

คุณสมบัติธรณีเทคนิคของทรายพิจิตรผสมเถ้าลอยลิกไนต์

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF LIGNITE FLY ASH -PIJIT SAND

ภาณุวัฒน์ สุริยฉัตร และ พัฒนพงษ์ ทวีพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พังครุ กทม. 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติธรณีเทคนิคของทรายพิจิตรผสมเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยลิกไนต์เป็นของเสียที่เหลือทิ้งจากการเผาถ่านหินเพื่อนำพลังงานความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงงานไฟฟ้าความร้อนแม่เมาะมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของทรายพิจิตร โดยนำตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์ที่ได้คัดขนาดความละเอียดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง และทรายพิจิตรจาก จ.พิจิตร โดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยนำหนักของทรายพิจิตร

ผลการศึกษาการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่า อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 10 มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 8 สำหรับผลการศึกษา California Bearing Ratio (CBR) ตัวอย่างแบบไม่แช่น้ำที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน และแบบแช่น้ำที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่า CBR เท่ากับร้อยละ 107.70, 119.50 และ 89.40 ตามลำดับที่อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 20 ทั้งสองกรณีผลการทดสอบค่า Undrained Shear Strength (S_u) ตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน มีค่าสูงสุด 4.63 และ 5.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 20 มีค่า S_u เพิ่มขึ้นกว่าที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ระหว่างร้อยละ 17 ถึงร้อยละ 77 สามารถลดการบวมตัวได้ดี สรุปได้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีความเหมาะสมที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของทรายพิจิตร นอกจากนี้ยังได้เสนอเกี่ยวกับข้อจำกัดบางประการ งานวิจัยต่อไป และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the geotechnical properties of Pijit sand mixed lignite fly ash. The lignite fly ash which is a waste residue from coal burning in power generation at Mae Moh thermal plant can be used as stabilizer for Pijit sand. The lignite fly ash samples as unclassified form are taken from Mae Moh thermal plant, Lampang province and Pijit sand sample from Pijit province by using percentage of lignite fly ash as 0%, 5%, 10%, 15% and 20% by weight of Pijit sand.

From the modified proctor compaction test results showed that at 10% lignite fly ash content, the maximum dry unit weight was 2.15 g/cm³, at optimum water content was 8%. The California Bearing Ratio (CBR) results, samples unsoaked at 7 and 14 days curing time and soaked at 7 days curing time were 107.70 %, 119.50 %, and 89.40 %, respectively, at 20% lignite fly ash content in both cases. The undrained shear strength results, samples at 7 and 14 days curing time gave the maximum value of 4.63 kg/cm² and 5.20 kg/cm², respectively. At 20 % lignite fly ash content, the undrained shear strength samples increased in a range of 17 to 77% compared to unmixed lignite fly ash samples and also decreased swell characteristic. In conclusion, it is suitable to utilize fly ash for engineering property improvement of Pijit sand. Moreover, some limitation, further research and recommendation were also presented.

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการนำเข้าน้ำมันมีผลกระทบกระเทือนต่อระบบเศรษฐกิจของทุกประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะประเทศที่พึ่งการนำเข้าน้ำมันส่วนใหญ่จากต่างประเทศไม่ยกเว้นแม้แต่ประเทศไทย เพื่อต้องการลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำพลังงานที่ได้จากแหล่งอื่นมาใช้ประโยชน์ทดแทนเช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินลิกไนต์ เป็นต้น ถ่านหินลิกไนต์จัดเป็นเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับน้ำมันและยังเป็นที่ทรัพยากรธรณีภายในประเทศ ผลที่เกิดตามมาจากการเผาถ่านหินลิกไนต์ก็คือ เถ้าลอยหรือเถ้าถ่านหิน ซึ่งเดิมเป็นผลิตภัณฑ์ของเสียชนิดหนึ่งที่เกิดปัญหาสภาพแวดล้อมเป็นพิษอันเนื่องมาจากเถ้าลอยมีลักษณะเป็นฝุ่นละเอียด หากอยู่ในสภาพแห้ง เมื่อถูกลมจะปลิวไปในบรรยากาศได้ง่าย ทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งในปัจจุบันโรงไฟฟ้าแม่เมาะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้นำถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าประมาณวันละ 40,000 ตัน ถ่านหินลิกไนต์ดังกล่าวถูกควบคุมปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ เช่น เหล็ก ซิลิกา แคลเซียม ซัลเฟอร์และองค์ประกอบอื่น ๆ ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อป้องกันมลภาวะ จึงมีผลพลอยได้จากการควบคุมคุณภาพถ่านหินที่ส่งเข้าไปเผาไหม้ทำให้ได้เถ้าลอยลิกไนต์ที่มีคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอ ประมาณวันละ 6,000 ตัน และมีปริมาณซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ ไม่เกินร้อยละ 5 ตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM C 618 จึงสามารถจัดเป็นสารปอซโซลาน ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างได้

จากคุณสมบัติดังกล่าวของเถ้าลอยลิกไนต์และความต้องการที่จะลดปัญหาผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและลดภาระในการเก็บเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากมาเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า 2 ล้านตันต่อปี แต่มีการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อยและวิธีการที่ใช้ในการกำจัดเถ้าลอยเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก จึงได้มีแนวความคิดในการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของทรายพิชิตร เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในงานโครงสร้างคันดินเป็นวัสดุงานทางในชั้นรองพื้นทางต่อไป บรรเทาปัญหาทางสภาพแวดล้อม ในส่วนงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน โดยวิธีผสมเถ้าลอยลิกไนต์ มีผู้ทำการศึกษาไว้มีดังนี้ Davidson, Sheeler และ Delbridge [1] พบว่า การนำวัสดุที่มี

คุณสมบัติปอซโซลานเริ่มมีมาตั้งแต่ยุคสมัยจักรวรรดิโรมัน โดยที่ในยุคนี้ได้มีการนำเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic Ashes) ที่มีคุณสมบัติปอซโซลานคล้ายคลึงกับเถ้าลอยมาผสมกับปูนขาว

การใช้เถ้าลอยในงานคันทางมีสาเหตุมาจากการหาดินถมในเขตพื้นที่ชุมชนนั้นหาได้ยากและมีราคาสูง จึงได้มีการทดลองนำเถ้าลอยมาใช้ การใช้เถ้าลอยกับงานคันทางจะต้องระมัดระวังเมื่อใช้ถมบนดินอ่อน เพราะอาจทำให้เกิดรอยแตกของโครงสร้าง ทั้งนี้เกิดการทรุดตัวของดินทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในโครงสร้างดิน ([2], [3], [4], [5], และ [6])

การใช้เถ้าลอยในการปรับปรุงคุณภาพของดินเดิม โดยใช้เถ้าลอยสามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินเดิม เช่น ลดค่า Plasticity เพิ่มค่า Shear Strength โดยอาจใช้ร่วมกับปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ตามกรรมวิธีของการปรับปรุงคุณภาพดิน Akoto [7] ใช้เถ้าลอยผสมปูนขาวเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ได้ผลว่าค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และการใช้เถ้าลอยผสมลงไปในดินเหนียว และทราย จะช่วยให้ค่าความสามารถในการซึมได้ของดินลดลง [8] นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้เถ้าลอยผสมปูนขาวจะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ปูนขาวในการปรับปรุงคุณภาพของดินเพียงอย่างเดียว

การใช้เถ้าลอยในชั้นพื้นทางและรองพื้นทาง ก่อนที่จะนำเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางและรองพื้นทางจะต้องนำเถ้าลอยไปผสมปูนขาวหรือปูนซีเมนต์เสียก่อน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางวิศวกรรม เพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือน และเถ้าลอยจะเพิ่มความสามารถในการรับกำลัง เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอยเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์หรือปูนขาวที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าลอย ([9], [10], [11], และ [12]) สมพงษ์ [13] ศึกษาถึงผลของการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าลอยและทรายโดยการผสมปูนขาว พบว่าการรับกำลังอัด UCS มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม แต่ปริมาณปูนขาวที่ผสมเพิ่มมากขึ้นกลับทำให้ค่าการรับกำลังอัดเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน สำหรับค่า California Bearing Ratio (CBR) ไม่สามารถที่จะหาค่าที่แท้จริงได้ เพราะตัวอย่างมีความแข็งมาก ดังนั้นจึงไม่อาจหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS และ CBR ได้แต่เมื่อพิจารณาถึงผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เถ้าลอยผสมทราย

และปูนขาว มีความสามารถในการรับกำลังได้สูง

2. วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างทรายพิจิตรจากทางหลวงหมายเลข 1074 สายบ้านทุ่งสนุ่น-บ้านทุ่งใหญ่ บรรจบทางหลวงหมายเลข 117 กม. 29+300 ขวาทาง 200 เมตร จ.พิจิตร และถ้ำลอยลิกลงใต้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง ทำการผสมทรายพิจิตรกับถ้ำลอยลิกลงใต้ ในอัตราส่วนผสมของถ้ำลอยลิกลงใต้ต่อทรายพิจิตร ที่อัตราส่วนประมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของทรายพิจิตร แต่ละอัตราส่วนผสมของทุกวิธีการทดสอบจะใช้จำนวนตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM, [14]) ได้แก่ เอ็ดเตอร์เบอร์ ลิ้มิต (Atterberg Limits), การวิเคราะห์การกระจายขนาด (Grain Size Analysis), ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity) และการจำแนกประเภทของดินด้วยระบบวิธี US Department of Agricultural (USDA), Unified Soil Classification (USC) และ American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)

2.2 การทดสอบอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 1557 เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, MDD) ใช้แบบหล่อ (Mold) ขนาด 4 x 4.6 นิ้ว ทำการบดอัด 25 ครั้งต่อชั้นและบดอัดทั้งหมด 5 ชั้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอย

องค์ประกอบ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI
ทางเคมี (%)	46.25	26.43	10.71	7.61	2.21	1.11	3.07	1.85	0.23

(LOI = Loss on Ignition)

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของทรายพิจิตร

พิจิตร

ผลการทดสอบการกระจายของขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) และไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

2.3 การทดสอบ California Bearing Ratio Test

(CBR) ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 ใช้แบบหล่อขนาด 6 x 7 นิ้ว ทำการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) โดยบ่มอากาศที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับก่อนนำไปทำการทดสอบและแบบแช่น้ำ (Soaked) ทำการบ่มอากาศที่ระยะเวลา 7 วัน แล้วจึงนำไปแช่น้ำต่อเป็นเวลา 4 วัน ก่อนนำมาทำการทดสอบรวมระยะเวลาบ่มทั้งสิ้น 11 วัน

2.4 การทดสอบ Unconfined Compression Test

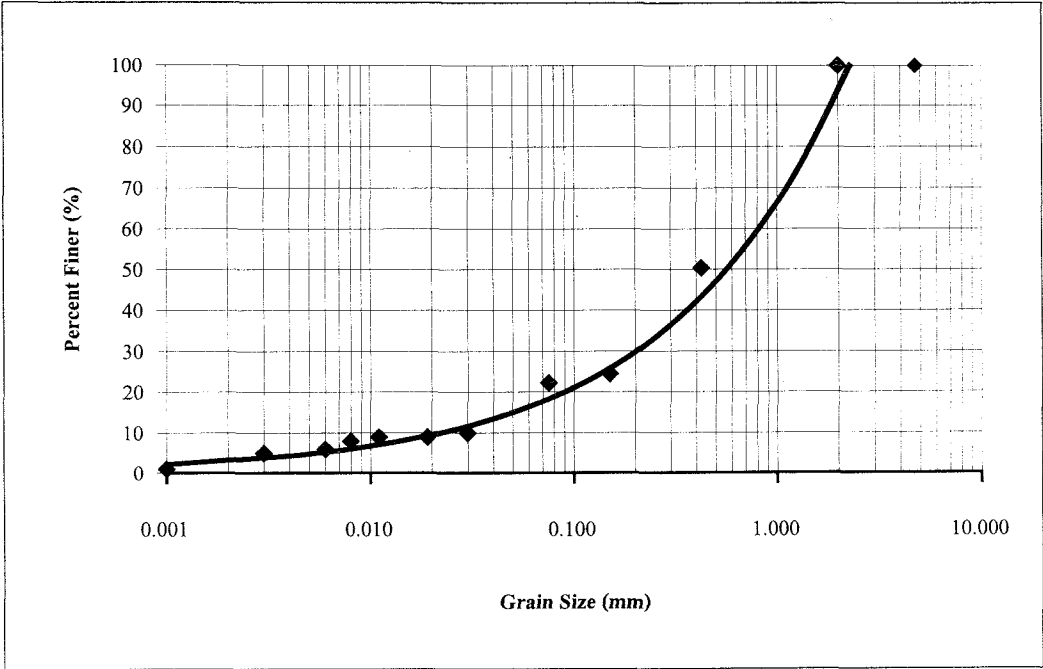
(UCT) ตามมาตรฐาน ASTM D 2166 โดยแบบหล่อมีขนาด 4x4.6 นิ้ว ทำการบดอัด 25 ครั้งต่อชั้นและบดอัดทั้งหมด 5 ชั้น ผสมน้ำเท่ากับที่ OMC ตัวอย่างดินผสมที่ปริมาณถ้ำลอยลิกลงใต้ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อายุการบ่ม 7 และ 14 วัน เมื่อดันตัวอย่างออกจากแบบหล่อ นำแผ่นฟิล์มมาห่อหุ้มตัวอย่างให้มิดชิด ใส่ไว้ในถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น บ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบอายุการบ่ม นำตัวอย่างออกจากถุงแล้วทดสอบ UCT ทันที และคำนวณเปรียบเทียบกับค่า Undrained Shear Strength (Su)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมีของถ้ำลอยลิกลงใต้

ถ้ำลอยลิกลงใต้ที่นำมาใช้ทำการทดสอบจะจัดอยู่ใน Class F มีสีเทา และฟุ้งกระจายได้ง่าย โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.02 และมีองค์ประกอบทางเคมี [15] ดังแสดงในตารางที่ 1

แสดงในรูปที่ 1 และผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และการจำแนกประเภทของดินของทรายพิจิตร ในตารางที่ 2



รูปที่ 1 การกระจายของขนาดทรายพิจิตร

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของทรายพิจิตร

คุณสมบัติทางด้านกายภาพ	มาตรฐาน	ทรายพิจิตร
การจำแนกประเภทของดินโดยระเบียบวิธี	USC	SC -SM
	AAHTO	A-2-4
	USDA	Loamy Sand
Liquid Limit, LL (%)	ASTM D 4318	24.00
Plastic Limit, PL (%)	ASTM D 4318	19.52
Shrinkage Limit, SL (%)	ASTM D 4318	17.96
Natural Water Content, w (%)	ASTM D 4318	1.43
Plastic Index, PI (%)	ASTM D 4318	4.48
Specific Gravity, Gs	ASTM 854	2.62

3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน

ผสม

3.3.1 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่า

มาตรฐาน

ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

พบว่าทรายพิจิตรที่นำมาทำการทดสอบมีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 8 และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานในอัตราส่วนผสมต่างๆ พบว่าดินที่

ส่วนผสมเกล็ดลิกไนต์ที่อัตราส่วนผสมปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในดินผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ แตกต่างกันมากนักหรือกล่าวอีกอย่างว่า อัตราส่วนผสมของเกล็ดลิกไนต์ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยที่

อัตราส่วนผสมของเกล็ดลิกไนต์ที่ร้อยละ 10 มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มากกว่าส่วนผสมอื่นๆ แตกต่างกันน้อยมากทั้งนี้เพราะว่าความถ่วงจำเพาะของทรายพิจิตรมีค่าใกล้เคียงกับของเกล็ดลิกไนต์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

อัตราส่วนผสมของเกล็ดลิกไนต์	ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
0%	8.0%	2.11
5%	8.5%	2.14
10%	8.0%	2.15
15%	8.0%	2.14
20%	8.0%	2.12

3.3.2 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio

Test

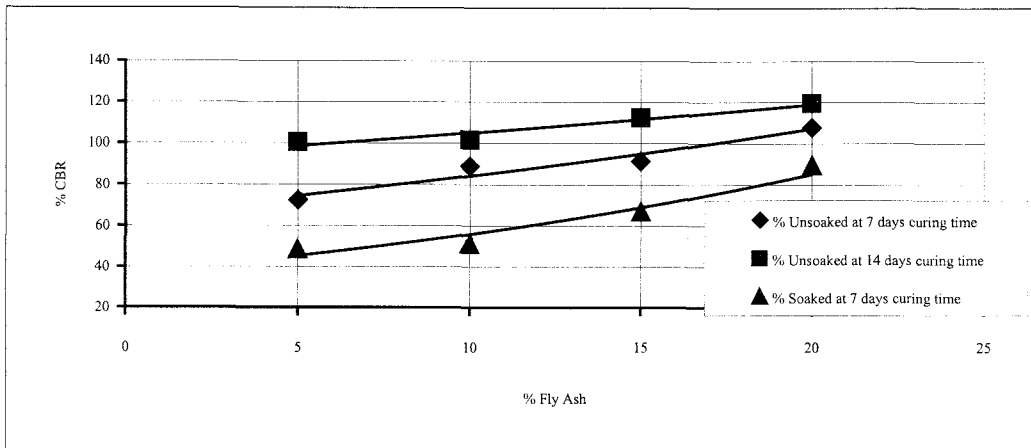
ผลการทดสอบค่า CBR ที่ร้อยละ 95 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของทรายพิจิตรอย่างเดียวที่ระยะเวลาบ่ม 0 วัน (0%ของเกล็ดลิกไนต์) แบบไม่แช่น้ำ มีค่าเท่ากับร้อยละ 25.95 และแบบแช่น้ำ มีค่าเท่ากับร้อยละ 18.5 ส่วนกรณีดินผสมในอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน เมื่อทำการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ และแบบแช่น้ำ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ก่อนจะนำไปแช่น้ำต่อเพื่อวัดการบวมตัวในตัวอย่างอีก 4 วัน รวมระยะเวลาบ่มทั้งสิ้น 11 วัน สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งจากตารางจะพบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนผสมของเกล็ดลิกไนต์ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ทดสอบแบบไม่แช่น้ำได้ค่าร้อยละ CBR ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 72.60, 89.00, 91.50 และ 107.70 ตามลำดับ และได้ค่าร้อยละ CBR ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน เท่ากับ 100.50, 101.50, 112.50 และ 119.50 ตามลำดับ สำหรับทดสอบแบบไม่แช่น้ำค่าร้อยละ CBR ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเท่ากับ 48.55, 51.20, 66.85 และ 89.40 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 2 พบว่าค่าร้อยละ CBR แบบไม่แช่น้ำ และค่าร้อยละ CBR แบบแช่น้ำ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของเกล็ดลิกไนต์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าร้อยละ CBR ทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน จะมี

ค่าสูงกว่าค่าร้อยละ CBR ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ในทุกอัตราส่วนผสม ซึ่งสรุปได้ว่าทรายพิจิตรที่ผสมเกล็ดลิกไนต์มีค่าร้อยละ CBR เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรกและจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น ที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานเม็ดดินเข้าไว้ด้วยกันกับเกล็ดลิกไนต์ที่แข็งตัวโดยผ่านกระบวนการทางเคมีจึงมีความคงทนและความแข็งแรง

สำหรับผลการทดสอบการบวมตัวของดินผสมแสดงในตารางที่ 5 พบว่าทรายพิจิตรที่ไม่ผสมเกล็ดลิกไนต์จะมีร้อยละการบวมตัวสูงกว่าทรายพิจิตรที่ผสมเกล็ดลิกไนต์ และเมื่อเปรียบเทียบที่มีอัตราส่วนผสมของเกล็ดลิกไนต์ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 พบว่าร้อยละการบวมตัวจะมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งที่ใช้ในการบดอัดดิน ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 3 จะพบว่าทรายพิจิตรที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยวิธีการผสมเกล็ดลิกไนต์ตามอัตราส่วนผสมทั้งหมด จะมีค่าร้อยละการบวมตัวที่ใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนครั้งที่ใช้ในการบดอัดดินมากกว่า 25 ครั้งต่อชั้น และมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับทรายพิจิตรที่ไม่ผสมเกล็ดลิกไนต์ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นจากการผสมด้วยเกล็ดลิกไนต์

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ CBR

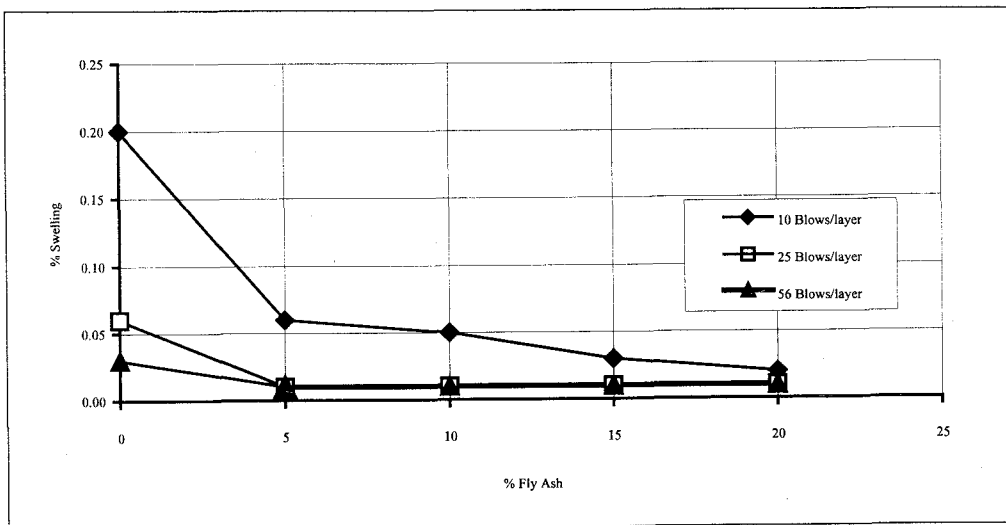
อัตราส่วนผสมของเถ้า ลอยลิกไนต์	ร้อยละ CBR ที่ 95 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน		
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน		ระยะเวลาบ่ม 14 วัน
	ร้อยละ CBR แบบไม่แช่น้ำ	ร้อยละ CBR แบบแช่น้ำ	ร้อยละ CBR แบบไม่แช่น้ำ
5%	72.60	48.55	100.50
10%	89.00	51.20	101.50
15%	91.50	66.85	112.50
20%	107.70	89.40	119.50



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR กับร้อยละของเถ้าลอยลิกไนต์

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการบวมตัว

อัตราส่วนผสมของเถ้าลอย	ร้อยละการบวมตัว		
	เมื่ออัตราส่วนผสมเถ้าลอย 5%	เมื่ออัตราส่วนผสมเถ้าลอย 10%	เมื่ออัตราส่วนผสมเถ้าลอย 15%



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Swelling ที่ 10, 25 และ 56 Blows / layer กับร้อยละของเถ้าลอยลิกไนต์

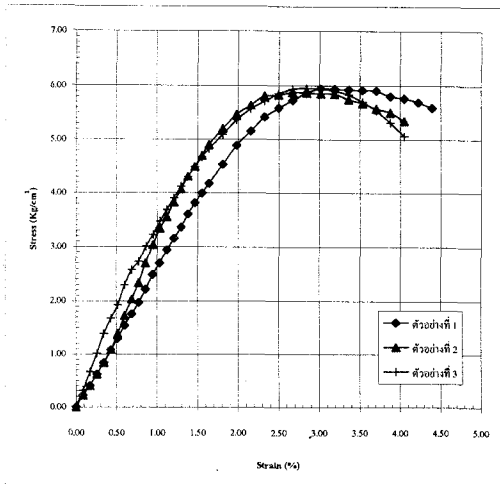
3.3.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว

รูปที่ 4 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ที่อายุบ่ม 7 วัน ปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ ร้อยละ 0 และ 5 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ของดินผสมที่มีปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ ร้อยละ 10 ที่อายุบ่ม 7 วัน และ 14 วันตามลำดับ ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวของทรายพิจิตร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ (0% ของเถ้าลอยลิกไนต์) ที่อายุบ่ม 0 วัน

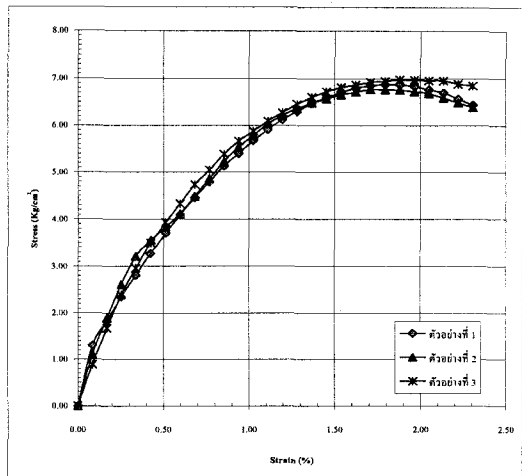
มีค่า S_u เท่ากับ 2.93 Kg/cm^2 ในกรณีส่วนผสมเถ้าลอยเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ทำการบ่มที่อายุการบ่ม 7 และ 14 วัน สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 6 จากตารางพบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ได้ค่า S_u ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 3.43, 4.03, 4.35 และ 4.63 Kg/cm^2 ตามลำดับ และค่า S_u ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน เท่ากับ 4.46, 4.58, 4.61 และ 5.20 Kg/cm^2 ตามลำดับ รูปที่ 6 แสดงค่า S_u ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่อายุการบ่ม 7 และ 14 วัน ค่า S_u เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 6 ค่า Undrained Shear Strength (S_u)

ระยะการบ่ม (วัน)	ค่า Undrained Shear Strength (Kg/cm^2)				
	เถ้าลอยลิกไนต์				
	0%	5%	10%	15%	20%
0	2.93	-	-	-	-
7	-	3.43	4.03	4.35	4.63
14	-	4.46	4.58	4.61	5.20

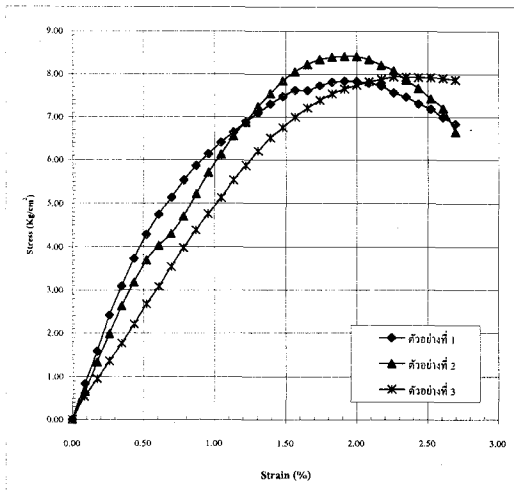


(ก) ปริมาณแก๊กลอยลิกไนต์ ร้อยละ 0

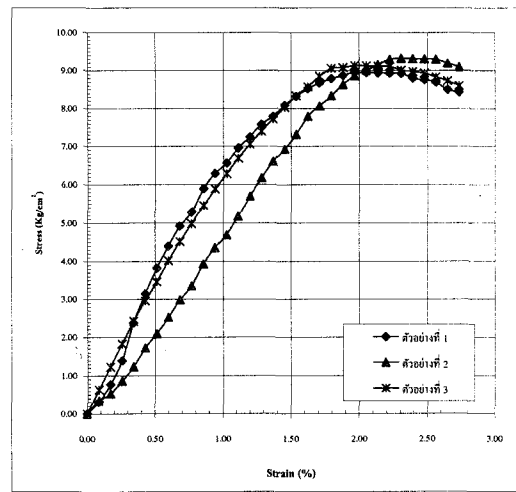


(ข) ปริมาณแก๊กลอยลิกไนต์ ร้อยละ 5

รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ที่อายุบ่ม 7 วัน

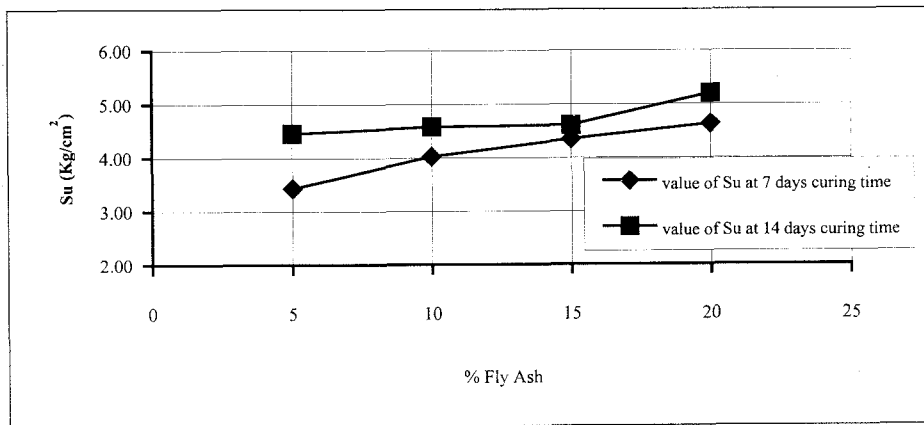


(ก) ที่อายุบ่ม 7 วัน



(ข) ที่อายุบ่ม 14 วัน

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) ที่ปริมาณแก๊กลอยลิกไนต์ ร้อยละ 10



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Su ที่ระยะบ่ม 7 และ 14 วัน กับร้อยละของเถ้าลอยลิกไนต์

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4.1 ผลการทดสอบการกระจายของขนาดทรายพิจิตร และผลจากคุณสมบัติกายภาพ สรุปได้ว่าทรายพิจิตรจากการจำแนกประเภทของดินตามระเบียบวิธีของ USC AASHTO และ USDA พบว่าเป็นดินกลุ่ม SM-SC, A-2-4 และ Loamy Sand ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐานสามารถสรุปได้ว่า เมื่อผสมปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.11, 2.14, 2.15, 2.14 และ 2.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม เท่ากับร้อยละ 8, 8.5, 8, 8 และ 8 ตามลำดับ

4.3 ค่าร้อยละ CBR แบบไม่แช่น้ำ และค่าร้อยละ CBR แบบแช่น้ำ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าร้อยละ CBR ทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน จะมีค่าสูงกว่าค่าร้อยละ CBR ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ในทุกอัตราส่วนผสม ดินที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าร้อยละ CBR เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรกและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น ที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานเม็ดดินเข้าไว้ด้วยกันกับเถ้าลอยที่แข็งตัวโดยผ่านขบวนการทางเคมีนี้จึงมีความคงทนและความแข็งแรง

4.4 การบวมตัวของทรายพิจิตรที่ไม่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ จะมีร้อยละการบวมตัวสูงกว่าทรายพิจิตรที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และเมื่อเปรียบเทียบที่มีอัตราส่วนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 พบว่าร้อยละการบวมตัวจะมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งที่ใช้ในการบดอัดดิน

4.5 ค่า Su จากการทดสอบ UCT ของทุกส่วนผสมเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 17 ถึงมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77 ที่อัตราส่วนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 20 จึงเหมาะสำหรับนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของทรายพิจิตร

4.6 การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในการปรับปรุงคุณภาพของทรายพิจิตรจากจังหวัดพิจิตร เป็นไปได้อย่างยิ่ง เพราะสามารถเพิ่ม กำลัง ลดการบวมตัว ผลและข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ที่ต้องการคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

4.7 เถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเถ้าลอยลิกไนต์ที่ไม่ได้คัดขนาดความละเอียดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ. ลำปาง ดังนั้นจึงควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ กันที่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัดในดิน

4.8 ในการทดสอบนี้ได้นำทรายพิจิตรผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วน

ของการนำวัสดุอื่นมาผสมเข้าด้วยกันอีก เช่น ปูนขาว หรือ ปูนซีเมนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบพัฒนาคุณสมบัติด้านวิศวกรรม

4.9 ควรมีการศึกษาถึงการใช้วัสดุประเภทอื่น เช่น กากแร่ หรือวัสดุเหลือใช้อื่นๆ เพื่อช่วยในการลดปัญหาในการกำจัดและช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้าง และในกรณีที่มีการนำกากแร่ หรือวัสดุเหลือใช้อื่นๆ มาใช้ปริมาณมากๆ เช่น งานถมพื้นที่ งานถนน งานเขื่อน เป็นต้น ควรมีการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะต่อน้ำบาดาล

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำการวิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่คอยช่วยเหลือในระหว่างทำการทดสอบ จนทำให้การศึกษานี้สำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Davidson, D.T., Sheerler, J.B. and Delbridge, N.G., Reactivity of Four Types of Fly Ash with Lime, Highway Research Road, Bulletin No.193; pp. 24-31, 1958.
- [2] Bacon, L.D., The Use of Fly Ash, An Industrial By- Product, for the Construction of a Highway Embankment, Highway Focus, Vol. 6, No. 3; pp. 24-46, 1974.
- [3] Arber, N.R., Cracking of PFA Embankment Over Soft Alluvium, Proceedings of Symposium on Failures in Earthworks, London; pp. 127-140, 1985.
- [4] Turgeon, R., Fly Ash Fills a Valley, Civil Engineering, Vol. 58, No. 12; pp. 67-68, 1988.
- [5] Head, W.J., Beneficial Use of Coal Ash as a Structural Fill, Proceedings of the ASCE Energy Division Specialty Conference on Energy, Pittsburgh, USA; pp. 325-332, 1991.
- [6] สมชัย กกกำแหง, ศักยภาพการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างงานดิน, นิตยสารโยธาสาร, กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539

- [7] Akoto, B.K.A., Influence of Fly Ash on the Strength Characteristics of Lime Lateritic Soil Mixture, Australian Road Research, Vol. 18, No.4; pp.224-231, 1988.
- [8] Parker, D.G. and Thornton, S.L., Permeability of Fly Ash and Fly Ash Stabilized Soil, Federal Highway Administration, USA, Report No. FHWA/RD/M- 0356, 1976.
- [9] Oberst, D.C., Cement - Stabilized Fly Ash Road Base, Proceedings of Seventh International Ash Utilization Symposium, Vol. 2; pp. 590-596, 1985.
- [10] Digioia, A.M., McLaren, R.J., Burn, D.D.L. and Miller, D.E., Fly Ash Design Manual for Road and Site Applications, Interim Report, Cs-4419, Research Project 2422-2, Electric Power Research Institute, 1986.
- [11] Wong, C. and Michael, K.H., Experimental Fly Ash Base Farm to Market Road 1093, Fulshear, Texas, State Department of Highway and Public Transportation, Austin, Texas, USA, Report No. DHT-17, 1989.
- [12] Gray, D.H., Tons, E. and Thiruvengadam, T.R., Performance Evaluation of a Cement - Stabilized Fly Ash Base, Transportation Research Record, No. 1440; pp. 8-15, 1994.
- [13] สมพงษ์ ถาวรพันธ์, การปรับปรุงคุณภาพของเถ้าลอยและทรายโดยการผสมปูนขาว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, น., 43-54, 2543.
- [14] American Society for Testing and Material, Annual Book of ASTM Standards Sec. 4, Vol. 04.08, Philadelphia, Pa., 1991.
- [15] เศรษฐ์ ชูทับทิม, การศึกษาค้นคว้าของเถ้าถ่านหินหยาบดละเอียดที่ใช้เป็นวัสดุปูโซลัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.