

# ความทนทานของ ซีเมนต์เถ้าลอยผสมฝุ่นหินปูน (ตอนจบ)

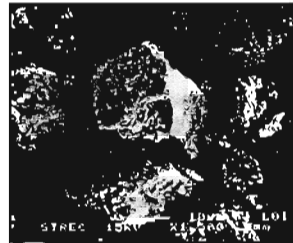
เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติกจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าโดโลไมท์และเถ้าลอย จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้ความชื้นเหลวปกติเพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะของอนุภาคที่คล้ายกัน ดังภาพถ่ายอนุภาคของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย ฝุ่นหินปูนโดโลไมติกและโดโลไมท์ในรูปที่ 3 จะเห็นว่าความละเอียดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำทำให้เฟสที่มีความชื้นเหลวเพิ่มขึ้น แต่จะเห็นว่าระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของซีเมนต์ผสมฝุ่นหินปูนโดโลไมติกมีค่ามากกว่า ทั้งซีเมนต์ผสมฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์และปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความชื้นเหลวปกติของฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติกที่มีค่ามากกว่า

- (ก) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- (ข) เถ้าลอย
- (ค) ฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติก
- (ง) ฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์

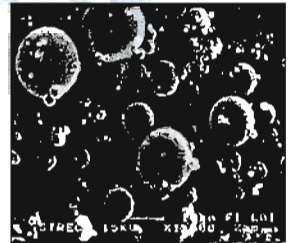
### 3.1 คุณสมบัติทางด้านความทนทานของซีเมนต์มอร์ตาร์

#### 3.1.1 การหดตัวแบบแห้ง

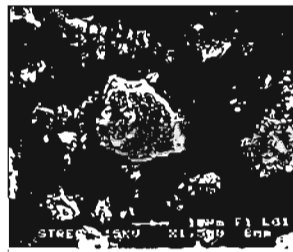
ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและฝุ่นหินโดโลไมติกแสดงในรูปที่ 4 และ 5 พบว่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ปกติและมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจะมีค่าสูงและต่ำที่สุดตามลำดับ ทั้งนี้เพราะในระยะยาวเถ้าลอยจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวทำให้เนื้อมอร์ตาร์มีความ



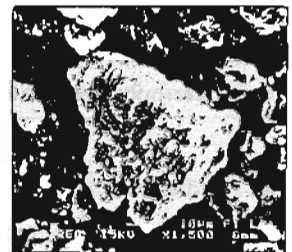
(ก) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



(ข) เถ้าลอย



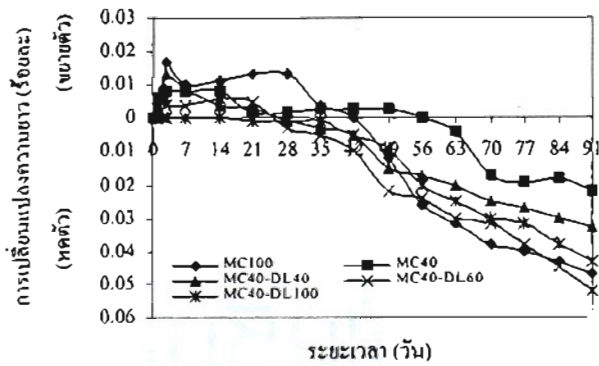
(ค) ฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติก



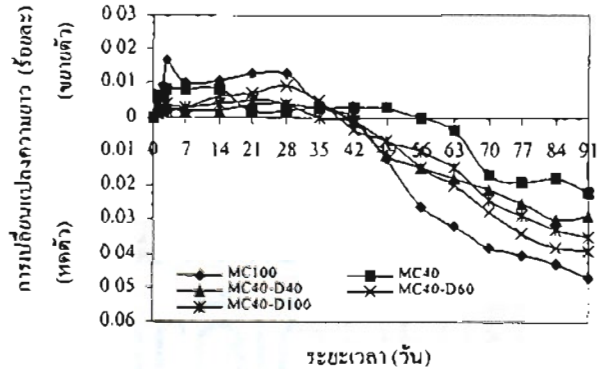
(ง) ฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์

รูปที่ 3 ภาพถ่ายอนุภาคของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย ฝุ่นหินปูนโดโลไมติกและโดโลไมท์ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

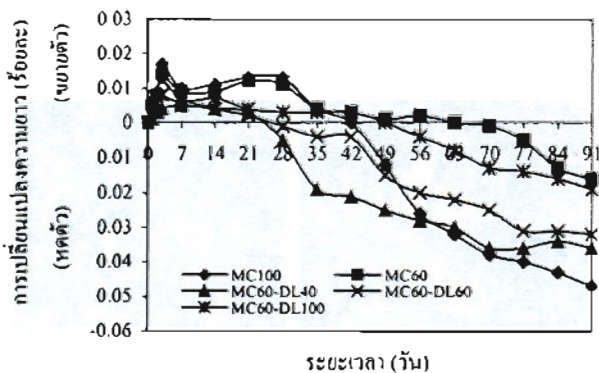
หนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึง การลดทั้งจำนวนและขนาดของโพรงคาพิลลารี ผลก็คือ ความชื้นที่มีในเนื้อมอร์ตาร์สูญเสียให้กับภายนอกลดลง การหดตัวแบบแห้งจึงลดลง ในขณะที่เมื่อทำการแทนที่ฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติกในเถ้าลอยจะทำให้การหดตัวแบบแห้งน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ เนื่องจากผลของความละเอียดของฝุ่นหินปูนที่มีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประกอบกับลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระมากกว่า ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ที่ผิวของอนุภาคได้มากขึ้น โดยจะพบว่า



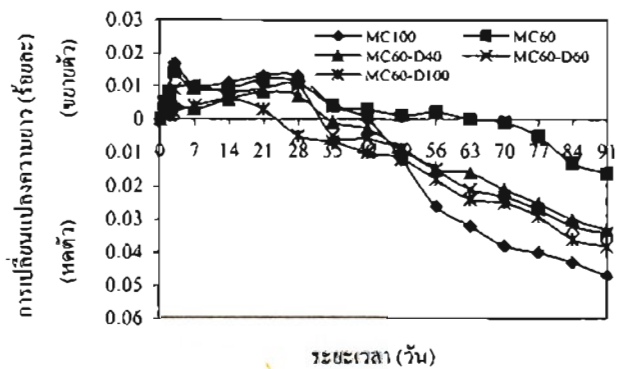
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิกกับระยะเวลา



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิกกับระยะเวลา



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิกกับระยะเวลา



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิกกับระยะเวลา

ในส่วนผสมมอร์ตาร์ได้กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.485 ทำให้มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของฝุ่นหินปูนจะดูดซับน้ำได้มากกว่ามอร์ตาร์ปกติ ทำให้น้ำอิสระ (Free Water) ที่เหลืออยู่มีค่าลดลง เนื่องมอร์ตาร์จึงมีช่องว่างลดลง ประกอบกับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยซึ่งเป็นสารปอซโซลานเมื่อเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกซึ่งต้องใช้น้ำเป็นสารตั้งต้นเหมือนกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงทำให้เหลือน้ำอิสระลดลงตามไปด้วย การหดตัวแบบแห้งจึงลดลง

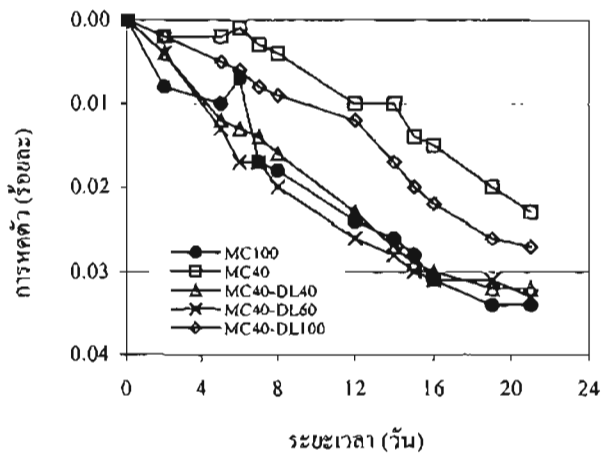
สำหรับการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิก จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับมอร์ตาร์ฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิก ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7

### 3.1.2 การหดตัวแบบอโตจีเนียส

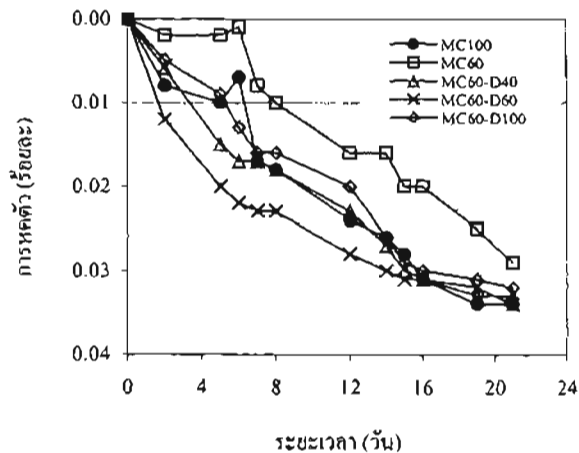
จากรูปที่ 8-11 พบว่าการหดตัวแบบอโตจีเนียสของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและฝุ่นหินปูน ที่มีมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย

จะมีการหดตัวน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ อันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ กล่าวคือ เถ้าลอยมีลักษณะอนุภาคที่กลมกว่าอนุภาคปูนซีเมนต์และฝุ่นหินปูนดังแสดงในรูปที่ 3 ทำให้ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากัน (w/b เท่ากับ 0.485) มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจะมีปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) มากกว่ามอร์ตาร์ปกติและผสมฝุ่นหินปูน เมื่อปฏิกิริยาเกิดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำที่เหลือหลังจากถูกใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชันของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจึงมีมากกว่ามอร์ตาร์ปกติ ประกอบกับเถ้าลอยมีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $SO_3$ ) ซึ่งจะก่อให้เกิดการขยายตัวเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ซึ่งเป็นการต้านการหดตัวที่เกิดขึ้นจากการหดตัวแบบอโตจีเนียสลดลง (11)

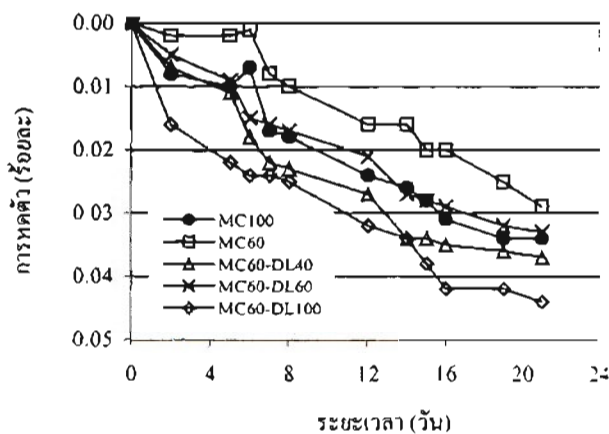
เมื่อพิจารณาในส่วนผสมของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดิกและเถ้าลอย จะเห็นว่าที่อัตราการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 มอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน



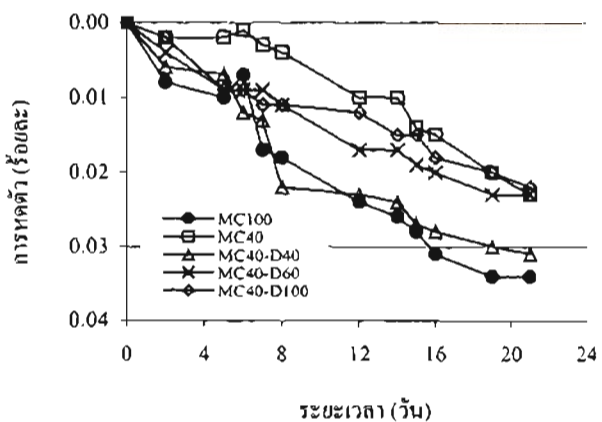
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเกลือลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมต์กับระยะเวลา



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเกลือลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์กับระยะเวลา



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเกลือลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมต์กับระยะเวลา

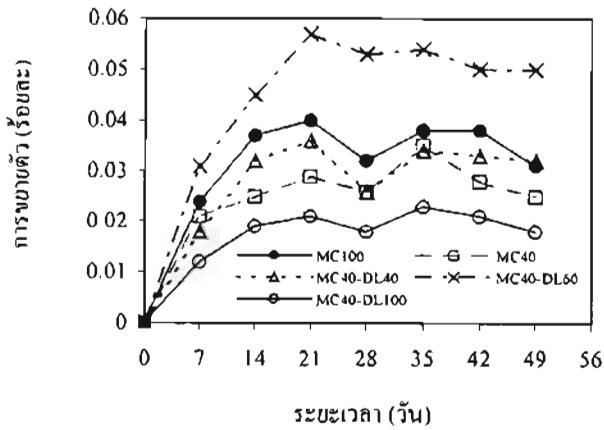


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเกลือลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์กับระยะเวลา

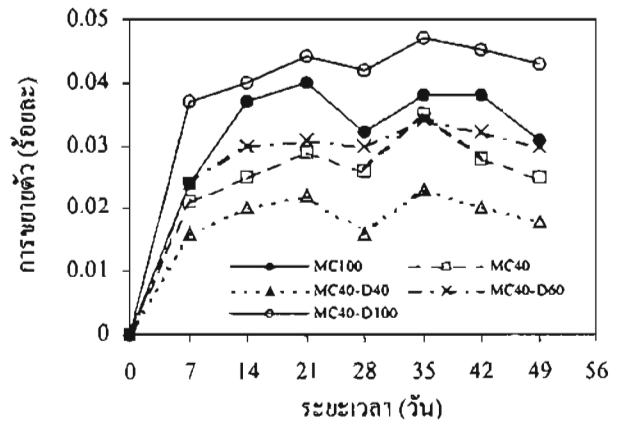
ที่ร้อยละ 40 (MC40-DL40) และ 60 (MC40-DL60) จะมีแนวโน้มของการหดตัวของคอนกรีตน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ อันเนื่องมาจากการแทนที่ด้วยเกลือลอยทำให้ส่วนผสมของมอร์ตาร์มีปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลดลง นั่นคือ มีปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ( $C_3A$ ) และเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ ( $C_4AF$ ) ลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตลดลง (12) แต่จะเห็นว่าในมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน (MC40-DL100) จะมีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่มีเกลือลอย โดยการแทนที่เกลือลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 60 และมีฝุ่นหินปูนแทนที่ในเกลือลอยที่ร้อยละ 40 (MC60-DL40) และ 100 (MC60-DL100) จะมีการหดตัวของคอนกรีตน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ ในขณะที่มอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนที่ร้อยละ 60 (MC60-DL60) จะมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ปกติ ทั้งนี้เพราะเมื่อในส่วนผสมของมอร์ตาร์มีทั้งเกลือลอยและฝุ่นหินปูน จะต้องพิจารณาปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการหดตัว โดยจากการทดสอบจะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของฝุ่นหินปูนจะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการหดตัวของคอนกรีต แต่เนื่องจากผลของการลดลงของปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณเกลือลอยทำให้การหดตัวเปลี่ยนแปลงไป

สำหรับการหดตัวของคอนกรีตของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์ จะมีแนวโน้มที่ต่างไปจากฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมต์ โดยเมื่อมีการแทนที่เกลือลอยที่ร้อยละ 40 จะมีเพียงมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนที่ร้อยละ 40 (MC60-DL40) และ 40 (MC40-DL40) ใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ปกติ ในขณะที่

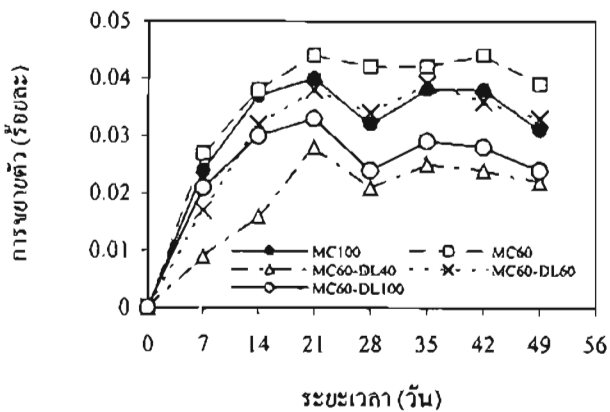




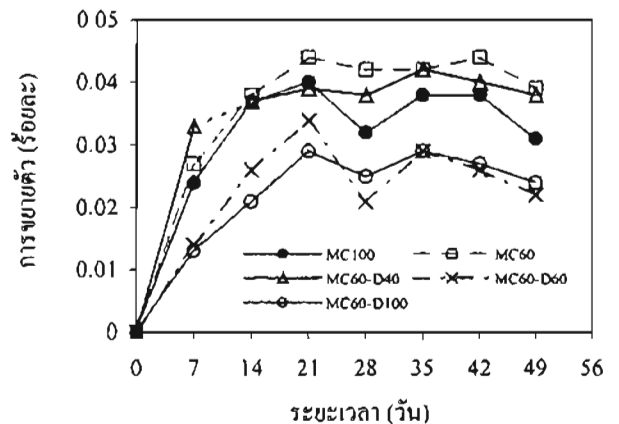
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสม  
 etailoy ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก  
 และฝุ่นหินปูนชนิดโคลิไมต์กับระยะเวลาในการแช่สารละลายซัลเฟต



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสม  
 etailoy ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก  
 และฝุ่นหินปูนชนิดโคลิไมท์กับระยะเวลาในการแช่สารละลายซัลเฟต



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสม  
 etailoy ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก  
 และฝุ่นหินปูนชนิดโคลิไมต์กับระยะเวลาในการแช่สารละลายซัลเฟต



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสม  
 etailoy ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก  
 และฝุ่นหินปูนชนิดโคลิไมท์กับระยะเวลาในการแช่สารละลายซัลเฟต

มอร์ตาร์ ผสมฝุ่นหินปูนที่ร้อยละ 60 (MC40-DL60) และ 100 (MC40-DL100) จะมีค่าต่ำกว่า ดังเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในขณะที่มอร์ตาร์ที่มีปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ค่าการหดตัวของมอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน จะมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ปกติ อันเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณปูนซีเมนต์

### 3.1.3 ความทนทานต่อซัลเฟต

ความสัมพันธ์ของการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) และแมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) ของมอร์ตาร์ในรูปที่ 12-15 พบว่ามอร์ตาร์ซึ่งมีการแทนที่etailoy ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 40 จะมีการขยายตัวน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ ในขณะที่มอร์ตาร์ที่มีetailoy

ในอัตราส่วนร้อยละ 60 จะมีการขยายตัวมากกว่ามอร์ตาร์ปกติ สำหรับมอร์ตาร์ผสมetailoy และฝุ่นหินปูนอื่นจะมีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ เนื่องจากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยสารปอซโซลานทำให้ปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ( $\text{C}_3\text{A}$ ) และเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) ลดลง นอกจากนั้นยังทำให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ที่จะทำปฏิกิริยากับซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ลดลงตามไปด้วย การขยายตัวจึงมีค่าลดลง (13,14)

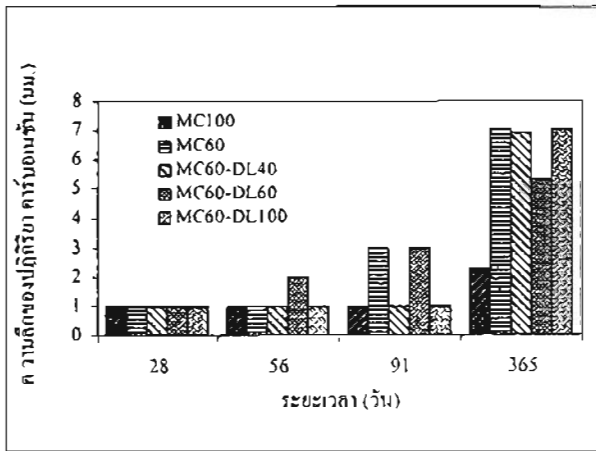
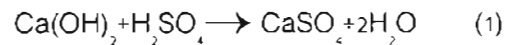
### 3.1.4 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

ผลการทดสอบความลึกของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของมอร์ตาร์ผสมetailoy และฝุ่นหินปูนทั้งสองชนิดแสดงใน

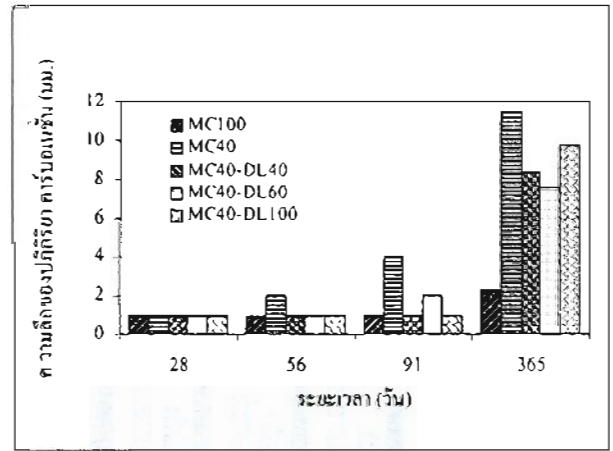
รูปที่ 16-19 พบว่าช่วง 28 วันแรก การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของมอร์ตาร์ปกติและมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและฝุ่นหินปูน จะมีค่าเท่ากัน ในขณะที่ปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของมอร์ตาร์ที่มีอายุ 56, 91 และ 365 วัน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจะมีเกิดปฏิกิริยามากกว่ามอร์ตาร์ปกติ ในขณะที่มอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติกและโดโลไมท์แทนที่ในเถ้าลอยที่ร้อยละ 40 และ 100 จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแทนที่ร้อยละ 60 จะมีค่าลดลง เนื่องจากฝุ่นหินปูนทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกทำให้เนื้อมอร์ตาร์มีความพรุนลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงแทรกซึมเข้าสู่ภายในได้น้อยลงทำให้ความลึกของปฏิกิริยาลดลง

### 3.1.5 ความทนทานต่อกรดซัลฟูริก

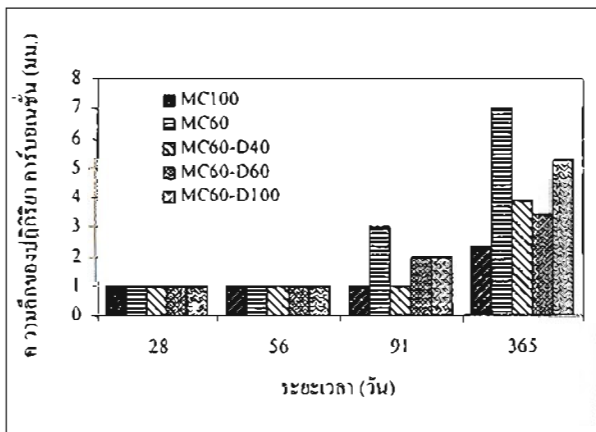
จากความสัมพันธ์ของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักกับระยะเวลาในการแช่แสดงในรูปที่ 20-23 พบว่า การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของมอร์ตาร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่กรดซัลฟูริกที่เพิ่มขึ้น โดยมีปฏิกิริยาเคมีแสดงในสมการที่ 1 เกิดผลิตภัณฑ์เป็นยิปซัม ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ตกตะกอนที่ผิวของมอร์ตาร์ โดยยิปซัมที่เกิดจากซัลเฟตไอออนและแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะมีความสามารถในการละลายต่ำมาก (0.22 กรัมในน้ำ 100 กรัมที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) (15)



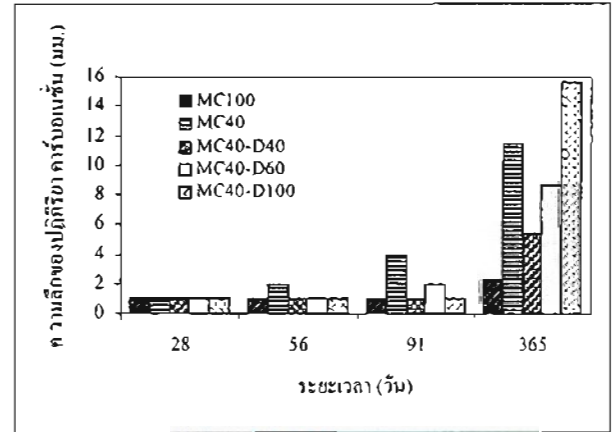
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติกกับระยะเวลา



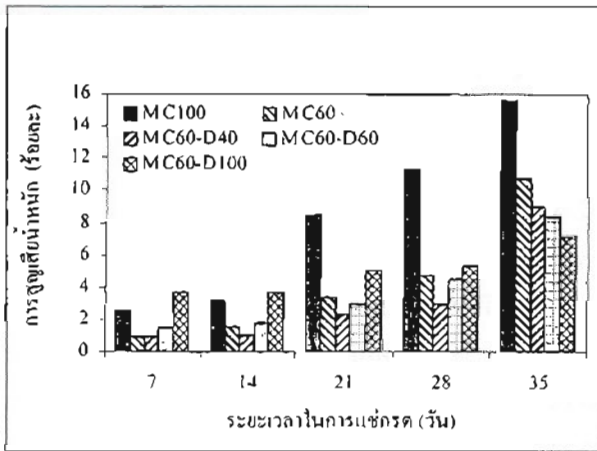
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติกกับระยะเวลา



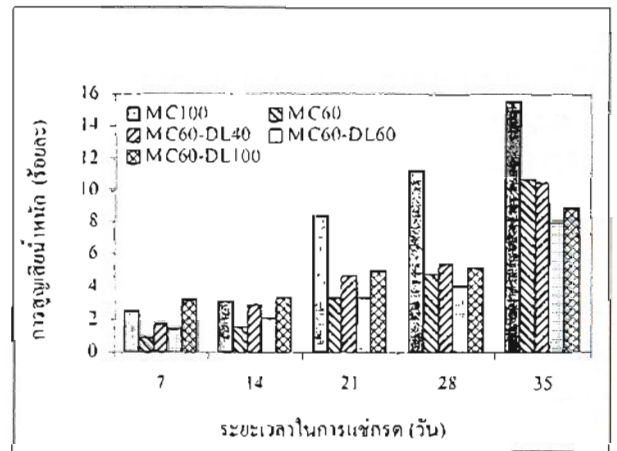
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์กับระยะเวลา



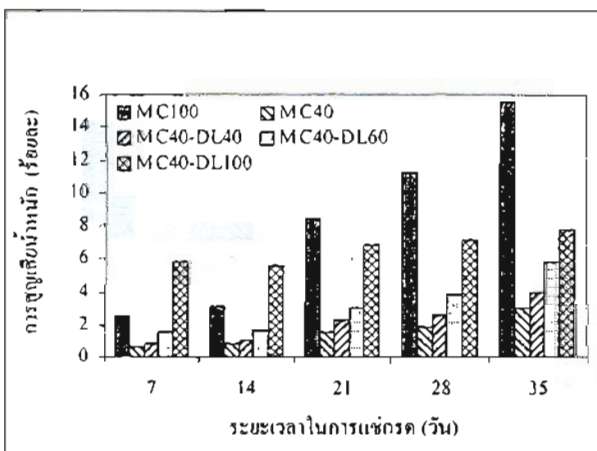
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์กับระยะเวลา



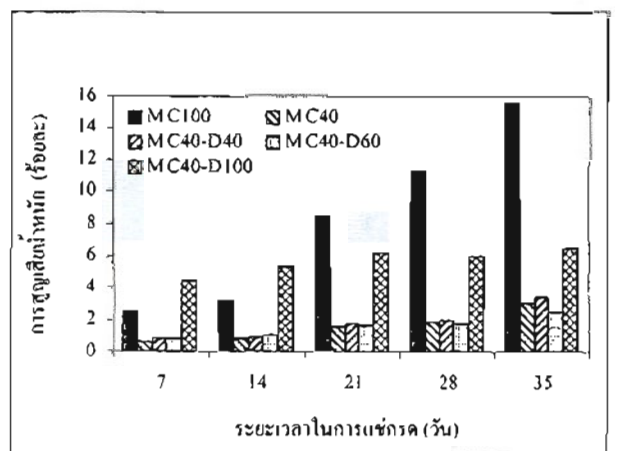
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมแก้ลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดกับระยะเวลา



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมแก้ลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 60 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดกับระยะเวลา



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมแก้ลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดกับระยะเวลา



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมแก้ลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดกับระยะเวลา

สำหรับมอร์ตาร์ผสมแก้ลอยจะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ เนื่องจากการลดลงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์  $Ca(OH)_2$  ลดลงตามไปด้วย ในขณะที่ผสมแก้ลอยที่อัตราส่วนร้อยละ 40 และฝุ่นหินปูนชนิดโพลีโมดและโพลีโมดจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นจากฝุ่นหินปูน ในขณะที่มอร์ตาร์ผสมแก้ลอยในอัตราส่วนร้อยละ 60 และฝุ่นหินปูน จะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มการแทนที่ฝุ่นหินปูนจากร้อยละ 40 เป็น 60 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มการแทนที่ฝุ่นหินปูนจากร้อยละ 60

เป็น 100 เนื่องจากความแตกต่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากฝุ่นหินปูน

## 6. สรุป

6.1 การหอดัวแบบแห้งและแบบอบโอโตจีเนียส การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของมอร์ตาร์ผสมแก้ลอยผสมฝุ่นหินปูนจะมีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ

6.2 ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนชั่นของมอร์ตาร์ผสมแก้ลอยผสมฝุ่นหินปูนจะมีค่าเพิ่มขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ คุณวีระพงษ์ ติวะนันทร และคุณศุภวิชิต ทองแดง ที่ช่วยเหลืองานในห้องปฏิบัติการ คุณปิติ เสรมะชากุล และบริษัท ทีพีโอ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบและการทดสอบ รวมทั้ง บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น (JICA) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

## 8. บรรณานุกรม

1. พิชัย นิมิตยงสกุล และมาโกโตะ อาซึโน, คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, เอกสารประกอบสัมมนาทางวิชาการ เรื่องศักยภาพการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ สำนักวิจัยและพัฒนาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
2. Lane, R.E., and Best] J.F., Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete, Concrete International : Design & Construction, Vol.4, No.7, July 1982, pp. 81-92
3. Malhotra, V. M., Fly Ash in Concrete, Mineral Science Laboratories, CANMET, Natural Resource Canada, Ottawa, Ontario, Canada 2<sup>nd</sup> Edition, 1994.
4. Tangtermsirikul, S. et al., Class C Fly Ash as a Shrinkage Reducer for Cement Paste, Proceeding of the 5<sup>th</sup> CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Wisconsin, USA, June 1995, Vol.1, pp.385-402.
5. Tangtermsirikul, S. and Chatveera, B., Volume Stability of Cement Paste and Mortar using Lignite Fly Ash, Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Conference on Structural Engineering Construction, Johor Bahru, Malaysia, June 1996.
6. Mehta, P.K., Properties of Blended Cement made from RHA, ACI Materials Journal, Vol.74, No.9, September, 1977.
7. อนุวรรตน์ โค้ววารินทร์, 2542, การพัฒนาคอนกรีตความร้อนต่ำโดยใช้เถ้าแกลบ, วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต.
8. บุรฉัตร ฉัตรวีระ และพิชัย นิมิตยงสกุล, ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและสารลดน้ำ, วารสารเทคโนโลยีสุรนารี, 2537.
9. ปิติ เสรมะชากุล, 2544, การใช้ประโยชน์จากผงหินปูนร่วมกับวัสดุปอซโซลาน, วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
10. American Society for Testing and Material, Annual Book of ASTM Standard Vol.4.02, United State of America, 1994.
11. Tangtermsirikul, S. et al., Effect of Chemical Composition and Particle Size of Fly Ash on Autogenous Shrinkage of Paste, International Workshop on Autogenous of Shrinkage of Concrete, Hiroshima, Japan, June, 1998.
12. Tazawa, E., Autogenous Shrinkage of Concrete, 1<sup>st</sup> Edition, E & FN Spon, London, England, 1999.
13. Neville, A.M., Properties of Concrete, 4<sup>th</sup> Edition, Pitman Book Limited, London, England, 1995.
14. คณะอนุกรรมการคอนกรีตวัสดุ ภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, ความคงทนของคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 1, สิงหาคม 2543.
15. Pavlik., Corrosion of Hardened Cement Paste by Acetic and Nitric Acids Part I : Calculation of Corrosion Depth, Cem. Corc. Res., Vol.24, pp.551-562, 1994.

