การเพิ่มประสิทธิภาพของจีโอโพลีเมอร์จากดินขาว-เถ้าแกลบและการประยุกต์ใช้ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

Optimization of kaolin-rice husk ash-based geopolymer and its application in soft Bangkok clay stabilization

ฆนากานต์ มาศโอสถ[1]* พานิช วุฒิพฤกษ์[1] อิทธิพล มีผล[1] ศิริพัฒน์ มณีแก้ว[1] และ กิติศักดิ์ กาญจนันท์[2]

[1] *ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

[2] *Railway Department, School of Civil Engineering, Central South University*

**Corresponding author; E-mail address: S6102032856199@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยใช้ดินขาวและเถ้าแกลบกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยนำดินขาว (KA) ผสมกับเถ้าแกลบ (RA) ในสัดส่วน KA: RA 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 จากนั้นผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 8 โมลาร์โดยใช้ปริมาณความชื้นเหมาะที่สุด ตัวอย่างที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด (q_u) คือตัวอย่างที่มีสัดส่วน KA: RA 70:30 ซึ่งใช้เป็นสารปรับปรุงดิน นำดินขาวตัวอย่างมาปรับปรุงด้วยการแทนที่ด้วยจีโอโพลิเมอร์ KA-RA ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของดินแห้ง บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25, 70 และ100°c เป็นเวลา 7, 14, 28, 60 และ 120 วัน นำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมประกอบด้วยความแข็งแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (q_u)

คำสำคัญ: จีโอโพลีเมอร์, กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด , โซเดียมไฮดรอกไซด์, ความทนทาน

Abstract

This research studied the improvement of Bangkok clay using kaolin (KA) - rice husk ash (RA) activated by sodium hydroxide. Kaolin was thoroughly mixed with rice husk ash for the KA: RA ratios of 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 and 50:50. The mixtures were then activated by sodium hydroxide solutions of 8 molar concentrations at the optimum moisture content. The maximum unconfined compressive strength (q_u) of stabilized soil was obtained from sample with KA: RA 70:30 The kaolin samples were treated by KA-RA geopolymer replacement of 10, 20, 30, 40, and 50% by weight of dry soil. The samples were cured at 25, 70, and 100°c for 7, 14, 28, 60 and 120 days. Engineering properties were tested including unconfined compressive

Keywords: geopolymer, unconfined compressive strength, Sodium hydroxide, durability

1. คำนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านเสถียรภาพและการทรุดตัวของโครงสร้าง ในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่ามีอาคารเกิดการทรุดตัวเป็นอย่างมาก พบว่า พื้นที่นั้นตั้งอยู่บนพื้นที่ของดินขาว ข้าวเป็นสิ่งดำรงชีวิตที่สำคัญของประชาชนทุกคนเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการสีข้าวนั้นจะมีแกลบมากมายหลากหลายแบบนั้นก็จะถูกเผาเป็นเชื้อเพลิงบ้างเผาทำลายบ้างแต่ก็มีขี้เถ้าแกลบที่เป็นผลผลิตสุดท้ายมีน้ำหนักเบามีกำลังต่ำอย่างผู้วิจัยจึงได้นำมาปรับปรุงด้วย geo polymer โดยกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และนำมาผสมกับดินขาวเพื่อปรับปรุงดินต่อไป

การวิจัยนี้ให้ความสำคัญต่อปัจจัยหลักที่เป็นผลมาจากการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้ดินขาวและเถ้าแกลบกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้สามารถนำมาใช้งานทางด้านวิศวกรรมได้ ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานของดินขาวตัวอย่าง สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์ที่ใช้ ดินขาว และเถ้าแกลบ เป็นวัสดุตั้งต้น ศึกษากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน กล่าวคือ นำดินขาว (KA) ผสมให้เข้ากันดีกับเถ้าแกลบ (RA) ในสัดส่วน KA: RA 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ จากนั้นผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 8 โมลาร์ โดยใช้ปริมาณความชื้นเหมาะที่สุด จะสามารถนำค่าสัดส่วนความเหมาะสมในการผสมดังกล่าวไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อให้สามารถนำดินนั้นมาใช้ในงานวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2.1 วัสดุ

2.1.1 เถ้าแกลบ (Rice husk ash)

ตัวอย่างเถ้าแกลบที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบที่เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าว ผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่

อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส [1] โดยคัดขนาดของเถ้าแกลบที่มีขนาดของเม็ดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า เถ้าแกลบมีค่าขีดจำกัดเหลว Non Liquid Limit (LL) ขีดจำกัดพลาสติก Non Plastic Limit (LL) ดัชนีพลาสติก Non Plasticity Index (PI) และค่าขีดจำกัดหดตัว 58.64% ซึ่งมีลักษณะดังตารางที่ 1

รูปที่ 1 เถ้าแกลบที่มีขนาดของเม็ดผ่านตะแกรงเบอร์ 200

2.1.2 ดินขาว (Kaolin)

ตัวอย่างดินขาวที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับทำเซรามิก โดยส่วนใหญ่เป็นดินขาวจากแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการผุผังตามธรรมชาติของหินต่าง ๆ [2] โดยคัดขนาดของดินขาวที่มีขนาดของเม็ดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า ดินขาวมีค่าขีดจำกัดเหลว 33.0% ขีดจำกัดพลาสติก 22.78% ดัชนีพลาสติก 10.26% และค่าขีดจำกัดหดตัว 12.33% ซึ่งมีลักษณะดังตารางที่ 1

รูปที่ 2 ดินขาวที่มีขนาดของเม็ดผ่านตะแกรงเบอร์ 200

2.1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

สารละลายมีลักษณะของแข็งที่มีลักษณะเป็นเกล็ดชนิดเกรดการค้า นำมาละลายกับน้ำเพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายให้มีค่า 8 โมลาร์ ทำได้โดยการละลาย NaOH 400 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร [3]

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบด้านกายภาพ

ทดสอบทางด้านกายภาพ	ดินขาว	เถ้าแกลบ
Liquid Limit	33.00%	Non-Liquid Limit
Plastic Limit	22.78%	Non-Plastic Limit
Plasticity Index	10.26%	Non-Plasticity Index
Shrinkage Limit	12.33%	58.64%
Specific Gravity	2.62%	2.24
Passing sieve No. 200	22.28%	23.65%
Maximum dry density	1.66 ton/m^3	1.11 ton/m^3
OMC	18.30%	60.00%

2.2 ตัวอย่าง KA-RA จีโอโพลิเมอร์

ตัวอย่างดินผสมโดยอัตราส่วนผสมได้จากการนำดินขาว (KA) ที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว ผสมให้เข้ากันดีกับเถ้าแกลบ (RA) ในสัดส่วน KA: RA 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ จากนั้นผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 8 โมลาร์ โดยใช้ปริมาณความชื้นเหมาะที่สุด นำไปทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด (q_u)

2.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ แบบหล่อ (Mold) ที่ใช้เป็นแบบหล่อประกอบทำจากเหล็กกล้า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มม. ความสูง 70 มม. ขั้นตอนต่อไปนำดินขาว (KA) ผสมให้เข้ากันดีกับเถ้าแกลบ (RA) ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 8 โมลาร์ และนำมาขึ้นตัวอย่างในแบบหล่อ และห่อหุ้มตัวอย่างด้วยพลาสติกใส เพื่อป้องกันตัวอย่างสูญเสียความชื้น นำตัวอย่างบ่มที่อุณหภูมิ 70°c เป็นเวลา 7, 14, 28, 60 และ 120 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมประกอบด้วยความแข็งแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (q_u)

รูปที่ 3 แบบหล่อ (Mold) ที่ใช้ในการทดสอบ

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและเถ้าแกลบ

2.4.1 ดินขาว

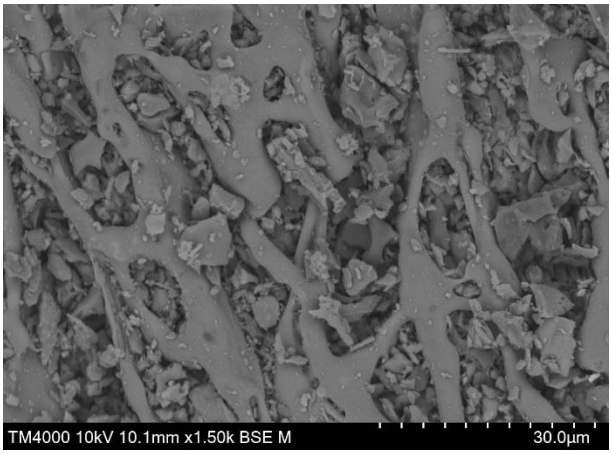
ผลการทดสอบ Energy Dispersive X-ray Spectrometer ของดินขาวเพื่อหาคุณสมบัติทางเคมี พบว่า ดินขาวมี O 48.53% Si 24.18% Al 22.48% K 4.81% ซึ่งทำให้ทราบว่าดินขาวมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุจีโอโพลิเมอร์ ดังตารางที่ 2

2.4.2 เถ้าแกลบ

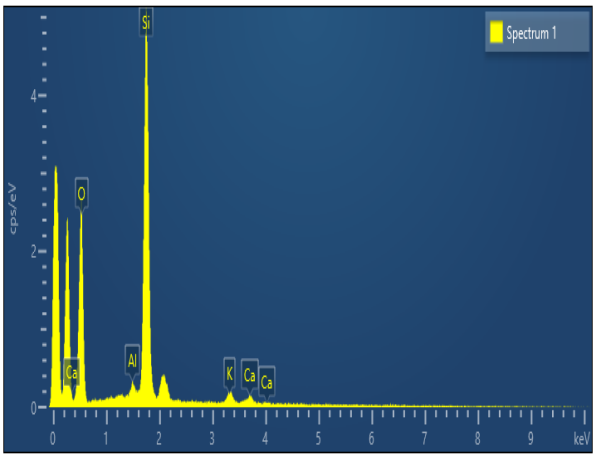
ผลการทดสอบ Energy Dispersive X-ray Spectrometer ของเถ้าแกลบ ดังรูปที่ 4 เพื่อหาคุณสมบัติทางเคมี พบว่า ดินขาวมี O 50.88% Si 42.36% Al 1.12% K 3.23% Ca 2.41% ซึ่งทำให้ทราบว่าดินขาวมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุจีโอโพลิเมอร์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและเถ้าแกลบ

ส่วนประกอบเคมี (%)					
ชื่อ/แร่ธาตุ	O	Si	Al	K	Ca
ดินขาว	48.53	24.18	22.48	4.81	-
เถ้าแกลบ	50.88	42.36	1.12	3.23	2.41



รูปที่ 4 กำลังขยาย 1,500 เท่า ของเถ้าแกลบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200



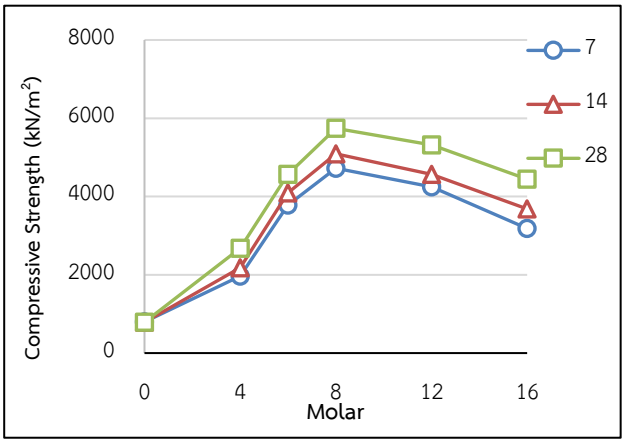
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาค่าทางเคมี ด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวอย่างดินแล้วทางผู้วิจัยได้ทำการขึ้นตัวอย่างขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 สูง 7 เซนติเมตร โดยผสมน้ำที่ความชื้นที่เหมาะสม (OMC) และน้ำใน OMC นั้นได้ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4,6,8, 12 และ 16 โมลาร์ และนำตัวอย่างไปบ่ม 7 14 28 วัน ก่อนที่จะนำไปทดสอบ Unconfined Compressive Strength ผลปรากฏว่าปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลาร์ให้กำลังของตัวอย่างเถ้าแกลบสูงที่สุด ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (q_u)

3.1.1อิทธิพลสัดส่วนจีโอโพลิเมอร์ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัด

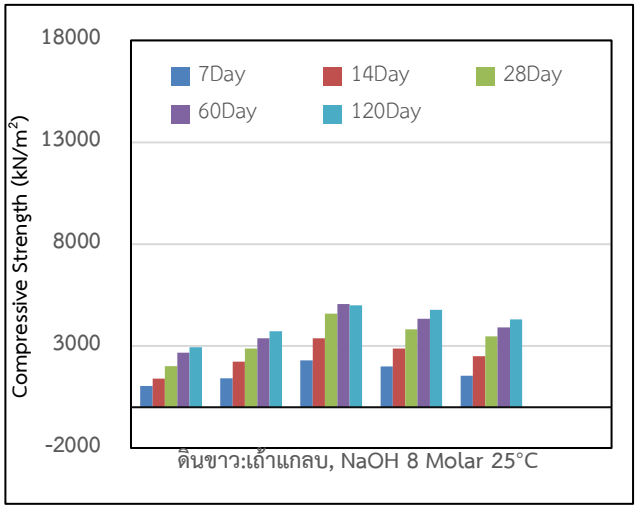


รูปที่ 6 อัตราส่วนที่เหมาะสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ให้กำลังเถ้าแกลบสูงสุด

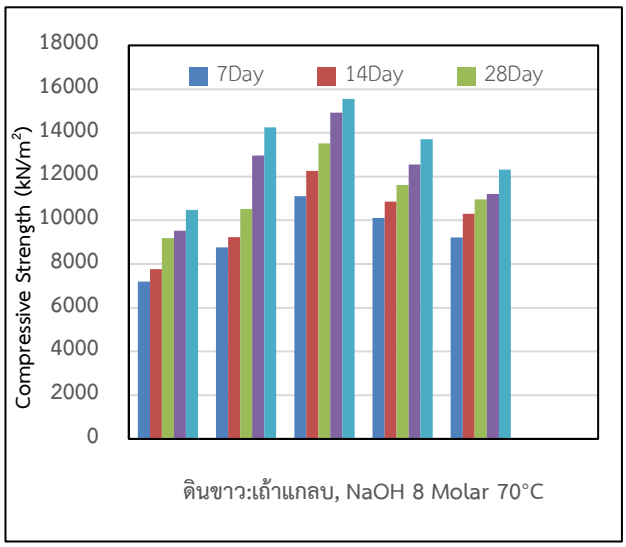
หลังจากที่พบว่าปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลาร์นั้นสามารถทำให้เถ้าแก่มีกำลังสูงที่สุดทางผู้วิจัยจึงได้นำจีโอโพลิเมอร์เถ้าแกลบนี้มาปรับปรุงดินขาวที่อายุตัวอย่าง 7 14 28 60 120 วัน และบ่มที่อุณหภูมิ 25 70 100 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 7 นำดินขาวมาเติมเถ้าแกลบลงไป 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซนต์ จะเรียกว่าส่วนผสมดินขาว:เถ้าแกลบ 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 ตามลำดับ

รูปที่ 7 บ่มตัวอย่างในตู้อบควบคุณอุณหภูมิ ที่ 25°C, 70°C, 100°C

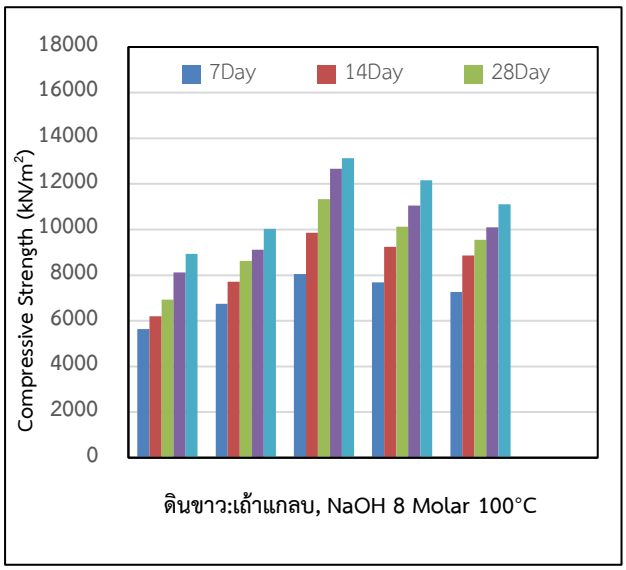
ผลการทดสอบ Compressive Strength เพื่อหาค่ากำลังด้านทานแรงกดสูงสุด (q_u) จากที่ได้ผสมดินขาว:เถ้าแกลบ 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 และทำการบ่มข้างต้น ปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์นั้นมีระยะเวลาและอุณหภูมิในการบ่มเป็นสำคัญ เนื่องจากผลการทดลองที่ได้พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 7-120 วันมีกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส นั้นจีโอโพลิเมอร์นั้นมีการพัฒนากำลังที่น้อยกว่า 70 และ 100 องศาอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 8 ผลการทดสอบ Compressive Strength เทียบกับอายุการบ่มตัวอย่าง ในอุณหภูมิ 25°C



รูปที่ 9 ผลการทดสอบ Compressive Strength เทียบกับอายุการบ่มตัวอย่าง ในอุณหภูมิ 70°C

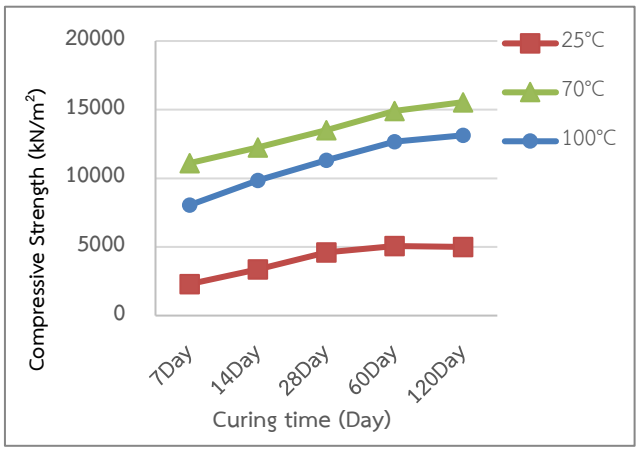


รูปที่ 10 ผลการทดสอบ Compressive Strength เทียบกับอายุการบ่มตัวอย่าง ในอุณหภูมิ 100°C

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าอัตราส่วนดินขาวร้อยละ 70 และเถ้าแกลบร้อยละ 30 มีการรับกำลังแรงเฉือนที่ดีที่สุด เมื่อนำมาพิจารณาใน 3 อุณหภูมิแล้วอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีการให้กำลังที่น้อยและ 70 องศาเซลเซียส มีการรับกำลังเพิ่มขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส มีการและกำลังสูงที่สุด และในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นการและกำลังก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

3.1.2 อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่ากำลังอัดสูงสุด

ระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นทุกตัวอย่างการทดสอบดังรูปที่ 5 พบว่าการพัฒนากำลังอัดจะเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนที่ระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน และหลังจากเกิน 60 วันไปแล้วการพัฒนากำลังอัดยังคงมีต่อเนื่องแต่จะเป็นไปอย่างช้า ๆ ซึ่งการพัฒนากำลังที่เพิ่มสูงขึ้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน เกิดจากการพัฒนาโมเลกุลลูกโซ่ของ SiO_2 และ AL_2O_3 [4] จากขบวนการจีโอโพลิเมอร์ไรเซชั่น [5]



รูปที่ 11 ผลการทดสอบ Compressive Strength เทียบกับ Curing time ในอุณหภูมิ 25°C, 70°C, 100°C

4. บทสรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่านำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมประกอบด้วยการทดสอบความแข็งแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (q_u) ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength เพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงกดสูงสุด (q_u) จากที่ได้ผสมดินขาว:เถ้าแกลบ 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 และทำการบ่มข้างต้น ปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์นั้นมีระยะเวลาและอุณหภูมิในการบ่มเป็นสำคัญ เนื่องจากผลการทดลองที่ได้พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 7-120 วันมีกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส นั้นจีโอโพลิเมอร์นั้นมีการพัฒนากำลังที่น้อยกว่า 70 และ 100 องศาอย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล มีผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และอาจารย์ ดร.ศิริพัฒน์ มณีแก้ว ที่คอยดูแลเอาใจใส่ ให้คำแนะนำวิธีการทดสอบ คอยติดตามผลการดำเนินงาน คอยให้คำปรึกษาและช่วยหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการพิจารณาบทความในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 ที่ให้ความกรุณาตอบรับบทความเพื่อนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการฯ ดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

[1] สุทัศน์ จันบัวลา (2554) ผลของแกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อยต่อสมบัติทางกายภาพของอิฐดินเผามวลเบา คลังปัญญาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CUIR) หน้า 35-37

[2] อาบีเด็ง ฮาวา, วรพจน์ ประชาเสรี (2559) **จีโอพอลิเมอร์ดินขาวเผา** วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2559 หน้า 8-9

[3] เธียรศักดิ์ กลับประสิทธิ์ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ปริญญา จินดาประเสริฐ และ สมิตร ส่งพิริยะกิจ จีโอโพลีเมอร์เพสต์ที่ทำจากเถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวล ตอนที่ 1 : ผลกระทบของสัดส่วนผสมต่อกำลังอัด วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2551, หน้า 9-16

[4] ธนกฤษณ์ ทิพย์มนตรี, พานิช วุฒิพฤกษ์, ชัยรัตน์ ธีระวัฒนสุข (2553) วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มิ.ย. 2553 หน้า 5

[5] กรกนก บุญเสริม1* อารีพร เบ้าอุฬาล1 สิรีรัตน์ ลิศนันท์ (อินทรกำแหง ณัฏฐ์คณิน ศุภเมธานนท์2 สุดารัตน์ สมบัติศรี (2561) การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จากดินพิมายผสมเถ้าลอย วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 41 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2561หน้าที่ 6-7