บทที่ 3
วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาจะกล่าวถึง วัสดุที่ใช้ในการศึกษา เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รายละเอียดวิธีการศึกษา การเตรียมสารละลายซัลเฟต และสัดส่วนของมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ผงหินปูน ทราย เถ้าก้นเตา และน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2532 โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ไม่จับตัวเป็นก้อน

2. เถ้าลอย (Fly ash) ใช้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จำนวน 3 ชนิด และจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า BLCP จังหวัดระยอง 1 ชนิด

3. เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) ใช้เถ้าก้นเตาจากจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง 1 ชนิด และจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า BLCP จังหวัดระยอง จำนวน 2 ชนิด

4. ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด (Ground Granulated Blast-furnace slag)

5. ซิลิกาฟูม

6. ผงหินปูนขนาดความละเอียด 8 ไมโครเมตร ใช้ผงหินปูนที่ได้รับการควบคุมคุณภาพในการผลิต มีสิ่งเจือปนน้อย และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นอุตสาหกรรม

7. ทราย ใช้ทรายน้ำจืดนำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาด นำไปอบและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และปรับทรายให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

8. การศึกษาในครั้งนี้ใช้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) เป็นสารละลายละลาย

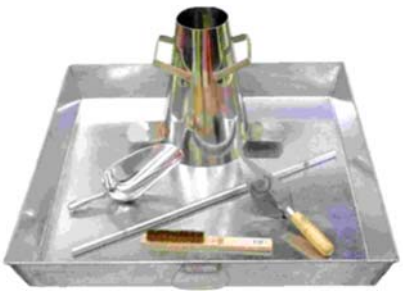
9. น้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปา

3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในศึกษา

สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่สำคัญ ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีดังนี้

3.2.1 เครื่องผสมตัวอย่างคอนกรีตและแบบหล่อ (ภาพที่ 3.1)

แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม.
พร้อมเหล็กกระทุ้งคอนกรีต



ถาดผสมคอนกรีต

เกรียงผสมคอนกรีตและช้อนตักคอนกรีต

ค้อนยาง

เครื่องชั่งหยาบ/ เครื่องชั่งความละเอียด
0.01 กรัม

กระบะพลาสติก สำหรับบ่มคอนกรีต
ตัวอย่าง

ภาพที่ 3.1 เครื่องมือผสมคอนกรีตและแบบหล่อคอนกรีต

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของตัวอย่างคอนกรีต (ภาพที่ 3.2)

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของตัวอย่างคอนกรีต ประกอบไปด้วย

1) เครื่องดูดสูญญากาศ (Vacuum Pump)

2) ถังสุญญากาศ (Vacuum Desiccator)

3) แบบเซลล์

4) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าออก

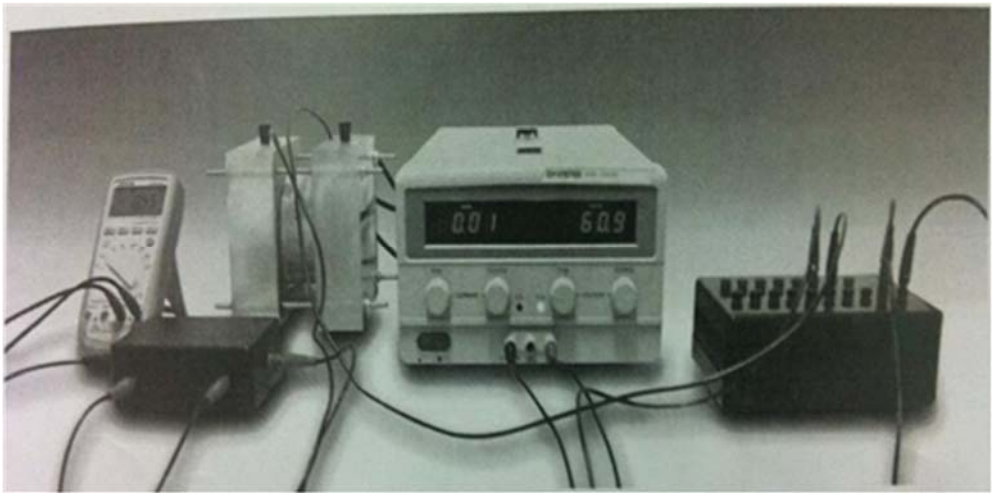
5) สารละลาย NaCl และ NaOH

6) น้ำกลั่น

7) ที่เดิมสารละลาย

8) เครื่องบันทึกค่า Data Logger

9) ซิลิโคลน



ภาพที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของตัวอย่างคอนกรีต

3.3 รายละเอียดวิธีการศึกษา

สำหรับรายละเอียดของวิธีศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน และคุณสมบัติด้านการต้านทานการแทรกซึมลอไรด์ของคอนกรีต เมื่อใช้วัสดุประสานที่ต่างชนิดกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน

ในการศึกษาครั้งนี้คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ได้ทำการศึกษาได้แก่

3.3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 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 ถ่ายภาพอนุภาคของวัสดุประสาน โดยใช้เครื่อง Scanning Electronic Microscope (SEM)

3.3.2 คุณสมบัติด้านการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต

สำหรับรายละเอียดของวิธีการศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตเมื่อใช้วัสดุประสานที่ต่างชนิดกัน โดยทำการประเมินความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ในรูปของปริมาณการแทรกซึมคลอไรด์ของคูลอมบ์ ผ่านแท่งคอนกรีตที่ทำการหล่อแล้วนำไปบ่มในเวลา 7 14 28 และ 56 วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.2.1 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

- ทำความสะอาดแบบหล่อ และทาน้ำมันป้องกันผิวคอนกรีตติดกับแบบหล่อโดยใช้จำนวน 3 แบบต่อหนึ่งอัตราส่วนผสม

- การหล่อตัวอย่างคอนกรีต โดยใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. กระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง จำนวน 3 ชั้น

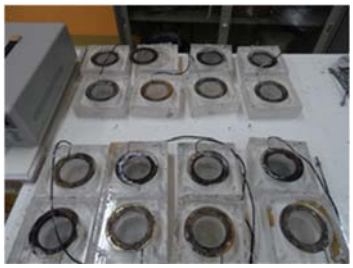
- ถอดแบบเมื่อครบ 24 ชั่วโมง และบ่มตัวอย่างในน้ำเป็นระยะเวลา 7 14 28 และ 56วัน

ภาพที่ 3.3 แสดงการเตรียมตัวอย่างคอนกรีต พร้อมทั้งการตัดเตรียมตัวอย่างคอนกรีตเพื่อใช้ในการทดสอบการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

ภาพที่ 3.3 การหล่อและบ่มตัวอย่างคอนกรีต

3.3.2.1 การเตรียมชิ้นตัวอย่างคอนกรีตเพื่อใช้ทดสอบการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต

สำหรับการศึกษาความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ (chloride penetration resistance) ของตัวอย่างคอนกรีต กระทำตามมาตรฐาน ASTM C 1202 – 97 ด้วยชุดเครื่องมือทดสอบแบบเร่งให้เกิดการแทรกซึมของคลอไรด์อิออน (ภาพที่ 3.4)



ก) เซลล์

ข) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าออก 60 ± 0.1 V

ภาพที่ 3.4 ชุดเครื่องมือทดสอบแบบเร่งให้เกิดการแทรกซึมของคลอไรด์อิออน

การทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของตัวอย่างคอนกรีต ใช้ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตซึ่งเตรียมขึ้นโดยแบบหล่อตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. หนา 50 มม. ภายหลังหล่อชิ้นตัวอย่างคอนกรีตเสร็จแล้ว ทำการหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำสู่สภาวะแวดล้อม หลังจากที่อายุชิ้นตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วบ่มในน้ำที่อุณหภูมิระหว่างการบ่มเท่ากับ 30±2°C ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 7 14 28 และ 56 วัน ตามลำดับ เมื่ออายุของตัวอย่างคอนกรีตครบกำหนดตามระยะเวลาของการบ่ม นำตัวอย่างคอนกรีตดังกล่าวมาตัด โดยใช้เครื่องตัดคอนกรีตจากตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. (ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่องตัดคอนกรีต) ที่ 3.18 ในแต่ละสัดส่วนผสมคอนกรีตใช้ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมด 8 ชิ้น แบ่งชิ้นตัวอย่างออกเป็น 4 ชุด เพื่อทดสอบการต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ที่อายุบ่มต่างๆกัน โดยในแต่ละอายุการบ่มทดสอบใช้ตัวอย่างชุดละ 2 ชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ยความต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ของตัวอย่างคอนกรีต

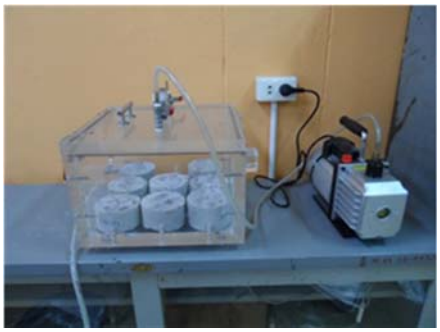
ภาพที่ 3.5 การตัดเตรียมตัวอย่างคอนกรีตขนาด 100 มม. หนา 50 มม.

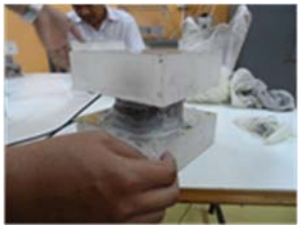
3.3.2.2 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ

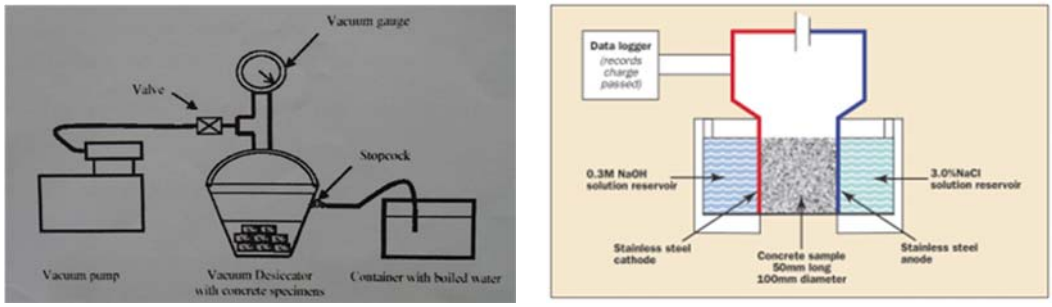
สารละลายที่ใช้ในการทดสอบการต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ของคอนกรีตประกอบด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 และสารละลายโซเดียมไฮดรอคไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ สำหรับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เตรียมโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ 30 กรัมในสารละลาย 1 ลิตร เพื่อให้ได้สารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เตรียมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 12 กรัมละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 1000 กรัม เพื่อให้ได้สารละลายที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์

3.3.2.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของตัวอย่างคอนกรีต

เมื่อครบอายุบ่ม 7 14 28 และ 56 วัน นำชิ้นตัวอย่างคอนกรีต 2 ชิ้นที่เตรียมไว้ทดสอบที่อายุบ่มดังกล่าวเช็ดด้วยผ้า (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. หนา 50 มม.) หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมาใส่ในถังดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump) แล้วจึงเปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อให้เกิดสภาพสุญญากาศในถัง Desiccator ต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดวาล์วปิดเครื่องดูด ใช้ท่อ Stopcock อย่างช้าๆ ให้น้ำกลั่นไหลเข้าสู่ในถังจนท่วมตัวอย่างทั้งหมดโดยขั้นตอนนี้จะไม่ยอมให้อากาศไหลเข้าไปได้ แล้วปิด Stopcock ก่อนที่จะเริ่มเปิดเครื่องดูดสุญญากาศ แล้วเปิดวาล์วใต้ Vacuum Gauge โดยต้องเปิดเครื่อง Vacuum Pump ต่อเนื่องเป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้ทำการปิดเครื่อง Vacuum Pump และทำการต่อท่อกับภาชนะบรรจุน้ำกลั่น แล้วจึงเปิด Stopcock อย่างช้าๆ เพื่อให้น้ำค่อยๆไหลเข้าสู่ถัง Desiccator จนกระทั่งน้ำเริ่มไหลย้อนกลับผ่าน Stopcock จึงเปิด Stopcock ปล่อยให้ตัวอย่างคอนกรีตแช่อยู่ในน้ำเป็นเวลาอีก 18 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดฝาถัง Desiccator นำตัวอย่างแท่งคอนกรีตมาเช็คให้แห้งด้วยผ้าสะอาด ต่อจากนั้นนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมไว้ มาประกอบเข้าไปในเซล (Cell) แล้วเติมสารละลาย NaCl ลงใน Cell ด้านขั้วลบ และเติมสารละลาย NaOH ลงใน Cell ด้านขั้วบวก เมื่อเติมสารละลายเสร็จ นำประกอบเข้ากับชุดทดสอบ ซึ่งการจัดชุดทดสอบมีรายละเอียดดังภาพที่ 3.6 หลังจากนั้นปล่อยแรงดันไฟฟ้าขนาด 60±0.1 โวลต์ผ่านชิ้นตัวอย่างคอนกรีต เครื่อง Data Logger จะทำการอ่านค่ากระแสไฟที่ผ่านตัวอย่างทดสอบของแต่ละ Cell ซึ่งจะทำการบันทึกค่าโดยอัตโนมัติทุกๆ 30 นาที ใช้เวลาทดสอบ 6 ชั่วโมง โดยแสดงผลการทดสอบเป็นค่าประจุไฟฟ้าสะสมที่เคลื่อนผ่านตัวอย่างทดสอบ (total charge passed) มีหน่วยเป็น Coulombs







ภาพที่ 3.6 รายละเอียดการทดสอบการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

3.4 สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ นั้นได้ใช้วัสดุประสานคือ ใช้เถ้าลอยแม่เมาะ 3 ชนิด เถ้าลอย BLCP อีก 1 ชนิด ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม และผงหินปูนขนาดเฉลี่ยอนุภาค 8 ไมโครเมตร แทนที่ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน
- เถ้าลอยทั้ง 4 ชนิด แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก
- ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- ซิลิกาฟูม แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- ผงหินปูน แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- เถ้าลอยแต่ละชนิดแทนที่ในในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด แทนที่ในในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

โดยรายละเอียดของสัดส่วนของคอนกรีตผสมเถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม และผงหินปูน ที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ซิลิกาฟูม และผงหินปูน (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 โดยน้ำหนัก

สัญลักษณ์	วัสดุประสาน					ทราย	หิน	น้ำ
	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	เถ้าลอย	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก	ซิลิกาฟูม	ผงหินปูน			
C	372.0	-	-	-	-	771.1	1003.6	204.6
C-40F(A)	223.2	148.8	-	-	-	771.1	1003.6	204.6
C-40F(B)	223.2	148.8	-	-	-	771.1	1003.6	204.6
C-40F(C)	223.2	148.8	-	-	-	771.1	1003.6	204.6
C-40F(D)	223.2	148.8	-	-	-	771.1	1003.6	204.6
C-30SL	260.4	-	111.6			771.1	1003.6	204.6
C-10SF	334.8	-	-	37.2	-	771.1	1003.6	204.6
C-10LP	334.8	-	-	-	37.2	771.1	1003.6	204.6
C-30F(A)-10LP	223.2	111.6	-	-	37.2	771.1	1003.6	204.6
C-30F(B)-10LP	223.2	111.6	-	-	37.2	771.1	1003.6	204.6
C-30F(C)-10LP	223.2	111.6	-	-	37.2	771.1	1003.6	204.6
C-30F(D)-10LP	223.2	111.6	-	-	37.2	771.1	1003.6	204.6
C-20SL-10LP	260.4	-	74.4		37.2	771.1	1003.6	204.6

ความหมายทางสัญลักษณ์

C หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

F(A) หมายถึง เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ชนิดที่ 1

F(B) หมายถึง เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ชนิดที่ 2

F(C) หมายถึง เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ชนิดที่ 3

F(D) หมายถึง เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า BLCP

SL หมายถึง ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด

SF หมายถึง ซิลิกาฟูม

LP หมายถึง ผงหินปูนความละเอียด 8 ไมโครเมตร

10LP หมายถึง แทนที่ผงหินปูนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทั้งหมด

40FA หมายถึง แทนที่เถ้าลอยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทั้งหมด

30SL หมายถึง แทนที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทั้งหมด

30F(A)-10LP หมายถึง แทนที่เถ้าลอยชนิดที่ 1 ร้อยละ 30 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทั้งหมด