



## KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

## การประเมินการสึกกร่อนของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน

## Investigation of abrasion of concrete containing pozzolan

นาวิน เกษุนทด<sup>1)</sup> สหลาภ หอมวุฒิวังส์<sup>\*1)</sup> มณีรัตน์ องค์กรณดี<sup>2)</sup>Navin Kakhunthod<sup>1)</sup>, Sahalaph homwuttiwong<sup>\*1)</sup> and Maneerat Ongwandee<sup>2)</sup><sup>1)</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150<sup>2)</sup> ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

Received October 2011

Accepted January 2012

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีต วัสดุปอซโซลาน 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าถ่านหิน เถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าขาน้อย นําวัดวัสดุปอซโซลานเหล่านี้มาปรับปรุงความละเอียดจนมีอนุภาคค้างตะแกรงเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 5 และนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ร้อยละ 0-60 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตัวอย่างคอนกรีตถูกหล่อด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/c) 0.40, 0.45 และ 0.50 แล้วนำไปบ่มขึ้นจนอายุครบการทดสอบ ทำการทดสอบกำลังอัดและการสึกกร่อนตามมาตรฐาน ASTM C1138 (วิธีทดสอบใต้น้ำ) ที่อายุ 28 วัน และทดสอบการสึกกร่อนในสภาพการใช้งานจริง โดยเทพื้นถนนที่มีการสัญจรเป็นประจำด้วยปอซโซลานคอนกรีต จากผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนมีค่าแปรผกผันกับกำลังรับแรงอัดของปอซโซลานคอนกรีต และพบอีกว่าปริมาณการแทนที่ และชนิดของวัสดุปอซโซลานก็มีผลต่อความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อน

**คำสำคัญ :** คอนกรีต การสึกกร่อน วัสดุปอซโซลาน เถ้าถ่านหิน เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าขาน้อย

## Abstract

The aim of this research was to study the abrasion of pozzolan concrete. Fly ash, palm oil fuel ash and bagasse ash were ground until their particle was retained on sieve No.325 less than 5%. All pozzolans were used to replace Portland cement type I in range of 0-60% by weight of cementitious material. Concrete samples were cast with the water to cementitious ratio (w/c) at 0.40, 0.45 and 0.50. All samples were cured in moist condition until the testing age. The strength and abrasion were tested in accordance with the ASTM C1138 (under water method) at age 28 days. Pozzolan concrete were also

\*Corresponding author. Tel.: 043-754-321-40 ext 3078 fax: 043-754-316

observed by placing as a pavement in traffic road. It was found that the trend of the abrasion resistance of concrete was inversely to the compressive strength. In addition, the abrasion resistance was affected by the cement replacement and type of pozzolanic materials.

**Keywords :** Concrete, Abrasion, Pozzolannic material, Fly ash, Palm oil fuel ash, Bagasse ash

## 1. บทนำ

สมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อระบบโครงสร้าง ทำให้สามารถใช้งานอาคารได้ดี ยืดระยะเวลาของการเสื่อมสภาพของคอนกรีตออกไปให้นานมากขึ้น และการสึกกร่อนของคอนกรีตก็นับว่าเป็นตัวแปรหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับความทนทานของคอนกรีต โดยการสึกกร่อนเกิดจากวัสดุประสานบริเวณผิวนอกของคอนกรีตเริ่มหลุดลอกจากการขัดสี ทำให้เกิดความเสียหายหรือร่องรอยต่างๆ ในบริเวณขนาดเล็กและขยายออกเป็นบริเวณกว้าง สามารถทำให้เกิดความเสียหายกับคอนกรีตโครงสร้างได้ในที่สุด การต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับการสึกกร่อนของคอนกรีตพอสมควร เช่น การสึกกร่อนในโครงสร้างทางชลศาสตร์ [1] การสึกกร่อนของผิวจราจรที่เป็นคอนกรีตที่บดน้ำ [2] การศึกษาอิทธิพลของมวลรวมที่มีผลต่อการสึกกร่อน [3] ในกระบวนการผลิตคอนกรีต นอกจากส่วนผสมหลักทั่วไป ซึ่งได้แก่ น้ำ ปูนซีเมนต์ มวลรวม (หินและทราย) และสารผสมเพิ่มอื่นๆ แล้วมีการประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากพบว่าวัสดุปอซโซลานสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ และทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้นในหลายด้าน [4-5] วัสดุปอซโซลานส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากจากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าขานอ้อย เถ้าแกลบ หรือเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ซีโอไลท์ ไดอะตอมไมต์ และเพอร์ไรต์ [6] การศึกษาการการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานที่ผ่านมานั้น โดยส่วนใหญ่แล้วเกี่ยวข้องกับเถ้าถ่านหินซึ่งพบว่าการ

ต้านทานการสึกกร่อนลดลงเมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ [7] แต่เมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่รวมมวลละเอียดกลับทำให้การต้านทานการสึกกร่อนดีขึ้น โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความทนทานการสึกกร่อนของคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลาน และวิเคราะห์อัตราการสึกกร่อนที่อายุ 28 วัน จากระดับการแทนที่ของวัสดุ ปอซโซลานชนิดต่างๆ

## 2. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 2.1 การเตรียมวัสดุ

วัสดุปอซโซลานทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าถ่านหิน เถ้าขานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน นำมาบดละเอียดโดยปริมาณของอนุภาคข้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบในอุณหภูมิ  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วใส่ภาชนะ ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้น มวลรวมละเอียดใช้ทรายละเอียดมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.65 และมวลรวมหยาบใช้หินปูนย่อยขนาดโตสุดไม่เกิน 20 มิลลิเมตรความถ่วงจำเพาะ 2.70 นำมาล้างน้ำ แล้วนำไปอบในอุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วใส่ภาชนะ แล้วปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้น

### 2.2 ส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสมของคอนกรีตในการศึกษาแสดงในตารางที่ 1 โดย วัสดุปอซโซลานที่ผ่านการปรับปรุง

ขนาดแล้วจะถูกนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 40 และ 60 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมมีอัตราส่วนน้ำต่อ สาร ซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.40 0.45 และ 0.50 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 10–15 ซม. และมีการใช้สารลดน้ำช่วยปรับให้ค่าการยุบตัวของ

คอนกรีตอยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อหล่อตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง ตัวอย่างคอนกรีตจะถูกถอดแบบและนำไปบ่มในน้ำจนกระทั่งถึงอายุการทดสอบการสึกกร่อนที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของคอนกรีต และ กำลังที่อายุ 28 วัน

| Mix Proportions( kg/m <sup>3</sup> ) |        |     |     |     |      |             |       |      |
|--------------------------------------|--------|-----|-----|-----|------|-------------|-------|------|
| Mixtures                             | Cement | FA  | PA  | BA  | Sand | Coarse Agg. | SP(g) | w/c  |
| 40CT                                 | 513    | -   | -   | -   | 696  | 1023        | 250   | 0.40 |
| 40FA20                               | 410    | 103 | -   | -   | 655  | 1023        | 750   | 0.40 |
| 40BA20                               | 410    | -   | 103 | -   | 654  | 1023        | 750   | 0.40 |
| 40PA20                               | 410    | -   | -   | 103 | 650  | 1023        | 750   | 0.40 |
| 45CT                                 | 513    | -   | -   | -   | 670  | 1023        | 275   | 0.45 |
| 45FA20                               | 410    | 103 | -   | -   | 629  | 1023        | 375   | 0.45 |
| 45FA40                               | 308    | 205 | -   | -   | 587  | 1023        | 250   | 0.45 |
| 45FA60                               | 205    | 308 | -   | -   | 545  | 1023        | 500   | 0.45 |
| 45BA20                               | 410    | -   | 103 | -   | 628  | 1023        | 375   | 0.45 |
| 45BA40                               | 308    | -   | 205 | -   | 586  | 1023        | 750   | 0.45 |
| 45BA60                               | 206    | -   | 308 | -   | 544  | 1023        | 1250  | 0.45 |
| 45PA20                               | 410    | -   | -   | 103 | 628  | 1023        | 375   | 0.45 |
| 45PA40                               | 308    | -   | -   | 205 | 586  | 1023        | 750   | 0.45 |
| 45PA60                               | 206    | -   | -   | 308 | 542  | 1023        | 1250  | 0.45 |
| 48CT                                 | 513    | -   | -   | -   | 654  | 1023        | 87.5  | 0.48 |
| 50CT                                 | 513    | -   | -   | -   | 644  | 1023        | 0     | 0.50 |
| 50FA20                               | 410    | 103 | -   | -   | 602  | 1023        | 25    | 0.50 |
| 50BA20                               | 410    | -   | 103 | -   | 602  | 1023        | 100   | 0.50 |
| 50PA20                               | 410    | -   | -   | 103 | 601  | 1023        | 100   | 0.50 |

iCT = controlled concrete, FA = fly ash, BA = bagasse ash, PA = palm oil fuel ash,  
SP = superplasticizer

### 2.3 การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีต

(1) คุณสมบัติของคอนกรีตสด ทำการหาค่าการยุบตัวตาม มาตรฐาน ASTM C 143 [8] โดยกำหนดให้ค่ายุบตัวอยู่ระหว่าง 10-15 ซม.

(2) กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตรทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression machine) ASTM C 39 [9]

(3) ความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตตามมาตรฐาน (Under water method) ASTM C 1138 [10] ทดสอบการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตโดยวิธีได้น้ำ ใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 302 มม. หนา 102 มม. ที่อายุ 28 วันโดยนำตัวอย่างคอนกรีตไปติดตั้งไว้ในชุดทดสอบการสึกกร่อน ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากนั้นนำลูกเหล็กกลมสแตนเลส วางบนผิวของตัวอย่าง จำนวน ขนาด และชั้นคุณภาพของลูกเหล็กทรงกลมให้เป็นตามมาตรฐานกำหนด จากนั้นเติมน้ำให้ได้ระดับ และทำการเปิดเครื่องและทำการทดสอบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาประเมินและคำนวณผลของการสึกกร่อน เมื่อบันทึกผลเสร็จแล้วก็นำตัวอย่างกลับเข้าไปทำการทดสอบเหมือนเดิม ทำการทดสอบตามขั้นตอนดังกล่าวจำนวน 6 รอบ ข้อมูลที่ได้ นำมาคำนวณ ดังสมการ (1)-(3) เพื่อประเมินค่าการสึกกร่อนตามช่วงเวลาต่างๆ

$$V_t = \frac{W_{air} - W_{Water}}{G_w} \quad (1)$$

เมื่อ

$V_t$  = ปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีต ณ เวลาทดสอบต่างๆ (ม.<sup>3</sup>)

$W_{air}$  = น้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตที่ชั่งในอากาศ ณ เวลาทดสอบต่างๆ (กก.)

$W_{Water}$  = น้ำหนักตัวอย่างของคอนกรีตที่ชั่งในน้ำ ณ เวลาทดสอบต่างๆ (กก.)

$G_w$  = หน่วยน้ำหนักของน้ำ (กก./ ม.<sup>3</sup>)

และ คำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนักที่มีค่าเพิ่มขึ้นของตัวอย่างคอนกรีต ทุกๆช่วงเวลาต่างๆ

$$V_{Lt} = V_i - V_t \quad (2)$$

เมื่อ

$V_{Lt}$  = ปริมาตรการสึกกร่อนของตัวอย่างคอนกรีตที่มีค่าเพิ่มขึ้น (ม.<sup>3</sup>)

$V_i$  = ปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตก่อนการทดสอบ ณ เวลาทดสอบต่างๆ (ม.<sup>3</sup>)

$V_t$  = ปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตหลังการทดสอบ ณ เวลาทดสอบต่างๆ (ม.<sup>3</sup>)

และ คำนวณค่าความลึกจากการสึกกร่อนของก้อนตัวอย่างที่มีค่าเพิ่มขึ้น ทุกๆช่วงเวลาต่างๆ

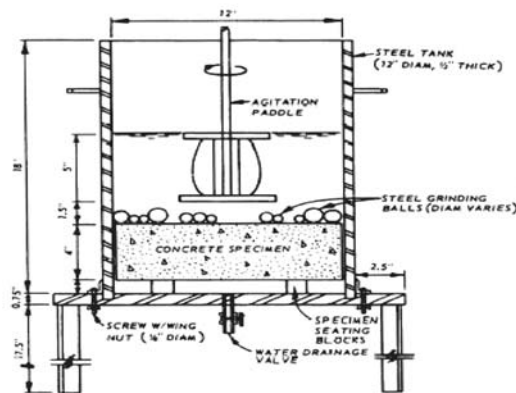
$$A_{Dat} = VL_t / A \quad (3)$$

เมื่อ

$A_{Dat}$  = ค่าความลึกของตัวอย่างคอนกรีตจากการสึกกร่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ณ เวลาทดสอบต่างๆ (ม.)

$VL_t$  = ปริมาตรการสึกกร่อนของตัวอย่างคอนกรีตที่มีค่าเพิ่มขึ้น ณ เวลาทดสอบต่างๆ (ม.<sup>3</sup>)

$A$  = พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวอย่างคอนกรีต (ม.<sup>2</sup>)



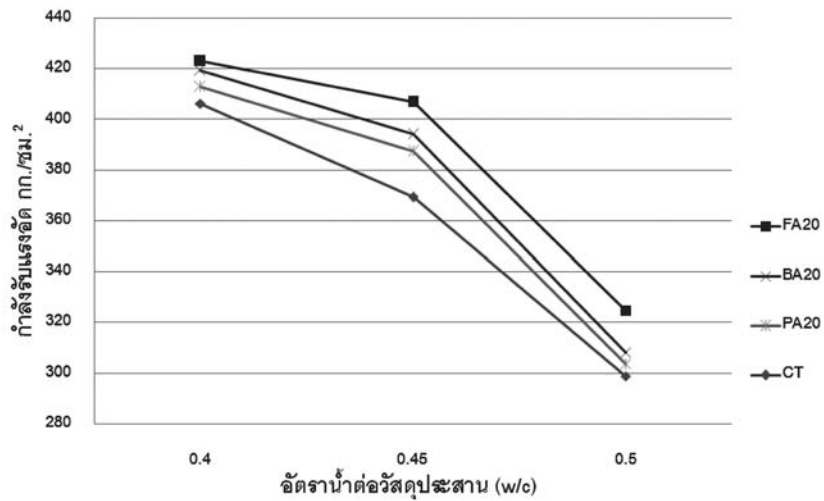
รูปที่ 1 ชุดทดสอบการสึกกร่อนและรายละเอียดภายในเครื่องทดสอบการสึกกร่อน ASTM C 1138 (under water method)

### 3.ผลการวิเคราะห์และอภิปราย

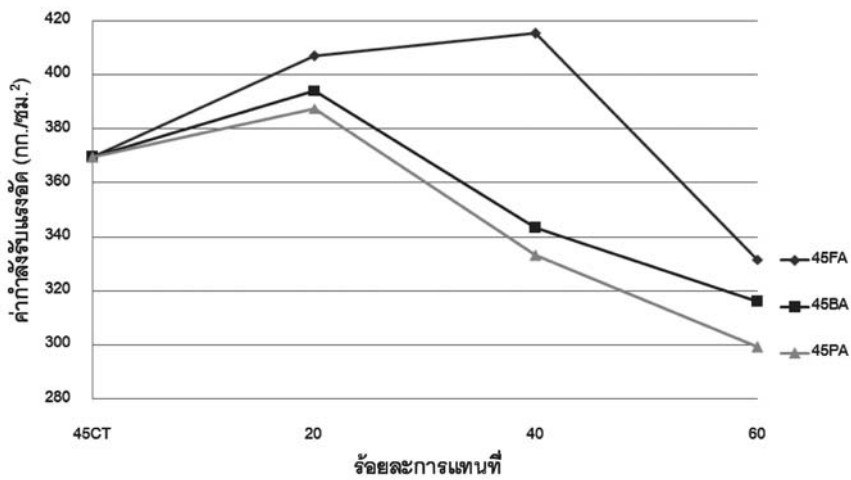
#### 3.1 กำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตควบคุมมีกำลังอัดเท่ากับ 406, 369 และ 299 กก./ $\text{cm}^2$ . สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์

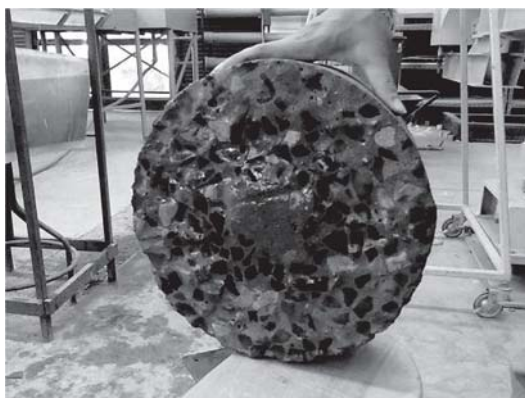
(w/c) เท่ากับ 0.40, 0.45 และ 0.50 ตามลำดับ ในรูปที่ 2 แสดงค่าความสัมพันธ์ของกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน กับอัตราน้ำต่อสารซีเมนต์ (w/c) พบว่าคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานร้อยละ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นภายหลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์คือซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ในวัสดุปอซโซลาน จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จึงได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพัฒนาสูงขึ้น [11] สำหรับในรูปที่ 3 เป็นการแสดงค่าความสัมพันธ์ ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กับปริมาณการแทนที่วัสดุปอซโซลานทั้ง 3 ชนิด คือ เถ้าถ่านหิน เถ้าขาน้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.45 พบว่าปูนซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินที่ร้อยละ 40 จะเป็นระดับการแทนที่ที่ให้กำลังอัดสูงสุด โดยค่ากำลังเท่ากับ 415 กก./ $\text{cm}^2$ . แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินถึงร้อยละ 60 กำลังรับแรงอัดที่ได้กลับลดลงเท่ากับ 331 กก./ $\text{cm}^2$ . ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมสำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขาน้อยและเถ้าปาล์มน้ำมันมีอัตราการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน คือเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 20 จะเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดและทำให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมคือ 394 กก./ $\text{cm}^2$  และ 387 กก./ $\text{cm}^2$ . ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ร้อยละ 40 และ 60 ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยวัสดุทั้งสองชนิด กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกลับลดลงต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม โดยมีกำลังอัดเพียงร้อยละ 75 และ 80 ของคอนกรีตควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [12]



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุ 28 วัน กับอัตราน้ำต่อสารซีเมนต์



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณการแทนที่วัสดุปอซโซลาน (w/c=0.45)



รูปที่ 4 ตัวอย่างคอนกรีตที่ถูกทดสอบการซึ่กร่อน

### 3.2 การซึ่กร่อนของคอนกรีต

จากผลการทดสอบการซึ่กร่อนของตัวอย่างคอนกรีต ที่ 72 ชั่วโมง แสดงรูปที่ 4 และตารางที่ 2 พบว่าคอนกรีตควบคุมมีค่าการซึ่กร่อนเท่ากับ 0.974, 1.060 และ 1.114 มิลลิเมตร สำหรับค่าอัตราน้ำต่อสารซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.40, 0.45 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการซึ่กร่อนของคอนกรีตควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า w/c และเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานก็พบว่า คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน มีความต้านทานการซึ่กร่อนดีกว่าคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานทุกชนิด แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของการซึ่กร่อนกับค่าอัตรา

ส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ของคอนกรีตชนิดต่างๆ สำหรับคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน พบว่าการแทนที่ร้อยละ 20 ของวัสดุปอซโซลานทั้งสามชนิดให้ค่าการซึ่กร่อนที่ใกล้เคียงกัน และยังพบอีกว่า ค่าการซึ่กร่อนของปอซโซลานคอนกรีต มีค่าแปรผกผันกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กล่าวคือเมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดมากขึ้นค่าการซึ่กร่อนก็จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [13-14]

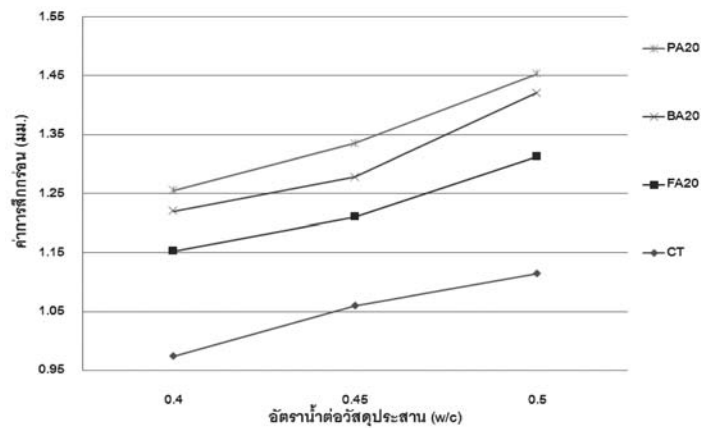
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ค่าการซึ่กร่อนกับปริมาณการแทนที่ พบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินมีการซึ่กร่อนต่ำที่สุดเมื่อแทนที่ร้อยละ 40 แต่ก็ยังสูงกว่าคอนกรีตควบคุมและเมื่อเพิ่มการแทนที่เป็นร้อยละ 60 การซึ่กร่อนก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับเถ้าขาน้อยและเถ้าปาล์มน้ำมันจะมีการซึ่กร่อนที่ใกล้เคียงกัน คือ ที่ร้อยละ 20 มีค่าการซึ่กร่อนต่ำที่สุด และเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ ที่ร้อยละ 40 และ 60 ตามลำดับ โดยที่เถ้าขาน้อยมีอัตราการซึ่กร่อนต่ำกว่าเถ้าปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของการซึ่กร่อนกับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตชนิดต่างๆ พบว่าค่าการซึ่กร่อนมีค่าแปรผกผันกับกำลังรับแรงอัด สำหรับคอนกรีตควบคุมและปอซโซลานคอนกรีต (w/c=0.45) และมีค่าความเบี่ยงเบน ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.933 และ 0.884 ตามลำดับ

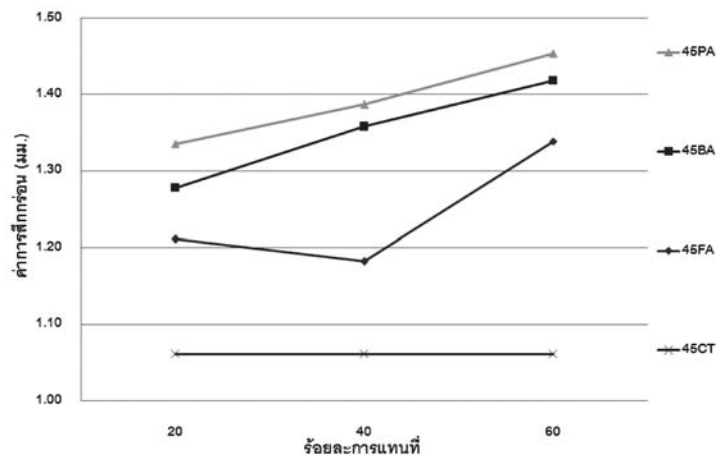
ตารางที่ 2 ค่าการสึกกร่อนที่เพิ่มขึ้นของปอชโซลานคอนกรีต

| Mixture | Abrasion (mm.)   |                  |                  |                  |                  |                  | Comp.strength (ksc) |
|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
|         | ADA <sub>1</sub> | ADA <sub>2</sub> | ADA <sub>3</sub> | ADA <sub>4</sub> | ADA <sub>5</sub> | ADA <sub>6</sub> |                     |
|         | 12 Hr.           | 24 Hr.           | 36 Hr.           | 48 Hr.           | 60 Hr.           | 72 Hr.           |                     |
| CT40    | 0.438            | 0.594            | 0.693            | 0.789            | 0.907            | 0.974            | 406                 |
| 40FA20  | 0.636            | 0.767            | 0.872            | 0.987            | 1.111            | 1.153            | 423                 |
| 40BA20  | 0.668            | 0.798            | 0.894            | 1.025            | 1.143            | 1.220            | 420                 |
| 40PA20  | 0.706            | 0.859            | 0.955            | 1.041            | 1.159            | 1.25             | 413                 |
| 45CT    | 0.505            | 0.613            | 0.722            | 0.818            | 0.933            | 1.060            | 369                 |
| 45FA20  | 0.648            | 0.792            | 0.910            | 0.997            | 1.124            | 1.211            | 407                 |
| 45FA40  | 0.591            | 0.693            | 0.827            | 0.917            | 1.051            | 1.182            | 415                 |
| 45FA60  | 0.882            | 0.942            | 1.048            | 1.127            | 1.242            | 1.338            | 331                 |
| 45BA20  | 0.725            | 0.811            | 0.92             | 1.054            | 1.163            | 1.226            | 394                 |
| 45BA40  | 0.917            | 0.965            | 1.064            | 1.166            | 1.258            | 1.357            | 343                 |
| 45BA60  | 0.977            | 1.060            | 1.169            | 1.242            | 1.319            | 1.418            | 316                 |
| 45PA20  | 0.712            | 0.878            | 0.974            | 1.118            | 1.211            | 1.335            | 387                 |
| 45PA40  | 0.939            | 1.000            | 1.070            | 1.172            | 1.262            | 1.386            | 333                 |
| 45PA60  | 0.993            | 1.092            | 1.163            | 1.258            | 1.322            | 1.453            | 299                 |
| 48CT3   | 0.540            | 0.636            | 0.731            | 0.824            | 0.958            | 1.070            | 358                 |
| 50CT4   | 0.664            | 0.757            | 0.821            | 0.875            | 0.971            | 1.115            | 299                 |
| 50FA20  | 0.917            | 0.974            | 1.060            | 1.150            | 1.214            | 1.313            | 325                 |
| 50BA20  | 0.952            | 1.032            | 1.105            | 1.201            | 1.316            | 1.421            | 308                 |
| 50PA20  | 1.012            | 1.054            | 1.134            | 1.226            | 1.338            | 1.453            | 304                 |

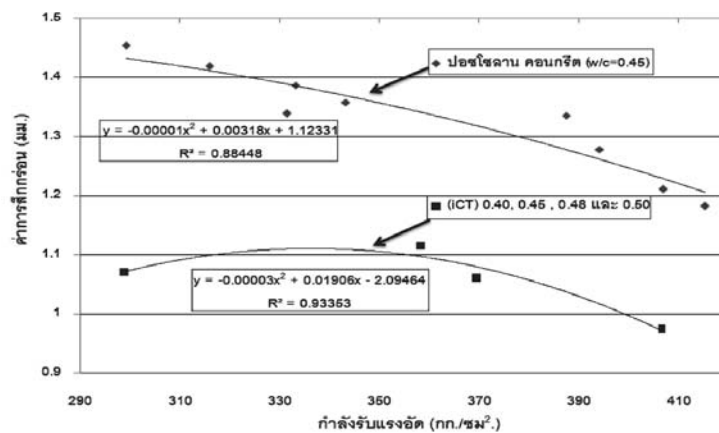
iCT = controlled concrete, FA=fly ash , BA=bagasse ash , PA= palm oil fuel ash



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการสึกกร่อนกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/c)



รูปที่ 6 อัตราการสึกกร่อนที่ 72 ชั่วโมง เทียบกับชนิดและปริมาณการแทนที่ (w/c=0.45)



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดกับอัตราการสึกกร่อน



**รูปที่ 8** บริเวณทดสอบพื้นคอนกรีตในถนนที่  
สัญญาณจราจร

### 3.3 การสึกกร่อนในพื้นที่การใช้งานจริง

จากการทดสอบการสึกกร่อนของปอซโซลาน  
คอนกรีตในสภาพการใช้งานจริง โดยนำคอนกรีตที่มี  
วัสดุปอซโซลานทั้งสามชนิดแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ

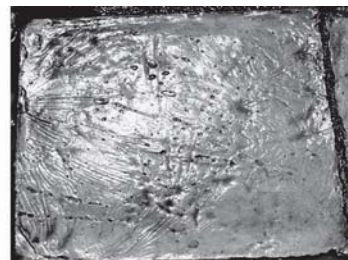
20 40 และ 60 และมีค่า  $w/c = 0.45$  โดยเรียงตามลำดับ  
ส่วนผสมในตารางที่ 1 และอยู่ในแนวถนนเดียวกัน  
ทั้งหมด ทำเป็นพื้นผิวถนนในบริเวณที่มีการสัญจรจริง  
ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าที่ระดับการแทนที่ของปอซโซ  
ลานร้อยละ 20 สภาพผิวหน้าของคอนกรีตผสมเถ้า  
ถ่านหินที่ร้อยละ 20 และ 40 ไม่แตกต่างจากคอนกรีต  
ควบคุม แต่สำหรับคอนกรีตผสม เถ้าขาน้อยและเถ้า  
ปาล์มน้ำมัน ที่ระดับการแทนที่ตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป  
และถ้าถ่านหินที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 60 เริ่มมีค่า  
การสึกกร่อนที่ชัดเจน โดยมีการหลุดร่อนของผิวหน้า  
คอนกรีต และสังเกตเห็นผิวของรวมหยาบได้มากกว่า  
คอนกรีตควบคุม และเกิดความเสียหายที่บริเวณขอบ  
ของแผ่นพื้น เป็นร่องและรอยแยกขนาดเล็กกระจาย  
ทั่วทั้งแผ่นดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10



15 วัน

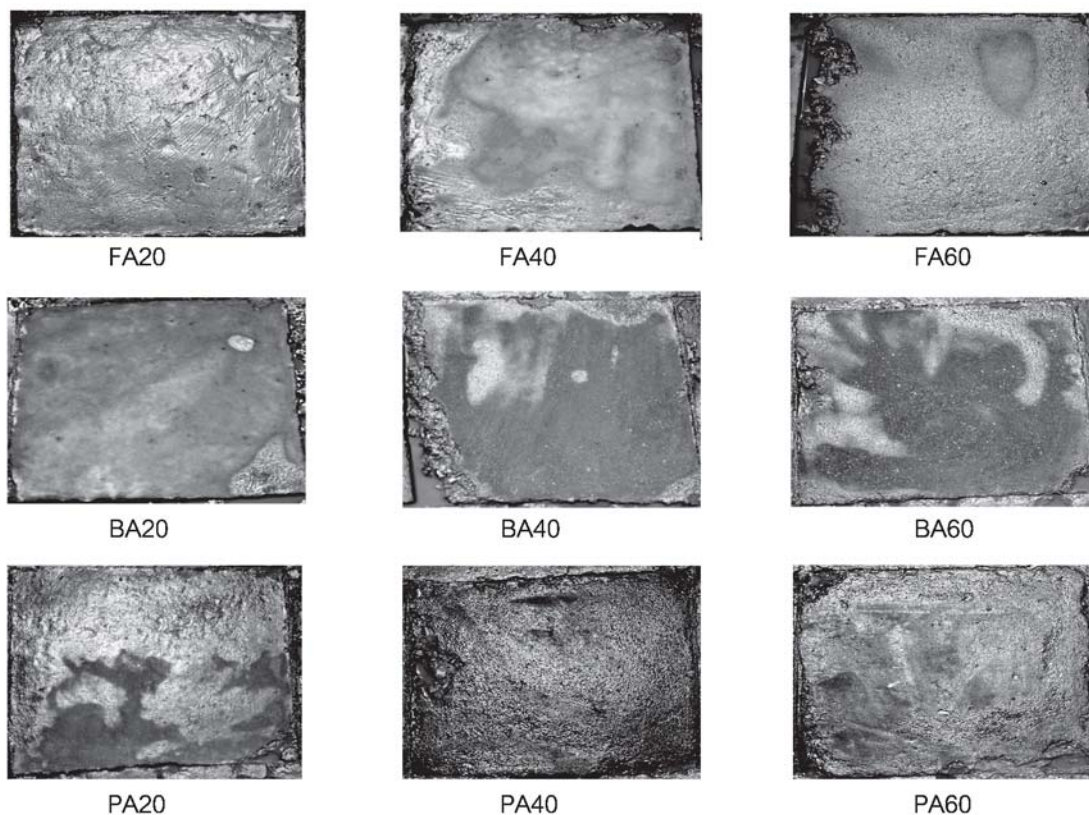


3 เดือน



9 เดือน

**รูปที่ 9** คอนกรีตควบคุม (45CT) ที่อายุต่างๆ



รูปที่ 10 ภาพการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีตที่อายุ 9 เดือน

#### 4. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาค่าการต้านทานการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีตที่อายุ 28 วัน พบว่าอัตราน้ำต่อสารซีเมนต์ ( $w/c$ ) มีอิทธิพลต่อระดับการสึกกร่อน กล่าวคือเมื่อออกแบบส่วนผสมให้ค่า  $w/c$  มีค่ามากขึ้นค่าการสึกกร่อนก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำลง และพบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน ก็ทำให้ค่าการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีตมากขึ้นและสูงกว่าคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการพัฒนาของปฏิกิริยาปอซโซลาน ที่อายุ 28 วันยังไม่สมบูรณ์

จึงทำให้ความต้านทานต่อการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีตมีแนวโน้มต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมทุกส่วนผสม และทุกระดับการแทนที่ และเมื่อพิจารณาในส่วนของการผสมวัสดุปอซโซลานแล้ว พบว่าถ้าผ่านหินมีอัตราการสึกกร่อนที่ต่ำที่สุด

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และพื้นที่ในการทดสอบการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีต

## 6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Horszczaruk E. Abrasion resistance of high-strength concrete in hydraulic structures, *Wear*. 2005;259(1-6):62-69.
- [2] Yang J, and Jiang G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. *Cement and Concrete Research*. 2003;33(3):381-386.
- [3] Kilic A, Atis C D, Teymen A, Karahan O, Ozcan F, Bilim C, Ozdemur M. The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cement & Concrete Composites*. 2007;30 (4): 290-296.
- [4] Rukzon S. Use of Rice Husk-Bark Ash by Grinding to Finesse in Concrete. *KKU Engineering Journal*. 2005;32(3):423-440. (In Thai)
- [5] Sata V. The Use of Local Pozzolan in Fiber Reinforced Concrete. *KKU Engineering Journal*. 2010;38(1):29-37. (In Thai)
- [6] Phoo-ngernkham T and Sinsiri T. Workability and Compressive Strength of Geopolymer Mortar from Fly Ash Containing Diatomite. *KKU Engineering Journal*. 2011;38(1): 11-26. (In Thai)
- [7] Siddique R. Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete, *Cement and Concrete Research*. 2004;34 (3):1877-1881.
- [8] American Society for Testing and Materials. ASTM C143-90a. Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete, *Annual Book of ASTM Standard*. 2001; 04(02):89-91.
- [9] American Society for Testing and Materials ASTM C39-02. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, *Annual Book ASTM Standards*. 2002;04(02).
- [10] American Society for Testing and Materials. ASTM C 1138-97. Standard test method for abrasion resistance of concrete (Underwater Method) *Annual Book of ASTM Standards*. 2002;04(02).
- [11] Chindaprasit P, Jaturapikakul C. Cement pozzolan and concrete. *Thailand Concrete Association (TCA)*. 2010:308-309 (In Thai)
- [12] Sata V, Jaturapitakul C, Kiattikomol K. Utilization of Palm Oil Fuel Ash in High-Strength Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. ASCE. 2004;16(6):623-628.
- [13] Liu Y W, Yen T, Hsu T H. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand. *Cement and Concrete Research*. 2005;36(10): 1814-1820.
- [14] Liu Y W. Improving the abrasion resistance of hydraulic-concrete containing surface crack by adding silica fume. *Construction and Building Materials*. 2007;2(5):972-977.