



## การปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยใช้เถ้าก้นเตา

### IMPROVEMENT OF CRUSH ROCK AND SAND BY BOTTOM ASH

จุฑาทิพย์ เขียวแจ่ม (Jutatip Kheawjam)<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>นักศึกษานิเทศศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ raincie@hotmail.com

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

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เถ้าก้นเตาในการปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายเพื่อใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างทาง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของหินคลุกและทรายที่ผสมกับเถ้าก้นเตา ซึ่งได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน ปริมาณเถ้าก้นเตา และอายุการบ่ม โดยหินคลุกและทรายที่นำมาทำการทดสอบนั้นมาจากจังหวัดชลบุรีและนครสวรรค์ ตามลำดับ ซึ่งหินคลุกนั้นได้นำมาร่อนแยกขนาดและนำเม็ดดินมาผสมให้ได้การกระจายตัวเกรด B ตามมาตรฐานกรมทางหลวง เถ้าก้นเตาที่ใช้ในการทดสอบเป็นเถ้าก้นเตาที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียดได้จากโรงไฟฟ้าบริษัทบีแอลซีพี จังหวัดระยอง โดยผสมเถ้าก้นเตากับหินคลุกในอัตราส่วน 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง และผสมกับทรายในอัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มสูงขึ้น หินคลุกมีค่าดัชนีความเหนียวลดลง, ในหินคลุกและทรายมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง, ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มสูงขึ้น, ค่า C.B.R. แบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าก้นเตาและอายุการบ่ม

**ABSTRACT :** This research studied about the improvement of crush rock and sand as embankment materials by mixing the bottom ash. The study focuses on the effect of parameters, such as particles size distribution, the quantity of bottom ash and the curing times, on the properties of crush rock and sand. The crush rock and sand samples were collected from Chonburi and Nakhonsawan provinces respectively. The crush rocks were sieved to get grade B grain size distribution according to Department of Highway Standard, Thailand. The bottom ash used in this studied is the waste from the BLCPP electric generation factory located in Rayong province. The crush rock samples were mixed with the bottom ash in proportion of 20, 25 and 30 percent by dry weight of the rock. The sand samples were mixed with the bottom ash in proportion of 10, 20 and 30 percent by dry weight of the sand. From the experimental results, the particles size distribution, the quantity of bottom ash and the curing times are influential parameters on the properties of crush rock and sand. The results indicate that plasticity index and the maximum dry density tend to decrease with increasing the quantity of bottom ash, while the optimum moisture content tends to increase with increasing. Unsoaked and soaked C.B.R. values increase directly to the quantity of bottom ash and curing time.

**KEYWORDS :** C.B.R., Bottom Ash, Improvement

#### 1. บทนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าต่างๆ ได้ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ซึ่งผลที่ตามมาจากการเผาไหม้ถ่านหินก็คือ เถ้าก้นเตา

ซึ่งเป็นปัญหาในด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงนำเถ้าก้นเตามาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน หินคลุกและทรายก็นับว่าเป็นวัสดุสำคัญในการก่อสร้างถนน แต่

ในบางครั้งวัสดุก็มีราคาสูงหรือขาดวัสดุที่มีคุณภาพเพียงพอตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

บทความนี้ได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยนำมาผสมกับเถ้าก้นเตา ในอัตราส่วนต่างๆ โดยศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังโดยพิจารณาค่า C.B.R. เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถแนะนำไปใช้ในงานการก่อสร้างถนน

## 2. ทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1 วัสดุพื้นทางหินคลุก

มีการนำมาใช้ในการทำพื้นทางในประเทศไทยเป็นครั้งแรกบนถนนมิตรภาพทางหลวงหมายเลข 2 ช่วง สระบุรี-นครราชสีมา หลังจากนั้น พื้นทางหินคลุกได้เป็นที่นิยมแพร่หลายจนถึงปัจจุบันนี้ เนื่องจากการผลิตหินคลุกเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ง่ายจากแหล่งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการ อีกทั้งในการควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้หินคลุกที่มีคุณภาพถูกต้องอยู่เสมอสามารถกระทำได้ง่าย เนื่องจากธรรมชาติของงานที่เห็นในแต่ละแหล่งประกอบด้วยความต้องการคุณภาพที่แท้จริงในการระเบิดหินและย่อยหินอาจทำไม่ได้เพียงครั้งเดียวก็สามารถได้หินถูกต้องตามคุณภาพที่ต้องการหรืออาจจะต้องไม่มากกว่า 1 ครั้ง รวมทั้งการร่อนและการผสมวัสดุอย่างอื่น เช่น ปูนขาว ซีเมนต์ แอสฟัลท์ จึงจะได้คุณภาพตามที่ต้องการ

คุณสมบัติของหินคลุกสามารถแบ่งอย่างคร่าวๆได้ 4 อย่าง คือ

1. คุณสมบัติเชิงกายภาพ (Physical Properties) ได้แก่ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ส่วนใหญ่มองเห็นด้วยตาเปล่า และสามารถตรวจสอบได้ง่าย เช่น สีโดยเฉลี่ยของหินทั้งก้อน ความแข็งเฉลี่ยของหินทั้งก้อนลักษณะของความไม่ต่อเนื่องในก้อนหิน เนื้อหิน ชนิดของแร่ ปริมาณของแร่ในหิน

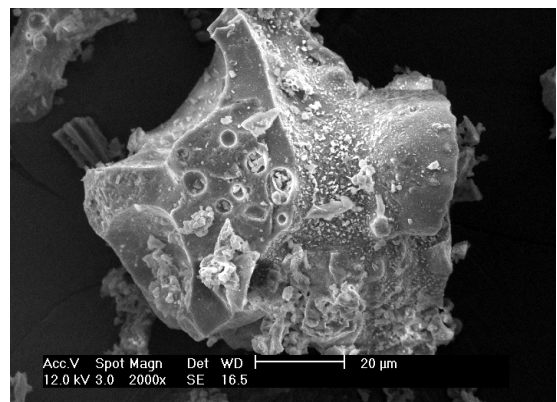
2. คุณสมบัติเชิงเคมี (Chemical Properties) ได้แก่ คุณสมบัติเชิงเคมีของแร่ เช่น การฟุ้งเป็นฟองกับกรด การทำปฏิกิริยาของแร่ในหินทางธรณีวิทยา

3. คุณสมบัติเชิงวิศวกรรม (Engineering Properties) ได้แก่ คุณสมบัติของหินที่นำมาใช้งานวิศวกรรม หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เป็นคุณสมบัติเชิงกล(Mechanical Properties) เช่น ความพรุน ความซบซึมน้ำได้ กำลังวัสดุของหิน การอัดบดของหิน การพองตัวของหินและสภาพพลาสติกของหิน

4. คุณสมบัติอื่นๆ (Miscellaneous Properties) เป็นคุณสมบัติที่ไม่สามารถจัดให้เด่นชัดว่า เป็นคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงเคมี หรือเชิงวิศวกรรม เช่น ปริมาณความชื้นในหิน ความทนทานทางด้านกลศาสตร์ของหิน คุณสมบัติของหินที่พึ่งพิงกับเวลา (Time dependent)[1]

### 2.2 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าก้นเตา คือ กากหรือตะกอนที่มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีลักษณะคล้ายกับทราย ซึ่งได้จากการเผาไหม้ผงถ่านหินตามกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเถ้าก้นเตาทั่วไปจะมีสีเทาถึงดำ หรือสีน้ำตาล อนุภาคส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระและมีเหลี่ยมคม ดังแสดงในภาพที่ 1 เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค มีองค์ประกอบของสารประกอบซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ quartz, cristobalite และ mullite



ภาพที่ 1 ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้าก้นเตา

2.3 กลไกการพัฒนากำลังของหินและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตา การพัฒนากำลังของหินและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตา แล้วบดอัด เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีอยู่ 2 กระบวนการคือ

1. Pozzolanic Reaction เป็นการเชื่อมประสานสารซิลิกา (SiO<sub>2</sub>)จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มเสถียรภาพที่ใช้ผสมกับดินที่อุณหภูมิปกติและมีความชื้น ทำให้เกิดสารประกอบใหม่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่ทำให้กำลังของดินเพิ่มมากขึ้น

2. การเกิดสารประกอบคาร์บอเนต (Lime Carbonation) เกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) หรือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ในสารเพิ่มเสถียรภาพจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$  หรือ  $3\text{CaCO}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) [2]

### 3. วิธีการวิจัย

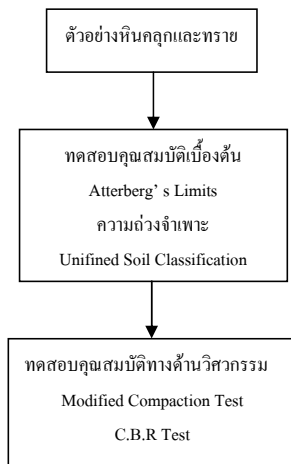
#### 3.1 วัสดุ

1. ตัวอย่างหินคลุก จากโรงโม่หินจังหวัดชลบุรี
2. ทราย เป็นทรายหยาบ จากจังหวัดนครสวรรค์
3. เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

#### 3.2 แผนการทดสอบ

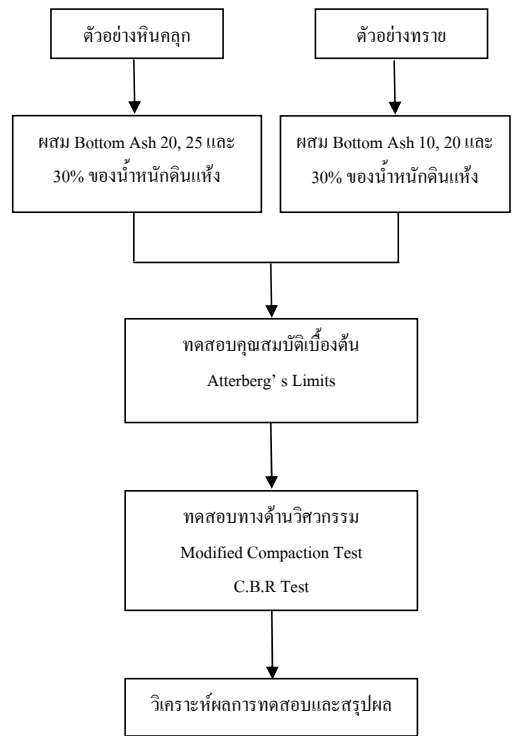
แบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน

1. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินหินคลุกและทราย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินหินคลุกและทราย

2. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินคลุกและทรายเมื่อผสมเถ้าก้นเตา ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตา

#### 3.3 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกและบ่งบอกตัวอย่างหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตาในแต่ละอัตราส่วนแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเรียกชื่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
CR_BA0%	หินคลุกที่ไม่ผสมเถ้าก้นเตา
CR_BA10%	หินคลุกผสมเถ้าก้นเตา 10%
CR_BA20%	หินคลุกผสมเถ้าก้นเตา 20%
CR_BA25%	หินคลุกผสมเถ้าก้นเตา 25%
CR_BA30%	หินคลุกผสมเถ้าก้นเตา 30%
CR_BA40%	หินคลุกผสมเถ้าก้นเตา 40%
S_BA0%	ทรายที่ไม่ผสมเถ้าก้นเตา
S_BA10%	ทรายผสมเถ้าก้นเตา 10%
S_BA20%	ทรายผสมเถ้าก้นเตา 20%

ตารางที่ 2 (ต่อ) สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเรียกชื่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
S_BA30%	ทรายผสมเถ้ากั้นเตา 30%
BA100%	เถ้ากั้นเตา 100%
ZAV Curve	Zero Air Void Curve (เส้นแสดงปริมาณอากาศเป็นศูนย์)
(U)	แบบไม่แช่น้ำ
(S)	แบบแช่น้ำ

#### 4. ผลการทดสอบคุณสมบัติของหินคลุก, ทรายและเถ้ากั้นเตา

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของหินคลุก, ทรายและเถ้ากั้นเตาได้แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า

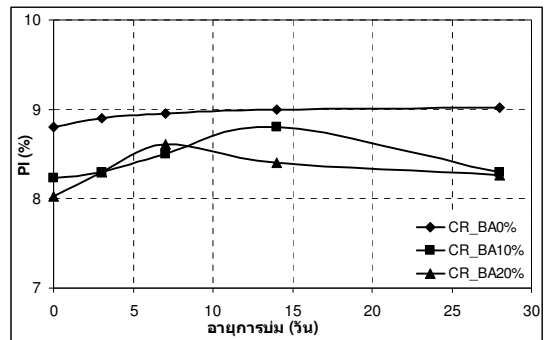
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของหินคลุก ทรายและเถ้ากั้นเตา

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ		
	หินคลุก	ทราย	เถ้ากั้นเตา
ความชื้นธรรมชาติ %	1.82-1.98	4.13-4.35	25-29
Liquid Limit %	26-27	NP	NP
Plastic Limit %	19-20	NP	NP
Plasticity Index	8-9	NP	NP
การจำแนกตามระบบ Unified	GW-GM	SP	SW
ความถ่วงจำเพาะ	2.76	2.64	2.31
ความสึกกร่อน (%)	21	-	-
ความแน่นแห้งสูงสุด (Ton/m <sup>3</sup> )	2.36	1.6	1.14
C.B.R.แบบไม่แช่น้ำ (%)	85	13	45
C.B.R.แบบแช่น้ำ (%)	60	13	35

#### 5. ผลการทดสอบคุณสมบัติของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตา

##### 5.1 ผลการทดสอบ Atterberg's Limits

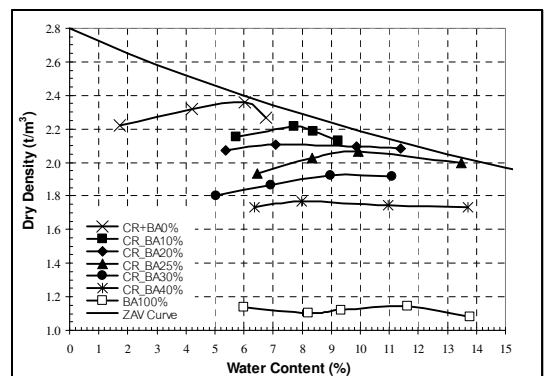
หินคลุกที่ผสมเถ้ากั้นเตาจะทำให้ดัชนีความเหนียวมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเถ้ากั้นเตา ทั้งนี้เนื่องมาจากเถ้ากั้นเตาเป็นวัสดุที่ไม่มีควมเหนียว (Non-Plasticity) เมื่อนำมาผสมกับหินคลุกจึงทำให้ความเหนียวของหินคลุกลดลง อิทธิพลของการบ่มไม่มีผลทำให้ค่าดัชนีความเหนียวเปลี่ยนแปลง



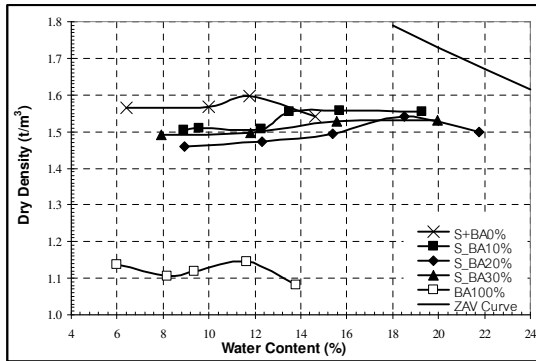
ภาพที่ 4 ผลของอายุการบ่มต่อความเหนียวของหินคลุกที่ผสมเถ้ากั้นเตาอัตราส่วนต่างๆ

##### 5.2 ผลการทดสอบ Modified Compaction Test

1. หินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตา ต่อความแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสม พบว่าหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตาในช่วง 20 ถึง 30% และ 10 ถึง 30% ของน้ำหนักดินแห้งตามลำดับความแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อผสมเถ้ากั้นเตาในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณทรายและดินเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้น ปริมาณกรวดลดลง ทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง และปริมาณความชื้นกลับสูงขึ้น และเถ้ากั้นเตามีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าหินคลุก และทราย มีผลให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 5 ค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของหินคลุกที่เปอร์เซ็นต์ผสมเถ้ากั้นเตาต่างๆ



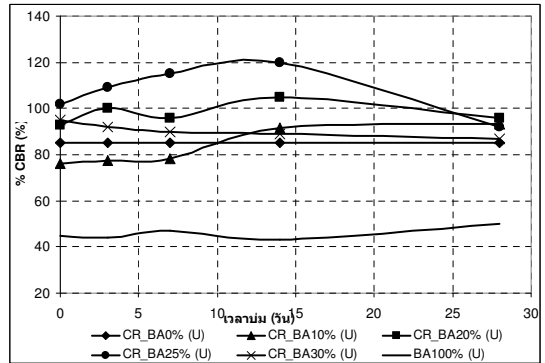
ภาพที่ 6 ค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของทรายที่เปอร์เซ็นต์ผสมต่างกันต่างๆ

### 5.3 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio Test, C.B.R. Test

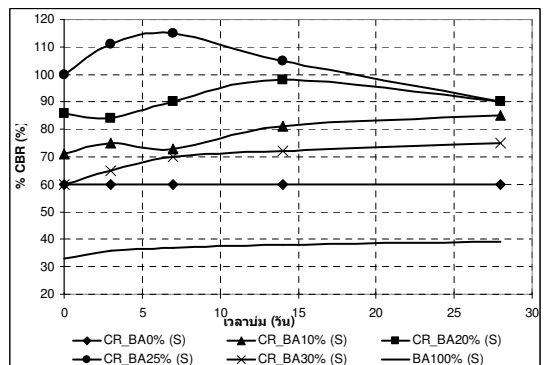
1. หินคลุกผสมแฉกกันเตา มีผลให้คุณสมบัติด้านกำลังโดยพิจารณาจากค่า C.B.R แบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำนั้น ค่า C.B.R จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมแฉกกันเตาที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ผสมแฉกกันเตา 10 ถึง 25% ของน้ำหนักดินแห้ง แต่เมื่อผสมแฉกกันเตาถึง 30% ของน้ำหนักดินแห้ง จะทำให้ค่า C.B.R. มีค่าลดลง ดังภาพที่ 7 และ 8

2. ทรายผสมแฉกกันเตา มีผลให้คุณสมบัติด้านกำลัง โดยพิจารณาจากค่า C.B.R. แบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำนั้น ค่า C.B.R จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแฉกกันเตาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากค่า C.B.R. ของแฉกกันเตานั้นมีค่ามากกว่าค่า C.B.R. ของทรายทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณแฉกกันเตาไปก็ทำให้ ค่า C.B.R. เพิ่มขึ้นด้วยดังภาพที่ 9 และ 10

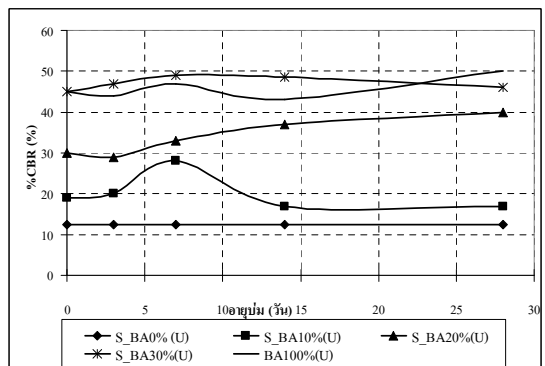
3. พิจารณาความสัมพันธ์ค่า C.B.R. แบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำของหินคลุกผสมแฉกกันเตาที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กับอายุบ่ม 0, 3, 7, 14 และ 28 วัน พบว่าค่า C.B.R จะเพิ่มมากขึ้นในช่วง 0 ถึง 14 วัน และมีแนวโน้มลดลงหลังจาก 14 วัน ในส่วนของทรายผสมแฉกกันเตานั้นมีการพัฒนา ค่า C.B.R. ตามอายุการบ่ม



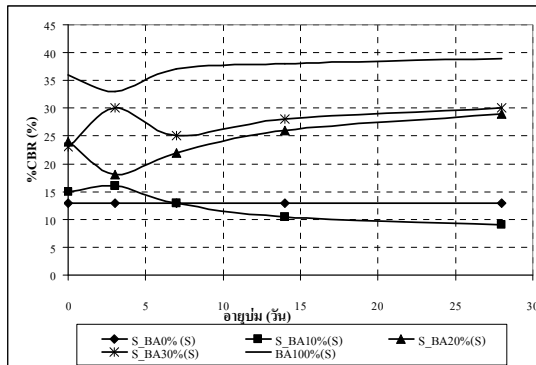
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. แบบไม่แช่น้ำ (U) ของหินคลุกที่เปอร์เซ็นต์ผสมแฉกกันเตาต่างๆกับอายุการบ่ม



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. แบบแช่น้ำ (S) ของหินคลุกที่เปอร์เซ็นต์ผสมแฉกกันเตาต่างๆกับอายุการบ่ม



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. แบบไม่แช่น้ำ (U) ของทรายที่เปอร์เซ็นต์ผสมแฉกกันเตาต่างๆกับอายุการบ่ม



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ C.B.R. แบบแช่น้ำ(S) ของทรายที่เปอร์เซ็นต์ผสมเถ้าก้นเตาต่างๆกับอายุการบ่ม

## 6. สรุป

- 6.1 หินคลุกเมื่อผสมเถ้าก้นเตามีการพัฒนาค่า C.B.R.แบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตา และมีค่าสูงสุดเมื่อผสมเถ้าก้นเตาที่25%ของน้ำหนักดินแห้ง และมีการพัฒนาค่า C.B.R.เพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม
- 6.2 ทรายผสมเถ้าก้นเตามีการพัฒนาค่า C.B.R.แบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำสูงขึ้น ตามปริมาณเถ้าก้นเตาที่เพิ่มขึ้น และมีการพัฒนาค่า C.B.R.เพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม
- 6.3 ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถบ่งชี้ว่าเถ้าก้นเตาสามารถนำมาใช้เป็นสารเชื่อมประสานและพัฒนาค่าลึงค่า C.B.R ได้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ในบทความนี้ ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ปีการศึกษา 2552 จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าบีแอลซีที นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

## 8. บรรณานุกรม

- [1] สรากร หนูเอก, 2548. การปรับปรุงวัสดุพื้นทางหินคลุกด้วยซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] สุภกิจ นนทนานันท์, 2537. การปรับปรุงคุณภาพดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.197 น.