



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การปรับปรุงคุณสมบัติกากดินขาวเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นทาง

Stabilization industrial waste of kaolin for road material

อรุณเดช บุญสูง*

Aroondet Boonsung*

ภาควิชาโยธาและการออกแบบ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

Received October 2011

Accepted January 2012

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เสนอผลการศึกษาคูณสมบัติด้านกำลังของกากดินขาวปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นทางในการก่อสร้างถนน โดยแปรผันปริมาณซีเมนต์ เถ้าลอย และอายุการบ่ม เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของวัสดุชั้นทางปรับปรุงตามเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาพบว่ากากดินขาวซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมจากการคัดแยกอนุภาคดินขาว เมื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติจะเกิดการพัฒนากำลังขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของอายุการบ่ม โดยค่ากำลังรับแรงจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสารเชื่อมประสานที่ใช้ปรับปรุงและอายุการบ่ม โดยสามารถพัฒนาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) และกำลังรับแรงแบกทาน (CBR) ให้สูงขึ้นผ่านตามเกณฑ์การเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ (ทล-ม. 206/2532) และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (ทล-ม. 204/2532) ตามมาตรฐานกรมทางหลวงได้

คำสำคัญ : ดินซีเมนต์ ดินขาว การปรับปรุงคุณสมบัติดิน รองพื้นทาง พื้นทาง

Abstract

This paper presents the result of strength properties of Industrial waste of kaolin improved by cement and fly ash for road material. Series of test were conducted by different content (1) cement (2) fly ash and (3) curing time to determine the appropriated components between cement and fly ash for getting the strength according standard criterion. This study found that the strength of industrial waste of kaolin which is improved by cement and fly ash is rapidly increasing development in early of curing time. The strength test with unconfined compressive strength (UCS) and California Bearing Ratio (CBR) shown that the strength of the improved kaolin was increased by amount binder and curing time according to the Department of Highway of Thailand.

Keywords : Soil cement, Kaolin, Soil improvement, Subbase, Base

*Corresponding author. Tel.:055-411-096 ext 1361

Email address: aroondet_b@hotmail.com

1. บทนำ

ถนนเป็นสาธารณูปโภคแบบหนึ่งของระบบการขนส่งทางบกที่มีการใช้งานมากที่สุดเมื่อเทียบกับการขนส่งทางบกประเภทอื่น ดังนั้นถนนจึงได้รับการพัฒนาทั้งวิธีการและวัสดุที่ใช้ก่อสร้างมาอย่างต่อเนื่องโดยมุ่งหมายให้เกิดความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้นวัสดุที่ใช้จะต้องสามารถรับน้ำหนักหรือแรงกดได้สูงซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยหินคลุกสำหรับชั้นพื้นทางและดินลูกรังสำหรับชั้นรองพื้นทางวัสดุคัดเลือก และดินคั่นทาง ในบางพื้นที่ไม่สามารถจัดหาวัสดุที่มีคุณภาพได้ จึงใช้สารผสมเพิ่มผสมกับมวลดินเพื่อให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามวัตถุประสงค์การใช้งานเช่น การใช้เถ้าลอย ปูนขาวและซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณสมบัติเมื่อปริมาณของวัสดุปรับปรุงและอายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของดินลดลง [1] นอกจากนี้ ผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะทำให้เกิด Ca(OH)_2 ซึ่งจะแตกตัวเป็น Ca^{2+} ทำปฏิกิริยากับสารประกอบ CSH และ CAH จึงทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มด้วย [2] ส่วนการใช้เถ้าลอยร่วมกับซีเมนต์นั้นจะทำให้ค่ากำลังรับแรงเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแร่ Silica ให้กับดินซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 (Secondary Reaction) ในดินซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ [3] อีกทั้งเถ้าลอยในดินซีเมนต์ยังทำหน้าที่เป็นวัสดุกระจายตัวทำให้อนุภาคเม็ดดินซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่แตกตัวทำให้มีขนาดเล็กลงส่งผลให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่ากำลังรับแรงของดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอยนั้นจะแปรผันตามอิทธิพลร่วมของปฏิกิริยาไฮเดรชันจากปริมาณซีเมนต์และการกระจายตัวของดินจากปริมาณเถ้าลอยในรูปของอัตราส่วนพื้นที่และความละเอียดของเถ้าลอย [4]

ดินขาวถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางได้แก่ อุตสาหกรรมกระดาษ สีน้ำมัน เครื่องสำอาง และเครื่องปั้นดินเผา แต่การนำไปใช้งานต้องคัดแยกเฉพาะส่วนที่เป็นอนุภาคเนื้อดินขาวแท้ๆ เท่านั้น ซึ่งจะมีปริมาณไม่มากนัก ดังนั้นผลที่ตามมาคือของเหลือที่เกิดจากกระบวนการคัดแยกซึ่งเรียกว่า กากดินขาวที่มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก สถานประกอบการจะกองเก็บกากดินขาวไว้ในที่โล่งทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย เกิดเป็นมลพิษทางอากาศต่อชุมชนหรือพื้นที่ข้างเคียง ในประเทศไทยมีแหล่งดินขาวกระจายอยู่ทั่วประเทศ เช่น เชียงราย ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง ชุมพร และนราธิวาส โดยมีจำนวนเหมืองดินขาวเปิดทำการทั่วประเทศรวม 64 เหมืองให้ผลผลิตของเนื้อดินขาวถึง 420,164.9 ตัน [5]

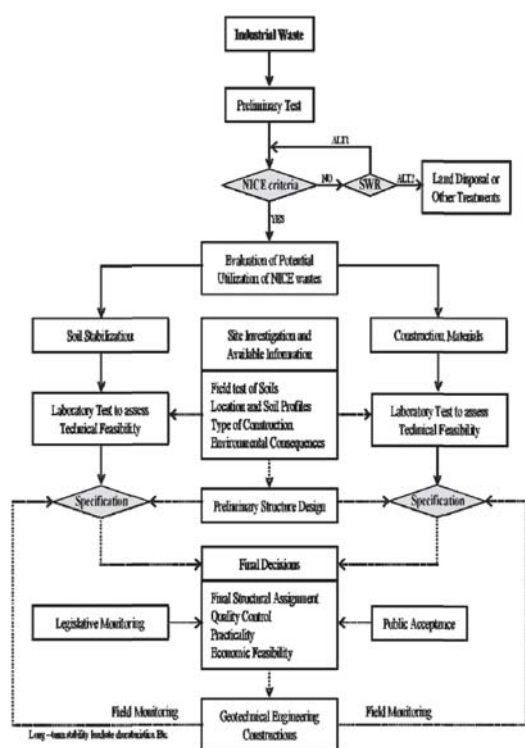
บทความฉบับนี้เสนอผลการศึกษาค้นคว้าด้านกำลังของกากดินขาวปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงวัสดุชั้นทางในการก่อสร้างถนน โดยเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์และช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1. การใช้ประโยชน์กากของเหลืออุตสาหกรรมในงานธรณีเทคนิค

ปัจจุบันได้มีการศึกษาวัสดุทดแทนวัสดุธรรมชาติกันอย่างกว้างขวางการนำกากอุตสาหกรรม (Industrial waste) ไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกปีเช่น การใช้เถ้าลอย (Fly Ash) หรือตะกอนจากการถลุงเหล็ก (Slag) เป็นสารผสมเชื่อมประสาน (Cement Admixture) การนำเอาคอนกรีตเก่า (Demolition Waste) แทนมวลหยาบในคอนกรีตใหม่หรือนำเอาไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางสำหรับ

การก่อสร้างถนน เนื่องจากด้านธรณีวิศวกรรมเป็นงานที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้วัสดุก่อสร้างปริมาณมาก ดังนั้นจึงต้องศึกษาคุณสมบัติหลักของกากอุตสาหกรรมเหล่านั้น ให้ดีเสียก่อนนำไปใช้โดยกากทิ้งอุตสาหกรรมนั้นต้องไม่เป็นพิษ (Non-Hazardous, N) มีความสามารถในการใช้งานได้ดี (Improvability, I) คุณสมบัติของวัสดุค่อนข้างสม่ำเสมอ (Compatibility, C) และมีต้นทุนต่ำเมื่อนำมาใช้งาน (Economic, E) หรือเรียกว่า “NICE Criteria” [6]



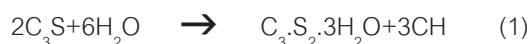
รูปที่ 1 แนวทางการพิจารณากากอุตสาหกรรมมาใช้อย่างมีศักยภาพ [6]

กรกต โนภิระ (2554) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของเถ้าหนักแม่เมาะที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางทดแทนวัสดุมวลรวมธรรมชาติพบว่าที่ปริมาณปูนซีเมนต์

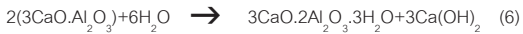
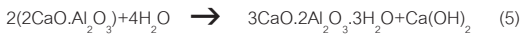
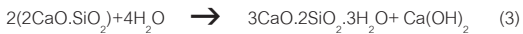
ร้อยละ 2.58 และ 8.00 สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าหนักเพื่อใช้ในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางได้ [7] นอกจากนั้นสยาม ยิ้มศิริ และคณะ(2552) ยังได้ศึกษาการนำตะกรันเหล็กไม่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยปูนซีเมนต์พบว่าตะกรันเหล็กมีค่า Crushing Strength ที่สูงและดูดซึมน้ำต่ำจึงทำให้ลดการวิบัติของชั้นทางภายใต้น้ำหนักล้อที่มากและความชื้นที่สูง และทำให้ความหนาของชั้นพื้นทางน้อยกว่าการใช้หินคลุก [8]

2.2. การพัฒนากำลังในดินปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์และเถ้าลอย

ปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่ผลิตสารเชื่อมประสานจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) เมื่อสัมผัสกับน้ำโดยเป็นปฏิกิริยาหลักในรูปของ CSH และ CAH (Calcium Silicates Hydrated and Calcium Aluminate Hydrated)



ในขณะเดียวกันเถ้าลอยที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (Cation Exchange) และปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) ทั้งหมดทำให้เกิดเป็นสารเชื่อมประสานยึดเหนี่ยวอนุภาคของเม็ดดินเข้าด้วยกัน นอกจากนั้นการผสมซีเมนต์และเถ้าลอยเข้าด้วยกันยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ของ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Calcium Hydroxide) ที่ไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับ SiO_2 และ Al_2O_3 เกิดเป็นสารเชื่อมประสานขึ้นอีกซึ่งอยู่ในรูปของ CSH และ CAH โดยปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงไว้ดังสมการต่อไปนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาการเกิด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในปูนซีเมนต์ [9]



ปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบ Ca(OH)_2 ร่วมกับเถ้าลอย



สุดินันต์ เพชรรัตน์ (2550) ศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงแบกทานของหินปูนผสมปูนซีเมนต์โดยการทดสอบ CBR พบว่าแนวโน้มการพัฒนากำลังจะแปรผันตามปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการบ่มโดยเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการบ่มจะทำให้กำลังรับแรงแบกทานมีค่าสูงขึ้น [10] อนิรุทธิ์ กล้าเหม็ง และอนิรุทธิ์ ธงไชย (2548) ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของดินแกรนิตปรับปรุงด้วยเถ้าลอยผสมปูนซีเมนต์โดยพบว่า การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดหลังอายุการบ่ม 7 วันในกรณีที่มีผสมด้วยเถ้าลอยและซีเมนต์จะค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการผสมด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และเมื่อบดอัดด้วยค่าความชื้นที่ต่ำกว่า OMC จะทำให้ค่ากำลังอัดลดลง ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจาก เกิดการแตกหักของเม็ดดินเนื่องจากใช้พลังงานในการบดอัดที่สูง [12] นอกจากนี้ สุรัชย์ โกเมนธรรมโสภณ และคณะ (2554) และ ประภาส วันทอง และคณะ (2554) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนด้วยเถ้าขาน้อยยวร่วมกับปูนขาวและเถ้ากลบร่วมกับปูนขาว ตามลำดับพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเชื่อมประสาน และค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวในช่วง 0 – 7 วันพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและหลังจาก 7 วันแนวโน้มการพัฒนาลดต่ำลง [12] และ [13] อนิรุทธิ์ ธงไชย และอรุณเดช บุญสูง

(2553) ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของชั้นดินเซียงใหม่ที่ถูกปรับปรุงด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยในการสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวพบว่า การพัฒนากำลังเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการบ่ม โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship) ในตัวอย่างที่มีปริมาณเถ้าลอยผสมอยู่มากเป็นแบบยืดหยุ่น และเมื่อลดปริมาณเถ้าลอยให้เหลือเพียง 10% ที่อายุการบ่มเท่ากันจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นแบบวัสดุแข็งเปราะซึ่งภายหลังการวิบัติแรงเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว

3. วิธีการดำเนินงาน

ภาคินขาวตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้เกิดจากกระบวนการคัดแยกเนื้อดินขาวของโรงแต่งแร่ในจังหวัดอุดรดิตถ์ คุณสมบัติต่างๆ ของภาคินขาวได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1 โดยจากการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินพบว่าภาคินขาวประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นทราย 76.14 % ดินตะกอน 21.14 % และดินเหนียว 2.72% ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอยที่ได้จากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยได้แสดงไว้ตารางที่ 2



รูปที่ 2 ภาคินขาวที่ออกมาจากกระบวนการคัดแยก



รูปที่ 3 กากดินขาวที่กองเก็บเพื่อรอการกำจัด

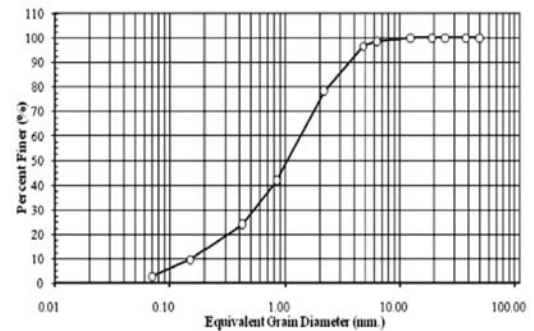
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกากดินขาว

Properties	Values
Specific Gravity	2.29
Liquid Limit	26.3 %
Plastic Limit	19.4 %
Plastic Index	6.9 %
Shrinkage Limit	11.0 %
Soil Classification	
- USCS	ML
- ASSHTO	A - 4
Optimum Moisture Content	14.2 %
Maximum Dry Density	1,964 kg/m ³
UCS	5.6 kg/cm ²
CBR	
- unsoaked	3 %
- soaked	1 %

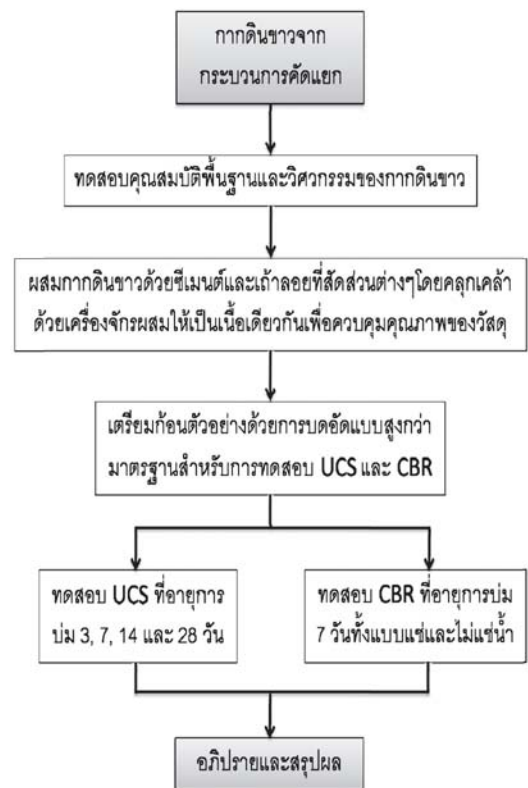
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

Component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Values, %	40.33	23.21	11.82	15.19
Component	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₃
Values, %	2.67	1.16	3.06	0.14
Component	TiO ₂	MnO ₂	SO ₃	LOI
Values, %	0.47	0.1	1.87	0.1

Free Lime Content = 0.55 %



รูปที่ 4 ลักษณะการกระจายตัวของกากดินขาว



รูปที่ 5 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน

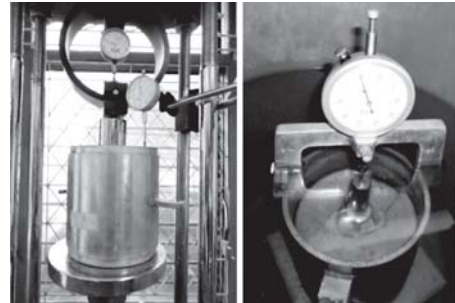
การเตรียมตัวอย่างจะนำกากดินขาวผสมด้วยสารเชื่อมประสานระหว่างปูนซีเมนต์และเถ้าลอย (C:F) ในสัดส่วนร้อยละ 1 (C0:F1, C0.5:F0.5 และ C1:F0), ร้อยละ 2 (C0:F2, C1:F1 และ C2:F0) และ ร้อยละ 4 (C0:F4, C2:F2 และ C4:F0) โดยน้ำหนักของ

ดินแห้งโดยตัวเลขหลังอักษร C และ F หมายถึงค่าร้อยละในส่วนผสมนั้น ($C_0:F_1$ = Cement 0 % : Fly Ash 1%) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคือปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) จากการทดสอบบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)



รูปที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) จะทำโดยอนุโลม (ทล-105/2517) โดยใช้ก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดในแบบหล่อมาตรฐานขนาด $\varnothing 4" \times 4.6"$ การบ่มก้อนตัวอย่างใช้ฟิล์มถนอมอาหารหุ้มแล้วรอครบอายุการบ่ม โดยจะทดสอบที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน โดยก้อนตัวอย่างจะถูกนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมงก่อนทดสอบจนก้อนตัวอย่างวิบัติ ส่วนการทดสอบกำลังรับแรงแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR) จะทำทั้งในกรณีที่ไม่แช่น้ำ (Unsoaked) และแช่น้ำ (Soaked) ที่อายุการบ่ม 7 วัน ในทุกส่วนผสม

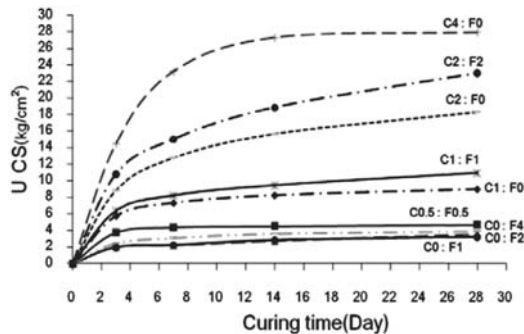


รูปที่ 7 การทดสอบกำลังรับแรงแบกทานทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ

4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS)

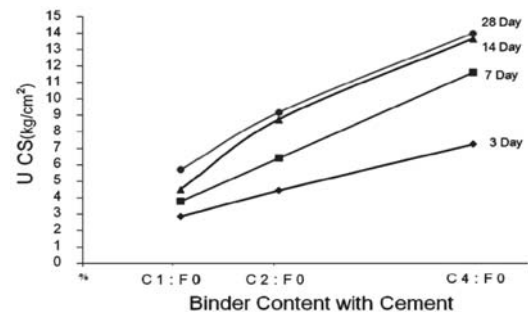
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวกับอายุการบ่มของกากดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยในทุกส่วนผสม โดยจะเห็นได้ว่าการพัฒนากำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของอายุการบ่ม (0-3วัน) ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดที่มีซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียวที่ร้อยละ 1%, 2% และ 4% ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าเท่ากับ 9, 18.4 และ 28 kg/cm^2 ตามลำดับ และมีแนวโน้มที่สามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้นอีก ในกรณีที่ใช้ซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานในสัดส่วน ($C_0.5:F_0.5$, $C_1:F_1$ และ $C_2:F_2$) กำลังรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 4.7, 11 และ 23.1 kg/cm^2 โดยมีแนวโน้มการพัฒนากำลังในรูปแบบที่คล้ายกับกรณีแรก ส่วนการใช้เถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว ($C_0:F_1$, $C_0:F_2$ และ $C_0:F_4$) จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ค่อนข้างต่ำแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเป็น 2 เท่าโดยมีแนวโน้มว่าไม่สามารถพัฒนากำลังอัดให้สูงขึ้นกว่านี้แม้ว่าจะเพิ่มอายุการบ่ม



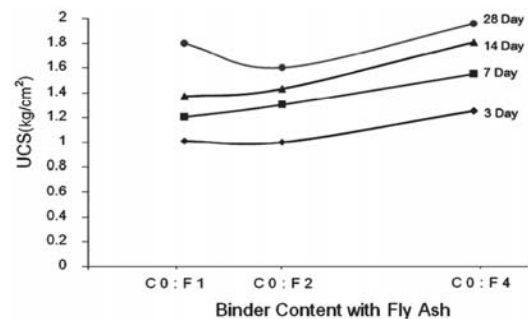
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) กับอายุการบ่มของกากดินขาวผสมซีเมนต์และเถ้าลอย

จากผลการทดสอบนี้อาจกล่าวได้ว่าเนื่องจากเถ้าลอยเป็นวัสดุ Pozzolan จึงไม่อาจทำให้เกิดการพัฒนา กำลังได้สูงขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเพียงอย่างเดียว ดังนั้นซีเมนต์จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการปรับปรุงคุณสมบัติอันเป็นผลมาจากปฏิกิริยา Hydration ซึ่งจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีอิทธิพลต่อการพัฒนา กำลังได้มากกว่าการเพิ่มเพียงปริมาณเถ้าลอย บ่มต่างๆจะเกิดขึ้นในระดับที่สูงกว่าโดยสังเกตได้จากลักษณะความชันของเส้นกราฟ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาณซีเมนต์มีอิทธิพลต่อการพัฒนา กำลังได้มากกว่าอายุการบ่ม รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนา กำลังรับแรงอัดแกนเดียวกับปริมาณซีเมนต์ที่อายุการบ่มต่างๆซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์และอายุการบ่ม โดยอัตราการพัฒนา กำลังที่อายุการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน มีค่าเท่ากับ 51.8%, 83.1% และ 97.6% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ส่วนผลของการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ที่อายุการบ่มที่ 10 และ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนา กำลังรับแรงอัดกับปริมาณเถ้าลอย

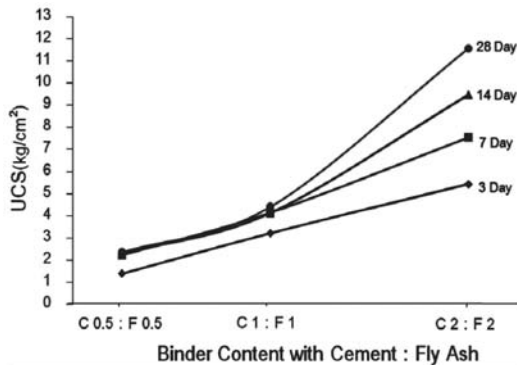
และซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยโดยทั้ง 2 กรณีแสดงให้เห็นถึงการพัฒนา กำลังที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันซึ่งคาดว่า เป็นอิทธิพลจากการเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยแต่จะเกิดขึ้นไม่มากในกรณีที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วงเพียง 1 – 2 kg/cm² ในขณะที่การใส่ซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยที่ร้อยละของสารเชื่อมประสานเท่ากับ 1%, 2% และ 4% ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ทุกอายุการบ่ม



รูปที่ 9 การพัฒนา กำลังรับแรงอัดแกนเดียวโดยใช้ซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว



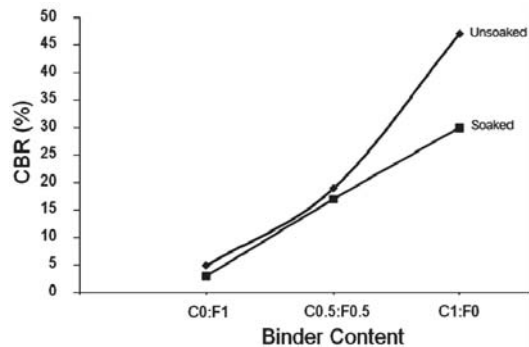
รูปที่ 10 การพัฒนา กำลังรับแรงอัดแกนเดียวโดยใช้เถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว



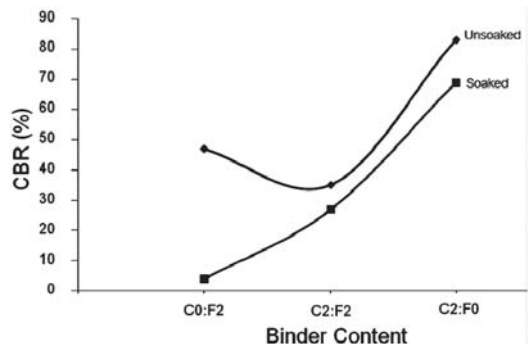
รูปที่ 11 การพัฒนากำลังรับแรงอัดแกนเดียวโดยใช้ซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสาน

4.2 การทดสอบกำลังรับแรงแบกทาน (CBR)

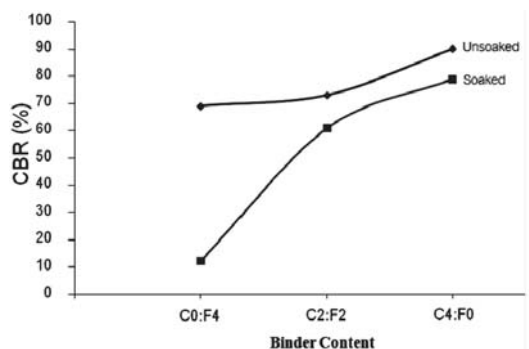
รูปที่ 12 ถึง 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงแบกทานของกากดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยที่ร้อยละ 1, 2 และ 4 ตามลำดับ การใช้เถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว (C0:F1, C0:F2 และ C0:F4) ทำให้กำลังรับแรงแบกทานเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 3%, 4% และ 12% ในกรณี soaked และ 5%, 47% และ 69% ในกรณี Unsoaked ส่วนการใช้ซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอย (C0.5:F0.5, C1:F1 และ C2:F2) ทำให้ค่ากำลังรับแรงแบกทานมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในส่วนผสมจะทำให้ปริมาณของสารเชื่อมประสานเพิ่มและช่วยเสริมปฏิกิริยาทางเคมีให้เกิดได้มากยิ่งขึ้นจากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 (Secondary Reaction) โดยมีค่าเท่ากับ 17%, 27% และ 61% ในกรณี soaked และ 19%, 35% และ 73% ในกรณี Unsoaked และการใช้ซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียวนั้นทำให้ค่ากำลังรับแรงแบกทานที่ได้นั้นมีค่าค่อนข้างสูงแม้จะใช้ปริมาณเพียงร้อยละ 1 โดยจะให้ค่าเท่ากับ 30, 69 และ 79 ในกรณี soaked และ 47, 83 และ 90 ในกรณี Unsoaked



รูปที่ 12 กำลังรับแรงแบกทาน (CBR) ของกากดินขาวผสมซีเมนต์และเถ้าลอยที่อัตราส่วนร้อยละ 1



รูปที่ 13 กำลังรับแรงแบกทาน (CBR) ของกากดินขาวผสมซีเมนต์และเถ้าลอยที่อัตราส่วนร้อยละ 2



รูปที่ 14 กำลังรับแรงแบกทาน (CBR) ของกากดินขาวผสมซีเมนต์และเถ้าลอยร้อยละ 4

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงแบกทาน

Binder Ratio	soaked, %	Unsoaked, %	Δ , %
C0:F1	3	5	40
C0.5:F0.5	17	19	10.5
C1:F0	30	47	36.2
C0:F2	4	47	91
C1:F1	27	35	22.9
C2:F0	69	83	16.9
C0:F4	12	69	82.6
C2:F2	61	73	16.4
C4:F0	79	90	12.2

Δ = ค่าร้อยละการลดลงของกำลังรับแรงแบกทานจากการทดสอบ CBR ระหว่างก่อนตัวอย่างกรณี soaked และ unsoaked

ข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงแบกทานในกรณี Soaked จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากรณี Unsoaked ทั้งนี้เนื่องจากผลติดกันของปฏิกิริยาทางเคมี (Reaction Products) ในช่วงแรกทำให้เกิดการก่อตัวและจับตัวกันแน่นของสารเชื่อมประสาน เมื่อน้ำจากภายนอกมาทำปฏิกิริยาเพิ่ม จึงส่งผลให้ดินซีเมนต์เกิดการแตกร้าวจากการแพร่กระจายของสารเชื่อมประสานทำให้กำลังรับแรงมีค่าลดลง โดยค่ากำลังรับแรงแบกทานของภาคดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยทุกส่วนผสมสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3 จากการพิจารณาค่าหน่วยน้ำหนักของภาคดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยที่ทุกส่วนผสมพบว่าไม่มีนัยต่อการแปรเปลี่ยนของค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด โดยจะมีค่าประมาณ $1,900 \text{ kg/m}^3$ การบวมตัวของตัวอย่างที่แช่น้ำเกิดขึ้นน้อยมาก โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.6 -3

5. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบ UCS แสดงให้เห็นว่าซีเมนต์และเถ้าลอยสามารถปรับปรุงกำลังรับแรงอัดของภาคดินขาวได้ โดยการพัฒนากำลังจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการบ่มและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเชื่อมประสานและอายุการบ่ม มาตรฐานรองพื้นฐานดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ที่ ทล.ม. 206/2532 และพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) ที่ ทล.ม. 204/2533 ได้กำหนดค่า UCS เพื่อใช้ในการออกแบบชั้นทางดังกล่าวข้างต้นไว้เท่ากับ 7 kg/m^2 และ 17.5 kg/m^2 ตามลำดับ จากข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าค่า UCS ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำภาคดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติซีเมนต์และเถ้าลอยเป็นวัสดุชั้นทาง ส่วนการทดสอบ CBR พบว่าค่ากำลังรับแรงแบกทานมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนการปรับปรุง ตามปริมาณสารเชื่อมประสานทั้งในกรณี Soaked และ Unsoaked

6. บทสรุป

การวิเคราะห์ผลการศึกษาดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) การพัฒนากำลังรับแรงอัดจากการทดสอบ UCS จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการบ่ม และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเชื่อมประสานและอายุการบ่ม

(2) ซีเมนต์และเถ้าลอยสามารถปรับปรุงกำลังรับแรงแบกทานจากการทดสอบ CBR ได้ทั้งในกรณี Soaked และ Unsoaked โดยการทดสอบในกรณี Soaked จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากรณี Unsoaked

(3) อัตราส่วนที่เหมาะสมของการนำภาคดินขาวปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยเพื่อใช้

เป็นชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ (ทล-ม. 206/2532) ประกอบด้วย C1:F0, C1:F1 และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (ทล-ม. 204/2532) ประกอบด้วย C2:F0, C2:F2 และ C4:F0

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยของ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ok a E. Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soil. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering. 2001; 127(7): 568-573.
- [2] Lambe TW, Michells AS, Moh ZC. Improvement of Soil-Cement with Alkali Metal Compounds. Highway Research Board Bull. 1959; 241: 67-103.
- [3] Kumpala A, Katkan W, Horpibulsuk S. Unconfined compressive strength of silty clay stabilized by cement and rice husk ash. Proceeding of the 12th National Convention on civil Engineering; 2007 May 2-4; Phitsanulok. Naresuan University; 2007. GTE p.176-182. (In Thai)
- [4] Raksachon Y, Horpibulsuk S. Fly ash-A dispersing Material in Cement Stabilized Clay. Proceeding of The 14th National Convention on Civil Engineering; 2009 May 13-15; Nakhonratchasima. Suranaree University of Technology; 2009. GTE p.251-256. (In Thai)
- [5] Rapjaturpuch L. Kaolin. Tripod Home. (Cited 1998 Dec); Available from: <http://cpairat.tripod.com/kaolin>
- [6] Nontananandh S. Environmental Geotechnology for Potential Waste Utilization. (Cited 1995). Available from: <http://www.thaiengineering.com>
- [7] Nopira K. Mechanical Property Improvement of Mae Moh Bottom Ash for Road Base. Proceeding of The 16th. National Convention on Civil Engineering; 2011 May 18-20; Chonburi. Mahidol University; 2011. MAT 021. p.1-11. (In Thai)
- [8] Yimsiri S, Uthairuang K, Phasue N. Utilization of Steel Slag for Road Bed Construction. Proceeding of The 14th National Convention on Civil Engineering; 2009 May 13-15; Nakhonratchasima. Suranaree University of Technology; 2009. MAT p.267-272. (In Thai)
- [9] Housman MR. Engineering Principles of Ground Modification. Sydney: McGraw – Hill Publ. Co; 1990.
- [10] Phetcharat S. Shearing Resistance of Dust Stone Mixed Cement by CBR Method. Proceeding of The 12th National Convention on Civil Engineering; 2007 May 2-4; Phitsanulok. Naresuan University; 2007. MAT p.35-40. (In Thai)

- [11] Grammeng A, Thongchai A. Compressive strength behaviors of cement-fly ash stabilized granitic soil. Proceeding of The 10th National Convention on Civil Engineering; 2005 May 2-4; Chonburi. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; 2005. GTE p.1-6. (In Thai)
- [12] Gomentamsopon S, Wanthong P, Kanta A, Hemmoon P. Soft Clay Improvement Using Bagasse Ash and Hydrated Lime. Proceeding of The 16th National Convention on Civil Engineering; 2011 May 18 – 20; Chonburi. Mahidol University; 2011. GTE 063 p.1-9. (In Thai)
- [13] Wanthong P, Sangdet N, Srigarwin W, Chantawan E. Clay Improvement using Rice Husk and Hydrate Lime. Proceeding of The 16th National Convention on Civil Engineering; 2011 May 18-20; Chonburi. Mahidol University; 2011. GTE 064 p.1-9 (In Thai)
- [14] Thongchai A, Boonsung A. Strength Properties of Soil –Cement – Fly Ash for Deep Mixing Stabilization in Chiang Mai Subsoil. Journal of Industrial Technology. 2010; 4(2): 19-27. (In Thai)