

ความคงทนของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกลวิธีโพลีเมอร์ไรเซชัน*

วิชัย สังวรปทานสกุล¹⁾ และ วชิรพล ฐิตะสัจจา²⁾

¹⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email:wachiraphon_t@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาความคงทนของดินขาวที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลีเมอร์ไรเซชัน โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยากับสารประกอบจำพวกแร่ลูมิโนซิลิเกตในดินขาว ทำให้มีความสามารถในการรับกำลังอัดได้สูงขึ้น งานวิจัยนี้ใช้ดินขาวทั้งหมด 5 แหล่ง ได้แก่ สุราษฎร์ธานี, ลำปาง, ปราจีนบุรี, อุตรดิตถ์ และระนอง นำมาผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 8 และ 10 ตามลำดับ ปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละส่วนผสมนั้นได้มาจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และทำการขึ้นรูปตัวอย่างโดยการอัดแบบสถิตย์ (Static) ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล และ 19 เมกะปาสคาล ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ ทั้งหมด 3 สภาวะได้แก่ สภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิห้อง, สภาวะโดนแดดและฝนโดยธรรมชาติ และสภาวะจุ่มน้ำโดยใช้เครื่องทดสอบการเสื่อมสภาพของวัสดุด้วยแสงอัลตราไวโอเลตประเภทเอ เพื่อทดสอบหากล้างรับแรงอัดของดินขาวที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 270 วัน ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในดินขาวทุกแหล่งพบว่าออกไซด์หลักประกอบด้วย ซิลิกา, อลูมินา และเหล็กออกไซด์ จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินระนอง, สุราษฎร์ธานี และอุตรดิตถ์ พบว่า กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น เมื่อใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 10 ส่วนกำลังรับแรงอัดของดินปราจีนบุรี และลำปาง พบว่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพบว่าเมื่ออายุของดินขาวที่ถูกปรับปรุงคุณภาพมากขึ้น หรือการเพิ่มความดันในการขึ้นรูปตัวอย่างจาก 15 เมกะ-ปาสคาล เป็น 19 เมกะปาสคาล ดินขาวทั้ง 5 แหล่งจะมีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น เมื่อพิจารณาในด้านความคงทนจะพบว่าดินขาวจากจังหวัดอุตรดิตถ์ จะมีความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับดินแหล่งอื่น ๆ และพบว่าการทดสอบภายใต้สภาวะจุ่มน้ำโดยใช้เครื่องทดสอบจะทำให้ตัวอย่างถูกทำลายน้อยกว่าการทดสอบภายใต้สภาวะโดนแดดโดนฝนโดยธรรมชาติ

คำสำคัญ : แร่คาลิโอไนท์, โพลีเมอร์ไรเซชัน, โซเดียมไฮดรอกไซด์, ความคงทน

*
รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2549

Durability of Kaolin Stabilized by Polymerization Technique *

Wichai Sungwornpatansakul ¹⁾ and Wachiraphon Thitasatcha ²⁾

¹⁾ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut University of Technology Thonburi

²⁾ Master Degree Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut University of Technology Thonburi

Email:wachiraphon_t@yahoo.com

ABSTRACT

This research investigated the durability of kaolin stabilized by polymerization technique using sodium hydroxide reacts with aluminosilicate in kaolin which produces the products with higher strength. Kaolin in 5 types : Suratthani, Lamphang, Prachinburi, Uttradit and Ranong provinces were used throughout this work. Kaolin was mixed with sodium hydroxide at 8 and 10 percents. Mixing water for each mix was obtained from modified proctor test. Then the samples were prepared by static compaction at 15 MPa. and 19 MPa. respectively. Testing was observed in 3 states : reference state, natural state and artificial state by accelerated weathering testers with UVA-340 fluorescent lamp for strength tests at 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 and 270 days. The analysis of main oxide contents in kaolin consisted of silica, alumina, and iron oxide respectively. Unconfined compressive strength of kaolin from Ranong, Suratthani and Uttradit have higher strength when change solution of sodium hydroxide from 8 to 10 percent. Otherwise, unconfined compressive strength of kaolin from Prachinburi and Lamphang have lower strength when change solution of sodium hydroxide from 8 to 10 percent. It was found that when kaolin from every sources have more ages or more pressure, an unconfined compressive strength gained higher strength. Also, samples which have higher age will have more strength. For durability, the testing results shows that kaolin from Uttradit province has less durability compared with other types. Testing by accelerated weathering machine make samples less damage than natural state exposed by sunlight and rain.

Keywords : Kaolinite, Polymerization, Sodium Hydroxide, Durability

*

Original manuscript submitted: April 5, 2006 and Final manuscript received: August 2, 2006

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ในปัจจุบันอาคารที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีอยู่หลายส่วนที่ต้องมีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ดี เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำที่พอเหมาะ จะทำให้เกิดการก่อตัวเป็นวัสดุประสานในการยึดหิน, ทราย, อิฐ หรือวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง มีความคงทนถาวร สามารถทนไฟ และทนต่อสภาวะดินฟ้าอากาศได้ดี แต่ทั้งนี้ ณ ปัจจุบันราคาน้ำมันในตลาดโลกถีบตัวสูงขึ้น ทำให้ราคาของปูนซีเมนต์มีราคาสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นต้องมีการเผาวัตถุดิบจำพวก Calcareous Material ภายใต้ความร้อนสูงถึง 1,400 – 1,500 องศาเซลเซียส โดยพบว่าการเผาวัตถุดิบจะมีราคาราวร้อยละ 40 – 60 ของราคาระบบการผลิตปูนซีเมนต์ทั้งหมด นอกจากนี้ระหว่างกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นก่อให้เกิดมลภาวะ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ฝุ่นละออง เป็นต้น และยังทำให้ทรัพยากรธรรมชาติซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์ เช่น หินปูน และ น้ำมัน ค่อย ๆ มีจำนวนลดน้อยลง

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดมีการพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทใหม่ ๆ ขึ้น ให้เป็นทางเลือกใหม่เพื่อจุดประสงค์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์, มีราคาที่ถูกกว่า และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยที่วัสดุก่อสร้างดังกล่าวมีคุณสมบัติที่พอเพียงแก่การนำไปใช้, เทียบเท่า หรือดีกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ และเมื่อทำการศึกษาคูณสมบัติด้านต่าง ๆ ของดินขาวพบว่า ดินขาวจัดเป็นวัสดุจำพวกวัสดุพอลิซิลาน ที่ประกอบด้วยแร่คาโอลิไนท์ (Kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ที่มีคุณสมบัติการเชื่อมประสานที่ดี โดยแร่ดินเหนียวคาโอลิไนท์ประกอบด้วยแร่ธาตุหลัก ได้แก่ ซิลิกา, อลูมินา และน้ำ และอาจจะมีสิ่งเจือปนอื่น ๆ จากคุณสมบัติและส่วนประกอบดังกล่าว (Alshaaer M. et al, 2003) จึงมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพของ ดินขาวโดยนำไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกลุ่มของแร่ที่มี Aluminosilicates (คาโอลิไนท์) ซึ่งมีอยู่ในดินขาวอยู่ในปริมาณมาก ก่อให้เกิดกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน ผลจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดวัสดุที่มีเสถียรภาพ และเป็นของแข็ง อันทำให้ดินขาวเกิดการพัฒนาก้าวสูงขึ้น (Kowalak et al, 2000)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่ได้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านความคงทนของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน โดยพิจารณาถึงความทนทานต่อรังสีอัลตราไวโอเลต จะมีก็แต่การศึกษาทางด้านกำลังของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน เนื่องจากเห็นว่าดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกลวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน สามารถทนทานต่อสภาวะภายใต้การกระทำของรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งเป็นอีกทางเลือกทางหนึ่งของการเลือกใช้วัสดุโดยคำนึงถึงการใช้งานในระยะยาวสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานก่อสร้างได้จริง เป็นการช่วยลดราคาของวัสดุลง และเป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า

วิธีการศึกษาและดำเนินงาน

ตัวอย่างดินขาวที่นำมาใช้ในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ จะใช้ดินขาวจากเหมืองดินขาวจำนวน 5 แหล่ง ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- | | | |
|--|--------------|---------------------|
| 1. ดินขาวจากเหมืองดินขาว ตำบล โคกไม้้งาม | อำเภอ เมือง | จังหวัดปราจีนบุรี |
| 2. ดินขาวจากเหมืองดินขาว ตำบล หาดส้มแป้น | อำเภอ เมือง | จังหวัดระนอง |
| 3. ดินขาวจากเหมืองดินขาว ตำบล บ้านสา | อำเภอ แจ้ห่ม | จังหวัดลำปาง |
| 4. ดินขาวจากเหมืองดินขาว ตำบล ชุนทะเล | อำเภอ เมือง | จังหวัดสุราษฎร์ธานี |
| 5. ดินขาวจากเหมืองดินขาว ตำบล ผาจุก | อำเภอ เมือง | จังหวัดอุดรธานี |

นำดินขาวจากแหล่งต่าง ๆ มาทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (ASTM D854), Atterberg's Limit (ASTM D4318), ขนาดละเอียดของดินโดยวิธีผ่านตะแกรงแบบล่าง (ASTM D422) และใช้วิธี Hydrometer Analysis (ASTM D422) สำหรับอนุภาคขนาดเล็ก และการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ASTM D1557)

จากนั้นนำตัวอย่างดินขาวที่ได้จากธรรมชาติมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 จากนั้นนำมาผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 8 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) นำมาผสมเข้ากันดีแล้วขึ้นรูปตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตร สูง 5.00 เซนติเมตร ด้วยแรงดัน 15 เมกะปาสคาล และ 19 เมกะปาสคาล หลังจากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำแท่งตัวอย่างที่ได้มาทดสอบภายใต้สภาวะแบบต่าง ๆ 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะอ้างอิง (เก็บไว้ในร่มที่อุณหภูมิห้อง), สภาวะที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ และสภาวะจำลองด้วยเครื่องทดสอบการกัดกร่อนวัสดุด้วยแสงอัลตราไวโอเลตประเภทเอ ซึ่งสร้างเครื่องมือทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM G53 (ASTM, 1996) ณ อายุต่าง ๆ ได้แก่ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 และ 270 วัน เมื่อแท่งตัวอย่างที่ทดสอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ ถึงอายุที่กำหนด จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียว ส่วนตัวอย่างที่พังทลายหลังการทดสอบหาลำดับรับแรงอัดแบบทิศทางเดียวในแต่ละสภาวะและอายุต่าง ๆ จะนำเศษตัวอย่างมาทดสอบหาค่าความเป็นกรดและด่าง

ผลการศึกษาและดำเนินการ

ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

คุณสมบัติเบื้องต้นของดินขาว	แหล่งดินขาว				
	ปราจีนบุรี	ระนอง	ลำปาง	สุราษฎร์ธานี	อุดรดิตถ์
Physical Properties :					
Liquid Limit (%)	34.43	44.69	34.67	50.33	29.37
Plastic Limit (%)	15.70	25.67	23.86	25.03	24.31
Shrinkage Limit (%)	15.22	25.09	23.44	19.09	23.28
Plasticity Index (%)	18.73	19.02	10.81	25.30	5.06
Specific Gravity	2.63	2.62	2.68	2.64	2.71

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินขาวที่ใช้ในการศึกษา

จากตารางที่ 1 พบว่าดินขาวทั้ง 5 แหล่งมีค่า Liquid Limit อยู่ในช่วง 29.37% – 50.33% Plastic Limit อยู่ในช่วง 15.70% - 25.67%, Shrinkage Limit อยู่ในช่วง 15.22% - 25.09%, Plasticity Index อยู่ในช่วง 10.81% - 25.30% และค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.62 – 2.71 กล่าวคือดินขาวทดสอบเป็นดินที่มีความเหนียวน้อยถึงปานกลาง ยกเว้นดินสุราษฎร์ธานีจะเป็นดินที่มีความเหนียวมาก

รายละเอียดขนาดผลของดินขาวแสดงไว้ในตารางที่ 2 ส่วนการจำแนกประเภทของดินขาวที่ได้จากธรรมชาติทั้ง 5 แหล่ง ใช้มาตรฐานการจำแนกประเภทดิน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ Unified Soil Classification และระบบ AASHTO ซึ่งดินขาวทั้ง 5 แหล่ง จะถูกจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

Unified Soil Classification ได้จำแนกประเภทของดินโดยแทนด้วยสัญลักษณ์ไว้ดังนี้

ML คือ ดินตะกอนทรายอนินทรีย์หรือดินเหนียวที่มีความเหนียวเล็กน้อย

CL คือ ดินเหนียวอนินทรีย์ที่มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง

CH คือ ดินเหนียวอนินทรีย์ที่มีความเหนียวสูง

AASHTO ได้จำแนกประเภทของดิน โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ไว้ ดังนี้

A – 4 คือ ดินตะกอนทราย

A – 6 คือ ดินเหนียวที่มี Plasticity Index สูง และ Liquid Limit ต่ำ

A – 7 – 6 คือ ดินเหนียวที่มี Plasticity Index สูง และ Liquid Limit สูง

ขนาดผลและการจำแนกดิน	แหล่งดินขาว				
	ปราจีนบุรี	ระนอง	ลำปาง	สุราษฎร์ธานี	อุดรดิตถ์
Textural Composition :					
Gravel, 75.00 - 2.00	6.05	18.90	15.36	5.45	6.02
Sand, 2.00 - 0.05	63.95	64.60	48.64	42.05	30.98
Silt, 0.05 - 0.002	13.30	8.80	25.70	17.00	50.00
Clay, < 0.002	16.70	7.70	10.30	35.50	13.00
D60, mm.	0.103	0.200	0.107	0.060	0.041
D30, mm.	0.050	0.070	0.042	0.002	0.005
D10, mm.	-	0.008	0.002	0.001	0.001
Coefficient of Uniformity, Cu	-	25.00	62.94	75.00	41.00
Coefficient of Curvature, Cc	-	3.06	9.70	0.06	0.61
Classification :					
Unified Soil Classification	CL	CL	CL	CH	ML
AASHTO Soil Classification	A-6 (6)	A-7-6 (7)	A-4 (3)	A-7-6 (16)	A-4 (3)

ตารางที่ 2 ขนาดผลและการจำแนกประเภทของดิน

ผลการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐานในตารางที่ 3 พบว่าปริมาณสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่ไปนั้น ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content) อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้ในการวิจัยครั้งนี้จึงนำค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจากการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐานที่สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์มาเฉลี่ยกัน แล้วนำค่าปริมาณความชื้นที่ได้ไปใช้ในการผสมขึ้นรูปโดยใช้แรงดันเพื่อเตรียมตัวอย่างในการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของตัวอย่างดินขาวแต่ละชนิด

แหล่งดินขาว	โซเดียมไฮดรอกไซด์(%)	ปริมาณความชื้น ที่เหมาะสม (%)	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (kN/m ³)
ปราจีนบุรี	8	18.84	15.57
	10	19.00	15.42
ระนอง	8	19.28	16.85
	10	19.25	16.78
ลำปาง	8	18.14	16.32
	10	18.34	14.20
สุราษฎร์ธานี	8	18.63	17.95
	10	15.80	18.19
อุดรดิตถ์	8	15.19	18.54
	10	15.21	18.83

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะสรุปผลในรูปแบบตารางดังตารางที่ 4 จากนั้นจะยกตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวกับอายุของตัวอย่างภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ เพื่อแสดงให้เห็นแนวโน้มของการพัฒนา กำลังในช่วงอายุต่าง ๆ

แหล่งดิน	NaOH (%)	ความดัน (MPa.)	สภาวะ	กำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว ที่อายุต่าง ๆ (MPa.)							
				3	7	14	28	60	90	180	270
ปราชญ์บุรี	8	15	Ref	13.85	15.03	17.46	19.13	19.41	19.96	20.56	20.72
			Natural	16.25	16.53	17.12	15.95	13.64	12.50	10.45	9.71
			UV	19.95	20.70	23.43	23.23	20.88	17.97	14.47	*
		19	Ref	14.51	15.16	17.41	19.38	19.95	20.63	21.44	21.49
			Natural	14.63	15.79	17.90	16.59	14.04	11.91	11.50	10.21
			UV	21.78	22.20	23.20	22.86	22.38	20.05	18.06	*
	10	15	Ref	12.67	13.68	15.54	17.14	20.29	19.76	19.78	19.39
			Natural	13.31	14.89	16.99	13.42	11.75	9.70	7.04	5.93
			UV	16.24	17.19	17.78	17.63	17.37	15.58	13.09	*
		19	Ref	13.08	13.72	17.77	18.25	18.62	20.17	21.09	21.21
			Natural	13.88	14.65	16.26	12.57	9.92	8.99	7.68	5.90
			UV	17.45	18.10	19.30	18.85	18.64	17.40	14.90	*
ระนอง	8	15	Ref	13.69	16.59	18.67	21.37	22.27	22.12	22.79	22.91
			Natural	13.19	14.15	15.50	15.57	15.20	14.90	12.82	11.58
			UV	18.33	19.88	20.93	22.44	22.84	21.31	19.62	
		19	Ref	14.30	14.92	18.21	24.01	24.67	25.36	25.49	26.08
			Natural	14.98	15.84	16.94	17.22	16.84	15.81	14.97	14.15
			UV	20.70	21.87	22.99	24.60	24.86	25.61	25.29	
	10	15	Ref	16.31	16.39	19.43	23.85	24.38	25.40	27.41	26.78
			Natural	15.94	16.28	18.41	18.07	16.93	15.48	15.18	13.87
			UV	19.85	21.01	23.87	25.41	26.33	25.98	24.96	
		19	Ref	18.21	20.01	24.76	27.32	27.96	28.26	28.09	29.32
			Natural	18.23	19.09	19.64	20.90	20.58	19.13	18.13	16.68
			UV	23.86	26.18	27.19	27.46	28.17	27.59	26.56	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์

แหล่งดิน	NaOH (%)	ความ ดัน (MPa.)	สภาวะ	กำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว ที่อายุต่าง ๆ (MPa.)							
				3	7	14	28	60	90	180	270
สุราษฎร์ธานี	8	15	Ref	13.01	13.50	14.54	16.76	16.98	18.19	18.60	18.79
			Natural	12.62	13.33	14.45	14.36	14.09	13.06	12.22	10.61
			UV	14.52	15.46	17.10	16.87	15.95	15.87	14.18	
		19	Ref	13.27	14.67	15.98	17.43	18.14	19.02	20.39	20.78
			Natural	13.35	15.18	15.64	15.42	14.69	14.16	12.68	12.12
			UV	14.98	15.69	17.03	17.35	16.35	15.64	14.54	
	10	15	Ref	15.02	15.75	16.82	18.30	19.11	20.26	21.92	22.81
			Natural	14.56	14.75	16.13	15.82	15.48	14.36	12.62	12.32
			UV	15.51	16.13	17.60	17.20	15.74	15.16	14.81	
		19	Ref	17.22	17.54	17.88	20.62	21.30	21.76	22.19	23.21
			Natural	15.95	17.16	17.36	17.07	15.81	14.87	13.20	13.04
			UV	16.89	18.59	19.70	18.07	16.45	15.39	14.67	
อุดรธานี	8	15	Ref	10.38	12.22	13.31	13.74	15.63	16.59	17.18	17.45
			Natural								
			UV	14.89	14.18	11.87	10.42	8.46	5.89	0.32	
		19	Ref	12.82	13.39	14.62	15.69	16.35	16.88	17.57	18.00
			Natural								
			UV	15.38	12.09	10.87	9.92	9.35	8.38	0.43	
	10	15	Ref	11.97	12.86	14.12	16.23	16.87	17.02	17.95	19.02
			Natural								
			UV	15.54	13.93	10.21	9.30	7.95	7.21	0.32	
		19	Ref	12.07	12.91	14.97	16.57	17.93	19.30	20.18	20.52
			Natural								
			UV	15.94	13.27	10.34	9.69	9.07	8.87	1.95	

ตารางที่ 4 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์

หมายเหตุ : * หมายถึง ไม่ได้ทำการทดสอบที่อายุ 270 วัน เนื่องจากตู้ทดสอบมีขนาดเล็กไม่เพียงพอต่อปริมาณแท่งตัวอย่างที่ขึ้นรูป หากทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของตัวอย่างที่อายุ 270 วัน จะทำให้เลยระยะเวลาที่กำหนดไว้ในการทำวิจัย แต่ทั้งนี้ก็สามารถเห็นแนวโน้มของการพัฒนากำลังได้ กล่าวคือ จากผลการทดสอบจะเห็นว่าตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตจะมีแนวโน้มการพัฒนาที่ลดต่ำลงเมื่ออายุของตัวอย่างมากขึ้น

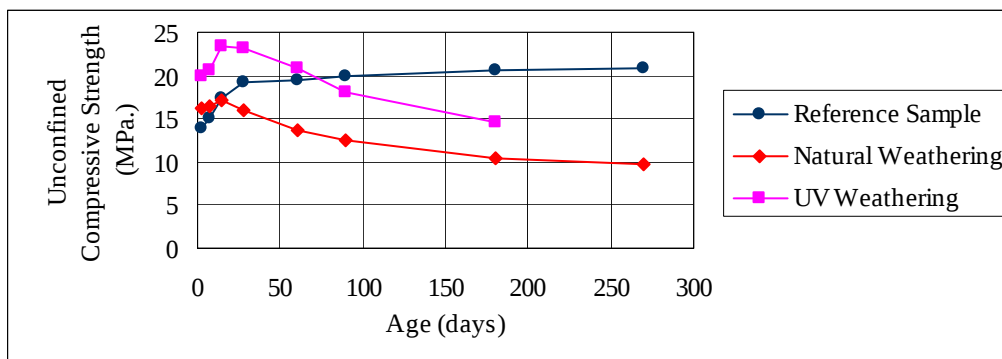
N.A. หมายถึง ไม่สามารถนำตัวอย่างมาเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวได้ ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างดินอุตรดิตถ์ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ ตัวอย่างจะไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ แม้ว่าจะอยู่ภายใต้สภาวะดังกล่าวที่ระยะเวลาสั้น ๆ เช่น ที่อายุ 3 วันก็ตาม

Ref หมายถึง ตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะอ้างอิง (เก็บไว้ในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง)

Natural หมายถึง ตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ

UV หมายถึง ตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต

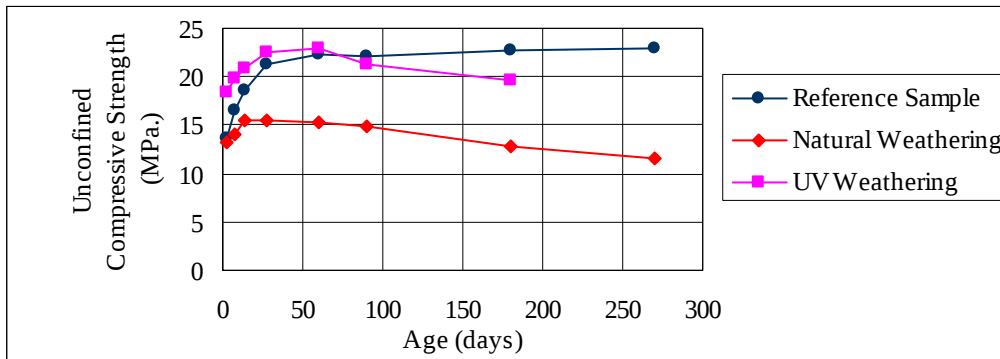
เมื่อพิจารณาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ พบว่า ดินขาวปราจีนบุรี ที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกัน หากเพิ่มแรงดันจาก 15 เมกะปาสคาล เป็น 19 เมกะปาสคาล จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวมากขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ หากพิจารณาที่แรงดันเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวลดลงที่ทุก ๆ สภาวะ ส่วนเส้นกราฟแนวโน้มในแต่ละสภาวะพิจารณาได้ในรูปที่ 1 พบว่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 3 วันถึง 14 วัน จากนั้นกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ และตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างอ้างอิง (เก็บไว้ในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง) กำลังจะพัฒนาขึ้นมากในช่วง 28 วัน จากนั้นจะพัฒนาต่อไปแต่เป็นไปในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงแรก



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวปราจีนบุรีที่แรงดัน 15 เมกะปาสคาล 8% NaOH ที่อายุบ่มต่าง ๆ

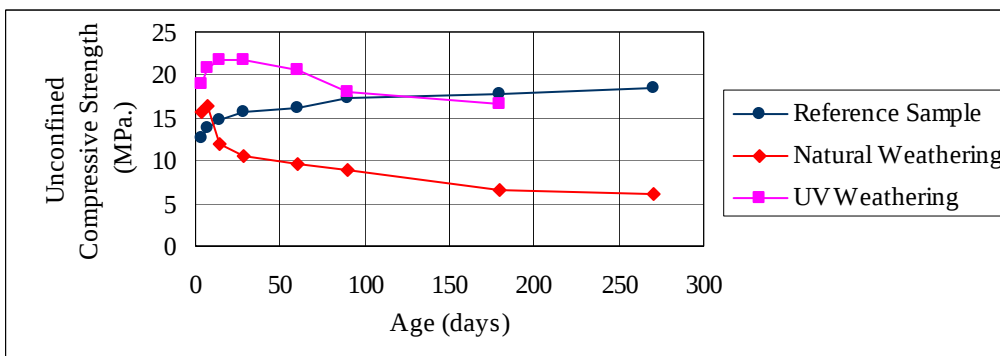
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวดินขาวระนอง พบว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกัน หากเพิ่มแรงดันจาก 15 เมกะปาสคาล เป็น 19 เมกะปาสคาล จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวมากขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ หากพิจารณาที่แรงดันเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวเพิ่มขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ ส่วนเส้นกราฟแนวโน้มในแต่ละสภาวะพิจารณาได้ในรูปที่ 2 พบว่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 3 วันถึง 28 วัน จากนั้นกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ และตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสง

อุลตราไวโอเลต ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างอ้างอิง (เก็บไว้ในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง) กำลังจะพัฒนาขึ้นมากในช่วง 28 วัน จากนั้นจะพัฒนาต่อไปแต่เป็นไปในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงแรก



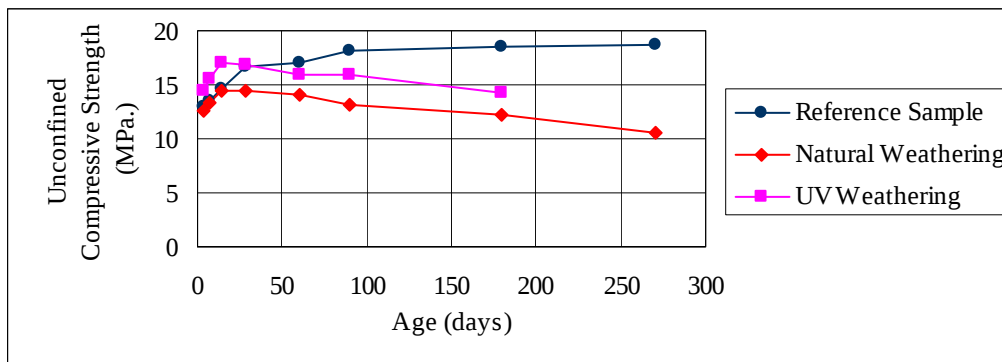
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวระนองที่แรงดัน 15 เมกะปาสคาล 8% NaOH ที่อายุบ่มต่าง ๆ

เมื่อทำการพิจารณากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวลำปาง พบว่า ที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกัน หากเพิ่มแรงดันจาก 15 เมกะปาสคาล เป็น 19 เมกะปาสคาล จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวมากขึ้นในทุก ๆ สภาวะ หากพิจารณาที่แรงดันเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวลดลงในทุก ๆ สภาวะ ส่วนเส้นกราฟแนวโน้มในแต่ละสภาวะพิจารณาได้ในรูปที่ 3 พบว่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 3 วันถึง 7 วัน จากนั้นกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ ส่วนตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต พบว่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะเพิ่มขึ้นในช่วง 3 วัน ถึง 14 วัน จากนั้นกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างอ้างอิง (เก็บไว้ในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง) กำลังจะพัฒนาขึ้นมากในช่วง 28 วัน จากนั้นจะพัฒนาต่อไปแต่เป็นไปในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงแรก



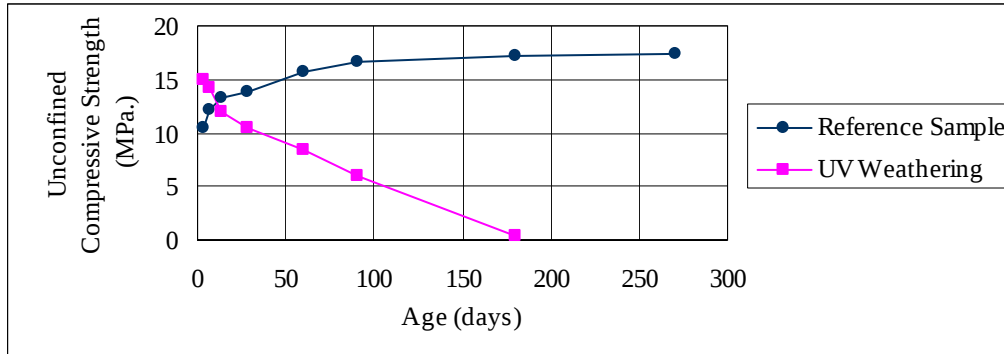
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวลำปางที่แรงดัน 15 เมกะปาสคาล 8% NaOH ที่อายุบ่มต่าง ๆ

สำหรับดินขาวสุราษฎร์ธานี พบว่า ที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกัน หากเพิ่มแรงดันจาก 15 เมกะปาสกาล เป็น 19 เมกะปาสกาล จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวมากขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ หากพิจารณาที่แรงดันเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวเพิ่มขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ ส่วนเส้นกราฟแนวโน้มในแต่ละสภาวะพิจารณาได้ในรูปที่ 4 พบว่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 3 วันถึง 14 วัน จากนั้นกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ และตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างอ้างอิง (เก็บไว้ในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง) กำลังจะพัฒนาขึ้นมากในช่วง 28 วัน จากนั้นจะพัฒนาต่อไปแต่เป็นไปในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงแรก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวสุราษฎร์ธานีที่แรงดัน 15 เมกะปาสกาล 8% NaOH ที่อายุปมต่าง ๆ

ในขณะที่ดินขาวอุตรดิตถ์จะมีลักษณะของกราฟแตกต่างไปจากดินขาวแหล่งอื่น ๆ โดยพบว่าที่ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกัน หากเพิ่มแรงดันจาก 15 เมกะปาสกาล เป็น 19 เมกะปาสกาล จะ ทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวมากขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ หากพิจารณาที่แรงดันเดียวกัน พบว่า หากเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับ แรงอัดทิศทางเดียวเพิ่มขึ้นที่ทุก ๆ สภาวะ ส่วนเส้นกราฟแนวโน้มในแต่ละสภาวะพิจารณาได้ในรูปที่ 5 พบว่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะลดลงเรื่อย ๆ ตามอายุที่เพิ่ม สำหรับตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะ จำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต ส่วนตัวอย่างอ้างอิง (เก็บไว้ในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง) กำลังจะพัฒนาขึ้น มากในช่วง 28 วัน จากนั้นจะพัฒนาต่อไปแต่เป็นไปในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงแรก สำหรับตัวอย่างที่อยู่ภายใต้ สภาวะถูกแดดและฝนตามธรรมชาตินั้นไม่สามารถทดสอบได้เนื่องจากถูกชะล้างทำลายอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวอุตรดิตถ์ที่แรงดัน 15 เมกะปาสคาล 8% NaOH ที่อายุบ่มต่าง ๆ

สรุปผลการศึกษา

คุณสมบัติเบื้องต้น

จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินขาวแหล่งต่าง ๆ พบว่าดินขาวอุตรดิตถ์จะถูกจำแนกเป็นดินประเภทดินตะกอนทรายอนินทรีย์ที่มีความเหนียวต่ำ ส่วนดินแหล่งอื่น ๆ ที่เหลือจะถูกจำแนกเป็นดินประเภทดินเหนียว โดยดินขาวปราจีนบุรี, ดินขาวระนอง, ดินขาวลำปาง และดินขาวอุตรดิตถ์ จะมีความเหนียวต่ำ ส่วนดินขาวสุราษฎร์ธานีจะมีความเหนียวสูง

ลักษณะโดยทั่วไปของดินขาวจากแหล่งต่าง ๆ พบว่า จะมีสีขาว มีเนื้อละเอียด อาจมีหินเม็ดละเอียดปนอยู่บ้าง มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.63 ถึง 2.71

กำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของดินขาวผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์

พบว่าดินขาวสุราษฎร์ธานี, ดินขาวระนอง, ดินขาวปราจีนบุรี, ดินขาวลำปาง จะมีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีมากไปน้อยตามลำดับ ส่วนดินขาวอุตรดิตถ์ ไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานได้จริง เนื่องจากไม่มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศเลย ในส่วนต่อไปจะสรุปผลของอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียว

อิทธิพลของอายุของตัวอย่างที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียว

ตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะอ้างอิง (เก็บไว้ในร่มที่อุณหภูมิห้อง) พบว่าแนวโน้มของการพัฒนา กำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียว ของดินทั้ง 5 แหล่งเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 28 วันแรก หลังจากนั้นจะมีการพัฒนากำลังขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่เป็นอัตราที่ต่ำลง

สำหรับตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ พบว่า แนวโน้มของการพัฒนากำลังของดินขาว 3 แหล่ง ได้แก่ ดินขาวปราจีนบุรี, ดินขาวระนอง และดินขาวสุราษฎร์ธานี ในช่วงแรกกำลังจะพัฒนาจะเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 14 วัน พอหลังจากนั้นกำลังจะเริ่มถดถอยลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ดินขาวลำปางในช่วงแรกกำลังจะพัฒนาเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 7 วัน พอหลังจากนั้นกำลังจะเริ่มถดถอยลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ส่วนดินขาวอุตรดิตถ์นั้นพบว่าไม่มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ เนื่องจากตัวอย่างถูกทำลายจนไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียวได้

สำหรับตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต จากผลการทดสอบพบว่า แนวโน้มของการพัฒนากำลังของดินขาว 4 แหล่ง ได้แก่ ดินขาวปราจีนบุรี, ระนอง, ลำปาง และสุราษฎร์ธานี ในช่วงแรกกำลังเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 14 วัน หลังจากนั้นกำลังจะเริ่มถดถอยลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ส่วนดินขาวอุตรดิตถ์พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าสูงสุดที่อายุ 3 วัน หลังจากนั้นค่ากำลังจะเริ่มถดถอยลง

เปรียบเทียบการจำลองสภาวะการเสื่อมสภาพของดินขาวภายใต้แสงอุลตราไวโอเลตจากเครื่องทดสอบ กับการเสื่อมสภาพของดินขาวภายใต้สภาวะธรรมชาติ

พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียวของตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะจำลองด้วยเครื่องทดสอบการกัดกร่อนวัสดุด้วยแสงอุลตราไวโอเลต จะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่อยู่ภายใต้สภาวะที่ปล่อยให้ถูกแดดและฝนตามธรรมชาติ เมื่อพิจารณาที่อายุเท่ากัน ทั้งนี้เพราะในช่วงแรกตัวอย่างเกิดการพัฒนากำลังเนื่องจากความร้อนจากหลอดยูวีเอฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งให้ความร้อนสูงถึง 75 องศาเซลเซียส เป็นส่วนสำคัญในการช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างดินขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดได้ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีอิทธิพลของไอน้ำที่สร้างขึ้น ทำให้ตัวอย่างเกิดการหดตัวและขยายตัว อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของตัวอย่าง แต่ปัจจัยดังกล่าวมีผลไม่รุนแรงเทียบเท่ากับสภาวะทางธรรมชาติ

อิทธิพลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียว

สำหรับดินขาวระนอง, ดินขาวสุราษฎร์ธานี และดินขาวอุตรดิตถ์ ภายใต้สภาวะทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียวสูงกว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินขาวปราจีนบุรี และดินขาวลำปาง ภายใต้สภาวะทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียวสูงกว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์

อิทธิพลของแรงดันที่ใช้ขึ้นรูปตัวอย่างที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียว

สำหรับดินทั้ง 5 แหล่ง ภายใต้สภาวะทั้ง 3 รูปแบบ จากผลการทดสอบพบว่าแนวโน้มแบบเดียวกัน กล่าวคือ แรงดันที่ใช้ขึ้นรูปตัวอย่างที่แรงดัน 15 เมกะปาสคาล จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดแบบทิศทางเดียวต่ำกว่า แรงดันที่ใช้ขึ้นรูปตัวอย่างที่แรงดัน 19 เมกะปาสคาล

เอกสารอ้างอิง

- Alshaaer M., Cuypers H. and Wastiels J., 2003, **“Stabilization of Kaolinitic Soil for Construction Purposes By Using Mineral Polymerisation Technique”**, Master dissertation in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Mechanics of Materials and Constructions, Vrije Universiteit Brussel, Belgium
- American Society for Testing and Material, 1996, **“Standard Practice for Operating Light – and Water – Exposure Apparatus (Fluorescent UV – Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials (ASTM G53 – 96)”**, Vol. 06.01, pp. 1252 – 1260.
- Kowalak S. K., Stawinski R., Walowska E. and Zadrozna A., 2000, **“Inorganic Polymers”**, Mickiewicz University, Faculty of Chemistry, Poznan, Poland