

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินตะกอน และซีเมนต์เหลือทิ้งจากโรงงาน
อุตสาหกรรมมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาชนิดรับน้ำหนัก
Utilization of Clay and Fly Ash from Waste Industries Produced
Lightweight Concrete Block for Load Bearing Wall

ศุธีรพันธ์ พันธุ์เลิศ^{1*}, พัทธ์ชัย เหล่ารัตนกุล², กฤษณา พูลสวัสดิ์³

^{1*,2} ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

Email : suteerap@mtec.or.th

³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email : krisana.p@windowslive.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำซีเมนต์ลอยและดินตะกอนจาก
โรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการแทนที่ปริมาณของปูนซีเมนต์ในการผลิต
คอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง เช่น ปฏิกิริยา
ไฮเดรชัน ปฏิกิริยาปอซโซลานิก และปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชัน เป็นต้น ใช้สารช่วยเพิ่ม
กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะช่วย
ให้เกิดการแตกตัวของไอออนของธาตุต่าง ๆ ในส่วนผสมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น เช่น
 Ca^{2+} , Si^{2+} , O^{2-} , OH^- และ Na^{2+} เป็นต้น จากผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา
ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ลอยจากโรงงานกระดาษมากที่สุดที่ร้อยละ 80 และใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์ จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ
13.70 เมกะปาสกาล ที่ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,497 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ที่ระยะเวลาในการบ่ม 60 วันสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปได้

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อก, วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม, ปฏิกิริยาปอซโซลานิก

Abstract

This research gained to using fly ash and silt from factories instead of cement, which reduced the amount of cement for production of lightweight aggregate concrete block. Calcium hydroxide (Ca(OH)_2) and sodium hydroxide (NaOH) were catalysts, which added for some reactions, such as hydration, pozzolanic, and geopolymerization reaction. Ca^{2+} , Si^{2+} , O^{2-} , OH^- and Na^{2+} were increase ionization from the reactions. The formulation was 80% by weight of fly ash from paper factories and 5 molar of sodium hydroxide solution, which gained compressive strength 13.70 MPa and density $1,497 \text{ kg/m}^3$ at 60 day of incubation. There may be available in general concrete industries.

Keywords : Concrete Block, Waste Industries, Pozzolanic Reaction

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ กันมากขึ้น ซึ่งมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่นำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้แล้วทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มมากขึ้น เช่น เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า (Pulverized Fuel Ash) ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) ตะกรันจากกระบวนการถลุงเหล็ก (Blast Furnace Slag) เศษแก้ว (Glass Powder) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน (Spent Catalysts from Refineries) รวมทั้งตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และอื่น ๆ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญา จินดาประเสริฐ, 2549) ซึ่งเมื่อนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้งานก่อสร้างจะเกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างมาก ดังนั้นเราจึงเล็งเห็นความสำคัญของวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างที่มีอยู่มากในปัจจุบัน จึงได้มีการนำตัวอย่างวัสดุเหลือทิ้งของดินตะกอน และขี้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก และยังไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเต็มที่มาทำการศึกษาวิจัย โดยได้อาศัยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีตมาช่วยในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะเน้นพัฒนาสมบัติด้านการเป็นฉนวน และมีหน่วยน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่ยังคงความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาในการนำไปใช้งาน

ซึ่งจากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า ขี้เถ้าที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมมีสมบัติที่ดีในเรื่องน้ำหนักที่เบา และมอดูล์ประกอบเคมีหลักคือ CaO , SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งสามารถใช้ปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) และปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชัน (Geopolymerization Reaction) ช่วยให้เกิดสารยึดประสาน Calcium Silicate Hydrate (CSH) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างเข้มข้น อันได้แก่ NaOH และ KOH เพื่อเร่งกลไกในการปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพทางกล และองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจากอุตสาหกรรมโลหะต่าง ๆ และให้เกิดองค์ความรู้ในการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งในหลาย ๆ ประเภท เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์

2. เพื่อทดลองผลิต และประเมินสมบัติคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าลอยและดินตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรม

ระเบียบวิธีวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบและส่วนผสมในงานวิจัย ได้แก่ ดินตะกอน และขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมโดยทำการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM (American society for testing and materials) ขนาด No.4

(4.75 มิลลิเมตร) หลังจากร่อนคัดขนาด แล้วนำวัตถุที่ได้ไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry) และโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) แล้วนำส่วนผสมต่าง ๆ มาผสมขึ้นรูปตามสูตรที่เตรียมไว้ในตารางที่ 1 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ และน้ำ ในการผสมวัตถุดิบสำหรับการเตรียมการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา โดยให้ค่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 25 จากนั้นนำส่วนผสมมาอัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และสูง 100 มิลลิเมตร แล้วนำชิ้นงานไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 30 และ 60 วัน แล้วจึงทำการทดสอบค่าความหนาแน่นโดยการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน จากนั้นทดสอบกำลังรับแรงอัด ที่ระยะเวลาบ่ม 30 และ 60 วัน โดยใช้เครื่องอัดทดสอบคอนกรีต (Compressive Strength Machine) แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่อง TCA (Thermal Conductivity Measurement) แล้วเลือกสูตรที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน มาทำการวิเคราะห์ปฏิกิริยาเคมีที่อาจจะเกิดขึ้นด้วยเทคนิค XRD (X-ray Diffract meter) แล้วนำผลที่ได้ไปสรุปผลการดำเนินงานวิจัยต่อไป

ตารางที่ 1 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาสำหรับการวิจัยสูตรต่าง ๆ

ชนิด	ตารางส่วนผสมในการขึ้นรูปชิ้นงาน						
	ดินตะกอน	ซีเมนต์	ปูนซีเมนต์	Ca(OH) ₂	ดิน	น้ำ	NaOH (5 M.)
STD1	0	0	10	0	60	20	0
STD2	0	0	10	0	80	20	0
A	80	0	10	10	0	20	0
B	0	80	10	10	0	20	0
C	60	20	10	10	0	20	0
D	40	40	10	10	0	20	0
E	20	60	10	10	0	20	0
F	80	0	10	10	0	0	20
G	0	80	10	10	0	0	20
H	60	20	10	10	0	0	20
I	40	40	10	10	0	0	20
J	20	60	10	10	0	0	20

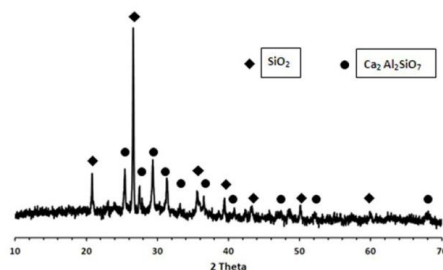
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมี

จาก ตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า องค์ประกอบเคมีหลักของดินตะกอน และซีเมนต์จากอุตสาหกรรมมีความคล้ายกัน แต่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในกลุ่มของสารประกอบรอง ซึ่งซีเมนต์จากอุตสาหกรรมจะมีปริมาณของ CaO เท่ากับร้อยละ 19.4 ซึ่งมากกว่าดินตะกอนค่อนข้างมาก สารประกอบ CaO มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกลไกในการเกิดปฏิกิริยาไฮ-เดรชัน และปอซโซลานิก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

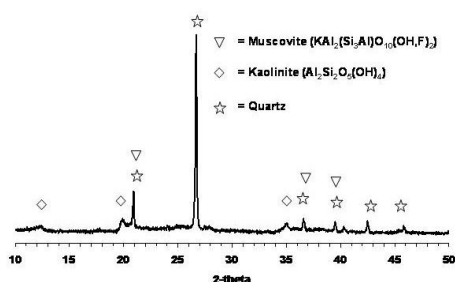
องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์	ดินตะกอน	ซีเมนต์
Al ₂ O ₃	4.96	24.5	16.75
CaO	66.61	1.17	19.4
SiO ₂	21.3	59.76	32.27
SO ₃	2.72	0.59	4.33
Fe ₂ O ₃	3.1	8.21	7.94
MgO	1.81	1.12	2.49
Na ₂ O	0.21	0.35	0.47



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของซีเมนต์

2. การวิเคราะห์เฟสของสารปอซโซลานด้วยเทคนิค XRD

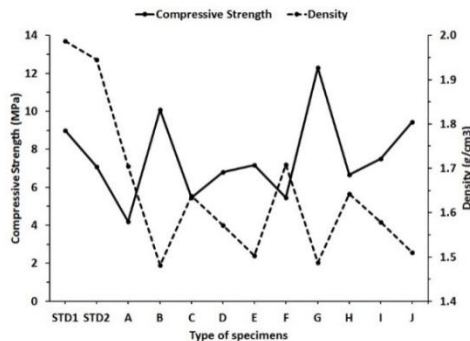
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของดินตะกอนและซีเมนต์จากอุตสาหกรรมแสดงดังรูปภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า สารประกอบหลักอันได้แก่ SiO₂, CaO และ Al₂O₃ นั้นส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งเมื่อนำมาผสมกันในสภาวะความเป็นเบสสูงจะทำให้สารประกอบเหล่านี้แตกตัวเป็นไอออนแล้วเกิดสารประกอบขึ้นมาใหม่มากยิ่งขึ้น



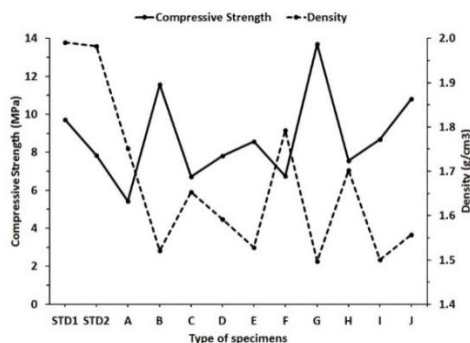
ภาพที่ 1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของดินตะกอน

3. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

ผลการทดสอบความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของชิ้นงาน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น ดังรูปภาพที่ 3 และ 4 เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกและปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์-เซชัน ระหว่าง Al₂O₃ และ SiO₂ กับ Ca(OH)₂ และ NaOH ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่เหมาะสม ทำให้ชิ้นงานมีปริมาณเฟสของสารเชื่อมประสาน CSH ที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น



ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานที่แทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ที่ระยะเวลาบ่ม 30 วัน



ภาพที่ 4 ค่าความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานที่แทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน

4. การศึกษาค่าการนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของชิ้นงานคอนกรีตที่ผสมส่วนผสมต่าง ๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าการนำความร้อนจะมากขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุดิบส่วนผสมหลักที่ใช้ในการขึ้นรูป และค่าความหนาแน่นของ

ชิ้นงานคอนกรีตหลังการขึ้นรูป สำหรับสูตรที่ใช้ซีเมนต์จากอุตสาหกรรมในปริมาณมากพบว่า ค่าการนำความร้อนจะน้อยลงกว่าการใช้วัตถุดิบอื่น ๆ หรือมีความเป็นฉนวนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าความหนาแน่นที่ลดลง

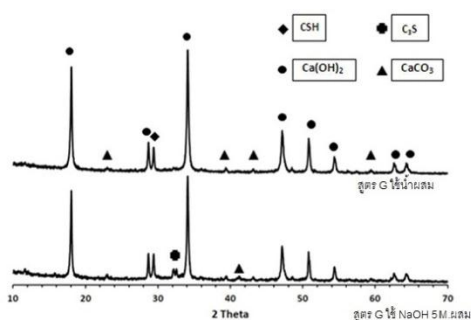
ตารางที่ 3 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาของส่วนผสมต่าง ๆ

ชนิด	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
STD1	1.266
STD2	1.245
A	1.105
B	0.727
C	0.968
D	0.934
E	0.745
F	1.114
G	0.642
H	0.996
I	0.646
J	0.901

5. การศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาด้วยเทคนิค XRD ของชิ้นงานคอนกรีตสูตรที่ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด คือคอนกรีตสูตร G ทั้ง 2 ลักษณะคือการใช้ส่วนผสมและการใช้สารละลาย NaOH 5 โมลาร์ ผสมที่ระยะเวลาบ่ม 60 วันแสดงดังรูปภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าคอนกรีตสูตร G ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากอุตสาหกรรมร้อยละ 80 ปูนซีเมนต์

ร้อยละ 10 และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 และใช้สารละลาย NaOH 5 โมลาร์ ในการผสมขึ้นรูปจะเกิดเฟส โครงสร้างที่เพิ่มขึ้นของสารในกลุ่ม CSH หรือสารเชื่อมประสาน อันเนื่องมาจาก ปฏิกิริยาปอซโซลานิก และจีโอพอลิเมอร์ เซชันของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตบล็อกสูตร G ที่ระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน ด้วยเทคนิค XRD

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในการงานคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา พบว่าคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากโรงงานกระดาษ และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ Al_2O_3 , SiO_2 , $Ca(OH)_2$, CaO และ สารประกอบอื่นๆ เกิดการแตกตัวเป็นไอออนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น Ca^{2+} , OH^- , O^{2-} และ $[Al(OH)_4]^-$ เมื่อสารประกอบ

ต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยากันได้สารประกอบของสารชนิดใหม่และตกตะกอนเป็นของแข็งได้สารเชื่อมประสาน ซึ่งกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นมาจากความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก และจีโอพอลิเมอร์-เซชันกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสภาวะเบสได้ดียิ่งขึ้นของคอนกรีต โดยคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาที่ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด คือคอนกรีตสูตร G ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากอุตสาหกรรมร้อยละ 80 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และสารละลาย NaOH 5 โมลาร์ ในการผสมขึ้นรูป มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 13.70 เมกะปาสคาล ที่ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,497 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน ซึ่งค่าความแข็งแรงคอนกรีตที่ได้มากกว่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก มอก. 57-2533 ที่จะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 7 เมกะปาสคาล ดังนั้นคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาจากงานวิจัยสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างในเชิงพาณิชย์ได้

ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการศึกษาปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแค่เพียงบางส่วน โดยจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะต้องทำการศึกษาในส่วนของปฏิกิริยาเคมีเพิ่มเติม โดยเฉพาะการเข้าทำปฏิกิริยาของซีเมนต์จากอุตสาหกรรมกับสารละลาย NaOH ที่สภาวะต่าง ๆ และปริมาณที่แตกต่างกัน และโอกาสในการเกิดสารเชื่อม

ประสานชนิดต่าง ๆ และสมบัติของสารเชื่อมประสานในแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อสมบัติของคอนกรีตที่ได้

เอกสารอ้างอิง

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ เพ็ญพล ศรีนวล. (2555). **การศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 5 ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 35(ฉบับที่ 2), หน้า 201 - 218.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2533). **มอก 57-2533 มาตรฐานคอนกรีตบดลือกรับน้ำหนัก**. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงอุตสาหกรรม.

American society for testing and materials. (1995). “ASTM C 109/C 109M-95: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm.] cube Specimens)”. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.01, pp. 68 - 72.

American society for testing and materials. (1995). “ASTM C 618-94a: Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete”. Annual book of ASTM standards. Vol. 04.02, pp. 304 - 306.

Caijun S. and Robert L. D. (2000). **Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators Part II. Reaction products and mechanism**. Cement and concrete research, Vol. 30, pp. 607 - 613.

Day R.L. and Shi C. (1994). **Relationship between strength development of lime-natural pozzolan pastes and the blaine fineness of the natural pozzolans**. Cement and concrete research, Vol. 24, pp. 1485 - 1491.