

สารบัญ		หน้า
บทนำ		ก
คำนำ		ค
กิตติกรรมประกาศ		จ
สารบัญ		ช
บทที่ 1 ประวัติปูนซีเมนต์		1
1.1 สารซีเมนต์ประเภทยิปซัมและปูนขาว		1
1.2 การพัฒนาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		4
1.3 การใช้ปูนขาวและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในประเทศไทย		5
บทที่ 2 ปูนซีเมนต์		8
2.1 การผลิตปูนซีเมนต์		8
2.1.1 วัตถุดิบ		8
2.1.2 กรรมวิธีในการผลิต		8
2.2 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์		11
2.2.1 องค์ประกอบทางเคมี		11
2.2.2 วิธีคำนวณปริมาณสารประกอบ		13
2.3 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก		14
2.3.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต		14
2.3.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต		14
2.3.3 ไตรแคลเซียมอลูมิเนต		15
2.3.4 เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์		15
2.4 คุณสมบัติของสารประกอบรอง		15
2.4.1 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์		15
2.4.2 ปูนขาวอิสระ		16
2.4.3 แมกนีเซียมออกไซด์		16
2.4.4 ออกไซด์ของอัลคาไล		16

2.4.5	ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์	17
2.5	ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
2.6	ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น	18
2.6.1	ปูนซีเมนต์ผสม	18
2.6.2	ปูนซีเมนต์ขาว	19
2.6.3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลาน	19
2.6.4	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก	20
2.6.5	ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง	20
2.6.6	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วพิเศษ	20
2.6.7	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กำลังระยะแรกสูงพิเศษ	20
2.6.8	ปูนซีเมนต์งานก่อ	20
2.6.9	ปูนซีเมนต์ขยายตัว	21
2.6.10	ปูนซีเมนต์ก่อตัวและแข็งตัวเร็ว	21
2.6.11	ปูนซีเมนต์ป้อน้ำมัน	21
2.6.12	ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง	21

บทที่ 3 เกณฑ์คุณภาพและการทดสอบปูนซีเมนต์ 25

3.1	ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ	25
3.2	คุณสมบัติและการทดสอบ	25
3.2.1	ปูนซีเมนต์	25
3.2.2	การทดสอบซีเมนต์เพสต์	32
3.2.3	การทดสอบมอร์ตาร์	36

บทที่ 4 ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ 44

4.1	แคลเซียมซิลิเกต	44
4.2	แคลเซียมอลูมิเนตและเฟอร์ไรต์	45
4.3	ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำ	46
4.4	โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์	47
4.4.1	แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต	48
4.4.2	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	49
4.4.3	แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต	50
4.4.4	เม็ดปูนซีเมนต์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา	50
4.4.5	ความพรุนของซีเมนต์เจล	50
4.4.6	น้ำในซีเมนต์เพสต์	51

4.4.7 ความถ่วงจำเพาะของเนื้อซีเมนต์เจล	การวัดความถ่วงจำเพาะ	51
4.4.8 การยัดเหนียวทางเคมี	การวัดความถ่วงจำเพาะ	51
4.5 ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน	การวัดความถ่วงจำเพาะ	51

บทที่ 5 น้ำ

5.1 น้ำสำหรับผสมทำคอนกรีต	การวัดความถ่วงจำเพาะ	56
5.1.1 สารแขวนลอย	การวัดความถ่วงจำเพาะ	56
5.1.2 สารละลายอินทรีย์	การวัดความถ่วงจำเพาะ	56
5.1.3 สารละลายอินทรีย์	การวัดความถ่วงจำเพาะ	58
5.1.4 วิธีตรวจสอบน้ำสำหรับผสมคอนกรีต	การวัดความถ่วงจำเพาะ	58
5.2 น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต	การวัดความถ่วงจำเพาะ	58
5.3 น้ำสำหรับล้างมวลรวม	การวัดความถ่วงจำเพาะ	58
5.4 การนำน้ำที่ล้างไม่มาใช้เป็นน้ำสำหรับผสมคอนกรีต	การวัดความถ่วงจำเพาะ	59

บทที่ 6 มวลรวม

6.1 การจำแนกประเภทของหิน	การวัดความถ่วงจำเพาะ	62
6.1.1 หินอัคนี	การวัดความถ่วงจำเพาะ	62
6.1.2 หินชั้น	การวัดความถ่วงจำเพาะ	63
6.1.3 หินแปร	การวัดความถ่วงจำเพาะ	64
6.2 คุณสมบัติของมวลรวม	การวัดความถ่วงจำเพาะ	64
6.2.1 รูปร่างและลักษณะผิว	การวัดความถ่วงจำเพาะ	64
6.2.2 ความชื้นและการดูดน้ำ	การวัดความถ่วงจำเพาะ	68
6.2.3 การพองตัวของทราย	การวัดความถ่วงจำเพาะ	70
6.2.4 ความถ่วงจำเพาะ	การวัดความถ่วงจำเพาะ	71
6.2.5 หน่วยน้ำหนัก	การวัดความถ่วงจำเพาะ	71
6.2.6 กำลังและความแข็ง	การวัดความถ่วงจำเพาะ	72
6.2.7 การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ	การวัดความถ่วงจำเพาะ	73
6.2.8 ขนาดกะของมวลรวม	การวัดความถ่วงจำเพาะ	74
6.2.9 ความคงทนของมวลรวม	การวัดความถ่วงจำเพาะ	86
6.2.10 สารที่เป็นอันตรายในมวลรวม	การวัดความถ่วงจำเพาะ	88

บทที่ 7 สารผสมเพิ่ม

7.1 สารลดน้ำและควบคุมการก่อตัว	การวัดความถ่วงจำเพาะ	94
7.1.1 สารลดน้ำ	การวัดความถ่วงจำเพาะ	98

7.1.2	สารเร่งการก่อตัว	๖.๕.๕	98
7.1.3	สารหน่วงการก่อตัว	๘.๕.๕	100
7.1.4	สารลดน้ำพิเศษ	๑๒.๕.๕	102
7.2	สารกักกระจายฟองอากาศ		105
7.3	สารเคมีผสมเพิ่มเพื่องานเฉพาะ		106
7.3.1	สารผสมเพิ่มการยึดเหนี่ยว	๑๓.๕.๕	107
7.3.2	สารผสมเพิ่มกันสนิม	๑๔.๕.๕	107
7.3.3	สารผสมเพิ่มกันความชื้น	๑๕.๕.๕	107
7.3.4	สารผสมเพิ่มเพื่อขยายตัว	๑๖.๕.๕	108
2.๕.7	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กำลัง	๑.๕.๕	20
บทที่ 8 คอนกรีตสด			111
8.1	ทฤษฎีเกี่ยวกับการเสีรूपของคอนกรีต		111
8.2	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด		112
8.2.1	ปริมาณน้ำในส่วนผสม		113
8.2.2	คุณสมบัติของมวลรวม		113
8.2.3	ชนิดของปูนซีเมนต์		113
8.2.4	เวลาและอุณหภูมิ		113
8.2.5	สารผสมเพิ่ม		114
8.3	ความสามารถเทได้		114
8.4	การทดสอบความสามารถเทได้		114
8.4.1	การทดสอบหาค่าการยุบตัว		115
8.4.2	การทดสอบการไหลแผ่		117
8.4.3	การทดสอบโตะการไหล		117
8.4.4	การทดสอบคอมแพคตติ้งแฟคเตอร์		117
8.4.5	วิธีทดสอบการจมของลูกบอลเคลลี		119
8.4.6	การทดสอบปริโมลติง		120
8.4.7	การทดสอบเวลาวิบี		120
8.4.8	การเปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถเทได้		122
8.5	การแยกตัวและการเย็นน้ำ		123
8.5.1	การแยกตัว		123
8.5.2	การเย็นน้ำ		124
8.6	การทดสอบคอนกรีตสดด้านอื่นๆ		125
8.6.1	การเก็บตัวอย่างคอนกรีตสด		125
8.6.2	การก่อตัวของคอนกรีต		126

8.6.3	ความหนาแน่นของคอนกรีต	127
8.6.4	การวัดปริมาณอากาศ	127
8.6.5	การวิเคราะห์หาส่วนประกอบของคอนกรีต	130
บทที่ 9 การทำงานสำหรับคอนกรีตสด		133
9.1	การผสมคอนกรีต	133
9.1.1	การผสมคอนกรีตด้วยมือ	133
9.1.2	การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสม	135
9.1.3	ลำดับการป้อนวัสดุเข้าเครื่องผสม	137
9.1.4	เวลาที่ผสมคอนกรีต	137
9.1.5	ความสม่ำเสมอของส่วนผสมคอนกรีต	138
9.1.6	การผสมซ้ำ	139
9.1.7	คอนกรีตผสมเสร็จ	140
9.2	การขนส่งคอนกรีต	142
9.3	คอนกรีตสูบลัง	144
9.3.1	เครื่องสูบลังคอนกรีต	145
9.3.2	ข้อกำหนดสำหรับคอนกรีตสูบลัง	146
9.4	การเทคอนกรีตเข้าที่	147
9.4.1	การเทคอนกรีตโดยใช้แบบ	147
9.4.2	การเทคอนกรีตโดยใช้แบบเลื่อน	149
9.4.3	คอนกรีตพ่น	150
9.4.4	คอนกรีตปูมวลรวมก่อน	151
9.4.5	การเทคอนกรีตได้น้ำ	152
9.5	การทำคอนกรีตให้แน่น	153
9.6	การตกแต่งผิวคอนกรีต	155
บทที่ 10 การบ่มและการป้องกันคอนกรีตสด		159
10.1	ระยะเวลาของการบ่ม	159
10.2	การบ่มปกติ	161
10.2.1	การบ่มโดยการป้องกันการสูญเสียน้ำ	161
10.2.2	การบ่มชื้น	162
10.3	การบ่มอุณหภูมิสูง	163
10.3.1	การบ่มไอน้ำความดันต่ำ	163
10.3.2	การบ่มไอน้ำความดันสูง	165

10.4 การดูแลคอนกรีตสดที่อุณหภูมิสูงและต่ำมาก	165
10.4.1 การบ่มและการป้องกันคอนกรีตที่เทในสภาพอากาศร้อน	166
10.4.2 การบ่มและการป้องกันสำหรับการเทคอนกรีตหลา	167
10.4.3 การบ่มและป้องกันคอนกรีตที่เทในอากาศหนาว	169
บทที่ 11 การทดสอบคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว	172
11.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	172
11.1.1 คอนกรีตรูปลูกบาศก์	172
11.1.2 คอนกรีตรูปทรงกระบอก	173
11.1.3 การวัดขีดของคอนกรีตภายใต้แรงอัด	175
11.2 การทดสอบแรงดึงของคอนกรีต	176
11.2.1 การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีผ่าซีก	176
11.2.2 การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีตัด	177
11.3 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม	179
11.4 การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	180
บทที่ 12 กำลังของคอนกรีต	183
12.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต	183
12.1.1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	183
12.1.2 อัตราส่วนเจลดต่อปริมาตร	184
12.1.3 ผลกระทบของอายุต่อกำลังของคอนกรีต	187
12.1.4 ผลกระทบของมวลรวมหยาบต่อกำลังของคอนกรีต	189
12.1.5 อิทธิพลของปริมาณมวลรวม	190
12.2 กำลังของคอนกรีต	192
12.2.1 กำลังอัดของคอนกรีต	192
12.2.2 กำลังดึงของคอนกรีต	192
12.2.3 กำลังเฉือน	194
12.2.4 กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม	194
12.3 กำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก	196
12.4 ผลกระทบเนื่องจากขนาดของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบ	197
12.5 คอนกรีตที่ได้จากการเจาะ	198
12.6 การประเมินและการยอมรับกำลังอัดของงานคอนกรีต	200

บทที่ 13 โมดูลสียืดหยุ่น การหดตัว การคืบ และการล้าของคอนกรีต	204
13.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	204
13.1.1 ความสัมพันธ์ภายใต้แรงกระทำสถิต	204
13.1.2 การเสียรูปของซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตภายใต้แรงกระทำ	206
13.1.3 อิทธิพลของอัตราการให้น้ำหนักกระทำต่อคอนกรีต	207
13.1.4 โมดูลสียืดหยุ่นของคอนกรีต	207
13.1.5 อัตราส่วนโพซง	209
13.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต	209
13.2.1 การหดตัวพลาสติก	209
13.2.2 การหดตัวด้วยตัวเอง	210
13.2.3 การขยายตัว	211
13.2.4 การหดตัวแห้ง	211
13.3 การคืบของคอนกรีต	217
13.3.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคืบ	218
13.3.2 ผลกระทบของการคืบต่องานทางวิศวกรรมโยธา	223
13.3.3 การประมาณค่าการคืบ	223
13.4 การล้าของคอนกรีต	224
13.4.1 กลไกการล้าของคอนกรีต	225
13.4.2 การประมาณอายุการใช้งานภายใต้แรงกระทำซ้ำ	226
บทที่ 14 ความทนทานของคอนกรีต	231
14.1 การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี	231
14.2 คาร์บอนเนชัน	232
14.2.1 การทดสอบคาร์บอนเนชัน	233
14.2.2 หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหาคาร์บอนเนชัน	234
14.3 การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟต	234
14.3.1 ผลกระทบของซัลเฟตต่อคอนกรีต	235
14.3.2 หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟต	237
14.4 การกัดกร่อนเนื่องจากกรด	238
14.4.1 กระบวนการกัดกร่อนเนื่องจากกรด	238
14.4.2 หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหการกัดกร่อนเนื่องจากกรด	239
14.5 การกัดกร่อนเนื่องจากน้ำทะเลต่อคอนกรีต	240
14.5.1 หลักการเลือกคอนกรีตที่สร้างบริเวณทะเล	240
14.6 การกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์	241

14.6.1	วิธีการวัดคลอไรด์และความต้านทานคลอไรด์	242
14.6.2	หลักการเลือกคอนกรีตที่อาจมีปัญหากัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์	243
14.7	การสึกกร่อน	243
14.7.1	ปัจจัยที่มีผลต่อการสึกกร่อนของคอนกรีต	244
14.7.2	หลักการเลือกคอนกรีตที่มีความต้านทานการสึกกร่อนสูง	245
14.8	การกัดกร่อนของเหล็กหรือวัสดุอื่นๆที่ฝังในคอนกรีต	245
14.8.1	สภาพของคอนกรีตที่มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กที่ฝัง	245
14.8.2	สาเหตุของการเกิดการกัดกร่อน	246
14.8.3	ข้อแนะนำในการลดหรือแก้ปัญหาการกัดกร่อนของวัสดุที่ฝังในคอนกรีต	248
14.9	ปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา	249
14.9.1	ข้อแนะนำในการลดปัญหาจากปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา	250
14.10	การซ่อมแซมคอนกรีต	251
บทที่ 15 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสม		256
15.1	กำลังต่ำสุดและกำลังเฉลี่ย	256
15.2	การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมตามวิธีของสถาบันคอนกรีตอเมริกัน (ACI)	261
15.3	วิธีออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตตามวิธีของอังกฤษ	269
15.4	วิธีการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมเมื่อใส่เถ้าถ่านหินโดยวิธีของอังกฤษ	276
15.5	การปรับส่วนผสม	278
15.5.1	การปรับส่วนผสมให้เป็นสภาพอิมตัวผิวแห้ง	278
15.5.2	การปรับส่วนผสมหลังจากการทดลองผสม	279
บทที่ 16 ปอชโซลาน		283
16.1	วัสดุปอชโซลาน	283
16.2	เถ้าถ่านหิน	284
16.2.1	ศักยภาพของการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์	284
16.2.2	ความละเอียดของเถ้าถ่านหิน	285
16.2.3	องค์ประกอบทางเคมี	286
16.2.4	ปฏิกิริยาปอชโซลานของเถ้าถ่านหิน	287
16.2.5	การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีต	288
16.2.6	การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตกำลังสูง	288
16.2.7	การใช้เถ้าถ่านหินในการป้องกันการกัดกร่อน	289
16.3	ซิลิกาฟูม	289

16.3.1	องค์ประกอบทางเคมี	290
16.3.2	คุณสมบัติทางกายภาพ	290
16.3.3	การใช้ซิลิกาฟุ่มในงานคอนกรีต	291
16.4	เถ้าแกลบ	293
16.4.1	ผลกระทบของเถ้าแกลบต่อคอนกรีตสด	295
16.4.2	ผลกระทบของเถ้าแกลบต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว	295
16.5	ตะกั่วแดงสูงเหลือบดละเอียด	296
16.5.1	กระบวนการผลิตตะกั่วแดงสูงเหลือบด	297
16.5.2	องค์ประกอบทางเคมี	297
16.5.3	ข้อกำหนดสำหรับตะกั่วแดงสูงเหลือบด	298
16.5.4	การทำปฏิกิริยากับน้ำ	300
16.5.5	ผลกระทบของตะกั่วแดงสูงเหลือบดละเอียดต่อคอนกรีตสด	300
16.5.6	ผลกระทบของตะกั่วแดงสูงเหลือบดละเอียดต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว	301
16.6	วัสดุพอลิโพรไพลีน	303
บทที่ 17 คอนกรีตกำลังสูง		310
17.1	วัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังสูง	310
17.1.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	310
17.1.2	มวลรวมละเอียดหรือทราย	311
17.1.3	หิน	311
17.1.4	น้ำ	311
17.1.5	สารเคมีผสมเพิ่ม	311
17.1.6	วัสดุผสมเพิ่มที่ไม่ใช่สารเคมี	312
17.2	ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง	313
17.2.1	กำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง	315
17.2.2	อายุที่ใช้ทดสอบคอนกรีตกำลังสูง	315
17.2.3	ปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำ	316
17.2.4	การทดลองผสมคอนกรีต	317
17.2.5	ความสามารถในการเทของคอนกรีตกำลังสูง	318
17.2.6	การบ่มคอนกรีต	319
17.3	คุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง	319
17.3.1	ความหนาแน่น	319
17.3.2	ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	319
17.3.3	ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด	320

17.3.4	โมดูลสียัตหยุ่น		321
17.3.5	อัตราส่วนโพซง		322
17.3.6	โมดูลัสแตกร้า		322
17.3.7	การรับแรงดึงโดยวิธีผ่าชัก		323
17.3.8	คุณสมบัติอื่น		323
17.4	การใช้คอนกรีตกำลังสูงในงานก่อสร้าง		323
17.4.1	การใช้คอนกรีตกำลังสูงในงานอาคาร		323
17.4.2	การใช้คอนกรีตกำลังสูงในงานสะพาน		323
17.5	การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง		324
ดัชนี			337

ข้อ

๒๙ มี.อ. ๒๕๔๘

ปูนซีเมนต์ ปอชโซลาน และ คอนกรีต

โดย

รศ.ดร. ปริญญ์ จินดาประเสริฐ

รศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

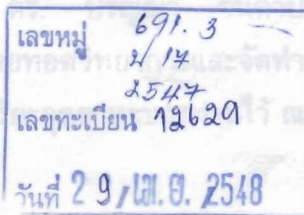
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



จัดพิมพ์โดย



๖๒๘๒๘

สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.)

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 งามคำแหง 39 (ซอยเทพลีลา)

ถนนรามคำแหง แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทร 0-2935-6593 โทรสาร 0-2935-6538

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 2000 เล่ม

ราคา 250 บาท

ตุลาคม พ.ศ. 2547

ISBN 974-92536-7-1

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย