



## การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าก้นเตา

### IMPROVEMENT OF LATERITIC SOIL BY BOTTOM ASH

วิเศษ แจ็งจิตร์ (Wiset Jangjit)<sup>1</sup>

ประทีป ดวงเดือน (Prateep Duangdeum)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ wiset\_deaw@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ fengptd@ku.ac.th<sup>2</sup>

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เถ้าก้นเตา เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมเถ้าก้นเตา ซึ่งได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน, ปริมาณของเถ้าก้นเตาและอายุของการบ่ม โดยแบ่ง เป็นสองเกรดได้แก่ เกรด B และ D ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยโดยเกรด B ผสมเถ้าก้นเตากับดินในอัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20% และเกรด D ผสมเถ้าก้นเตากับดินในอัตราส่วน 10, 20, 25 และ 30 % โดยน้ำหนักของดินแห้ง ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความเหนียวและความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่าสูงขึ้น ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ให้ค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสม 10 และ 25% ของดินลูกรังเกรด B และ D ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

**ABSTRACT :** The object of this research is to evaluate the performance of lateritic soil improvement by using the bottom ash. This research emphasizes on the effect of grain size distribution of the lateritic soil, the proportion of the bottom ash in the stabilized lateritic soil, and curing times to properties of the stabilized lateritic soil. The lateritic soil with different gradations including B gradation and D gradation were prepared by conforming to the Subbase Standard Specification of the Highway Department of Thailand. The bottom ash was mixed with the prepared lateritic soils at various proportions: (1) 5, 10, 15, and 20 percents of dry weight of the prepared lateritic soils with B gradation, and (2) 10, 20, 25, and 30 percents of dry weight of the prepared lateritic soils with D gradation. According to the research results, the plasticity index and maximum dry density of the stabilized lateritic soils with B and D gradation tend to decrease due to increase of the percent of the bottom ash in the specimens. However, increase of the proportion of the bottom ash in the stabilized lateritic soils contributes significantly to decrease of the optimum water content. The test results also indicate that the stabilized lateritic soils both with B gradation and 10 percent of the bottom ash, and with D gradation and 20 percent of the bottom ash give the maximum C.B.R. values. The comparison of the stabilized lateritic soils with the same proportion of the bottom ash indicates that the curing times were increased, thus resulting increase of C.B.R. of the stabilized lateritic soils.

**KEYWORDS :** C.B.R., Bottom ash, Lateritic soil

## 1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกันอย่างกว้างขวาง เช่น ในการผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำ เมื่อมีการนำถ่านหินเหล่านี้มาใช้ประโยชน์แล้ว สิ่งที่เป็นผลตามมาจากการเผาไหม้ถ่านหินคือ แก๊สเรือนกระจก ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำเอาแก๊สเรือนกระจกที่เป็นวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์น้อยมาก ดังนั้นการนำแก๊สเรือนกระจกไปใช้ประโยชน์จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก

ในงานก่อสร้างทางโดยทั่วไปจะมีการนำดินในท้องถิ่นนั้นมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างทาง แต่ว่าวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นนั้นมีความแปรปรวนของวัสดุค่อนข้างสูง ทำให้ความสามารถในการรับแรงต่ำกว่าเกณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนวัสดุที่มีคุณภาพในการก่อสร้าง จึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้แก๊สเรือนกระจก โดยทำการผสมและบดอัดกับดินแต่ในประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างงานดิน ดังนั้นการนำแก๊สเรือนกระจกมาใช้ประโยชน์จึงถือเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บหรือดำเนินการเพื่อเป็นการช่วยลดปัญหาทางสภาวะแวดล้อมได้อีกด้วย

## 2. ทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1 การกำเนิดดินลูกรัง

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

1. Primary lateritic soils หมายถึง ดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และเกิดอยู่กับที่เหนือหินเดิม เหล็กที่เป็นส่วนประกอบได้จากราดูพอกเฟอร์โรแมกนีเซียมที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆลงไป และเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากขึ้นในชั้นดินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในแต่ละฤดู น้ำฝนซึ่งมีออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่างๆ ละลายอยู่จะออกซิไดซ์ธาตุ

พวกเฟอร์โรแมกนีเซียมในดินเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งมีสีแดง การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักเกิดเป็นชั้นๆ จากผิวดินจนถึงชั้นของหินเดิม ขีดจำกัดอัตราเปอร์เซ็นต์ จะมีค่าต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรังและเพิ่มมากขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินเดิมที่ผุพัง โดยปกติแล้วในที่สุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อนผิวนอกเป็นเหล็กออกไซด์ที่แข็งกว่าความหนาของเหล็กออกไซด์จะมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อม

2. Secondary lateritic soils หมายถึง ดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้ายมาจากหินเดิม น้ำใต้ดินที่ไหลผ่านจะทำให้เหล็กที่อยู่ในดินแข็งตัวขึ้นและออกไซด์เหล็กในบริเวณนั้นด้วยดินลูกรังประเภทนี้โดยทั่วไปจะไม่แบ่งชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างกันไป ขึ้นกับสภาพแวดล้อมต่างๆ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินที่ทับถม เหล็กออกไซด์ในดินลูกรังประเภทนี้กระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรก มักเกิดล้อมรอบกรวดหรือชิ้นส่วนของหินที่แตกหัก ทำให้ดินลูกรังประเภทนี้ขนาดเม็ดใหญ่ มีความแข็งที่แตกต่างกันปรากฏชั้นของเฮมาไทต์, ลิโมนาइट และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก นอกจากนี้จะปรากฏชั้นระหว่างดินลูกรังกับหินเดิมค่อนข้างชัดเจน ขีดจำกัดอัตราเปอร์เซ็นต์ของดินลูกรังประเภทนี้มีค่าต่ำกว่าประเภทแรก

### 2.2 แก๊สเรือนกระจก (Bottom Ash)

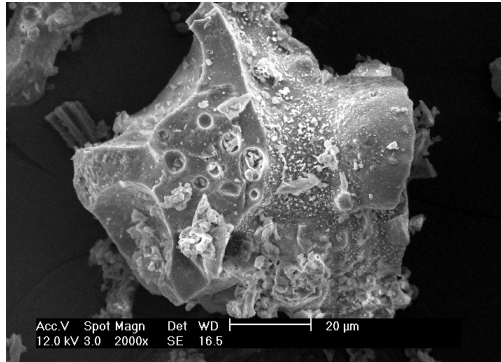
แก๊สเรือนกระจกเป็นสาร Pozzolan สังเคราะห์ มีคุณสมบัติตามธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  และ  $CaO$  อนุภาคของแก๊สเรือนกระจกมีขนาดแตกต่างกันไปโดยอนุภาคส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระและมีเหลี่ยมคมเมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะป็นเป็นฝุ่น ไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค ดังแสดงในภาพที่ 1

### 2.3 กลไกการพัฒนากำลังของดินผสมแก๊สเรือนกระจก

การพัฒนากำลังของดินผสมปูนซีเมนต์แล้วบดอัด เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีอยู่ 2 กระบวนการคือ

1. การจับตัวกันของเม็ดดิน (Flocculation – agglomeration) การเติมสารเพิ่มเสถียรภาพลงไปในดินจะทำให้อนุภาคดินเหนียวเกิดการรวมตัวเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้นกล่าวคือ อีออนบวกจากสารเพิ่มเสถียรภาพเมื่อเข้าไปในมวลดิน จะเข้าไปจับตัวบนผิวอนุภาคของดินเหนียว สารชนิดนี้จะละลายเข้าสู่โครงน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมประสาน ส่งผลให้เม็ดดินมี

โครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อความเข้มข้นของอออนสูงขึ้น จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของแร่ดินเหนียว ซึ่งจะทำให้ห่วงน้ำ Double Layer หดตัวแคบเข้า อนุภาคดินเหนียวจะเกิดการดึงดูดกันเป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ อนุภาคของเม็ดดินจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้Liquid Limit ลดลงPlastic Limit เพิ่มขึ้น และ Plasticity Index ลดลง



ภาพที่ 1 ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้ากันเตา

2. การเชื่อมประสาน (Pozzolanic Reaction) สารซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) และ/หรือ Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มเสถียรภาพที่ใช้ผสมกับดินที่อุณหภูมิกัดและมีความชื้น ทำให้เกิดสารประกอบใหม่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่ทำให้กำลังของดินเพิ่มมากขึ้น [2]

### 3. วิธีการวิจัย

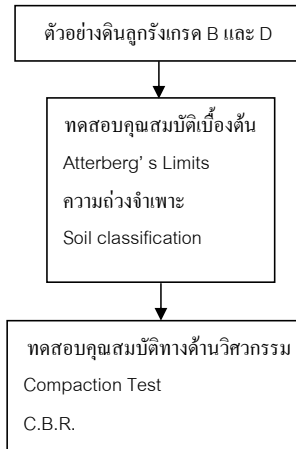
#### 3.1 วัสดุ

1. ตัวอย่างดินดินลูกรังจาก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี
2. เถ้ากันเตาที่ใช้ในการผสมดินลูกรังได้มาจากการเผาถ่านหินโดยไม่ปรับปรุงความละเอียด จากบริษัท BSCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
3. น้ำ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำประปา

#### 3.2 แผนการทดสอบ

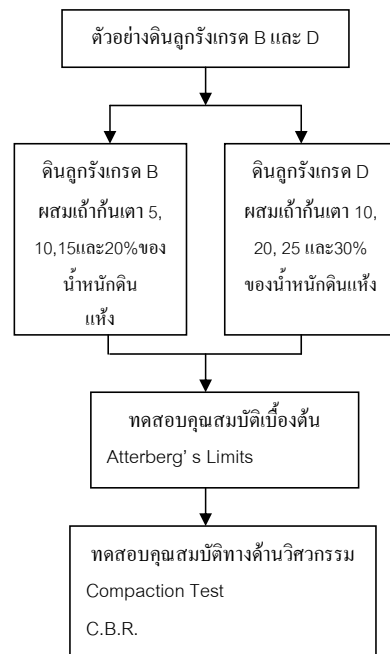
แบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน

1. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง

2. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง ผสมสารปรับปรุงคุณภาพ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้ากันเตา

#### 3.3 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกและบ่งบอกตัวอย่างดินลูกรังในการทดสอบต่างๆ มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกและบ่งบอกดินตัวอย่าง และผลการทดสอบต่างๆ มีดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
B_0%	ดินลูกรังเกรด B ไม่ผสมเถ้ากั้นเตา
B_5%	ดินลูกรังเกรด B ผสมเถ้ากั้นเตา 5%
B_10%	ดินลูกรังเกรด B ผสมเถ้ากั้นเตา 10%
B_15%	ดินลูกรังเกรด B ผสมเถ้ากั้นเตา 15%
B_20%	ดินลูกรังเกรด B ผสมเถ้ากั้นเตา 20%
D_0%	ดินลูกรังเกรด D ไม่ผสมเถ้ากั้นเตา
D_10%	ดินลูกรังเกรด D ผสมเถ้ากั้นเตา 10%
D_20%	ดินลูกรังเกรด D ผสมเถ้ากั้นเตา 20%
D_25%	ดินลูกรังเกรด D ผสมเถ้ากั้นเตา 25%
D_30%	ดินลูกรังเกรด D ผสมเถ้ากั้นเตา 30%
BA	เถ้ากั้นเตา
ZAV	Zero air void curve (เส้นแสดงปริมาณอากาศเป็นศูนย์)
Un	การทดสอบ C.B.R. แบบไม่แช่น้ำ
So	การทดสอบ C.B.R. แบบแช่น้ำ

#### 4. ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังเกรด B และ D

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังได้แสดงในตารางที่ 2

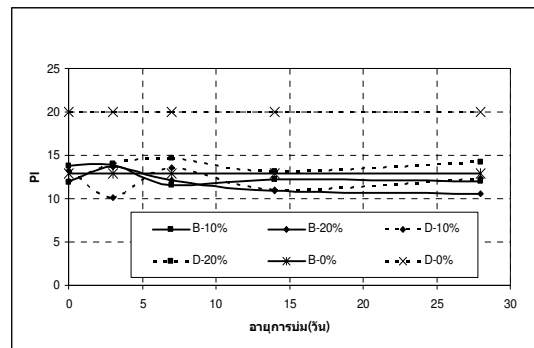
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ		
	เกรด B	เกรด D	เถ้ากั้นเตา
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.
การจำแนกตามระบบ Unified	GW-GC	SW-SC	SW
ความถ่วงจำเพาะ	2.79 – 2.81	2.79 – 2.81	2.31
ความแน่นแห้งสูงสุด (Ton/m <sup>3</sup> )	2.19	2.10	1.14
C.B.R.(Un)	59	48	45
C.B.R.(So)	47	29	35

#### 5. ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังเกรด B และ D ผสมเถ้ากั้นเตา

##### 5.1 ผลการทดสอบ Atterberg's Limits

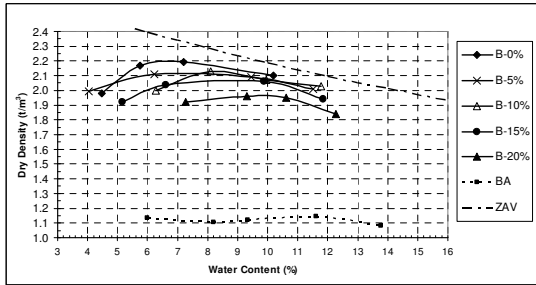
จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อผสมเถ้ากั้นเตาในปริมาณที่สูงขึ้น การทดสอบในดินลูกรังเกรด B พบว่าค่าดัชนีความเหนียวมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ในดินลูกรังเกรด D ค่าดัชนีความเหนียวลดลงประมาณ 5-8% แต่ผลของอายุการบ่มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความเหนียว



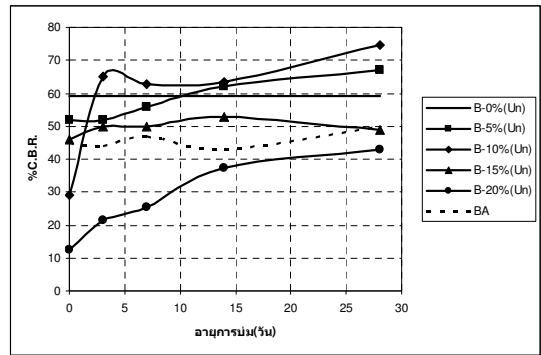
ภาพที่ 4 ผลของอายุการบ่มต่อความเหนียวของดินลูกรังเกรด B และ D

##### 5.2 ผลการทดสอบ Compaction Test

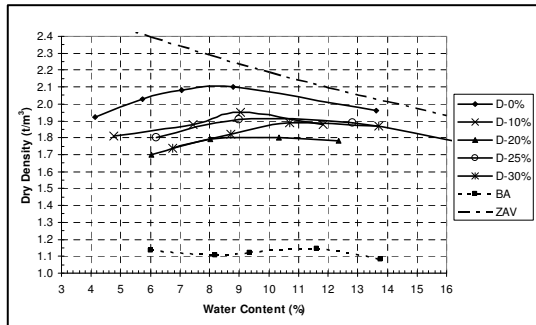
ดินลูกรังผสมเถ้ากั้นเตา ต่อความแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสม พบว่าดินลูกรังผสมเถ้ากั้นเตาทั้งเกรด B และเกรด D มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณผสมเถ้ากั้นเตาเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้อาจมาจากเหตุผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลผสมเนื่องจากเถ้ากั้นเตาซึ่งเป็นมวลหยาบเข้าไปแทนที่มวลดินที่มีขนาดใกล้เคียงกันส่งผลให้ความแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลงโดยที่เถ้ากั้นเตามีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่ามวลดิน มีผลให้ความแน่นแห้งสูงสุดกลับลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดคละของดินลูกรังหลังจากที่ผสมเถ้ากั้นเตาทั้งสองเกรด มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นเป็นผลทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6



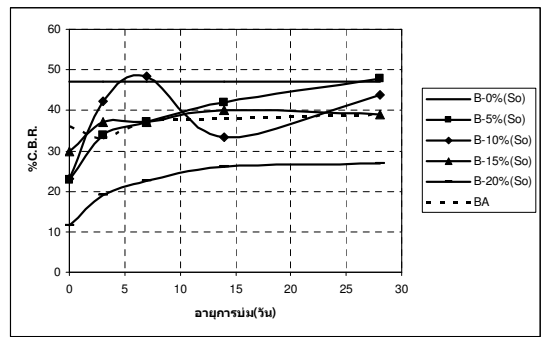
ภาพที่ 5 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินลูกรังเกรด B ที่เปอร์เซ็นต์ผสมแฉักันเตาต่างๆ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. กับอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด B ที่ผสมแฉักันเตาที่%ต่างๆ แบบไม่แช่น้ำ



ภาพที่ 6 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินลูกรังเกรด D ที่เปอร์เซ็นต์ผสมแฉักันเตาต่างๆ



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. กับอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด B ที่ผสมแฉักันเตาที่%ต่างๆ แบบแช่น้ำ

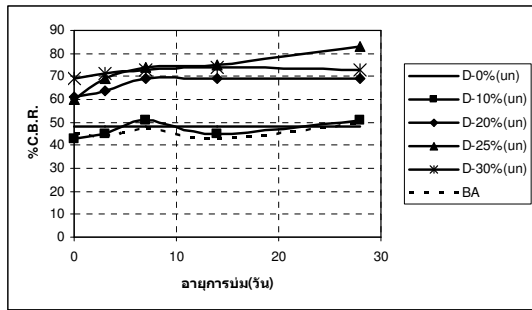
## 5.2 ผลการทดสอบ C.B.R.

จากผลการทดสอบ C.B.R. ของดินลูกรังเกรด B ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณแฉักันเตามากขึ้น ค่า C.B.R. จะเพิ่มขึ้นโดยจะให้ค่ามากที่สุดที่ปริมาณการผสมแฉักันเตาที่ 10% และเมื่อผสมมากขึ้นจากนี้ ค่า C.B.R. จะมีค่าลดลงโดยดิน 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

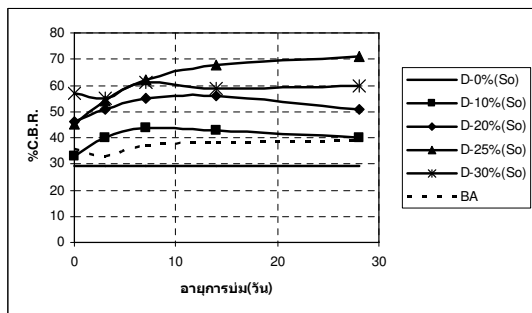
ผลของอายุการบ่มต่อ %C.B.R. พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น %C.B.R. มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุการบ่ม ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8

จากผลการทดสอบ C.B.R. ของดินลูกรังเกรด D ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณแฉักันเตามากขึ้น ค่า C.B.R. จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมแฉักันเตาที่ผสม โดยค่า C.B.R. ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำให้ค่า %C.B.R. สูงสุดเมื่อผสมแฉักันเตาลงไปเป็นปริมาณ 25% และมีค่า C.B.R. เป็น 71 และ 83 % ตามลำดับ

ผลของอายุการบ่มต่อ %C.B.R. พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น %C.B.R. มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุการบ่ม เช่นเดียวกับผลการทดสอบของดินลูกรังเกรด B ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. กับอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด D ที่ผสมเถ้าก้นเตาที่%ต่างๆ แบบไม่แช่น้ำ



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. กับอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด D ที่ผสมเถ้าก้นเตาที่%ต่างๆ แบบไม่แช่น้ำ

## 6. สรุป

- ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้นำมาจาก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี เมื่อนำมาผสมเถ้าก้นเตาแล้วมีการพัฒนากำลังสูงขึ้น ในดินลูกรังเกรด B กำลังจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเถ้าก้นเตาที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้นไปอีกกำลังจะมีค่าลดลง แต่ในดินลูกรังเกรด D จะมีการพัฒนากำลังมากขึ้นตามปริมาณส่วนผสมของเถ้าก้นเตาที่เพิ่มมากขึ้น และมีการพัฒนากำลังตามอายุการบ่มในดินลูกรังทั้งสองเกรด
- อัตราส่วนที่เหมาะสม แนะนำให้ในงานรองพื้นทางโดยใช้ %C.B.R. เป็นข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย สำหรับดินลูกรังเกรด B และ D คือ อัตราส่วนเถ้าก้นเตาที่ 10% และ 25% ของน้ำหนักดินแห้งตามลำดับ
- งานวิจัยครั้งนี้สามารถบ่งชี้ว่าเถ้าก้นเตาสามารถใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อพัฒนากำลังของดินลูกรังได้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ในบทความนี้ ได้รับทุนอุดหนุนและเถ้าก้นเตาจากบริษัท BLC POWER 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] สุภกิจ นนทนานันท์. 2537. *การปรับปรุงคุณภาพดิน*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.