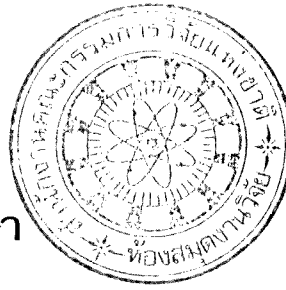


บทที่ 3

วิธีการศึกษา



วิธีการศึกษาจะกล่าวถึง วัสดุที่ใช้ในการศึกษา รายละเอียดวิธีการศึกษา และสัดส่วนผสมของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ผงหินปูน ทราย น้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 80-2517 โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ไม่จับตัวเป็นก้อน
2. เถ้าลอย ใช้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
3. ผงหินปูน ใช้ผงหินปูนที่ได้รับการควบคุมคุณภาพในการผลิต มีสิ่งเจือปนน้อย และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นอุตสาหกรรม
4. ทราย ใช้ทรายน้ำจืดนำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาด นำไปอบและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และปรับทรายให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
5. หิน ใช้หินนำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาด นำไปอบและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และปรับหินให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
6. น้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปา

3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา

สำหรับรายละเอียดวิธีการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาหรือทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และผงหินปูนเป็นส่วนผสม

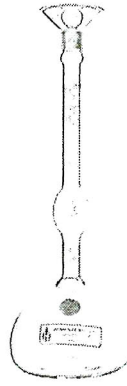
3.2.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย และผงหินปูน) ที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี มีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

3.2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

โดยคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประสานที่ศึกษาได้แก่

- ก. ความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 188-95 โดยขอมาตรฐานเลอชาเตอริเยร์ (Le Chatelier Flask) (รูปที่ 3.1)

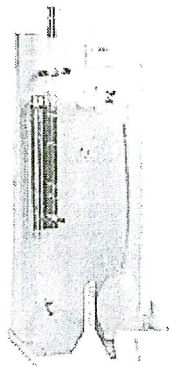


รูปที่ 3.1 ขวดมาตรฐานเลอชาเตอร์ลิเยร์

ข. ลักษณะอนุภาคของวัสดุประสานโดยภาพถ่ายขยายกำลังสูง (scanning electric microscope: SEM)

ค. การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสาน ทำการทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคแขวนลอยโดยใช้เลเซอร์ (laser particle size analyzer: LPSA)

ง. ความละเอียดของวัสดุประสานโดยวิธีแอร์เพอร์มีอะบิลิตีของเบลนด์ กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 204-00 ด้วยเครื่องมือแอร์เพอร์มีอะบิลิตีของเบลนด์ (air permeability apparatus) (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 เครื่องมือหาความละเอียดโดยวิธีแอร์เพอร์มีอะบิลิตีของเบลนด์

3.2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานนั้นได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

3.2.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และผงหินปูน เป็นส่วนผสม

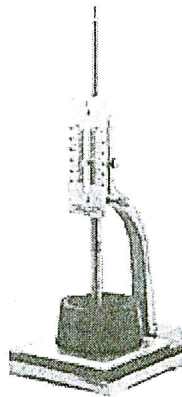
สำหรับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และผงหินปูน เป็นส่วนผสม ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย ความชื้นเหลวปกติของเฟสท์ ระยะเวลาการก่อตัวของเฟสท์ ร้อยละการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ความพรุนของมอร์ตาร์ และกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ และคอนกรีต มีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

3.2.2.1 ความชื้นเหลวปกติของเฟสท์

ความชื้นเหลวปกติของเฟสท์ (normal consistency) กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 187-98 ด้วยเครื่องมือไวแคท (vicat apparatus) (รูปที่ 3.3)

3.2.2.2 ระยะเวลาการก่อตัวของเฟสท์

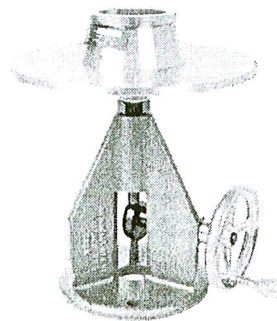
ระยะเวลาการก่อตัว (setting time) ของเฟสท์ ซึ่งทำการทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวระยะต้น (initial setting time) และระยะเวลาก่อตัวระยะปลาย (final setting time) กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 191-99 ด้วยเครื่องมือไวแคท



รูปที่ 3.3 เครื่องมือไวแคท

3.2.2.3 การไหลแผ่ของมอร์ตาร์

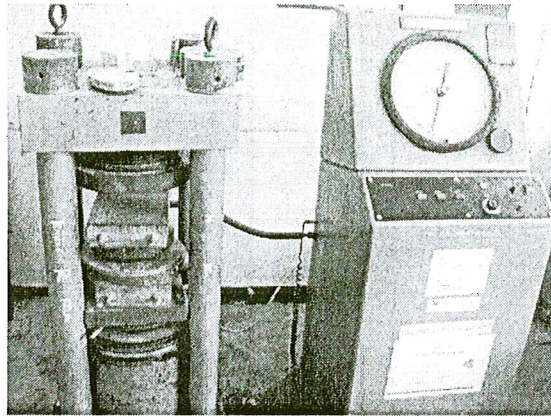
การไหลแผ่ (flow value) ของมอร์ตาร์ กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 109-99 ด้วยโต๊ะทดสอบการไหล (flow table) (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 โต๊ะทดสอบการไหล

3.2.2.3 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์และคอนกรีต

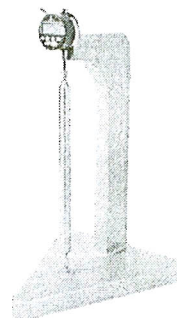
กำลังอัดประลัย (compressive strength) ของมอร์ตาร์ ประยุกต์ใช้มาตรฐาน ASTM C 109 ที่อายุ 3, 7, 28 และ 91 วัน และกำลังอัดของคอนกรีตประยุกต์ใช้มาตรฐานอังกฤษ BS 1881 โดยใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม.³ ที่อายุ 28 และ 365 วัน ด้วยเครื่อง UTM (universal testing machine) (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 เครื่อง UTM (universal testing machine)

3.2.3.4 การหดตัวแห้งของมอร์ตาร์

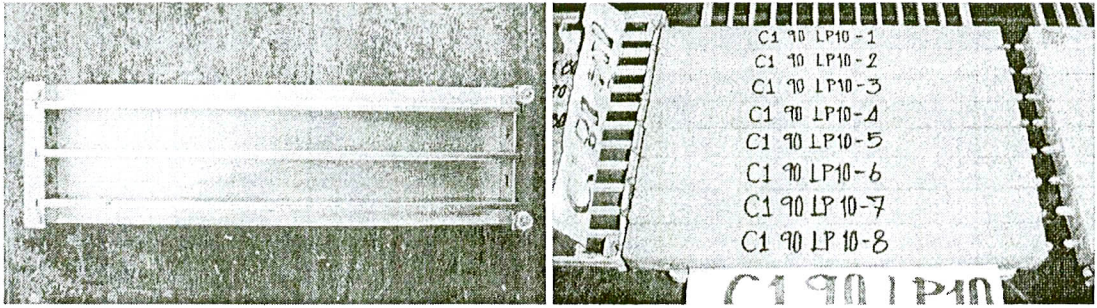
การหดตัวแห้ง (drying shrinkage) ของมอร์ตาร์ กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 596-96 ด้วยเครื่องวัดความยาว (length comparator) (รูปที่ 3.6) โดยมีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความยาว

ก. การเตรียมตัวอย่าง

การทดสอบการหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ ใช้ชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ซึ่งเตรียมขึ้นโดยแบบหล่อตัวอย่างขนาด $25 \times 25 \times 285$ มม. ดังรูปที่ 3.7 โดยในแต่ละสัดส่วนผสมมอร์ตาร์ใช้ชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์จำนวน 4 ชิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ยการหดตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์



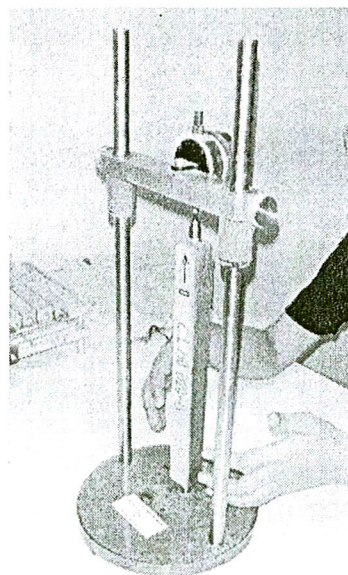
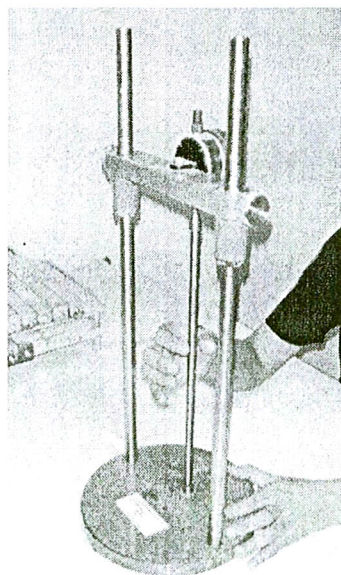
(ก) แบบหล่อ

(ข) ชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ทดสอบการหดตัวแห้ง

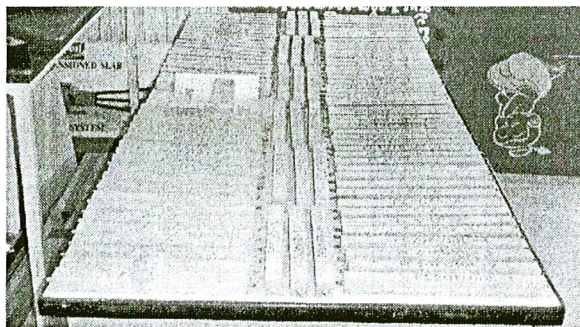
รูปที่ 3.7 แบบหล่อและชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ทดสอบการหดตัวแห้ง

ข. อายุการบ่มและอายุทดสอบการหดตัวแห้ง

หลังจากหล่อชั้นตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมงแล้วนำไปบ่มในน้ำ 7 วัน อุณหภูมิในระหว่างการบ่มเท่ากับ 30 ± 2 °C เมื่อเสร็จสิ้นการบ่มในน้ำ นำชั้นตัวอย่างทั้ง 4 ชั้นของแต่ละสัดส่วนผสมมอร์ตาร์ขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้า หลังจากนั้นนำชั้นตัวอย่างวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐานดังรูปที่ 3.8 ซึ่งค่าที่วัดได้ ณ ขณะนี้จะใช้เป็นค่าความยาวเริ่มต้น เมื่อวัดค่าความยาวแล้ว นำชั้นตัวอย่างบ่มในอากาศที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30 ± 2 °C โดยวางชั้นตัวอย่างบนโต๊ะให้มีระยะห่างของแต่ละชั้นไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.9 หลังจากนั้นทำการวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐานที่อายุบ่มในอากาศต่างๆ คือ 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 42 และ 91 วัน เพื่อหาค่าร้อยละของการหดตัวแห้งที่อายุบ่มต่าง ๆ กัน



รูปที่ 3.8 การวัดความยาวของชั้นตัวอย่างเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐาน



รูปที่ 3.9 ชันตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ป่มในอากาศที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย $30 \pm 2^\circ \text{C}$

ค. การคำนวณร้อยละของการหดตัวแห้ง

ค่าความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐานเริ่มต้น ที่ได้จากการวัดครั้งแรกหลังจากป่มในน้ำ 7 วัน และค่าที่วัดได้ในช่วงอายุป่มในอากาศที่อายุต่างๆ จะนำไปคำนวณค่าร้อยละของการหดตัวแห้ง ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (3.1)

$$\Delta L = \frac{L_x - L_i}{L_g} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย	ΔL	คือ	ค่าการหดตัวแห้ง (%)
	L_x	คือ	ค่าความยาวของชันตัวอย่างเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐานหลังจากป่มในอากาศที่อายุต่างๆ (มม.)
	L_i	คือ	ค่าความยาวของชันตัวอย่างเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐานเริ่มต้น (มม.)
	L_g	คือ	ค่าความยาวของ Gauge Length หรือเท่ากับ 285 มม.

3.3 สัดส่วนผสมของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ใช้วัสดุประสานจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูนซึ่งในที่นี้ใช้ 2 ชนิด คือ ผงหินปูนที่มีความละเอียด 4 ไมครอนและ 14 ไมครอน และเถ้าลอย (fly ash) ของเถ้าถ่านหิน

การศึกษานี้ใช้สัดส่วนของวัสดุประสาน (ยกเว้นกรณีคอนกรีต) ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน
2. ผงหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก
3. เถ้าลอยจะใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก

4. ผงหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

5. ผงหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

6. ผงหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

7. ผงหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 15 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

สำหรับสัดส่วนผสมของเฟสค์ มอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แยกตามคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้ศึกษา โดยมีรายละเอียดของสัดส่วนผสมต่างๆ ดังนี้

ก) สัดส่วนผสมของวัสดุประสานที่ใช้ในการหาค่าความชื้นเหลือปกติและการก่อตัวของเฟสค์ แสดงดังตารางที่ 3.2

ข) สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ความพรุน และกำลังอัด โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน (S/B) เท่ากับ 2.75 แสดงดังตารางที่ 3.3

ค) สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้หาลำกำลังอัดของคอนกรีต โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.55 แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนผสมของเฟสค์วัสดุประสานที่ใช้ในการหาค่าความชื้นเหลือปกติและการก่อตัว

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1	เถ้าลอย	ผงหินปูน	
				4 μ	14 μ
1	PC	1.00	-	-	-
2	PC-5LP4	0.95	-	0.05	-
3	PC-5LP14	0.95	-	-	0.05
4	PC-10LP4	0.90	-	0.10	-
5	PC-10LP14	0.90	-	-	0.10
6	PC-20FA	0.80	0.20	-	-
7	PC-40FA	0.60	0.40	-	-
8	PC-15FA -5LP4	0.80	0.15	0.05	-
9	PC-10FA -10LP4	0.80	0.10	0.10	-
10	PC-30FA -10LP4	0.60	0.30	0.10	-
11	PC-25FA -15LP4	0.60	0.25	0.15	-

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1	เถ้าลอย	ผงหินปูน	
				4μ	14μ
12	PC-15FA -5LP14	0.80	0.15	-	0.05
13	PC-10FA -10LP14	0.80	0.10	-	0.10
14	PC-30FA -10LP14	0.60	0.30	-	0.10
15	PC-25FA -15LP14	0.60	0.25	-	0.15

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ความพรุน กำลังอัดมอร์ตาร์ และการหดตัวแห้ง

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1	เถ้าลอย	ผงหินปูน		ทราย	น้ำ
				4μ	14μ		
1	MC	1.00	-	-	-	2.75	0.55
2	MC-5LP4	0.95	-	0.05	-	2.75	0.55
3	MC-5LP14	0.95	-	-	0.05	2.75	0.55
4	MC-10LP4	0.90	-	0.10	-	2.75	0.55
5	MC-10LP14	0.90	-	-	0.10	2.75	0.55
6	MC-20FA	0.80	0.20	-	-	2.75	0.55
7	MC-40FA	0.60	0.40	-	-	2.75	0.55
8	MC-15FA -5LP4	0.80	0.15	0.05	-	2.75	0.55
9	MC-10FA -10LP4	0.80	0.10	0.10	-	2.75	0.55
10	MC-30FA -10LP4	0.60	0.30	0.10	-	2.75	0.55
11	MC-25FA -15LP4	0.60	0.25	0.15	-	2.75	0.55
12	MC-15FA -5LP14	0.80	0.15	-	0.05	2.75	0.55
13	MC-10FA -10LP14	0.80	0.10	-	0.10	2.75	0.55
14	MC-30FA -10LP14	0.60	0.30	-	0.10	2.75	0.55
15	MC-25FA -15LP14	0.60	0.25	-	0.15	2.75	0.55

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยน้ำหนัก เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ

ประสาน 0.55 ที่ใช้สำหรับหาค่ากำลังอัดคอนกรีต

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กก.)					
		ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	ผงหินปูน 4 μ	ทราย	หิน	น้ำ
1	CC	332	-	-	970	1080	182
2	CC -30FA	233	99	-	970	1080	182
3	CC- 50FA	166	166	-	970	1080	182
4	CC-10 LP4	299	-	33	970	1080	182
5	CC- 20LP4	266	-	66	970	1080	182
6	CC -20FA -10LP4	233	66	33	970	1080	182
7	CC- 10FA-20LP4	233	33	66	970	1080	182
8	CC-40FA-10 LP4	166	133	33	970	1080	182
9	CC -30FA- 20LP4	166	99.5	66.5	970	1080	182

หมายเหตุ อัตราส่วนที่แสดงในตาราง เป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุประสานทั้งหมดในส่วนผสม

- P หมายถึง เฟสค์
- M หมายถึง มอร์ตาร์
- C หมายถึง คอนกรีตและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- LP4 หมายถึง ผุ่นหินปูนความละเอียดประมาณ 4 ไมโครเมตร
- LP14 หมายถึง ผุ่นหินปูนความละเอียดประมาณ 14 ไมโครเมตร
- FA หมายถึง เถ้าลอยจากแหล่งโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- SLP4 หมายถึง แทนที่ผุ่นหินปูนขนาดความละเอียดประมาณ 4 ไมโครเมตรเป็นปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด
- SLP14 หมายถึง แทนที่ผุ่นหินปูนขนาดความละเอียดประมาณ 14 ไมโครเมตรปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด
- 20FA หมายถึง แทนที่เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด