

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาจะกล่าวถึง วัสดุที่ใช้ในการศึกษา เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา รายละเอียดวิธีการศึกษา และสัดส่วนผสมของเพสต์และสัดส่วนผสมมอร์ตาร์และ/หรือสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

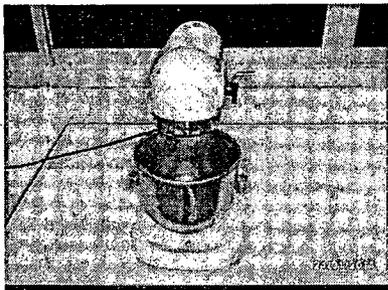
สำหรับวัสดุที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม ผงหินปูน ททราย และน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2532 โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ไม่จับตัวเป็นก้อน
2. เถ้าลอย ใช้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
3. ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดโดยมีความละเอียดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 14 ไมโครเมตร
4. ซิลิกาฟูม
5. ผงหินปูน ใช้ผงหินปูนที่ได้รับการควบคุมคุณภาพในการผลิตมีสิ่งเจือปนน้อย และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมหลายๆประเภท โดยมีความละเอียดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 4 และ 8 ไมโครเมตร
6. ททราย ใช้ทรายน้ำจืดนำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาดนำไปอบและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และปรับทรายให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
7. หินเบอร์ 2 นำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาด นำไปทำการอบ และปรับหินให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
8. น้ำ ในการศึกษาค้างนี้ใช้น้ำประปา

3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

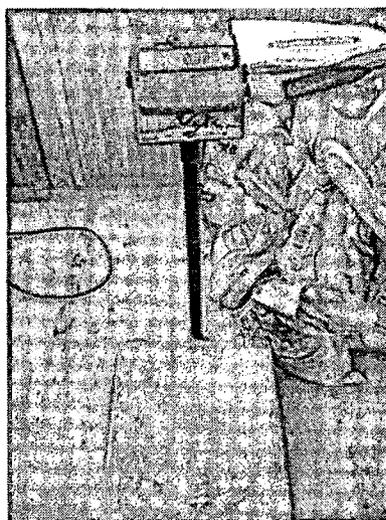
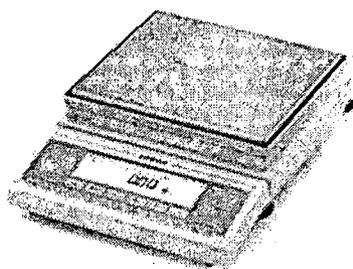
สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่สำคัญ ที่ใช้ในการศึกษาในค้างนี้ มีดังนี้

- 3.2.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์ และผสมคอนกรีต (ภาพที่ 3.1)



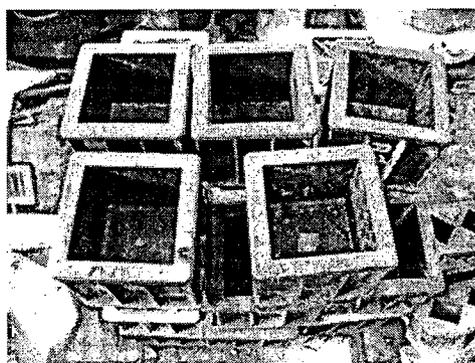
ภาพที่ 3.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์ และ ผสมคอนกรีต

3.2.2 เครื่องชั่งดิจิตอล (ภาพที่ 3.2)



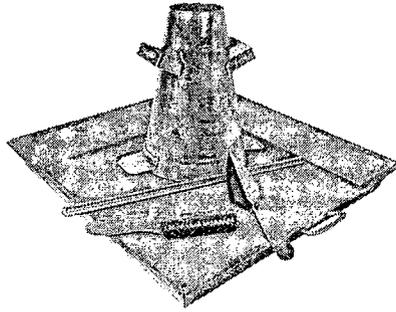
ภาพที่ 3.2 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.2.3 แบบหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์ และตัวอย่างคอนกรีต (ภาพที่ 3.3)



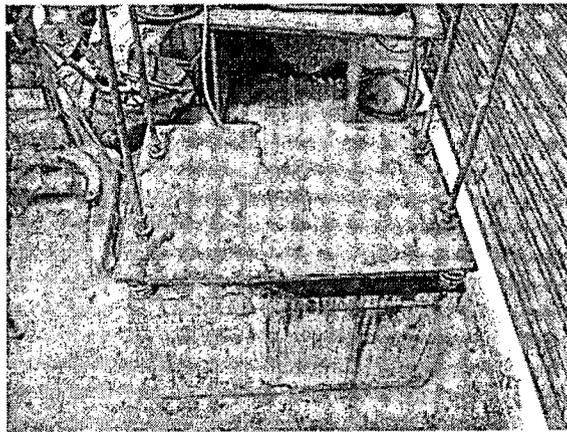
ภาพที่ 3.3 แบบหล่อขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ และตัวอย่างคอนกรีต

3.3.4 ชุดทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (ภาพมี 3.4)



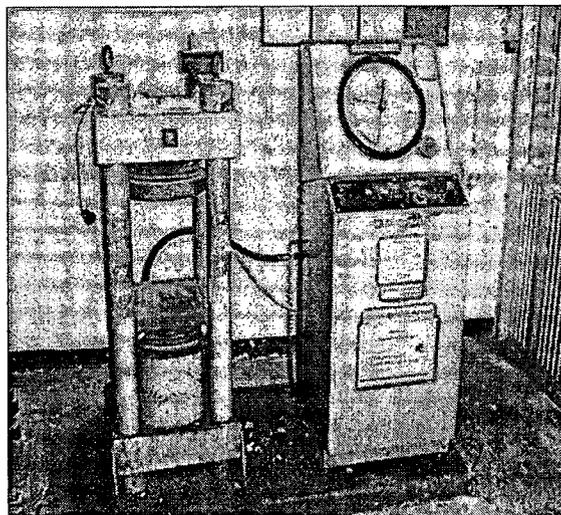
ภาพที่ 3.4 ชุดทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

3.3.4 โต๊ะเขย่าแบบตัวอย่างคอนกรีต (ภาพที่ 3.5)



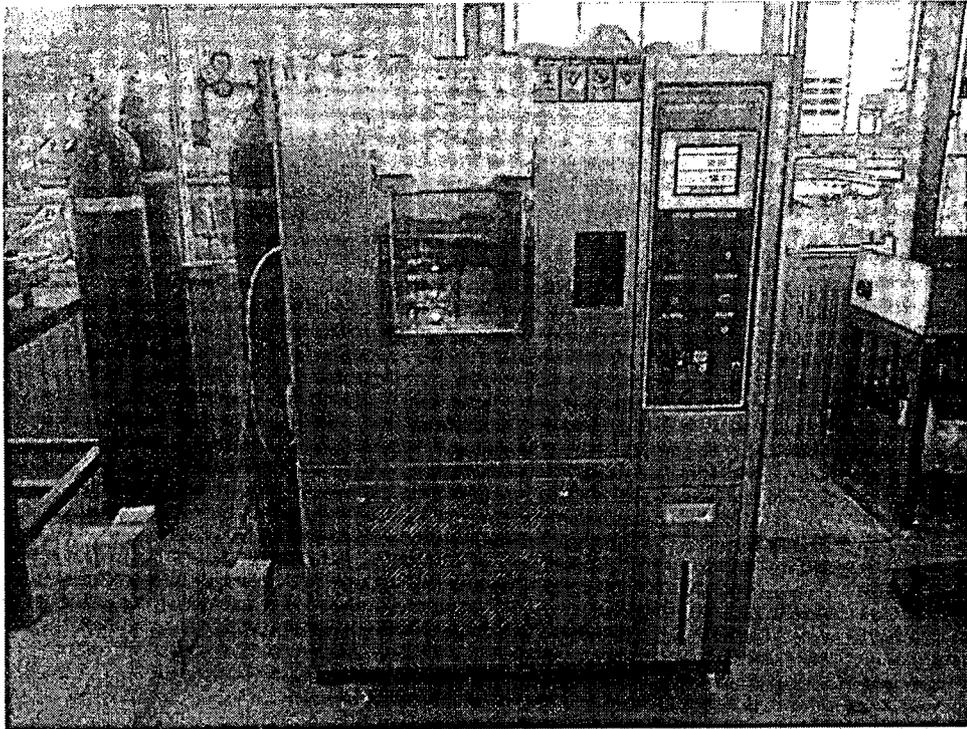
ภาพที่ 3.5 โต๊ะเขย่าแบบตัวอย่างคอนกรีต

3.3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ และตัวอย่างคอนกรีต (ภาพที่ 3.6)



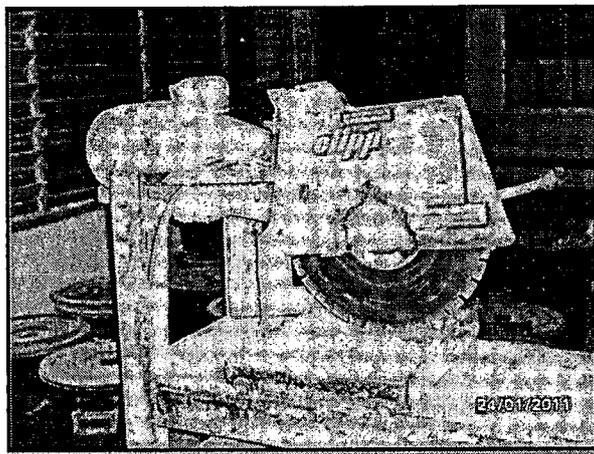
ภาพที่ 3.6 เครื่อง UTM (universal testing machine) สำหรับทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ และตัวอย่างคอนกรีต

3.3.5 ตู้สำหรับทดสอบการเกิดคาร์บอนชั้นของมอร์ตาร์ และของตัวอย่างคอนกรีต
(ภาพที่ 3.7)



ภาพที่ 3.7 ตู้สำหรับทดสอบการเกิดคาร์บอนชั้นของมอร์ตาร์ และของตัวอย่างคอนกรีต

3.3.6 เครื่องสำหรับตัดตัวอย่างคอนกรีต และ/หรือตัวอย่างมอร์ตาร์ เพื่อทดสอบการเกิดคาร์บอนชั้น



ภาพที่ 3.8 เครื่องสำหรับตัดตัวอย่างคอนกรีต และ/หรือตัวอย่างมอร์ตาร์

3.3 รายละเอียดวิธีการศึกษา

สำหรับรายละเอียดของวิธีการศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน คุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน และการทดสอบการเกิดคาร์บอนชั้นของมอร์ตาร์ และ/หรือ คอนกรีตผสมถั่วลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม และผงหินปูน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน

ในการศึกษาครั้งนี้คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ได้ทำการศึกษาได้แก่

3.3.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุประสาน โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

3.3.1.2 ความละเอียดของวัสดุโดยใช้วิธีของเบลน (Blaine Fineness) ตามมาตรฐาน ASTM C204

3.3.1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน ตามมาตรฐาน ASTM C188

3.3.1.4 ภาพถ่ายอนุภาคของวัสดุประสานโดยใช้เครื่อง Scanning Electronic Microscope (SEM)

3.3.2 คุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน

สำหรับคุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถั่วลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม และผงหินปูน) โดยศึกษาคุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสานดังนี้

3.3.2.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Normal Consistency) ของเพสต์ โดยกระทำตามมาตรฐาน ASTM C187

3.3.2.2 การก่อดัว (Setting Time) ของเพสต์ โดยศึกษาการก่อดัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) และการก่อดัวสุดท้าย (Final Setting Time) โดยกระทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C230

3.3.2.3 ค่าการไหลแผ่ (Flow Value) ของมอร์ตาร์ โดยกระทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 109

3.3.2.4 ค่าการยุบตัว (Slump) และการสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump loss) ของคอนกรีต โดยกระทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 143

3.3.2.4 กำลังอัดประลัย (Compressive Strength) ของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM: C109 โดยทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ ขนาด 50x50x50 มม.

3.3.2.4 กำลังอัดประลัย (Compressive Strength) ของคอนกรีต ตามมาตรฐาน BS 1881-116 โดยทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ขนาด 100x100x100 มม.

3.3.3 การเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตผสมเถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม และผงหินปูน

การทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 856 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

ก) การเตรียมตัวอย่าง

การทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีต ใช้ตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมขึ้นโดยแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด 10x10x10 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีต 2 ตัวอย่างต่อสัดส่วนผสม เพื่อใช้ในการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีต ที่อายุ 28 วันและ 56 วัน

ข) อายุการบ่มและการทดสอบ

หลังจากหล่อตัวอย่างคอนกรีต และถอดแบบเมื่ออายุครบ 1 วัน จึงนำตัวอย่างคอนกรีตไปบ่มในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว (saturated lime water) จนครบอายุ 28 วัน จากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตไปอบในตู้อบคาร์บอนเนชั่น โดยใช้ระยะเวลาในการอบ 28 วันและ 56 วัน ภายในตู้อบคาร์บอนเนชั่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) จะถูกปล่อยออกมาในปริมาณ 40,000 ppm และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50-55% เมื่อครบอายุที่กำหนด จึงนำไปทดสอบหาค่าความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่น

ค) การทดสอบค่าความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่นและการเปรียบเทียบ

การเกิดคาร์บอนเนชั่นของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็ก ซิลิกาฟูม และผงหินปูน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C856 โดยมีวิธีดังนี้

นำก้อนตัวอย่างออกจากตู้อบคาร์บอนเนชั่น แล้วปรับตั้งเครื่องทดสอบคอนกรีต (Universal testing machine) ให้พร้อมทดสอบ นำก้อนตัวอย่างมาวางบนแผ่นเหล็กให้จุดศูนย์กลางของเครื่องทดสอบกับก้อนตัวอย่างตรงกัน นำแท่งเหล็กสอดเข้าไปบนกึ่งกลางของก้อนตัวอย่าง จับแท่งเหล็กให้มั่นคงกับการเคลื่อนที่ กดปุ่มเริ่มต้นที่เครื่องเพื่อแบ่งก้อนตัวอย่างออกเป็น 2 ซีก (Splitting) เพื่อทำการผ่าจนครบก้อนตัวอย่างที่ต้องการ แล้วพ่นสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน (Phenolphthalein) ที่ก้อนตัวอย่าง ปล่อยให้แห้งจนแห้งประมาณ 30 นาที แล้วทำการวัดค่าความลึกบริเวณที่ไม่เกิดสีม่วง โดยวัดเฉลี่ยประมาณ 10 ค่า (บริเวณที่เกิดคาร์บอนเนชั่น) โดยใช้เวอร์เนียร์จัดบันทึกค่าและนำค่าที่ได้แต่ละสัดส่วนผสมไปสรุปผลเปรียบเทียบการทดลอง

3.4 สัดส่วนผสมของเพสต์ และสัดส่วนผสมมอร์ตาร์และ/หรือคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับสัดส่วนผสมของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือใช้เถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็ก และผงหินปูน แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยแยกตามคุณสมบัติด้านต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ การก่อตัวของเพสต์ ค่าการไหลและกำลังอัดของมอร์ตาร์ การเกิดคาร์บอนเนชั่นในมอร์ตาร์ รวมทั้งค่าการยุบตัว ค่าการสูญเสียค่าการยุบตัว กำลังอัดประลัย และการเกิดคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.5

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสม (โดยน้ำหนัก: กรัม) ของเฟสผสมแก้วลอยและผงหินปูนที่ใช้ในการศึกษา ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และการก่อตัว

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	แก้วลอย	ผงหินปูน
1	PC1	1.00	-	-
2	PC1 FA30	0.70	0.30	-
3	PC1 FA50	0.50	0.50	-
4	PC1 LP10	0.90	-	0.10
5	PC1 LP20	0.80	-	0.20
6	PC1 FA20LP10	0.70	0.20	0.10
7	PC1 FA10LP20	0.70	0.10	0.20
8	PC1 FA40LP10	0.50	0.40	0.10
9	PC1 FA30LP20	0.50	0.30	0.20

หมายเหตุ ผงหินปูนขนาดอนุภาค 4 ไมโครเมตร

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนผสมของเฟสผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดและผงหินปูนที่ใช้ในการศึกษา ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และการก่อตัว

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก บดละเอียด	ผงหินปูน
1	PC1	1.00	-	-
2	PC1-5LP	0.95	-	0.05
3	PC1-10LP	0.90	-	0.10
4	PC1-30SL	0.70	0.30	-
5	PC1-50SL	0.50	0.50	-
6	PC1-70SL	0.30	0.70	-
7	PC1-5LP-25SL	0.70	0.25	0.05
8	PC1-5LP-45SL	0.50	0.45	0.05
9	PC1-5LP-65SL	0.30	0.65	0.05
10	PC1-10LP-20SL	0.70	0.20	0.10
11	PC1-10LP-40SL	0.50	0.40	0.10
12	PC1-10LP-60SL	0.30	0.60	0.10

หมายเหตุ ผงหินปูนขนาดอนุภาค 8 ไมโครเมตร

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนผสมของตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมแก้าลอยและผงหินปูนที่ใช้ในการศึกษาค่าการไหลกำลังอัดประลัย เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.55

ที่	สัญลักษณ์	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)				
		ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	แก้าลอย	ผงหินปูน	ทราย	น้ำ
1	MC1	1.00	-	-	2.75	0.55
2	MC1 FA30	0.70	0.30	-	2.75	0.55
3	MC1 FA50	0.50	0.50	-	2.75	0.55
4	MC1 LP10	0.90	-	0.10	2.75	0.55
5	MC1 LP20	0.80	-	0.20	2.75	0.55
6	MC1 FA20LP10	0.70	0.20	0.10	2.75	0.55
7	MC1 FA10LP20	0.70	0.10	0.20	2.75	0.55
8	MC1 FA40LP10	0.50	0.40	0.10	2.75	0.55
9	MC1 FA30LP20	0.50	0.30	0.20	2.75	0.55

หมายเหตุ ผงหินปูนขนาดอนุภาค 4 ไมโครเมตร

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมตะกรันเตากลูงเหล็กบดละเอียดและผงหินปูนที่ใช้ในการศึกษาค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว กำลังอัดประลัย และการเกิดคาร์บอนชั่น โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.65

ลำดับที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. โดยน้ำหนัก (กก.) w/b = 0.65					
		ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ผงหินปูน	ตะกรันเตากลูงเหล็กบดละเอียด	ทราย	หิน	น้ำ
1	CC1	332	0	0	790	1,080	215.8
3	CC1-5LP	316	16	0	790	1,080	215.8
4	CC1-10LP	299	33	0	790	1,080	215.8
5	CC1-30SL	233	0	99	790	1,080	215.8
6	CC1-50SL	166	0	166	790	1,080	215.8
7	CC1-70SL	100	0	232	790	1,080	215.8
8	CC1-5LP-25SL	233	16	83	790	1,080	215.8
9	CC1-5LP-45SL	167	16	149	790	1,080	215.8

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. โดยน้ำหนัก (กก.) w/b = 0.65					
		ปูนซีเมนต์ พอร์ตแลนด์	ผงหินปูน	ตะกรันเตา ถลุงเหล็ก บดละเอียด	ทราย	หิน	น้ำ
10	CC1-5LP-65SL	100	16	216	790	1,080	215.8
11	CC1-10LP-20SL	233	33	66	790	1,080	215.8
12	CC1-10LP-40SL	167	33	132	790	1,080	215.8
13	CC1-10LP-60SL	180	33	119	790	1,080	215.8

หมายเหตุ ผงหินปูนขนาดอนุภาค 8 ไมโครเมตร

ตารางที่ 3.5 สัดส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตผสมเถ้าลอย ซิลิกาฟุ่ม และผงหินปูน ที่ใช้ในการศึกษา
การเกิดคาร์บอนชั้น เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.55

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมคอนกรีต ต่อ 1 ลบ.ม. โดยน้ำหนัก (กก.) w/b = 0.55						
		ปูนซีเมนต์ พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	เถ้า ลอย	ซิลิกา ฟุ่ม	ผง หินปูน	ทราย	หิน	น้ำ
1	CC1	332	-	-	-	970	1080	182.6
2	CC1- 20FA	266	66	-	-	970	1080	182.6
3	CC1- 40FA	199	133	-	-	970	1080	182.6
4	CC1- 5SF	315	-	17	-	970	1080	182.6
5	CC1- 10SF	299	-	33	-	970	1080	182.6
6	CC1- 5LP	315	-	-	17	970	1080	182.6
7	CC1- 10LP	299	-	-	33	970	1080	182.6
8	CC1- 15FA – 5LP	265	50	-	17	970	1080	182.6
9	CC1- 10FA – 10LP	266	33	-	33	970	1080	182.6
10	CC1- 5SF – 5LP	298	-	17	17	970	1080	182.6
11	CC1- 5SF – 10LP	282	-	17	33	970	1080	182.6
12	CC1- 10SF – 5LP	282	-	33	17	970	1080	182.6

หมายเหตุ ผงหินปูนขนาดอนุภาค 8 ไมโครเมตร

ความหมายตัวสัญลักษณ์ของแต่ละส่วนผสมมีความหมายดังนี้

- C1 หมายถึง ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- FA หมายถึง เถ้าลอย
- SL หมายถึง ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด
- SF หมายถึง ซิลิกาฟุ่ม
- LP หมายถึง ผงหินปูน

การอ่านสัญลักษณ์

- C1 หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- C1-20FA หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่เถ้าลอยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
- C1-30SL หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- C1-5SF หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ซิลิกาฟูมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
- C1-5LP หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ผงหินปูนร้อยละ 5
- C1-15FA-5LP หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่เถ้าลอยร้อยละ 15 ร่วมด้วยผงหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
- C1-25SL-5LP หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กร้อยละ 25 ร่วมด้วยผงหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
- C1-5SF-5LP หมายถึง วัสดุประสานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ซิลิกาฟูมร้อยละ 5 ร่วมด้วยผงหินปูนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก