



การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

IMPROVEMENT OF LATERITIC SOIL USING BOTTOM ASH, WASTED LIME AND SODIUM HYDROXIDE

อุมพร ปฏิพันธ์ภูมิสกุล (Umaporn Patipanpoomsakul)¹

ประทีป ดวงเดือน (Prateep Duangdeun)²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (patipan219@hotmail.com)

²รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengptd@ku.ac.th)

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้ศึกษาเป็นการใช้เถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทาง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของดินลูกรังได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน ปริมาณของเถ้าก้นเตาและเศษปูนขาว และอายุการบ่ม เถ้าก้นเตาและเศษปูนขาวที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากไฟฟ้าบีแอลซีพี เพาเวอร์ จังหวัดระยอง ศึกษาหาสัดส่วนของสารผสมเพิ่มระหว่างเถ้าก้นเตาและเศษปูนขาวตามอัตราส่วน 1:9, 3:7, 1:1 และ 7:3 โดยน้ำหนักแห้งของสารผสม นำมาผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5 โมลาร์ทุกอัตราส่วนผสม จากนั้นนำสารผสมเพิ่มในสัดส่วนที่เหมาะสมมาผสมลงในดินลูกรังเกรด B และ D ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของสารผสมเพิ่มที่เหมาะสมคือ 3:7 โดยน้ำหนักแห้งเมื่อนำมาผสมกับดินลูกรังเกรด B และ D ทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มสูงขึ้นและค่า C.B.R. แบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการบ่ม

ABSTRACT : This research attempted to study the improvement of lateritic soil by bottom ash, lime waste and sodium hydroxide solution, the improvement aimed to use for road embankment construction. The study focuses on the effect of parameters (e.s.) particles size distribution, quantity of bottom ash and lime waste and curing times on the engineering properties of lateritic soil. Bottom ash and lime waste were supplied from the BLCPP POWER electric generation factory located in Rayong. Proportion by weight of bottom ash and lime waste at ratios of 1:9, 3:7, 1:1 and 7:3 were mixed 5 molar sodium hydroxide solution. Preliminary results show that the proportion 3:7 is recommended to achieve for mixing with grade B and D grain size distribution according to the subbase standard specification of The Department of Highways, Thailand. Experimental results show that maximum dry density of the improved lateritic soils decrease optimum water content of the improved were increase. Both soaked and unsoaked C.B.R. increases with increasing curing times.

KEYWORDS : Soil improvement, Bottom Ash, Lime waste, Sodium hydroxide, Lateritic soil

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีงานก่อสร้างและปรับปรุงสาธารณูปโภคพื้นฐานต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะการก่อสร้างและปรับปรุงถนนหนทาง อันมีสาเหตุมาจากอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยี ทำให้มีการใช้วัสดุ เช่น หิน ดิน ทราช เพื่อเป็นวัสดุพื้นทางและรองพื้นทางของถนนเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าภายในประเทศมีการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกันอย่างแพร่หลาย ผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินคือ ถ่านหิน

การก่อสร้างโดยเฉพาะงานทางจะต้องนำวัสดุในท้องถิ่นนั้นๆ มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง แต่เนื่องจากในบางครั้งวัสดุที่ได้มีคุณภาพต่ำและไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ดังนั้นเมื่อจำเป็นต้องใช้วัสดุเหล่านี้จึงต้องดำเนินการปรับปรุงคุณภาพอาจทำได้โดยการหาวัสดุเชื่อมประสานช่วยให้เม็ดดินยึดเกาะกัน ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นความสำคัญของถ่านหินเตา (Bottom Ash) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายสารปอซโซลาน จึงได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยผสมถ่านหินเตา (Bottom Ash), เศษปูนขาว และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วใช้เทคนิคการบดอัดดินควบคู่ไปด้วย ซึ่งการปรับปรุงโดยใช้วิธีการผสมสารนี้ ยังไม่ได้มีการศึกษาทำให้เกิดขาดความรู้ความเข้าใจในการนำวัสดุเหลือทิ้งชนิดนี้มาใช้ประโยชน์

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 การกำเนิดดินลูกรัง

ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อนซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง มีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสามารถแข็งตัวได้เมื่อทิ้งไว้ในอากาศ และมักมีสีแดงเพราะมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่ คุณสมบัติของดินลูกรังขึ้นอยู่กับชนิดของหินต้นกำเนิด ส่วนประกอบทางเคมี และสภาพภูมิอากาศ ในประเทศไทยพบดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามกระบวนการเกิดดังนี้[1]

1. Primary lateritic soils หมายถึง ดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และเกิดอยู่กับที่เหนือหินเคมิก เหล็กที่เป็นส่วนประกอบได้จากธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมที่มีอยู่ในหินชั้นต่างๆลงไป

1.1 Decomposition เป็นขบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary Minerals

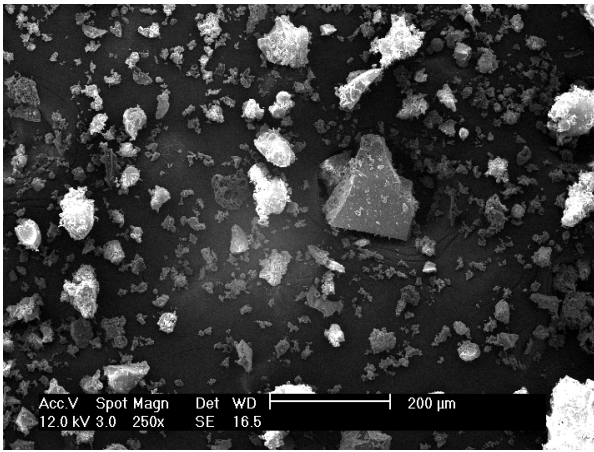
1.2 Laterization เป็นขบวนการก่อกำเนิดลูกรังโดยจะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเกิดการรวมตัวของซิลิกา, ด่าง และสารพวกออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของเซตควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti_2O_3) ส่วนสารอื่นๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความชื้นในดิน

1.3 Dehydration หรือ Dessication เป็นขบวนการสูญเสียน้ำ โดยจะเกิดไฮเดรชัน ในบางส่วนหรือทั้งหมดของเซตควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti_2O_3) และ Secondary Mineral ซึ่งบางครั้งทำให้เกิดการแข็งตัว

2. Secondary lateritic soils หมายถึงการเกิด Secondary Mineral ในดินลูกรังได้แก่ แร่ดินเหนียวคาโอลิไนท์ (Kaolinite), ฮาลอยไซต์ (Halloysite), อิลไลท์ (Illite), มอนท์โมริลโลไนท์ (Montmorillonite) และอื่นๆ ขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ พื้นที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ Secondary Minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์มากในทางวิศวกรรมปฐพีเพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ เช่น ดินลูกรังที่มีมอนท์โมริลโลไนท์และอิลไลท์สูงจะมีกำลังรับแรงเสียดทาน ความดันน้ำในโพรงสูงและบวมตัวได้ง่ายกว่าดินลูกรังที่มีคาโอลิไนท์และคลอไรต์เป็นส่วนประกอบเป็นต้น

2.2 ถ่านหินเตา (Bottom Ash)

ถ่านหินเตาเป็นสาร Pozzolan สังกะระหะ มีคุณสมบัติตามธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO ถ่านหินเตาเป็นกากหรือตะกอนที่มีลักษณะเป็นเม็ดหยาบและละเอียดปะปนกัน ซึ่งได้จากการเผาไหม้ถ่านหินตามกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ให้คุณภาพรองจากแร่แอนทราไซท์ มีเนื้อแข็งสีน้ำตาลถึงดำลักษณะมันวาว มีเหลี่ยมคม มีปริมาณซิลเฟอร์ต่ำ พื้นผิวเป็นแบบขรุขระ คล้ายกับทราช ไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาคระหว่างอนุภาค ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้ากั้นเตา[2]

2.3 เศษปูนขาว (Typical Lime A)

เศษปูนขาว คือ กากหรือของเหลือทิ้งที่มีลักษณะเป็นละเอียด ก่อนข้างสม่ำเสมอ มีเทาหรือขาวขุ่น มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานตามธรรมชาติ เนื่องจากประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะเป็นผงร่วนไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค เศษปูนขาวเป็นรูปแบบหนึ่งของปูนขาวโดยมีส่วนประกอบทางเคมี อันประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 ซึ่งอาจอยู่ในรูปของปูนขาวไฮดรต (Ca(OH)₂) เมื่อมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องจะทำปฏิกิริยาไม่รุนแรง และเกิดสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น

2.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ สารละลายเบสที่ละลายในน้ำ (เบสเป็นตัวละลาย น้ำเป็นตัวทำละลาย) ซึ่งสามารถแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) เมื่อละลายน้ำ ในงานทางวิศวกรรมได้มีการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารละลายเบสเข้มข้นเร่งปฏิกิริยาสารปอซโซลานทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน

2.5 กลไกการพัฒนากำลังของดินลูกรังผสมเถ้ากั้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ปฏิกิริยาเคมีของดินลูกรังหลังผสมผสมเถ้ากั้นเตา เศษปูนขาว และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ประกอบด้วยปฏิกิริยา อันได้แก่ ปฏิกิริยา Hydration และ Flocculation ในช่วงเริ่มต้น และปฏิกิริยาในระยะยาว อันได้แก่ Cementation และ Carbonation ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระยะยาว [3]

3. วิธีการวิจัย

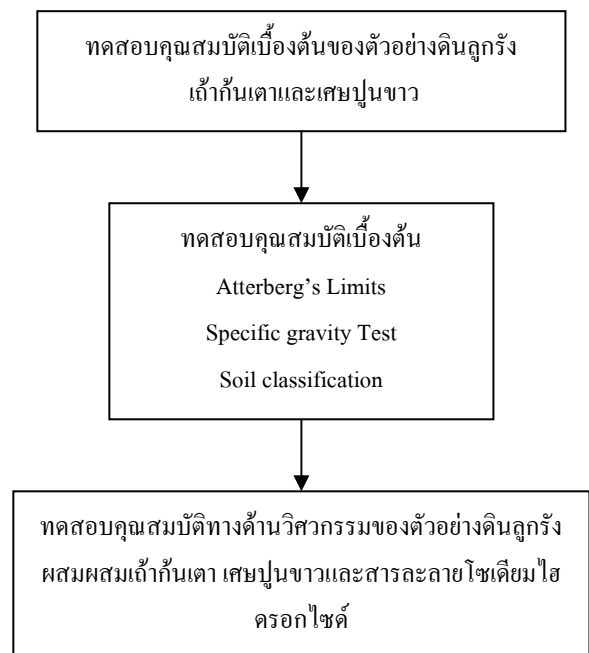
3.1 วัสดุ

1. ตัวอย่างดินดินลูกรังจาก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี
2. เถ้ากั้นเตาที่ใช้ในการผสมดินลูกรังได้มาจากการเผาถ่านหินโดยไม่ปรับปรุงความละเอียด จากบริษัท BLCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
3. เศษปูนขาวที่ใช้ในการผสมดินลูกรังได้มา จากบริษัท BLCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
4. สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ชนิดของแข็ง ความบริสุทธิ์ 98%
5. น้ำ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำประปา

3.2 แผนการทดสอบ

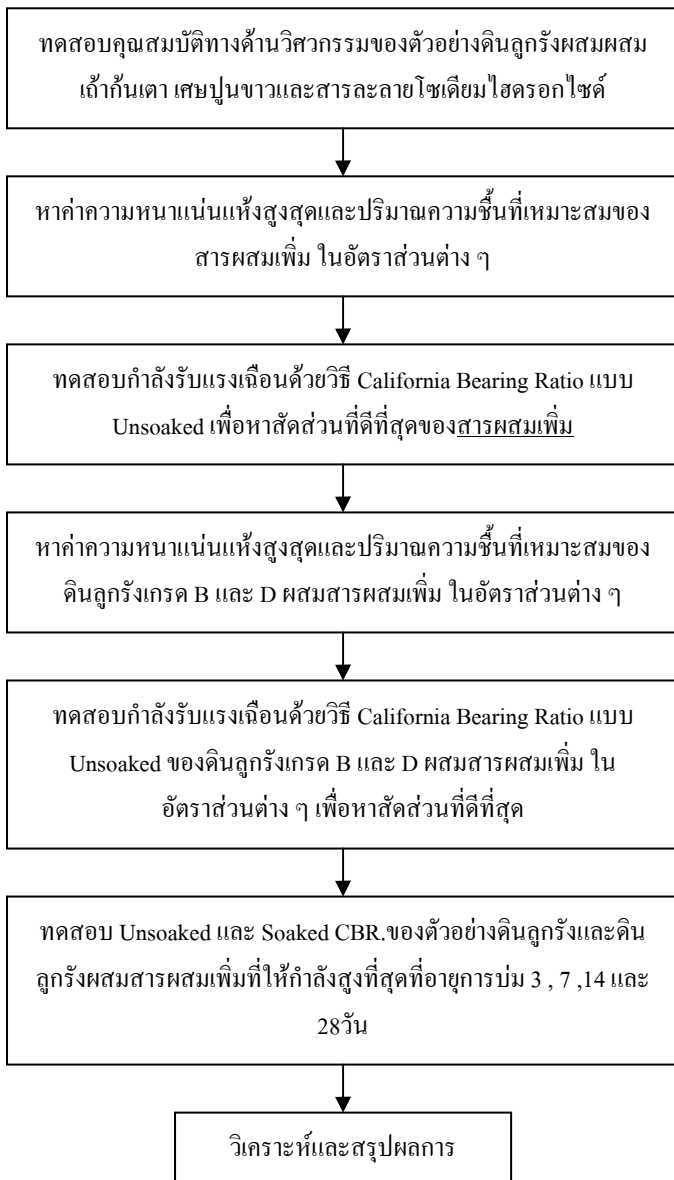
แบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน

1. ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง เถ้ากั้นเตาและเศษปูนขาว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น และด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง

2. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง ผสมสารปรับปรุงคุณภาพ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้าแกว

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังเกรด B และ D

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง

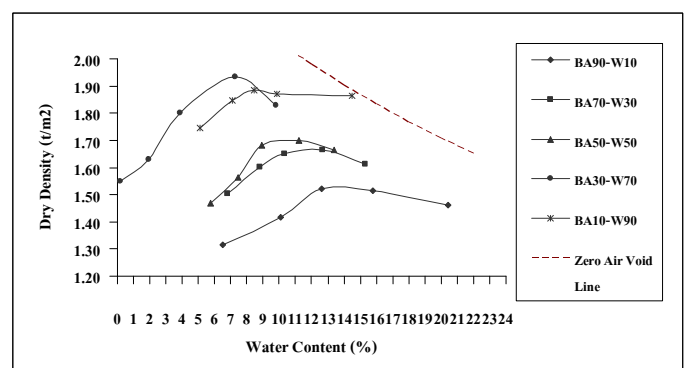
คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ		
	เกรด B	เกรด D	เถ้าแกว
Liquid Limit %	31.05 – 33.36	34.03 – 36.39	NP.
Plastic Limit %	18.99 – 21.80	16.41 – 17.85	NP.
Plasticity Index	11.11 – 12.84	16.18 – 19.98	NP.
การจำแนกตาม	GW-GC	SW-SC	SW

ระบบ Unified			
ความถ่วงจำเพาะ	2.79 – 2.81	2.79 – 2.81	2.31
ความแน่นแห้ง	2.19	2.10	1.14
สูงสุด (Ton/m ³)			
C.B.R.(Un)	59	48	45
C.B.R.(So)	47	29	35

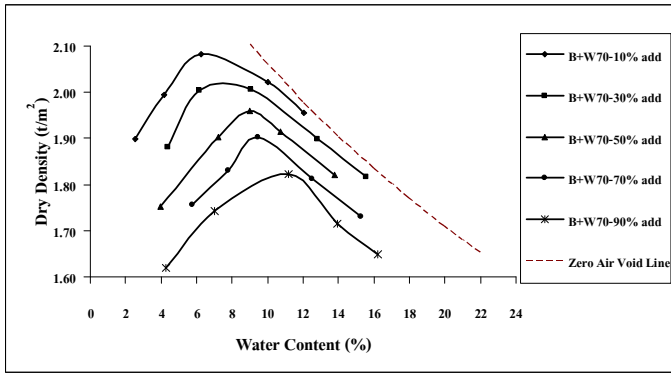
5. ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังเกรด B และ D ผสมเถ้าแกว

5.1 ผลการทดสอบ Compaction Test

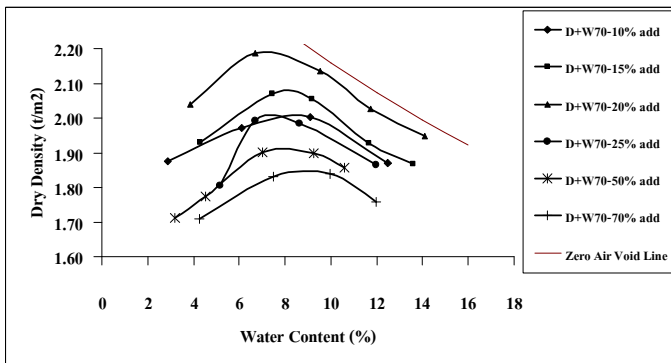
ทำการบดอัดเถ้าแกวผสมเศษปูนขาวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เพื่อหาความแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสม พบว่าเมื่อปริมาณเถ้าแกวลดลง ความแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลผสมเนื่องจากเถ้าแกวซึ่งเป็นมวลหยาบเข้าไปแทนที่มวลดินที่มีขนาดใกล้เคียงกันส่งผลให้ความแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง โดยที่เถ้าแกวมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่ามวลดิน มีผลให้ความแน่นแห้งสูงสุดกลับลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดคละของดินลูกรังหลังจากที่ผสมเถ้าแกวทั้งสองเกรด มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นเป็นผลทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5, 6 และ 7



ภาพที่ 5 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของเถ้าแกวที่เปอร์เซ็นต์ผสมเศษปูนขาวต่างๆ



ภาพที่ 6 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินลูกรังเกรด B ที่เปอร์เซ็นต์ของสารผสมเพิ่มต่างๆ



ภาพที่ 7 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินลูกรังเกรด D ที่เปอร์เซ็นต์ของสารผสมเพิ่มต่างๆ

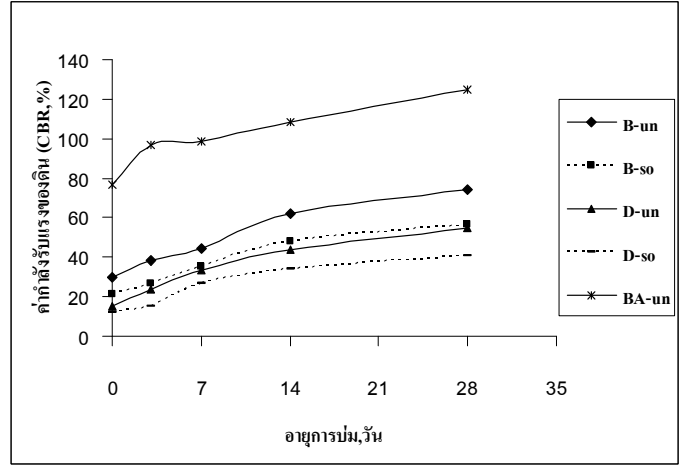
5.2 ผลการทดสอบ C.B.R.

จากผลการทดสอบ C.B.R. ของดินลูกรังเกรด B ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้น ค่า C.B.R. จะเพิ่มขึ้นโดยจะให้ค่ามากที่สุดที่ปริมาณการผสมเถ้าก้นเตาที่ 10% และเมื่อผสมมากขึ้นจากนี้ ค่า C.B.R. จะมีค่าลดลง โดยดิน B-10%(Un) ให้ค่า C.B.R. สูงที่สุดคือ 75% ที่อายุการบ่มที่ 28 วัน และดิน B-10%(So) ให้ค่า C.B.R. สูงที่สุดคือ 48% ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน

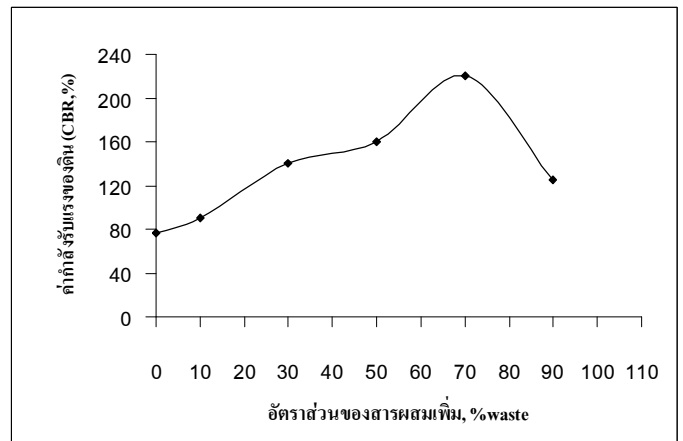
ผลของอายุการบ่มต่อ %C.B.R. พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น %C.B.R. มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุการบ่ม ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8

จากผลการทดสอบ C.B.R. ของดินลูกรังเกรด D ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้น ค่า C.B.R. จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมเถ้าก้นเตาที่ผสม โดยค่า C.B.R. ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำให้ค่า %C.B.R. สูงสุดเมื่อผสมเถ้าก้นเตาลงไปเป็นปริมาณ 25% และมีค่า C.B.R. เป็น 71 และ 83 % ตามลำดับ

ผลของอายุการบ่มต่อ %C.B.R. พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น %C.B.R. มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุการบ่ม เช่นเดียวกับผลการทดสอบของดินลูกรังเกรด B ดังแสดงในภาพที่ 8 และ 9



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. กับอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด B, D และ เถ้าก้นเตา ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. กับอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มที่ให้ค่าสูงสุด แบบไม่แช่น้ำ

6. สรุป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ในบทความนี้ ได้รับทุนอุดหนุน เถ้าก้นเตาและเศษปูนขาวจากบริษัท BLCPPower นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Hongnoi, M. 1969. *Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils.* Asian Institute of Technology, Bangkok. 108 p



[2] วิเศษ แจ่มจิตร. 2552. การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรัง
โดยใช้เถ้าก้นเตา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[3] Hausmann, M.R. 1990. **Engineering Principles of Ground
Modification.** McGraw-Hill Publ. Co. Sydney.