

อิทธิพลของปริมาณสารกระตุ้นต่อหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดิน ประปา-ถ้ำลอย จีโอโพลิเมอร์มวลเบาแบบเซลลูล่า

Effect of Liquid Alkaline Activator on Unit Weight and Strength of Cellular Lightweight Water Treatment Sludge-Fly Ash Geopolymer

เชิดศักดิ์ สุศิริพัฒน์พงศ์^{*1} เสริมศักดิ์ ดิยะแสงทอง¹ จิระยุทธ สืบสุข¹ สุขสันต์ หอพิบูลสุข²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง

จ.นครราชสีมา 30000

Cherdsak Suksiripattanapong^{*1} Sermsak Tiyasangthong¹ Jirayut Suebsuk¹ Suksun Horpibulsuk²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima 30000

² School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang,

Nakhon Ratchasima 30000

Tel : 08-1760-7722 E-mail: Cherdsak.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารกระตุ้นต่อหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดินประปา-ถ้ำลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาแบบเซลลูล่า ตะกอนดินประปาได้จากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน และถ้ำลอยได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สารกระตุ้นเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์ ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการศึกษาครั้งนี้คือปริมาณสารกระตุ้น (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ปริมาณโฟมและอุณหภูมิและระยะเวลาบ่มในตู้อบ จากผลการทดสอบพบว่าหน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-ถ้ำลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาแปรผันกับปริมาณสารกระตุ้น ปริมาณโฟม อุณหภูมิและระยะเวลาบ่มในตู้อบ หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-ถ้ำลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาที่มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารกระตุ้น ปริมาณโฟม และอุณหภูมิและระยะเวลาบ่มในตู้อบ กำลังอัดสูงสุดของตะกอนดินประปา-ถ้ำลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาอยู่ที่ปริมาณสารกระตุ้นที่เหมาะสมซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.95LL สำหรับทุกอุณหภูมิ

คำหลัก หน่วยน้ำหนัก กำลังอัด จีโอโพลิเมอร์มวลเบาแบบเซลลูล่า ตะกอนดินประปา ถ้ำลอย ปริมาณสารกระตุ้น

Abstract

This paper studies effect of liquid alkaline activator on unit weight and strength of the cellular lightweight water treatment sludge-fly ash geopolymer. Sludge was obtained from the Bang Khen water treatment plant of the Metropolitan Water Work Authority of Thailand (MWA) and fly ash was obtained from the Mae Moh power plant of the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). Liquid alkaline activator is sodium hydroxide (NaOH) with a concentration of 10 molar. The influential factors studied are liquid alkaline activator (NaOH) content, air content, heat temperature and heat duration. Test results show that unit weight of

cellular lightweight water treatment sludge-fly ash geopolymer varies with the amount of liquid alkaline activator, air content, heat temperature and heat duration. The unit weight of cellular lightweight water treatment sludge-fly ash geopolymer decreases with increasing the amount of liquid alkaline activator, air content, heat temperature and heat duration. The maximum compressive strength of cellular lightweight water treatment sludge-fly ash geopolymer is at optimum liquid alkaline activator which is 0.95LL for all heat temperature.

Keywords: unit weight, strength, cellular lightweight geopolymer, water treatment sludge, fly ash, liquid alkaline activator

1. บทนำ

โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนเป็นโรงงานผลิตน้ำแห่งที่ 3 ของการประปานครหลวง ซึ่งสามารถผลิตน้ำประปาได้วันละประมาณ 3.6 ล้านลูกบาศก์เมตร แหล่งน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปามาจากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งระยะห่างระหว่างคลองส่งน้ำดิบทางทิศตะวันออกจนถึงโรงงานผลิตน้ำประปามีระยะทางประมาณ 18 กิโลเมตร ตะกอนดินประปาเกิดจากการชะล้างหน้าดินจากพื้นที่ต้นน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำแม่กลอง ซึ่งตะกอนดินเหล่านี้จะปะปนมากับน้ำดิบในคลองส่งน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำ ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าว จะมีตะกอนดินเหลือทิ้งเฉลี่ย 247 ตันต่อวัน โดยบางช่วงเวลามีมากถึงวันละ 300 ตันในฤดูแล้ง และ 700 ตันในฤดูฝน [1] ตะกอนดินประปาทั้งหมดนำไปใช้ในการถมที่ดิน ซึ่งการประปานครหลวงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนดิน แนวคิด Zero Waste หรือ “ของเสียเหลือศูนย์” ในกระบวนการผลิตน้ำประปาถือว่าเป็นโจทย์ที่ทำนายของทุกภาคการผลิต เพราะเป็นการนำเอาของเหลือทิ้งมาเพิ่มมูลค่า หรือใช้ประโยชน์เพื่อลดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อโลกร้อน

อิฐมวลเบา ถือได้ว่าเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ได้รับการนิยมนับปัจจุบันเป็นอย่างมาก วัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หินยิปซัม สารกระจายฟองอากาศ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์และใช้พลังงานในกระบวนการผลิตมาก เพื่อเป็นการลดปัญหาโลกร้อนและเป็นการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้ง งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นได้ในการนำตะกอนดินประปามวลผลิตอิฐมวลเบาจีโอโพลีเมอร์ สารจีโอโพลีเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ทำจากวัสดุปอชโซลานที่ประกอบด้วยซิลิกาและอลูมินาเป็นหลัก เมื่อผสมกับต่างอัลคาไลไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน สามารถก่อตัวและรับกำลังได้สูง งานวิจัยนี้ศึกษาหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดินประปา-ถั่วลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบา ปัจจัยอิทธิพลในการศึกษารังนี้คือ ปริมาณสารละลายอัลคาไลน์ (L) อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน และปริมาณโฟม การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดกับปัจจัยอิทธิพลอธิบายด้วยโครงสร้างทางจุลภาค (SEM)

2. ตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

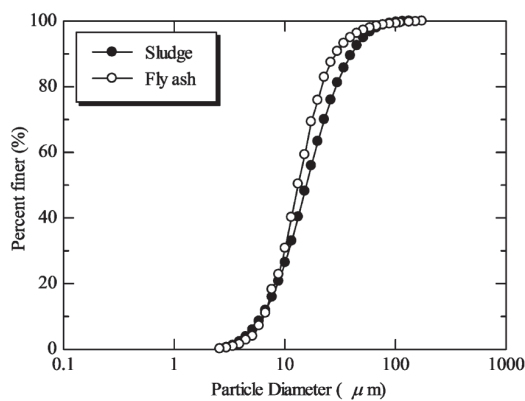
2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของตะกอนดินประปาและถั่วลอย

ตะกอนดินประปาที่ใช้ในการทดสอบเก็บจากโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง ตัวอย่างตะกอนดินประกอบด้วยทรายร้อยละ 0.15 ดินตะกอนร้อยละ 99.65 และดินเหนียวร้อยละ 0.20 ชีตจำกัดเหลวมีค่าเท่ากับร้อยละ 66 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 ตะกอนดินประปาจัดเป็นดินไม่มีพลาสติก ส่วนประกอบทางเคมี การกระจายขนาด และภาพถ่ายกำลังขยายของเม็ดดินแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ถั่วลอย (FA) ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของถั่วลอย ผลรวมของปริมาณธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 67.31 และ CaO มีปริมาณร้อยละ 30.24 ดังนั้น FA จำแนกเป็น Class C ตามมาตรฐาน ASTM C-618 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (D_{50}) ของถั่วลอยเท่ากับ 13.25 ไมครอน การกระจายขนาดของอนุภาคถั่วลอยแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งได้จากการทดสอบ Laser particle size analysis ค่าความถ่วงจำเพาะของถั่วลอยเท่ากับ 2.35 ภาพถ่ายกำลังขยาย FA แสดงในรูปที่ 2 จากกราฟการกระจายขนาดของอนุภาคและภาพถ่ายกำลังขยาย จะเห็นว่าอนุภาคของตะกอนดินมีขนาดใกล้เคียงกับอนุภาคของถั่วลอย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินประปา และเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี	ตะกอนดินประปา	เถ้าลอย
SiO ₂	61.84	47.51
Al ₂ O ₃	24.8	13.14
Fe ₂ O ₃	9.52	6.66
CaO	0.6	30.24
MgO	N.D.	N.D.
SO ₃	0.59	N.D.
Na ₂ O	N.D.	0.41
K ₂ O	1.9	1.63
LOI	0.55	0.42

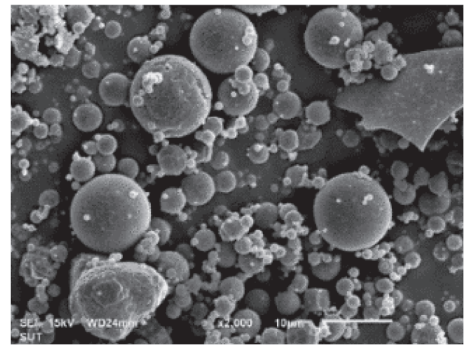


รูปที่ 1 การกระจายขนาดของตะกอนดินประปาและเถ้าลอย

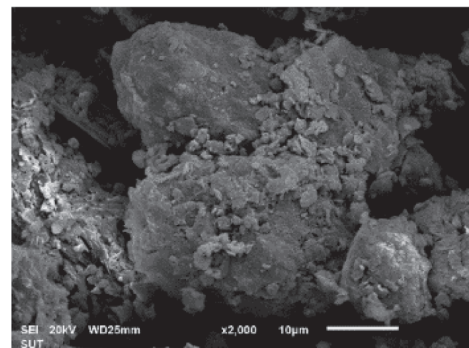
2.2 การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

ตะกอนดินประปาถูกนำมาตากให้แห้ง (ปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 0) หลังจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดหยาบ ก่อนนำเข้าเครื่องบดละเอียด โฟมได้จากการผสมสารเพิ่มฟอง (ยี่ห้อ Sika) กับน้ำ ในอัตราส่วนสารเพิ่มฟอง 50 ซีซี ต่อน้ำ 1 ลิตร และเติมลงในเครื่องฉีดโฟมแล้วเขย่าจนน้ำและสารเพิ่มฟองรวมตัวกัน ลักษณะของโฟมที่ได้จะคล้ายเนื้อครีมเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก

สารกระตุ้น (Liquid alkaline activator, L) เป็นสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมล ซึ่งเตรียมโดยการผสม NaOH แบบเกรด 400 กรัม กับน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากันและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



(a) เถ้าลอย



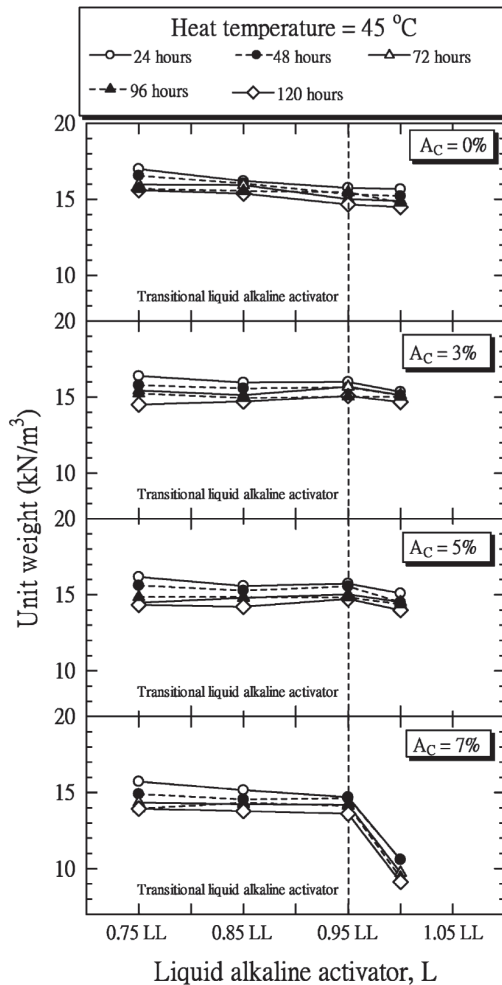
(b) ตะกอนดินประปา

รูปที่ 2 ภาพถ่ายกำลังขยายของเถ้าลอยและตะกอนดินประปา

ตะกอนดินประปาจะนำมาผสมเข้ากับเถ้าลอยในอัตราส่วนผสม 50:50 และผสมเข้ากับสารกระตุ้น ส่วนผสมดังกล่าวจะถูกนำมาทดสอบขีดจำกัดเหลว (LL) การทดสอบขีดจำกัดเหลวทำตามวิธี cone penetration test ปริมาณสารกระตุ้นที่ขีดจำกัดเหลวนิยามเป็นปริมาณสารกระตุ้นที่กรวยจมในสารกระตุ้นเท่ากับ 20 มิลลิเมตร

เมื่อผสมตะกอนดินประปา เถ้าลอย (Fly ash, FA) และสารกระตุ้น (0.75LL, 0.85LL, 0.95LL และ 1.0LL เมื่อ LL คือปริมาณสารกระตุ้นที่ขีดจำกัดเหลว) ส่วนผสมดังกล่าวจะถูกผสมเข้ากับโฟมในสัดส่วนร้อยละ 0, 3, 5, และ 7 ของน้ำหนักมวลรวม (ตะกอนดินประปาและเถ้าลอย) ตะกอนดินประปาเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาจะถูกเทลงในแบบทรงลูกบาศก์ ที่มีขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร และถูกนำมาระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 45, 65 และ 85°C ที่อายุการบ่มในตู้อบ 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง และนำมาบ่มต่อในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้องจนได้เวลาบ่มรวม 7 วัน เมื่อครบอายุบ่มที่กำหนด

ตัวอย่างจะนำมาทดสอบหน่วยน้ำหนักและกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C138 และ ASTM C69 - 09 ตามลำดับ



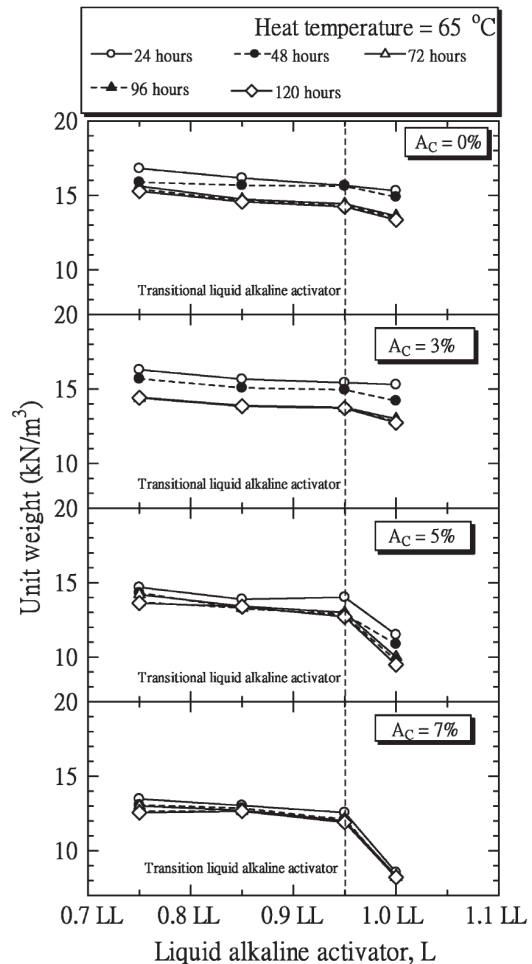
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอย จีโอโพลีเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 45 °C

3. ผลการทดสอบ

3.1 หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบา

รูปที่ 3 ถึง 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบา ที่อายุบ่ม 7 วัน ปริมาณโฟมต่างๆ (ร้อยละ 0, 3, 5 และ 7) และอุณหภูมิบ่มต่างๆ (45, 65 และ 85 °C) เป็นเวลา 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักของ

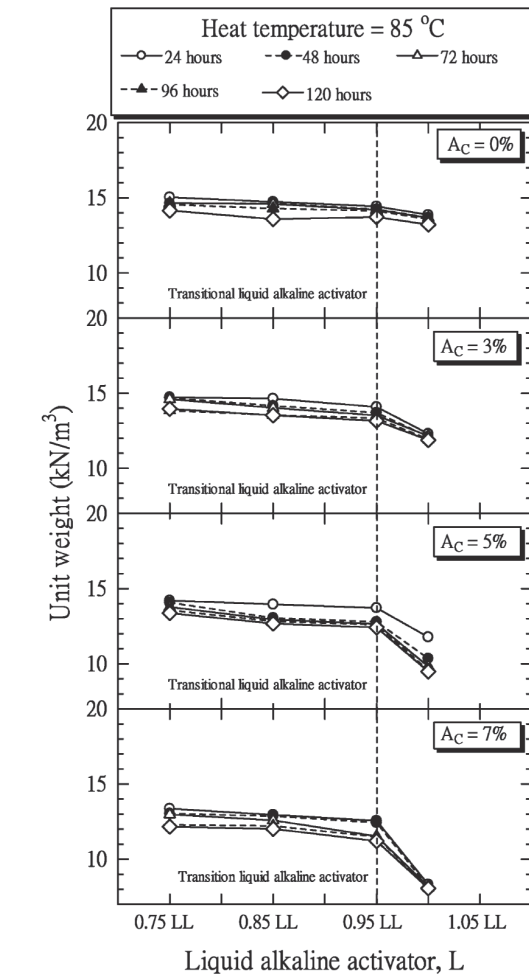
ตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบาลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณโฟมและปริมาณสารกระตุ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอย จีโอโพลีเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 65 °C

อิทธิพลของสารกระตุ้นต่อหน่วยน้ำหนักแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม (กลุ่มที่ L น้อยกว่า 0.95LL และกลุ่มที่ L มากกว่า 0.95LL) สำหรับกลุ่มที่ L น้อยกว่า 0.95LL หน่วยน้ำหนักของดินตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบาประมาณคงที่ แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของ L ก็ตาม สำหรับกลุ่มที่ L มากกว่า 0.95LL หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบาลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารกระตุ้นอย่างเห็นได้ชัด ค่า L ที่เท่ากับ 0.95LL เรียกว่า Transitional liquid alkaline activator ซึ่งแตกต่างจากผลการทดสอบของ Suksiripattanapong และคณะ [2] ซึ่งค่า Transitional

liquid alkaline activator มีค่าเท่ากับ 1.0LL ค่า Transitional liquid alkaline activator ที่น้อยกว่านี้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอยและการใช้สารกระตุ้นที่ไม่มีไฮเดียมซิลิเกต การใช้สารกระตุ้นที่ไม่มีไฮเดียมซิลิเกตนี้ส่งผลให้การไหลของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาดีขึ้น เนื่องจากสารละลายไฮเดียมซิลิเกตมีความหนืดสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อ การไหล

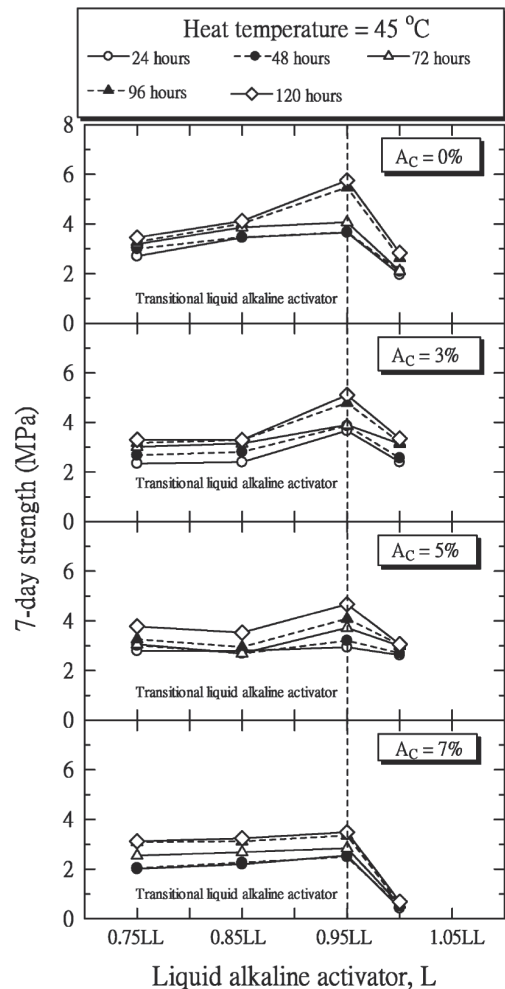


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 85 °C

3.2 กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบา

อิทธิพลของสารกระตุ้น (L) ต่อกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาแสดงดัง

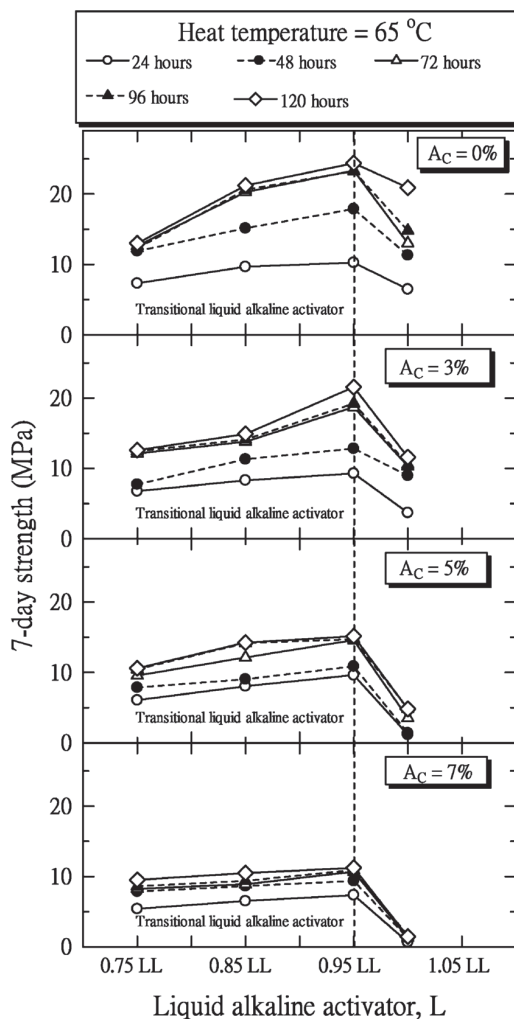
รูปที่ 6 ถึง 8 ซึ่งแสดงกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์ ที่ L เท่ากับ 0.75LL, 0.85LL, 0.95LL และ 1.0LL ที่ปริมาณโฟมต่างๆ (ร้อยละ 0, 3, 5 และ 7) และอุณหภูมิบ่ม เท่ากับ 45, 65 และ 85 °C ในระยะเวลาต่างๆ (24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 45 °C

ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าทุกระยะเวลาบ่มในด้อย และปริมาณโฟม กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาแปรผันตาม L กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบา มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ L และมีค่าสูงที่สุด เมื่อ L เท่ากับ 0.95LL ซึ่งเป็นค่า Transitional liquid alkaline activator

หลังจากนั้น กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบา มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ L ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณสารกระตุ้นมีค่ามากเกินไปซึ่งส่งผลให้ตัวอย่างเกิดการยุบ [4] แม้ว่าการเพิ่ม L เกินกว่า Transitional L จะลดหน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบา แต่การเพิ่ม L ในช่วงดังกล่าวส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัด เพื่อเป็นการลดต้นทุน (ลดปริมาณสารกระตุ้น) การเพิ่มฟองอากาศเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดที่ช่วยลดหน่วยน้ำหนักแต่ยังคงให้กำลังอัดที่สูง

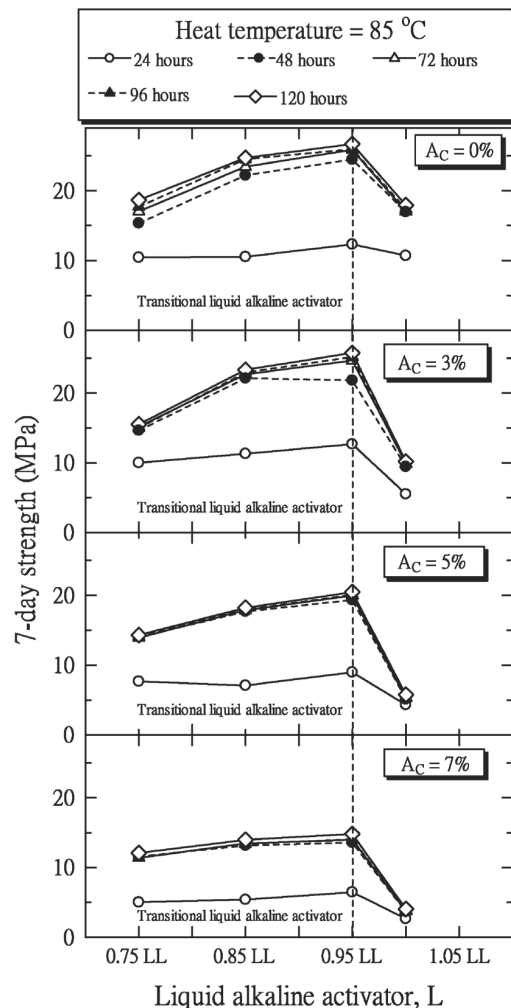


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 65 °C

3.3 การวิเคราะห์ผลทดสอบด้วยโครงสร้างจุลภาค

รูปที่ 9 ภาพโครงสร้างทางจุลภาคที่อายุบ่ม 7

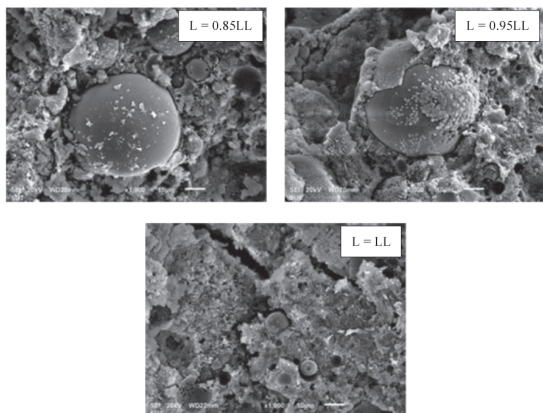
วัน ของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาที่ L เท่ากับ 0.85LL, 0.95LL และ 1.0LL ที่อุณหภูมิ 65 °C รูปถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารกระตุ้น (L) ที่น้อยเกินไป (อัตราส่วน L เท่ากับ 0.85LL) ไม่เพียงพอต่อการผสมตัวอย่างตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ตัวอย่างค่อนข้างแห้ง) ปริมาณ L ที่น้อยเกินไปนี้ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน



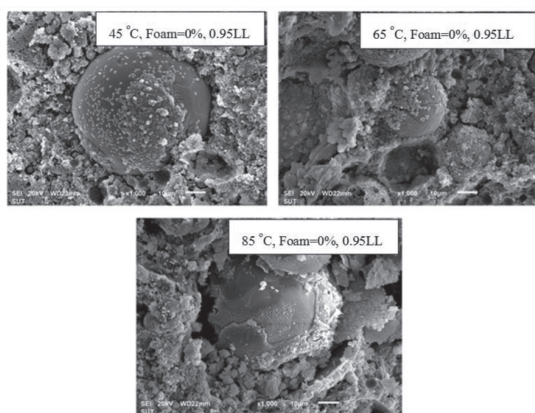
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณสารกระตุ้นของตะกอนดินประปา-เถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 85 °C

สำหรับปริมาณสารกระตุ้นที่เกิน Transitional L (L เท่ากับ 0.95LL) เมื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ปริมาณสารละลายในตัวอย่างเกิดการระเหยออกและเกิดช่องว่างระหว่างโครงสร้างของตะกอนดินประปากับเม็ดเถ้าลอย

และก่อให้เกิดการหดตัวของตัวอย่าง ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวระดับไมโครเมตร [4-6] ซึ่งสอดคล้องกับกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาที่มีค่าลดลง (รูปที่ 6 ถึง 8) ดังนั้น L เท่ากับ 0.95LL จึงให้กำลังอัดที่สูงที่สุด



รูปที่ 9 ภาพโครงสร้างทางจุลภาคที่อายุบ่ม 7 วัน ของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบา อุณหภูมิ 65 °C ที่ระยะเวลาในตูบ 1 วัน ปริมาณฟองอากาศเท่ากับ 0%



รูปที่ 10 โครงสร้างทางจุลภาคที่อายุบ่ม 7 วัน ของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบา ที่อุณหภูมิ 45, 65 และ 85 °C ระยะเวลาบ่มในตูบ 120 ชั่วโมง

รูปที่ 10 แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคที่อายุบ่ม 7 วัน ของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาที่ L เท่ากับ 0.95LL ที่อุณหภูมิ 45, 65 และ 85 °C และระยะเวลาบ่มในตูบ 120 ชั่วโมง รูปถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการบ่มที่สูงขึ้นจะไปเพิ่มพลังงานให้แก่กระบวนการชะละลาย ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนทำให้เพิ่มความสามารถในการชะละลายสารประกอบของ

ซิลิกอน (Si) และอลูมิเนียม (Al) และทำปฏิกิริยาได้ดีมากขึ้น จึงทำให้กำลังอัดสูงขึ้น

5. สรุป

หน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาได้นำเสนอในบทนี้ อิทธิพลของตัวแปรหลัก (NaOH, พลังงานความร้อน และปริมาณโฟม) ต่อหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดได้อธิบายโดยใช้ภาพถ่ายกำลังขยาย ประเด็นสำคัญของงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณโฟมและปริมาณสารกระตุ้น อิทธิพลของสารกระตุ้นต่อหน่วยน้ำหนักแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม (กลุ่มที่ L น้อยกว่า 0.95LL และกลุ่มที่ L มากกว่า 0.95LL) สำหรับกลุ่มที่ L น้อยกว่า 0.95LL หน่วยน้ำหนักของดินตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาประมาณจะคงที่ แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของ L ก็ตามค่า L ที่เท่ากับ 0.95LL เรียกว่า Transitional liquid alkaline activator สำหรับกลุ่มที่ L มากกว่า 0.95LL หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารกระตุ้นอย่างเห็นได้ชัด

2) สำหรับทุกระยะเวลาบ่มในตูบ และปริมาณโฟม กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาแปรผันตาม L กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ L และมีค่าสูงที่สุด เมื่ออัตราส่วน L เท่ากับ 0.95LL ซึ่งเป็นค่า Transitional L หลังจากนั้น กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาที่มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ L

3) ปริมาณสารกระตุ้น (L) ที่น้อยเกินไป (อัตราส่วน L เท่ากับ 0.80LL และ 0.90LL) ไม่เพียงพอต่อการผสมตัวอย่างตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ตัวอย่างค่อยข้างแห้ง) ปริมาณ L ที่น้อยเกินไปนี้ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน สำหรับปริมาณสารกระตุ้นที่เกิน Transitional L (L เท่ากับ 0.95LL) เมื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ปริมาณสารละลายในตัวอย่างเกิดการระเหยออกและเกิดช่องว่างระหว่างโครงสร้างของตะกอนดินประปา

กับเม็ดเถ้าลอย และก่อให้เกิดการหดตัวของตัวอย่าง ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวระดับไมโครเมตร

Building Materials. 2015;82: 20-30.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับเครื่องมือการทดสอบและสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] คมกริช เวชสัตถ์, สุทธิรักษ์ ฐากุล, ปาริฉัตร ปันทอง, สุรเดช เหมัมพกุล. การออกแบบและก่อสร้างระบบกำจัดตะกอนโดยใช้วิธีรีดกรอง โรงงานผลิตน้ำบางเขน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15, 12-14 พฤษภาคม 2553, อุบลราชธานี.
- [2] Suksiripattanapong C., Horpibulsuk S., Arulrajah A. Effect of liquid alkaline activator on unit weight and strength of lightweight water treatment sludge-fly ash geopolymer. Fifth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Osaka, Japan, Nov 16-18 2015.
- [3] Chindaprasit, P., Chareerat, T., Sirivivatnanon, V. Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. Cement and Concrete Composites. 2007; 29:224-229.
- [4] Sukmak, P., Horpibulsuk, S., Shen. S.L. Strength development in clay-fly ash geopolymer". Construction and Building Materials. 2013; 40:566-574.
- [5] Sukmak, P., Horpibulsuk, S., Shen, S.L., Chindaprasit, P., Suksiripattanapong, C. Factors influencing strength development in clay-fly ash geopolymer". Construction and Building Materials. 2013; 47:1125-1136.
- [6] Suksiripattanapong C., Horpibulsuk S., Chanprasert P., Sukmak P., Arulrajah A. Compressive strength development in fly ash geopolymer masonry units manufactured from water treatment sludge. Construction and