



ผลของปริมาณซิลิกาอสัณฐานในเพอร์ไลต์ต่อกำลังอัดและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์ผสม

Influence of amorphous silica in perlite on compressive strength and pozzolanic reaction of blended cement paste

ปิยะฉัตร ศุภวิทยาเจริญกุล วันโชค เครือหงษ์ และ ทิรวัฒน์ สิ้นศิริ*

Piyachat Suphawithayacharoenkun, Wunchock Kroehong, and Threerawat Sinsiri*

สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

Received April 2012

Accepted June 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปริมาณซิลิกาอสัณฐานในเพอร์ไลต์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สารประกอบด้วยรังสีเอกซ์เรย์ ซึ่งส่งผลต่อกำลังอัดและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน การศึกษาค้นคว้าได้นำเพอร์ไลต์ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง คบคุมขนาดอนุภาคเพอร์ไลต์และทรายให้ขนาดใกล้เคียงปูนซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 จากผลการทดสอบสารประกอบด้วยรังสีเอกซ์เรย์ พบว่าเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณซิลิกาอสัณฐานสูงที่สุด และจากการทดสอบกำลังอัดและปฏิกิริยาปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์ผสม พบว่าปริมาณซิลิกาอสัณฐานมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการรับกำลังอัดและปฏิกิริยาปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์ผสม

คำสำคัญ : เพอร์ไลต์ เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ปฏิกิริยาปอซโซลาน ซิลิกาอสัณฐาน

Abstract

This research was to determine the amorphous silica in perlite that affected compressive strength and degree of pozzolanic reaction by using X-ray diffraction method. In this study, perlite was burnt at different temperatures of 600 °C, 700 °C and 800 °C and different time of 4, 6 and 8 hr. Perlite and sand were ground to approximately the same fineness as cement. Portland cement type 1 was replaced by perlite or ground sand at 20% by weight of cementitious material. A water to binder ratio (w/c) of 0.40 was used. The result of X-ray diffraction showed that the perlite burned at 600 °C for 4 hr. contained the largest amorphous silica. From the compressive strength test and the pozzolanic activity test it was shown that the amorphous silica contents affected on compressive strength and degree of pozzolanic reaction

Keywords : Perlite X-ray, Diffraction, Analysis, Pozzolanic, Amorphous

*Corresponding author. Tel.: +66 (0)8 9722 6077

Email address: sinsiri@g.sut.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันคอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการงานก่อสร้างอย่างแพร่หลายโดยวัสดุยัดประสานที่ใช้ในส่วนผสมในคอนกรีตคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [1] (Portland cement) ในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้นใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและพลังงานสูงมากก่อให้เกิดการก่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีส่วนสำคัญก่อให้เกิดภาวะ “โลกร้อน” (Global warming) การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์มีมากถึงปีละ 13,500 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 7 ของก๊าซที่ปล่อยออกมาในบรรยากาศทั้งหมด [2] จากปัญหาดังกล่าวมีนักวิจัยหาแนวทางที่ลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ โดยการใช้วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan materials) ตามมาตรฐาน ASTM C 618 (2001) ได้กล่าวไว้ว่าวัสดุปอซโซลาน คือวัสดุที่มีซิลิกาเพียงอย่างเดียวหรือมีทั้งซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนวัสดุปอซโซลานธรรมชาติคือวัสดุที่มีซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่ตามธรรมชาติ เช่น ไดอะตอมไมต์เพอร์ไลต์ดินขาวและซีโอไลท์ วัสดุปอซโซลานนอกจากจะลดการใช้ปูนซีเมนต์ แล้ววัสดุปอซโซลานยังปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตด้วยวิธีการพัฒนาคุณภาพวัสดุปอซโซลานที่นิยมใช้คือให้ความร้อนหรือการเผาซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีภายในของวัสดุ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเผาได้แก่ลบที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจะช่วยประสิทธิภาพให้แก่ซีเมนต์เพสต์ผสมและนอกจากนั้นการเผาไดอะตอมไมต์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิ 0, 200, 350 และ 700 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาผสมทำอิฐมวลเบาจะได้กำลังอัดที่สูงที่สุด [3]

เพอร์ไลต์ (Perlite) เป็นวัสดุปอซโซลานมีลักษณะเป็นหินภูเขาไฟเนื้อแก้ว เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิเหมาะสม และระยะเวลาที่รวดเร็วจะขยายตัวออกตั้งแต่ 4 ถึง 20 เท่าของปริมาตรเดิม ทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีน้ำหนักเบา มีความพรุนสูง และมีลักษณะคล้ายหินพิมมิส สารที่ได้จากการขยายตัวของหินเพอร์ไลต์นี้ เรียกว่า “เพอร์ไลต์” [4] ประโยชน์ใช้เป็นเครื่องกรองทำความสะอาด นอกจากนี้เป็นส่วนเติมเต็มในอุตสาหกรรมปุ๋ยและอุตสาหกรรมทำสีเพอร์ไลต์ในประเทศไทยประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างได้อย่างดีและเมื่อนำเพอร์ไลต์ผสมกับปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีต จะทำให้น้ำหนักคอนกรีต

ลงได้และยังทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อน ป้องกันการสะท้อนของเสียงได้เป็นอย่างดี ซึ่งบริษัทเพอร์ไลต์ของประเทศญี่ปุ่นได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์กับปูนซีเมนต์ผสมแบบธรรมดาพบว่าเพอร์ไลต์ช่วยให้คอนกรีตที่บ่มขึ้น [5-7]

การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์ผสม โดยปกติวัสดุปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานแต่ถ้ามีความละเอียดและความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ซึ่งสังเกตได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานเช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่จะเกิดช้ากว่าเรียกว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลักคือ พื้นที่ผิวจำเพาะ การกระจายอนุภาคและปริมาณของซิลิกาอสัณฐาน [8-9] การศึกษาปัจจัยด้านพื้นที่ผิวจำเพาะและการกระจายอนุภาคมีการศึกษาค่อนข้างมากแต่การศึกษ ปริมาณของซิลิกาอสัณฐานนั้นยังมีน้อย โดยเฉพาะการวัดปริมาณของซิลิกาอสัณฐานในวัสดุปอซโซลาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาปริมาณของซิลิกาอสัณฐานในเพอร์ไลต์ที่ผ่านการการเผากำลังอัดและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพของวัสดุปอซโซลานในระดับอนุภาคต่อไป

การวัดหาปริมาณของซิลิกาอสัณฐานสามารถทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการใช้ซอฟต์แวร์ Rietveld method การวิเคราะห์โดยรังสีเอกซ์เรย์ (Quantitative analysis by x-ray diffraction) ส่วนด้านการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถศึกษาได้หลายวิธีเช่นจากมาตรฐาน ASTM C168, เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD), การทดสอบความร้อนและการไตรเตรทนอกจากนี้ Tangpagasit et al. ได้ใช้ทรายแทนที่ปูนซีเมนต์ในการหาปฏิกิริยาเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

2. ขอบเขตการศึกษา

หาปริมาณซิลิกาอสัณฐานในเพอร์ไลต์ภายใต้การเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้เผา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง วิเคราะห์ผลของอสัณฐานโดยใช้วิธีวิเคราะห์สารประกอบด้วยรังสีเอกซ์เรย์ และเปรียบเทียบความสอดคล้องปริมาณซิลิกาอสัณฐานต่อกำลังอัดและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น

3. วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3.1.2 เพอร์ไลต์ จากห้างหุ้นส่วนจำกัดคลองยาง
อ.ชัยบาดาล จ.สระบุรี

3.2 การเตรียมวัสดุ

ทำการบดทรายและเพอร์ไลต์ ด้วยเครื่องบดทำการควบคุมให้ขนาดอนุภาคให้ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ทดสอบด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคหลังจากนั้นนำเพอร์ไลต์ที่ผ่านการบดเผาด้วยเตาเผาไฟฟ้ากำลังเผาไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้เผา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอากาศภายในเตารอการผสม

3.3 อัตราส่วนผสม

หล่อก้อนตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 นำเพอร์ไลต์หรือทรายบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ใส่ลงไปในแบบหล่อตามมาตรฐาน ASTM C 109 ขนาด 50X50X50 มิลลิเมตร. ถอดแบบแล้วนำตัวอย่างไปต้มด้วยน้ำ ทดสอบกำลังอัดที่ 3, 28 และ 60 วัน

3.4 การหาปริมาณซิลิกาอสัณฐานด้วยวิธีการวิเคราะห์สารประกอบด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์โดยใช้สารมาตรฐานภายนอก

ปริมาณวิเคราะห์โดยใช้สารมาตรฐานภายนอกเป็นวิธีวิเคราะห์ชุดผสมระหว่างสาร 3 ชนิด [10-12] ได้แก่ ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous silica) ซิลิกาผลึก (Crystals silica) และอะลูมินา (Aluminaoxide) โดยผสมซิลิกาอสัณฐาน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 กับซิลิกาผลึก ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 และอะลูมินา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ในอัตราส่วน AM:C:Al (Amorphous silica : crystal silica : alumina) ทำการควบคุมให้น้ำหนักของอะลูมินาคงที่ 2 กรัม และแปรผันน้ำหนักของ AM:C ร้อยละโดยน้ำหนักดังนี้ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟซิลิกาอสัณฐานต่อพื้นที่ใต้กราฟพีกตัวแทนของอะลูมินา และร้อยละส่วนผสมของซิลิกาอสัณฐาน สมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเป็นสมการที่ใช้เพื่อเทียบหาร้อยละโดยน้ำหนักของซิลิกาอสัณฐานของเพอร์ไลต์

3.5 การหาปริมาณซิลิกาอสัณฐานในเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผา

นำเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดข้างต้นปริมาณ 2 กรัมในแต่ละตัวอย่างทดสอบ ผสมกับอะลูมินาออกไซด์ในอัตราส่วนคงที่ 2 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันหาอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟในส่วนของซิลิกาอสัณฐาน ต่อพื้นที่พีกตัวแทนของอะลูมินาออกไซด์ ค่าที่ได้จะถูกนำมาแทนค่าในสมการกราฟมาตรฐานเป็นค่า X เพื่อหาปริมาณซิลิกาอสัณฐานซึ่งก็คือค่า y ต่อไป

3.6 ร้อยละกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

ความสามารถการทำปฏิกิริยาปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์ผสม ทำได้โดยการทดสอบร้อยละกำลังอัดของทรายบดซึ่งควบคุมขนาดอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เป็นตัวแทนกำลังอัดในส่วนไม่เกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาเปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งแทนที่ด้วยเพอร์ไลต์ร้อยละ 20[13] ดังแสดงในสมการ

$$\text{ร้อยละปฏิกิริยาปอซโซลาน} = \frac{A - B}{B} \times 100 \quad (1)$$

- A กำลังอัดของปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเพอร์ไลต์ร้อยละ 20
- B กำลังอัดของปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยทรายร้อยละ 20

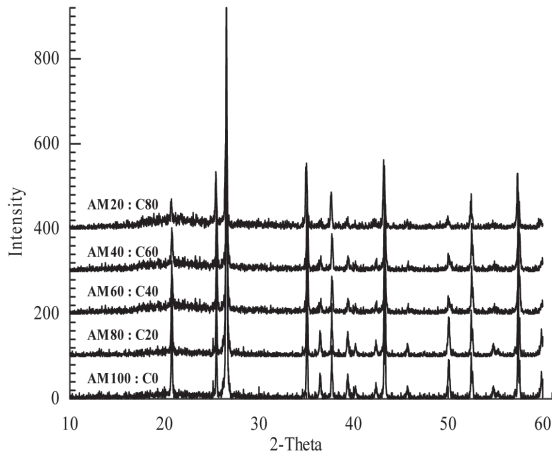
3.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- AM:C คือ อัตราส่วนผสมระหว่าง น้ำหนักของซิลิกาอสัณฐานต่อซิลิกาที่เป็นผลึก
- PT..T คือ เพอร์ไลต์ผ่านการเผาที่.....องศาเซลเซียสใช้เวลาในการเผา.....ชั่วโมง
- Al คือ อะลูมินาออกไซด์
- IN^{AM} คือ พื้นที่ใต้กราฟของซิลิกาอสัณฐาน
- IN^{Al} คือ พื้นที่พีกตัวแทนของอะลูมินาออกไซด์

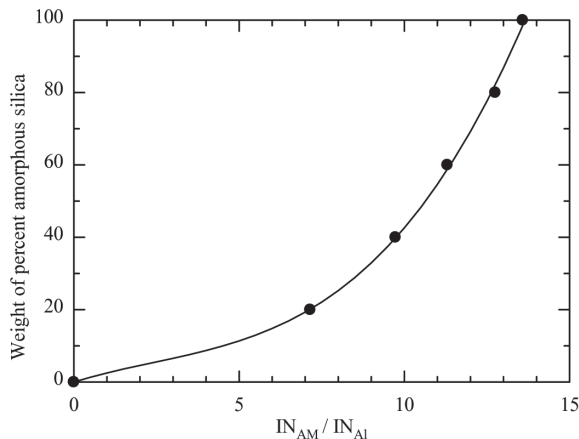
4. ผลการวิจัยและอภิปราย

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์

ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์แสดงในตารางที่ 1 พบว่ามีสารประกอบออกไซด์ของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO₂), อะลูมินาออกไซด์ (Al₂O₃) และเพอร์ไรออกไซด์ (Fe₂O₃) รวมกันมากกว่าร้อยละ 70 ค่า LOI ไม่มากกว่าร้อยละ 10 และ SO₃ ไม่มากกว่าร้อยละ 4 ดังนั้นจึงจัดเป็นวัสดุปอซโซลานชั้น N ตามมาตรฐาน ASTM C618 [14]



รูปที่ 1 แสดงกราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของสารผสมที่อัตราส่วนผสม AM : C : Al ตามกำหนด



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน IN_{AM} และ N_{Al} กับร้อยละโดยน้ำหนักของซิลิกาอสัณฐาน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

Chemical Composition %	Type of sample	
	cement	perlite
SiO ₂	18.10	73.30
Al ₂ O ₃	3.50	9.20
Fe ₂ O ₃	3.60	2.80
CaO	67.50	1.70
K ₂ O	0.60	10.00
TiO ₂	0.20	0.50
SO ₃	3.30	158ppm
Loss of Ignition (LOI)	1.50	1.00

4.2 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันสารมาตรฐานซิลิกาและการหำร้อยละของซิลิกาอสัณฐานของเพอร์ไลต์

รูปที่ 1 แสดงกราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของผสมระหว่างซิลิกาอสัณฐานและซิลิกาที่เป็นผลึกที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กัน โดยควบคุมน้ำหนักอะลูมินาคงที่พบว่าตำแหน่ง 2-Theta ที่ 15-26 จะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมของซิลิกาอสัณฐาน [15] ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 43.04-43.44 พบว่าเป็นตำแหน่งพีดตัวแทนที่เหมาะสมของอะลูมินา

ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 15-26 จะมีลักษณะโค้งระฆังคว่ำซึ่งแสดงออกถึงลักษณะอสัณฐานของสารต่างๆ และเมื่อผสมซิลิกาอสัณฐานในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะพบว่า intensity จะเพิ่มสูงขึ้นตรงตามอัตราส่วนที่ผสมลงไป ที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 43.04-43.44 ซึ่งเป็น intensity พีดตัวแทนของอะลูมินาจะพบว่า intensity ของอะลูมินาจะคงที่ เหตุเพราะในการผสมของผสมในแต่ละอัตราส่วนอะลูมินาจะถูกใส่ในอัตราส่วนคงที่กราฟดังกล่าวจึงแสดง intensity ที่ไม่เปลี่ยนแปลงสังเกตได้จากความสูงของพีดตัวแทนและความกว้างของฐานจะเท่ากันในทุกส่วนผสม

ผลของกราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแสดงการเปลี่ยนแปลงไปของ intensity ในส่วนของซิลิกาอสัณฐาน เป็นการบ่งบอกถึงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน intensity ของซิลิกาอสัณฐาน และอะลูมินา กับร้อยละปริมาณของซิลิกาอสัณฐานที่ใช้ผสม จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาอธิบายในรูปแบบสมการต่อไป

รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน IN_{AM} และ IN_{Al} กับร้อยละโดยน้ำหนักของซิลิกาอสัณฐาน

กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟโค้งหงาย สมการที่ได้จะอยู่ในรูป

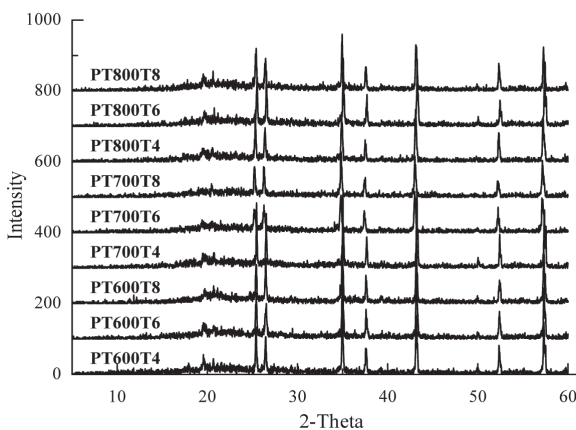
$$y = 0.051X^3 - 0.367X^2 + 2.832X \quad (2)$$

โดยที่สมการดังกล่าวจะมีค่า R^2 เท่ากับ 0.999

จากรูปที่ 2 พบว่ากราฟที่ได้จะเป็นกราฟมาตรฐานสำหรับหำร้อยละโดยน้ำหนักซิลิกาอสัณฐานโดยเส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นแนวโน้ม (Trend line) จากความสัมพันธ์ของคู่อันดับสมการที่แสดงออกมาจะเป็นสมการมาตรฐานที่อธิบายผลของพฤติกรรมของปริมาณซิลิกาอสัณฐานที่มีต่ออัตราส่วน intensity ของซิลิกาอสัณฐานต่อ intensity ของอะลูมินาคือจะมีการเพิ่มขึ้นของร้อยละโดยปริมาณซิลิกาอสัณฐานที่อัตราส่วนของ IN_{AM} / IN_{Al} อยู่ในช่วง 0-7.25 มีค่าน้อยข้างน้อยสังเกตได้จากเส้นความชันที่เกิดขึ้นมีไม่มากนัก และ

จะเพิ่มมากยิ่งขึ้นต่อเนื่องเมื่ออัตราส่วน IN_{AM}/IN_{AI} อยู่ใน ช่วง 7.25-14.5 โดยประมาณสังเกตได้จากความชันของกราฟ ในช่วงดังกล่าวมีความชันมากขึ้นและสิ้นสุดที่ร้อยละ โดย น้ำหนักของซิลิกาอสัณฐานอยู่ที่ร้อยละ 100 ซึ่งเป็นอัตรา ส่วนมากที่สุดที่ร้อยละปริมาณของซิลิกาอสัณฐานจะมีได้

จากผลที่แสดงพบว่าสมการที่ 2 เป็นสมการกราฟ มาตรฐาน ที่สามารถใช้ในการหาปริมาณของซิลิกาอสัณฐาน ในตัวอย่างที่ต้องการทำการทดสอบต่อไปโดยการแทนค่า x ซึ่งคือค่า IN_{AM}/IN_{AI} ของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบเพื่อหาค่า y คือค่าร้อยละปริมาณของซิลิกาอสัณฐานจะมีอยู่นั่นเอง

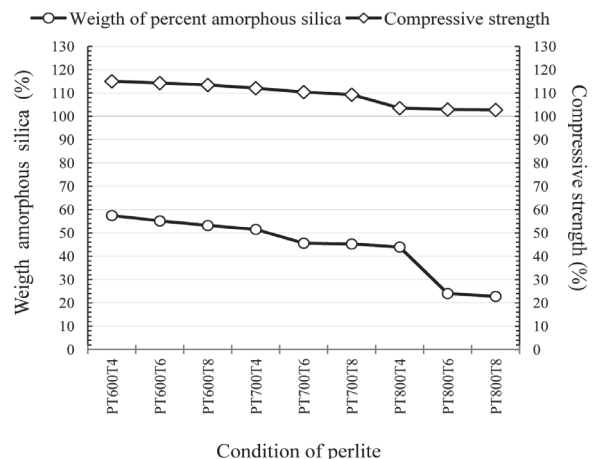


รูปที่ 3 แสดงกราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด

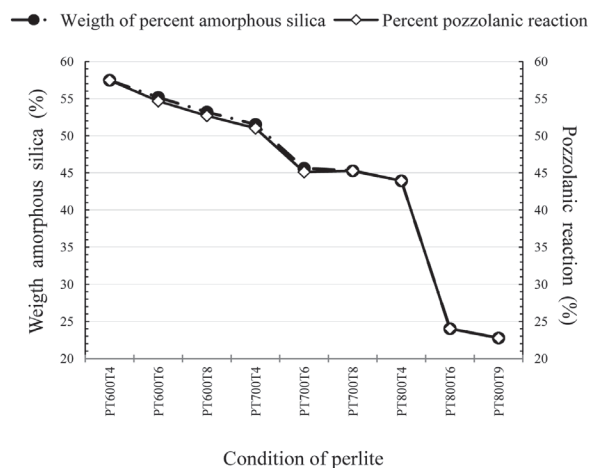
รูปที่ 3 แสดงกราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของเพอร์ไลต์ ที่ผ่านการเผา พบว่ากราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 15-26 ซึ่งเป็นตำแหน่งของซิลิกาอสัณฐาน intensity ของแต่ละกราฟสังเกตด้วยตาเปล่าไม่แตกต่างกัน มากนัก แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ intensity ด้วย software ค่า intensity ที่ได้จะมีค่าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 ใน ขณะที่พีค intensity ของอะลูมินาออกไซด์คงที่ทุกๆ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาเท่ากับ 13.58 การเปลี่ยนแปลง intensity ของแต่ละตัวอย่างจะแปรผันตรงกับปริมาณซิลิกา อสัณฐานที่เกิดขึ้นเมื่อแทนค่าลงในสมการมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าการเผาเพอร์ไลต์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะมีปริมาณซิลิกา อสัณฐานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 57.47 โดยน้ำหนักและการเผาเพอร์ไลต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จะมีปริมาณซิลิกาอสัณฐานน้อยที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 22.77 โดยน้ำหนักการเปลี่ยนแปลง intensity ที่

แสดงออกมานั้นส่งผลต่อปริมาณซิลิกาอสัณฐาน โดยปัจจัย สำคัญของการเปลี่ยนแปลง intensity นี้ได้แก่ อุณหภูมิและ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา [16] การเผาเกิดที่อุณหภูมิเหมาะสม หรือต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียสโดยประมาณ และการเผาเป็น การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของ ซิลิกาอสัณฐาน [17] หรือมี intensity ของซิลิกาอสัณฐาน เพิ่มขึ้นนั่นเอง คุณสมบัติสำคัญของซิลิกาอสัณฐาน คือ มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะและความละเอียดสูง [17-20]

ดังนั้นการเผาเพอร์ไลต์ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ ในการเผาสูงทำให้ intensity จะมีค่าต่ำ [21] หรือปริมาณซิลิกา ที่เป็นอสัณฐานจะแปรผกผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ เเผา ซึ่งจากคุณสมบัติของซิลิกาอสัณฐาน ปริมาณซิลิกา อสัณฐานนี้เองส่งผลต่อการเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานต่อไป



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิกาอสัณฐาน กับกำลังอัดทำการทดสอบที่ 60 วัน



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิกาอสัณฐานกับ ร้อยละปฏิกิริยาปอซโซลาน

ตารางที่ 2 แสดง intensity และปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของซิลิกาอสัณฐาน

Type	Intensity		I_{AM}/I_{Al}	Weight percent of amorphous silica
	AM	Al_2O_3		
PT600T4	152.23	13.58	11.21	51.52
PT600T6	149.92	13.58	11.04	55.16
PT600T8	147.89	13.58	10.89	53.18
PT700T4	146.12	13.58	10.76	51.52
PT700T6	139.47	13.58	10.27	45.62
PT700T8	139.06	13.58	10.24	45.28
PT800T4	137.43	13.58	10.12	43.93
PT800T6	106.06	13.58	7.81	24.03
PT800T8	103.34	13.58	7.61	22.77

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของซิลิกาที่ไม่เป็นผลึกและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน

Type	Weight of percent amorphous silica	Compressive strength(ksc.) at 28 days in state of 20%		Percentage compressive strength due to pozzolan
		perlite	sand	
PT600T4	57.40	785.30	719.80	17.40
PT600T6	55.10	780.40	719.80	16.20
PT600T8	53.10	776.70	719.80	15.40
PT700T4	51.50	773.10	719.80	11.50
PT700T6	45.60	770.20	719.80	10.30
PT700T8	45.20	765.40	719.80	9.10
PT800T4	43.90	763.80	719.80	8.30
PT800T6	24.00	757.50	719.80	6.60
PT800T8	22.70	749.20	719.80	5.50

ตารางที่ 4 แสดงผลของกำลังอัดของซีเมนต์โพสต์ควบคุมและซีเมนต์โพสต์ที่แทนที่ด้วยเพอร์ไลต์

Type	Compressive strength (Ksc.)		
	3 days	28 days	60 days
OPC	488.70 (100.00)	820.50 (100.00)	1229.29 (100.00)
PT600T4	457.96 (93.71)	785.32 (95.71)	1414.08 (115.03)
PT600T6	404.84 (82.84)	780.44 (95.12)	1404.68 (114.26)
PT600T8	396.12 (81.06)	776.78 (94.67)	1394.64 (113.45)
PT700T4	394.76 (80.77)	773.12 (94.23)	1377.84 (112.08)
PT700T6	382.79 (78.33)	770.27 (93.88)	1357.04 (110.39)
PT700T8	380.64 (77.89)	765.42 (93.29)	1343.60 (109.29)
PT800T4	377.76 (77.30)	763.86 (93.10)	1273.08 (103.56)
PT800T6	376.24 (76.99)	757.55 (92.33)	1265.28 (102.92)
PT800T8	353.76 (72.39)	749.28 (91.32)	1263.20 (102.76)

4.3 ผลของปริมาณซิลิกาอสัณฐานต่อกำลังอัดของซีเมนต์โพสต์ผสม

ตารางที่ 4 แสดงผลของกำลังอัดของซีเมนต์โพสต์ควบคุมและซีเมนต์โพสต์ที่แทนที่ด้วยเพอร์ไลต์และตารางที่ 3 แสดงปริมาณร้อยละซิลิกาอสัณฐานพบว่าเพอร์ไลต์เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณซิลิกาสูงที่สุดเท่ากับ 57.40 และมีกำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 1414.08 กก./ซม² ซึ่งสูงกว่าซีเมนต์โพสต์ควบคุมถึงเป็นร้อยละ 15.03 ที่การทดสอบกำลังอัด 60 วัน

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณซิลิกาอสัณฐานมีผลต่อการเพิ่มกำลังอัดของวัสดุโพซโซลาน เนื่องจากปฏิกิริยาโพซโซลานเป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 ต้องอาศัยสารตั้งต้นคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเข้าทำปฏิกิริยากับซิลิกาอสัณฐานซึ่งมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์คือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีสมบัติรับแรงอัด การเกิดปฏิกิริยาจึงแสดงผลที่อายุทดสอบ 60 วัน

ดังนั้นปริมาณซิลิกาอสัณฐานมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดในลักษณะแปรผันตรงต่อกัน เมื่อปริมาณ ซิลิกาอสัณฐานมีมาก กำลังรับแรงอัดก็จะมีมากเช่นเดียวกัน

4.4 ผลของปริมาณซิลิกาอสัณฐานต่อปฏิกิริยาโพซโซลาน

จากผลการทดสอบระหว่างผลต่างกำลังอัดของซีเมนต์โพสต์ผสมทรายและเพอร์ไลต์ในตารางที่ 3

พบว่าซีเมนต์โพสต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงจะเกิดปฏิกิริยาโพซโซลานมากที่สุดคือร้อยละ 17.45 ซึ่งมีปริมาณซิลิกาอสัณฐานที่มีอยู่ในปริมาณมากที่สุดและปฏิกิริยาจะลดต่ำลงเรื่อยๆ มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณซิลิกาอสัณฐานที่ลดต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 4 นอกจากนี้พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง เกิดปฏิกิริยาโพซโซลานคิดเป็นร้อยละ 5.50 สอดคล้องกับปริมาณของซิลิกาอสัณฐานที่มีปริมาณที่น้อยที่สุด

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า ปริมาณซิลิกาอสัณฐานมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโพซโซลาน กล่าวคือเมื่อปริมาณซิลิกาอสัณฐานสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโพซโซลานเหตุเพราะซิลิกาที่เป็นอสัณฐานมีพื้นที่ผิวจำเพาะและความละเอียดสูง [22] มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาเคมี [23] ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ CSH และเมื่อ

เปรียบเทียบผล XRD ของเส้นใยแก้วและเส้นใยความทนทานของคอนกรีตผสมเส้นใยแก้ว [24] ผลการทดสอบที่ได้มีลักษณะคล้ายกัน

ปริมาณซิลิกาที่เป็นอสัณฐานมีผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน การวัดปริมาณซิลิกาอสัณฐานเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถบอกถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้อย่างตรงไปตรงมา

4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสม

จากตารางที่ 4 แสดงกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสม ที่อายุการบ่มต่างๆ พบว่ากำลังอัดซีเมนต์เพสต์ควบคุมมีกำลังอัด 488.70, 820.50 และ 1229.29 กก./ซม² ตามลำดับและซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์กำลังอัดต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมที่อายุการทดสอบ 3 และ 28 วัน แต่อย่างไรก็ตามกำลังอัดจะเริ่มเพิ่มขึ้น และมีค่ามากกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมที่อายุ 60 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีกำลังอัดสูงที่สุดอายุ 3, 28 และ 60 วันโดยมีกำลังอัดสูงสุดถึง 457.90, 819.60, 1414.00 กก./ซม² ตามลำดับเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่นในทุกๆ อายุกำลังอัดทดสอบและเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมง มีกำลังอัดต่ำที่สุดอายุ 3, 28 และ 60 วันโดยมีกำลังอัด 353.76, 647.36 และ 1263.20 กก./ซม² ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าซิลิกาอสัณฐานในเพอร์ไลต์จะเริ่มทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตแต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าใช้เวลานาน แสดงผลเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานออกมาที่อายุทดสอบ 60 วัน ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์ผสมเพอร์ไลต์กำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมที่อายุดังกล่าว เป็นการแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติความเป็นปอซโซลานของเพอร์ไลต์ [25]

จากการทดสอบกำลังอัดพบว่าเพอร์ไลต์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์จะให้กำลังอัดที่มากกว่าปูนซีเมนต์แต่จะเกิดขึ้นใน

ระยะยาวบ่งบอกได้ว่าเพอร์ไลต์เหมาะสมเป็นวัสดุปอซโซลานใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุป

1. สมการมาตรฐานที่ใช้ในหาปริมาณซิลิกาอสัณฐานคือ $y = 0.051X^3 - 0.367X^2 + 2.832X$ โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบคือ การทดสอบต้องมาจากการผสมของผสมซึ่งมีซิลิกาอสัณฐาน ซิลิกาที่ผลึก และอะลูมินา ซึ่งต้องมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 อัตราส่วนผสมที่ใช้ต้องควบคุมให้น้ำหนักของอะลูมินาคงที่ 2 กรัม และแปรผันน้ำหนักของ AM:C ร้อยละโดยน้ำหนักดังนี้ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 เท่านั้น

2. การวิเคราะห์เพอร์ไลต์เผาพบว่าเมื่อเผาเพอร์ไลต์ที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการเผานานปริมาณซิลิกาอสัณฐานจะเปลี่ยนแปลงไปโดยจะอยู่ในลักษณะแปรผกผันต่อกัน หากเผาที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาในการเผานานปริมาณซิลิกาอสัณฐานจะลดต่ำลง

3. ปริมาณซิลิกามีผลต่อกำลังอัด คือในตัวอย่างทดสอบซีเมนต์เพสต์ผสมเพอร์ไลต์ที่มีปริมาณซิลิกาอสัณฐานมาก ตัวอย่างทดสอบนั้นๆ จะรับกำลังอัดได้มาก โดยจะแสดงผลของกำลังอัดที่สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมที่อายุทดสอบที่ 60 วัน

4. ปริมาณซิลิกาอสัณฐานมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน กล่าวคือปริมาณซิลิกาอสัณฐานเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาปอซโซลาน หากมีปริมาณมากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานก็เพิ่มมากขึ้น แต่จะปรากฏผลเนื่องจากปฏิกิริยาช้าใช้เวลานานเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาอันดับสองต่อจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และสาขาวิศวกรรมโยธาสำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความสะดวกด้านอุปกรณ์ในการวิจัย

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] Sata V. The Use of local pozzolan in fiber reinforced concrete. *KKU Engineering Journal*. 2010; 37(1): 29-37.
- [2] Mc Caffrey. *Golbal Cement and Lime Magazine*. Environmemtal Special Issue, 2002; 15-19. (In Thai)
- [3] Primraksa K, Chindaprasirt P. Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. *Ceramics International*. 2008; 35(1): 471-478.
- [4] Department of primary Industries and Mines. Perlite. 2009 Feb. Available from: URL: <http://www.dpim.go.th/ppr/title.php?tid=000001074149948>
- [5] Sinsiri T, Pantawee S. The use of perlite in Lightweight Concrete. *Annual Concrete Conference* 3. 24; 2550(1): 230-235. (In Thai)
- [6] Meesuk L. Perlite for Decolorization of Repeatingly used palm oil. *Journal of microscopy Society of Thailand*. 2007: 378-381. (In Thai)
- [7] Guilherme C, Romido F, Luis T, Eduard F, Simone H. Influence of partial size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash. *Cement and Concrete Composite* 2010; 33(5): 529-534.
- [8] Proctor A. X-ray diffraction and scanning electron microscope studies of processes rice hull silica. *Chemistry and materials science*. 2001; 281-289.
- [9] Rone J. X-ray fluorescence spectrometry. Canada :A.Wiley-interscience publication. 1999.
- [10] Srilomsak S. Quantitative analysis by X-ray diffraction. *Journal of Science and Technology*. 2543; 111-124. (In Thai)
- [11] Kroehong W, Sinsiri T, Jaturapitakkul C. Effect of Palm oil Fuel Ash Fineness on Packing Effect and Pozzolanic Reaction of Blended Cement Paste. *Procedia Engineering*. 2011; 14: 361-369.
- [12] American Society for Testing and Materials. ASTM C 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete. In *Annual Book of ASTM Standards*. 2001.
- [13] Mehta P. Greening of The Concrete Industry for Sustainable Development. *Concrete International*. 2002; 24(7): 23-28.
- [14] Jose J, SubbaRao M. Reativity of rice husk ash. *Cement and Concrete Research*. 1986; 16(3): 296-302.
- [15] Rukzon S, Chindaprasirt P, Mahachi R. Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash. *International Journal of Minerals Metallurgy and Material*. 2009; 16(2): 242-247.
- [16] Chandrasekhar S, Satyanarayana KG, Pramada P, Raghavan P, Guppa T. Processing propertied and application of reactive silica from rice husk-an overiew, 2003; 38: 3159-3168.
- [17] Banerjee H.D, Sen S. Investigations on the production of silicon from rice husks by the magnesium method. *Master.Sci.Eng*, 1982; 52: 173-179.
- [18] Della V.P, Kuhn I, Hotza D. Rice husk ash an alternate source for active silica production. *MaterialLetter*. 2002; 57: 818-821.
- [19] Acharya H.N, Dutta S.K. Production of the magnesium silicide and Silane from rice husk ash. *J.Electrchem. Soc*. 1980; 129: 846-866.
- [20] Hamad M.A, Khattab I.A. Effect of the combustion process on the structure of rice hull silica. *Thermochimica Acta*. 1981; 48(3): 343-439.
- [21] Tangpagasit J, Jaturapitakkul C, Cheerarot R, Kiattikomol K. Packing effect and pozzolanic reaction of fly ash in mortar. *Cement and Concrete Research*. 2005; 35(6): 1145-1151.

- [22] Kalapathy U, Proctor A, Shultz J. An improved method for production of silica from rice husk hull ash. *Biosource Technology*. 2002; 85: 285-289.
- [23] Chatveera C, Lertwattanakul P. Durability of Concrete Contain Black RHA from Rice Mill. *KMUTT Res J*. 2002; 4: 378-389.
- [24] Tangchirapat W, Jaturapitakkul C, Kiattikomol K, Saeting T. Compressive strength and expansion of blended cement mortar containing palm oil fuel ash. *American Social of Engineer*. 2009; 21(8): 426-431.
- [25] Yalcin N, sevinc V. Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics International*. *Ceramics International*. 2001; 27: 219-224.