfate Resistance) สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องทนทานซัลเฟตสูง เช่นงานบำบัดน้ำเสีย
5. MH (Moderate Heat of Hydration) สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องมีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นปานกลาง (ต่ำกว่าคอนกรีตปกติ) เช่นงานเทฐานรากขนาดใหญ่
6. LH (Low Heat of Hydration) MH สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องมีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในงานสร้างเขื่อนกั้นน้ำ

ในมาตรฐาน ASTM ทั้งคู่จะมีการกำหนดกำลังอัดขั้นต่ำที่อายุคอนกรีตต่าง ๆ เช่น ประเภท S ไม่ต่ำกว่า 5.0 MPa (1 MPa = 10.2 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร หรือ ksc) ที่ 7 วัน และ 11.0 MPa ที่ 28 วัน หรือ ประเภท LH ไม่ต่ำกว่า 5.0 MPa ที่ 7 วัน และ 17.0 MPa ที่ 28 วัน เป็นต้น ส่วนในมาตรฐาน BS-EN นั้นไม่มีข้อกำหนดด้านกำลังอัด แต่ชั้นกำลังอัด (Strength Class) จะถูกระบุไว้หลังประเภทของซีเมนต์ เช่น Portland-composite Cement CEM II/A-M (S-V-L) 32.5 R มีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 10.0 MPa ที่ 2 วัน และระหว่าง 32.5-52.5 MPa ที่ 28 วัน ตัวย่อข้างหน้าชั้นกำลังอัด S คือ Slag V คือ Fly Ash และ L คือ Limestone และ ตัวย่อหลังชั้นกำลังอัด R คือ High Early Strength หรือ หากเป็น N คือ Ordinary Early Strength และหากมีข้อกำหนดพิเศษที่ต้องให้ความร้อนต่ำ ก็จะเพิ่มสัญลักษณ์ LH ข้างหลัง R หรือ N เช่น CEM III/B 32.5 N-LH คือ Blastfurnace Cement ที่มีความร้อนต่ำ และประกอบด้วยตะกรันเตาถลุงเหล็กร้อยละ 66 ถึง 80 โดยมวล มีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 16.0 MPa ที่ 7 วัน และระหว่าง 32.5-52.5 MPa ที่ 28 วัน

มอก. 15 ซึ่งเขียนขึ้นมาตาม ASTM C150 นั้นเป็นข้อกำหนดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งมีคุณสมบัติด้านกำลังอัดต่างกับปูนซีเมนต์ผสมสำหรับโครงสร้าง เพราะไม่มีการใช้วัสดุหลักอื่นใดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยล้วน โดยส่วนใหญ่จึงพัฒนากำลังอัดได้เร็วกว่า แต่เป็นการใช้ทรัพยากรของโลกอย่างสิ้นเปลืองและทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอย่างสูงเกินความจำเป็น ทำให้อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา ได้คำนึงถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเปลี่ยนมาใช้ปูนเมนต์ผสมสำหรับโครงสร้างแทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Blended cement