



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยใช้เถ้าก้นเตา

Improvement of Crush Rock and Sand by Bottom Ash

นามผู้วิจัย นางสาวจุฑาทิพย์ เจียวแจ่ม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(..... รองศาสตราจารย์ประทีป ดวงเดือน, M.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(..... รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(..... รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยใช้เถ้าก้นเตา

Improvement of Crush Rock and Sand by Bottom Ash

โดย

นางสาวจุฑาทิพย์ เขียวแจ่ม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ.2552

จุฬาทิปป์ เขียวแจ่ม 2552: การปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยใช้เถ้าก้นเตา ปริญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประทีป ดวงเดือน, M.Eng. 68 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เถ้าก้นเตาในการปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายเพื่อใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างทาง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของหินคลุกและทรายที่ผสมกับเถ้าก้นเตา ซึ่งได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน ปริมาณเถ้าก้นเตา และอายุการบ่ม โดยหินคลุกและทรายที่นำมาทำการทดสอบนั้นมาจากจังหวัดชลบุรีและนครสวรรค์ ตามลำดับ ซึ่งหินคลุกนั้นได้นำมาร่อนแยกขนาดและนำเม็ดดินมาผสมให้ได้การกระจายตัวเกรด B ตามมาตรฐานกรมทางหลวง เถ้าก้นเตาที่ใช้ในการทดสอบเป็นเถ้าก้นเตาที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียดได้จากโรงไฟฟ้า จังหวัดระยอง โดยผสมเถ้าก้นเตากับหินคลุกในอัตราส่วน 10, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง และผสมกับทรายในอัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มสูงขึ้น หินคลุกมีค่าดัชนีความเหนียวลดลง, ในหินคลุกและทรายมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง, ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มสูงขึ้น, ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าก้นเตาและอายุการบ่ม ซึ่งปริมาณเถ้าก้นเตาอัตราส่วน 25% โดยน้ำหนักดินแห้ง เป็นปริมาณที่เหมาะสม สำหรับผสมในหินคลุก ส่วนทรายนั้นสามารถใช้เถ้าก้นเตาแทนทรายได้, สัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้น ส่วนอายุการบ่มนั้นไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ

สรุปได้ว่า เถ้าก้นเตามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายเมื่อผสมในสัดส่วนที่เหมาะสม

Jutatip Khiewjam 2009: Improvement of Crush Rock and Sand by Bottom Ash. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Prateep Duangdeun, M.Eng. 68 pages.

This research utilized the bottom ash, a waste material from power plant, to improve highway embankment materials including crush rock and sand. The study focuses on the effect of particles size distribution, the quantity of bottom ash, the curing times and amount of bottom ash 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 obtain grade B grain size distribution according to Department of Highway Standard, Thailand. The bottom ash used in this studied is the waste from the BLCP power plant located in Rayong province. The crush rock samples were mixed with the bottom ash in proportion of 20, 25 and 30 percents by dry weight of the rock. The sand samples were mixed with the bottom ash in proportion of 10, 20 and 30 percents by dry weight of the sand.

The experimental 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 as bottom ash increase. Unsoaked and soaked C.B.R. values increase directly to the quantity of bottom ash and curing time. The bottom ash in proportion of 25 percent by dry weight is the appropriate quantity for mixing with the crush rock. Bottom ash could be used instead of sand. Coefficient of permeability values increase directly to the quantity of bottom ash, but curing time has no effect on coefficient of permeability.

Bottom ash can be used to stabilize the Crush rock and sand if mixing with the appropriate portion.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อปรีชา คุณแม่ยุวดี คุณจุฑารัตน์ คุณย่าชั้น เขียวแจ่ม และคุณยายสุวรรณา การุณรอบคูล พร้อมทั้งญาติๆทุกคน ที่ได้อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูด้วยความรักความอบอุ่น มาโดยตลอด อีกทั้งยังให้การสนับสนุนและมอบกำลังใจให้เสมอมา จนทำให้การเรียนสำเร็จลุล่วง ด้วยดี

พร้อมกันนี้ใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ประทีป ดวงเดือน ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์อย่างยิ่งในการอบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทความรู้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำแนวทางในการดำเนินงานจนวิทยานิพนธ์นี้แล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ก่อโชค จันทรวงกูร กรรมการที่ปรึกษาร่วม รวมถึงศาสตราจารย์ต่อกุล กาญจนาลัย ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ โชติกไกร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง ด้วยดี อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้ที่มีค่ายิ่ง อันจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ที่สนับสนุนทุนสำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณสุรชัย สิงห์สาธร ที่อนุเคราะห์และช่วยเหลือในการจัดหาหินคลุกสำหรับการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยฯ รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการปฐพีทุกท่าน ในการช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นพี่-รุ่นน้องวิศวกรรมปฐพีทุกท่าน ซึ่งมีจากถ่าวนามลงในกิตติกรรมประกาศได้ครบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณวิเศษ แจ่มจิตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือการทดลองในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งคำแนะนำ ช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นแรงใจในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความปรารถนาดีของทุกท่าน จึงขอขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

จุฑาทิพย์ เขียวแจ่ม

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	36
สรุปและข้อเสนอแนะ	62
สรุป	62
ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก	10
2	องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าก้นเตา	26
3	องค์ประกอบทางเคมีในเถ้าก้นเตาเปรียบเทียบกับเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F และ C	27
4	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเรียกชื่อ	34
5	การกระจายขนาดของหินคลุกที่ใช้ในการทดสอบ	35
6	องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าก้นเตา	39
7	ผลทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและทราย	42
8	ผลการทดสอบ Unsoaked และ Soaked ของหินคลุก ทรายและเถ้าก้นเตา	43
9	ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุก ทรายและเถ้าก้นเตา	44
10	ค่าLiquid Limit., Plastic Limit. และ Plasticity Index ของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตา	46
11	ผลทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและทราย ที่ผสมเถ้าก้นเตา	48
12	ผลการทดสอบ Unsoaked ของหินคลุกและทราย ที่ผสมเถ้าก้นเตา	52
13	ผลการทดสอบ Soaked ของหินคลุกและทราย ที่ผสมเถ้าก้นเตา	52
14	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุก และทรายที่ผสมเถ้าก้นเตา	60

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วัฏจักรของหิน	5
2	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของหินคลุกเกรดต่างๆ ที่มีต่อค่า Unconfined Compressive Strength	8
3	โครงสร้างแบบ Single Grained Structure	13
4	โครงสร้างในสภาพหลวม	13
5	โครงสร้างในสภาพแน่น	14
6	ปรากฏการณ์ Capillary Action	15
7	การจัดเรียงตัวของเม็ดทรายในสภาวะต่างๆ	16
8	ผลของปริมาณมวลละเอียดที่ผสมในหินต่อความหนาแน่นแห้ง และ C.B.R.	17
9	เปรียบเทียบ C.B.R. กับ ความหนาแน่นแห้งของวัสดุที่มีมวลละเอียดในจำนวนไม่เท่ากัน	17
10	ค่า C.B.R. กับปริมาณเถ้าลอยของดิน Silty Sand ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ	18
11	การกระจายตัวและขนาดของอนุภาคเถ้ากั้นเตา	25
12	ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้ากั้นเตา	25
13	ลักษณะพื้นผิวอนุภาคของเถ้ากั้นเตา	26
14	กราฟระหว่าง intensity และ theta จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่อง XRD	27
15	ขั้นตอนการวิจัย	33
16	การกระจายขนาดของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	35
17	การกระจายขนาดของหินคลุกและทรายที่ใช้ในงานวิจัย	37
18	การกระจายตัวและขนาดของอนุภาคเถ้ากั้นเตา	39
19	ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้ากั้นเตา	40
20	ลักษณะพื้นผิวอนุภาคของเถ้ากั้นเตา	40
21	การกระจายของเถ้ากั้นเตาที่ใช้ในงานวิจัย	41
22	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของหินคลุก ทรายและเถ้ากั้นเตา	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ของหินคลุก ทราय และ ใ้กัันเตา	44
24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุก ทราย และใ้กัันเตา	45
25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquid Limit, Plastic Limit, Plasticity Index กับ ปริมาณใ้กัันเตาและอายุการบ่มของหินคลุกผสมใ้กัันเตา	48
26	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของหินคลุกที่เปอร์เซ็นต์ผสมใ้กัันเตาต่างๆ	50
27	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของทรายที่เปอร์เซ็นต์ผสมใ้กัันเตาต่างๆ	50
28	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งของหินคลุกและทรายที่ปริมาณใ้กัันเตาต่างๆ	51
29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของหินคลุกและทรายที่ ปริมาณใ้กัันเตาต่างๆ	51
30	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของหินคลุกผสมใ้กัันเตา	54
31	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของหินคลุกผสมใ้กัันเตา	54
32	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของทรายผสมใ้กัันเตา	55
33	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของทราย ผสมใ้กัันเตา	55
34	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณใ้กัันเตาผสมหินคลุก	57
35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณใ้กัันเตาผสมหินคลุก	57

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณเถ้ากั้นเตาผสมหินคลุก	58
38	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณเถ้ากั้นเตาผสมทราย	59
39	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณเถ้ากั้นเตาผสมทราย	59
40	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำกับปริมาณเถ้ากั้นเตาของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตาที่ทดสอบทันทีหลังบดอัดและที่อายุบ่ม 28 วัน	61

การปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยใช้เถ้าก้นเตา

Improvement of Crush Rock and Sand by Bottom Ash

คำนำ

ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินเป็นจำนวนมาก เมื่อมีการนำถ่านหินเหล่านี้มาใช้ประโยชน์แล้ว สิ่งที่เป็นผลตามมาจากการเผาไหม้ถ่านหินคือเถ้าก้นเตา ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำเอาเถ้าก้นเตาซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์น้อยมาก ดังนั้นการนำเถ้าก้นเตาไปใช้ประโยชน์จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก โดยในต่างประเทศได้มีการนำเถ้าก้นเตาไปผสมในดินเพื่อทำเป็นดินคันทางแต่ว่ายังไม่เป็นที่แพร่หลายกันมากนัก

หินคลุกและทรายก็นับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีความสำคัญยิ่งในการก่อสร้างถนน แต่ในบางครั้งวัสดุที่มีอาจมีคุณภาพไม่ดีพอถึงเกณฑ์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพโดยนำหินคลุกและทรายมาผสมกับเถ้าก้นเตา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเผาถ่านหิน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในด้านการขาดวัสดุที่มีคุณภาพเพียงพอที่จะทำการก่อสร้างถนน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพหินคลุกและทรายโดยวิธีทางเคมี (Chemical Stabilization) ด้วยเถ้าก้นเตา
2. ศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณของเถ้าก้นเตาและอายุการบ่มต่อความเหนียว (Plasticity) ของหินคลุกและทราย
3. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลในการปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายโดยใช้เถ้าก้นเตา อันได้แก่
 - 3.1 ปริมาณของเถ้าก้นเตา
 - 3.2 อายุการบ่ม
4. พิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตาและทรายผสมเถ้าก้นเตา ในช่วงอายุของการบ่มและปริมาณเถ้าก้นเตาที่ผสมในสัดส่วนต่าง ๆ กัน
5. ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเถ้าก้นเตามาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหินคลุกและทรายเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาโดยเฉพาะด้านวิศวกรรมการทางต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างหินคลุกและทราย โดยหินคลุกที่นำมาทำการทดสอบได้จากโรงโม่ จังหวัดชลบุรี และทรายเป็นทรายแม่น้ำจากจังหวัดนครสวรรค์ และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุกและทราย
2. สารผสมเพิ่มที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เถ้าก้นเตาที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียด จากโรงงานไฟฟ้าBLCP นิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

3. ตัวอย่างหินคลุกและทรายที่จะนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรม นั้นนำมาจากการเตรียมตัวอย่างดินให้ได้มาตรฐานชั้นพื้นทางตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
4. ใช้อัตราส่วนผสมแฉ่ำกันเตาต่อดินที่ 10, 15, 20 และ 25 ของน้ำหนักดินแห้ง โดยเพิ่มไปเรื่อยๆครั้งละ 5% จนกว่าจะได้ค่าความหนาแน่นแห้งที่สูงที่สุด
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของหินคลุก ก่อนและหลังผสมแฉ่ำกันเตาโดยทำการทดสอบหาค่า Plastic Index ทันทีหลังผสมเสร็จและที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน
6. การทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการจะทดสอบตามมาตรฐานของ Modified Proctor Compaction Test โดยใช้พลังงานในการบดอัด 56,000 ปอนด์-ฟุต/ลูกบาศก์ฟุต
7. การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนทดสอบโดยวิธี California Bearing Ratio แบบ Unsoaked C.B.R. และ Soaked C.B.R. ของตัวอย่างหินคลุกและทราย ก่อนและหลังทำการผสมแฉ่ำกันเตาที่ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) เท่านั้น โดยทำการทดสอบที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ
8. การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของตัวอย่างหินคลุกและทราย ก่อนและหลังผสมแฉ่ำกันเตาที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น โดยทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ ทันทีหลังบดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน

การตรวจเอกสาร

ความหมายและประเภทของหิน

หิน (Rock) คือสารผสมของแร่ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป หรืออาจเป็นสารผสมระหว่างแร่กับแก๊สภูเขาไฟ ในทางธรณีวิทยานั้นหินก็คือสารที่เป็นของแข็งที่ประกอบอยู่ในเปลือกโลก รวมทั้ง กรวด (Gravel) ทราย (Sand) และดิน (Soil) ด้วย แต่ในทางวิศวกรรมโยธาแล้ว หินหมายถึงส่วนที่เป็นของแข็งของเปลือกโลกที่ไม่สามารถขุดออกด้วยมือ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ หินอัคนี (Igneous Rock) หินชั้นหรือหินตะกอน (Sedimentary Rock) และหินแปร (Metamorphic Rock) (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา พ.ศ. 2544)

หินอัคนี (Igneous Rock) คือ หินที่เกิดจากการแข็งตัวของหินหนืด (Magma) ที่เปลือกโลก ถ้าแข็งตัวอยู่ภายในเปลือกโลก เรียกว่า หินอัคนีแทรกซอน (Intrusive Rock or Plutonic Rock) หรือ ถ้าปะทุออกมาแข็งตัวอยู่บนผิวโลก เรียกว่า หินอัคนีพุ (Extrusive Rock or Volcanic Rock)

หินตะกอนหรือหินชั้น (Sedimentary Rock) คือหินที่เกิดจากทับถมของตะกอน ตะกอนเหล่านี้เกิดจากการพุดัง แดกสลายของหินอัคนี หินแปร หรือหินชั้นอายุเก่ากว่า ถูกพัดมาตกจมสะสมโดยน้ำ ลม ธารน้ำแข็ง หรือตะกอนทางเคมี และหมายรวมถึงหินที่เกิดจากการสะสมของซากดึกดำบรรพ์ด้วย ตะกอนเหล่านี้มีการสะสมตัวเป็นชั้นๆตามลำดับอายุยังปรากฏให้เห็นอยู่ ดังนั้น จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หินชั้น

หินแปร (Metamorphic Rock) คือหินที่แปรสภาพไปจากเดิม โดยการกระทำของความร้อน ความดันและปฏิกิริยาทางเคมี หินแปรบางชนิดแสดงเค้าเดิม บางชนิดผิดไปจากเดิมมากจนต้องศึกษารายละเอียดของเนื้อหินหรือสภาพสิ่งแวดล้อมจึงทราบที่มี เช่น หินดินดาน แปรเปลี่ยนหินชนวน หินทรายเปลี่ยนเป็นหินควอร์ตไซต์ หินปูนแปรเปลี่ยนเป็นหินอ่อน เป็นต้น

วัฏจักรของหิน

หินที่เปลือกโลกปกคิจะเป็นหรือมาจากหินอัคนี ประมาณร้อยละ 95 ส่วนที่เหลือเป็นหินชั้นหรือหินแปร อย่างไรก็ตามดินหรือหินที่เกิดจากการผุกร่อนของเปลือกโลก อาจประกอบด้วยหินชั้นถึงร้อยละ 75 อีกร้อยละ 22 ประกอบด้วยหินปูน และ Dolomite ทั้งหินอัคนีหินชั้น และหินแปร มีความสัมพันธ์เป็นวัฏจักร อาทิเช่น หินอัคนีตกผลึกจากหินที่หลอมตัว (Molten Rock) หินชั้น หรือ หินตะกอน อาจเกิดโดยการตกตะกอนเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Chemical Precipitation) หรือการตกผลึกในน้ำหรืออากาศ (Settled Fragments in Water or Air) หินแปร อาจแปรสภาพจากหินอัคนี หรือ หินชั้น ภายใต้อุณหภูมิ หรือแรงดัน เป็นต้น



ภาพที่ 1 วัฏจักรของหิน

หินคลุก

วัสดุพื้นทางหินคลุก (Crush Rock Base)

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

คุณภาพของหินคลุก

องค์ประกอบที่ต้องพิจารณาถึงการกำหนดคุณภาพของหินคลุกมีหลายอย่างที่ต้องพิจารณา เช่น น้ำหนักและปริมาณการจราจร หรือน้ำหนักของรถ จำนวนเที่ยวจะมีผลต่อการทำลายชั้นทางในการนำหินคลุกมาใช้เป็นพื้นทาง ซึ่งถือว่าเป็นชั้นบนรองลงมาจากชั้นผิวทางการกระจายแรงเค้น เนื่องจากล้อรถยังมีค่าสูงมีผลต่อความสึกของวัสดุด้วย การกำหนดคุณภาพของหินคลุกต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วย

สภาพอากาศหรือความชื้นที่หินคลุกจะได้รับมีผลต่อความแข็งแรงของหินคลุกหากหินที่อ่อนและผุง่ายเมื่อถูกน้ำก็จะทำให้สูญเสียความแข็งแรงได้เช่นกัน

รูปร่างของหิน ต้องเป็นก้อนเหลี่ยมมีแฉะมีมุม มีส่วนที่เป็นชิ้นแบนและยาว การมีแฉะมุมใช้วิธีดูลักษณะของ Fines ไม่ว่าจะเป็นส่วนของหินหรือเป็นวัสดุที่อยู่เป็นก้อนจากแหล่งมีดินเหนียวผสมอยู่จะทำให้คุณภาพของหินคลุกเสียไปโดยเฉพาะเมื่อมีน้ำหนักรวมเกินไป

คุณสมบัติของหินคลุก

ชนิดของคุณสมบัติหินมีมากมายขึ้นอยู่กับนำไปใช้ โดยสามารถแบ่งอย่างคร่าวๆ ได้ 4 อย่าง คือ

- คุณสมบัติเชิงกายภาพ (Physical Properties) ได้แก่ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ส่วนใหญ่มองเห็นด้วยตาเปล่า และสามารถตรวจสอบได้ง่าย เช่น สี โดยเฉลี่ยของหินทั้งก้อน ความแข็งเฉลี่ยของหินทั้งก้อน ลักษณะของความไม่ต่อเนื่องในก้อนหิน เนื้อหิน ชนิดของแร่ ปริมาณของแร่ ในหิน

- คุณสมบัติเชิงเคมี (Chemical Properties) ได้แก่ คุณสมบัติเชิงเคมีของแร่ เช่น การพุ่งเป็นฟองกับกรด การทำปฏิกิริยาของแร่ในหินทางธรณีวิทยา

- คุณสมบัติเชิงวิศวกรรม (Engineering Properties) ได้แก่ คุณสมบัติของหินที่นำมาใช้ในงานวิศวกรรม หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เป็นคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) เช่น ความพรุน ความซึมน้ำได้ กำลังวัสดุของหิน การอัดบดของหิน การพองตัวของหินและสภาพพลาสติกของหิน

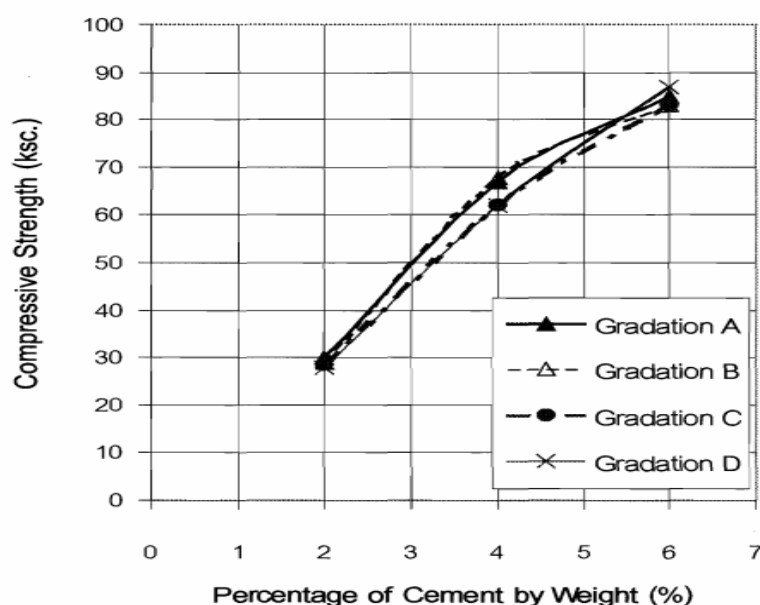
- คุณสมบัติอื่นๆ (Miscellaneous Properties) เป็นคุณสมบัติที่ไม่สามารถจัดให้เด่นชัดว่า เป็นคุณสมบัติเชิงกายภาพ เคมี หรือเชิงวิศวกรรม เช่น ปริมาณความชื้นในหิน ความทนทานทางด้านกลศาสตร์ของหิน คุณสมบัติของหินที่พึ่งพิงกับเวลา (Time dependent)

ในการผลิตหินในประเทศไทยนิยมใช้หินปูนในงานก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศ การที่จะนำหินที่อยู่ตามธรรมชาติมาใช้นั้นจะต้องผ่านการแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน

เจนภพ และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาเรื่อง คุณสมบัติของแหล่งหินที่ใช้ในงานทางในเขตภาคกลางตอนบน ได้ทำการสำรวจสภาพทางธรณีวิทยา พบว่าสภาพทางธรณีวิทยาส่วนใหญ่เป็นภูเขาหินปูน และจึงทำการเก็บตัวอย่างวัสดุที่ใช้ในงานทางประเภท หินคลุก หินขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว จากจังหวัดสระบุรี สิงห์บุรี ลพบุรี ชัยนาท นครสวรรค์ อ่างทอง และ อุทัยธานี

นำมาทำการทดลองตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบการสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยเครื่อง Los Angeles Abrasion การหาค่าการบดอัดดิน การทดสอบ CBR การทดสอบหาความคงตัวของมวลรวมโดย Sodium Sulfate และการทดลองหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยวิธีผ่านตะแกรง จากผลการทดลองพบว่า ค่าการสึกหรอของหินจะอยู่ในช่วง 38.2 ถึง 17.2% ค่าการบดอัดหินคลุกมีค่าความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด อยู่ระหว่าง 6.02 ถึง 7.22% และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด อยู่ระหว่าง 2.21 ถึง 2.28 ตัน/ลบม. ค่า CBR ที่ 95% อยู่ในช่วง 79 ถึง 89% ค่าความคงตัวของมวลรวมโดย Sodium Sulfate อยู่ในช่วง 0.83 ถึง 1.07 % ค่าการทดลองหาขนาดของเม็ดวัสดุสามารถแบ่งเป็นเกรดต่างได้ตั้งแต่เกรด A ถึง เกรด E

ชินณพงศ์ และคณะ(2543) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของ Gradation ที่มีต่อ Cement Modified Crushed Rock Base โดยนำหินคลุกเกรด A, B, C และ D มาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ต่อน้ำหนักดินแห้ง โดยบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่าหินคลุกแต่ละเกรดมีค่า UCS ที่อายุการบ่ม 7 วัน ไม่แตกต่างกันผลดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของหินคลุกเกรดต่างๆ ที่มีต่อค่า Unconfined Compressive Strength

ที่มา: ชินณพงศ์ และคณะ(2543)

ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับหินคลุกที่ใช้ในงานทาง

กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2544) ได้กำหนดคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำพื้นทางหินคลุกไว้ ดังนี้

1. มีค่าการสึกหรอ ไม่เกินร้อยละ 40
2. มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน ไม่เกินร้อยละ 9
3. ส่วนละเอียดต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ
4. มีขนาดกะทัดรัด โดยต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 1
5. ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)
6. มีค่าLiquid limit ไม่เกินร้อยละ 25
7. มีค่า Plasticity Index ไม่เกินร้อยละ 6
8. มีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางเซอร์เฟซทรีตเมนต์ที่มีความแน่นแข็งของการบดอัด ร้อยละ 95 ของความแน่นแข็งสูงสุดที่ได้จากการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 1 ขนาดตะแกรงของวัสดุพื้นทางหินคลุก

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล	
	A	B
50 (2นิ้ว)	100	100
25.0 (1นิ้ว)	-	75-95
9.5 (3/8นิ้ว)	30-65	40-75
4.75 (เบอร์ 4)	25-55	30-60
2.00 (เบอร์ 10)	15-40	20-45
0.425 (เบอร์ 40)	8-20	15-30
0.075 (เบอร์ 200)	2-8	5-20

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพหินคลุก

เจษฎา และ อศิสร (2540) ได้ศึกษาการนำปูนซีเมนต์และปูนขาวมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงหินคลุก โดยใช้หินคลุกจากจังหวัดราชบุรีมาผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0.4 , 0.6, 0.8 , 1 และผสมด้วยปูนขาวในอัตราส่วนร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (C.B.R.) เมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมกับหินคลุกในอัตราส่วนร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักสามารถเพิ่มค่า C.B.R. ขึ้นได้ถึงประมาณอัตราร้อยละ 50 ไม่มีผลในการปรับปรุงอัตราส่วนตะแกรงเมื่อทดสอบตามวิธี Sieve Analysis Test เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ในส่วนของการทดสอบ Compaction Test ปูนซีเมนต์ที่ผสมกับหินคลุก ช่วยให้การบดอัดทำได้ดีขึ้น เพราะปูนซีเมนต์ช่วยเข้าไปแทรกในช่องว่างของมวลรวมของหินคลุกแต่ต้องใช้ปริมาณน้ำ มากขึ้นในการคลุกเคล้าเพื่อการบดอัดใน ส่วนของหินคลุกที่ผสมด้วยปูนขาวเมื่อทำการทดลองแล้วพบว่าปริมาณของปูนขาวที่ผสมกับหินคลุก เป็นอัตราส่วนผกผันกับค่า C.B.R. ซึ่งจากผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าปูนขาวไม่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุง คุณภาพของหินคลุกได้

ภูเวียง (2540) ได้ศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมหินคลุก เปรียบเทียบกับดินลูกรังผสมหินคลุก และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณมวลหยาบในอัตราร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 75 ของน้ำหนักดินแห้ง มีผลทำให้ค่า Unconfined Compressive Strength และค่า Soaked C.B.R. สูงมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อผสมปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 5 และ 7 ของน้ำหนักดินแห้ง แต่

เมื่อผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 3 หรือน้อยกว่า และเพิ่มมวลหยาบมากกว่าร้อยละ 60 ที่อายุ 7 วัน ค่า UCS จะค่อยๆ ลดลง แต่ค่า Soaked CBR ยังคงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุมวลหยาบที่มีขนาดคละข้างบนตะแกรง No.4 มากขึ้น หรือมีมวลละเอียดผ่านตะแกรง No.30 และ No.200 มีน้อยมาก เกิดมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยกัน แรงเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินน้อยลง และปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3 ไม่เพียงพอที่จะทำให้ดินรับแรงอัดได้ในช่วงเวลาดังกล่าว

กัมปนาท (2542) ได้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลตัวอย่างหินคลุกเกรด D ประเภทหินปูนด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากการทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางจุลภาคกับสมบัติกายภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางจุลภาคกับสมบัติเชิงกลในรูปสมการกำลังสอง โดยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ และปัจจัยควบคุมการทดสอบ อาทิ ระยะเวลาบ่ม ปริมาณซีเมนต์ ลักษณะทางจุลภาค และสมบัติกายภาพของตัวอย่าง อันมี เหตุมาจากผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นระหว่างซีเมนต์กับน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาหลัก และมีองค์ประกอบลักษณะทางจุลภาคและสมบัติกายภาพเป็นปัจจัยเสริม โดยจากการวิเคราะห์พบความเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยจากค่าการใช้งานของมาตรฐานกรมทางหลวง ของผลการทดสอบค่ากำลังอัดแนวแกนเดียว ค่า CBR และค่ากำลังเฉือน มีค่าเฉลี่ยร้อยละ -1.58 , $+0.63$ และร้อยละ -0.78 ตามลำดับ สำหรับผลการวิจัยเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับข้อกำหนดการใช้งานตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่อายุตัวอย่างการบ่มที่ 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน กับการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นส่วนผสมร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 โดยนำหนักแห้ง พบว่าที่อายุการบ่ม 7 วัน ปริมาณซีเมนต์ที่เพียงพอสำหรับการเพิ่มสมบัติหินคลุกเกรด D ให้ใช้งานได้ดีมีคุณภาพการดั่งเช่น หินคลุกเกรด A และเกรด B ตัวอย่างจาก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี, อ.แม่สอด จ.ตาก และ อ.เมือง จ.ราชบุรี เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์เป็นส่วนผสมร้อยละ 2.0, 2.5 และ 2.5 โดยนำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับตัวอย่างจาก อ.เมือง จ.ชุมพร ใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3.0

ทราຍ

ทราຍที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณภาพและลักษณะแตกต่างกันออกไป การตัดสินใจว่าจะใช้ทราຍประเภทใดต้องให้เหมาะกับลักษณะงานที่ทำ เช่น ทราຍถมที่ ทราຍผสมคอนกรีต ทราຍที่ใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง เป็นต้น

การแบ่งทรายแบ่งได้หลายแบบ ถ้าแบ่งตามขนาดจะแบ่งทรายออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดเม็ดหยาบ (Coarse grain soil) และเม็ดละเอียด (Fine grain soil) โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.06 มม. ถึง 2 มม.

การแบ่งทรายอีกประเภทหนึ่งคือการแบ่งตามแหล่งที่เกิด คือ ทรายแม่น้ำ, ทรายบก และ ทรายทะเล โดยที่ทรายแม่น้ำจะสะอาดกว่าเพราะเมื่อเกิดการผุพังแล้วถูกกระแสน้ำพัดพาไปตามลำน้ำประเภทต่างๆ แหล่งทรายแม่น้ำจะพบตามลำน้ำที่มีความลาดชันน้อยเพราะการไหลของน้ำจะช้า ทำให้ทรายตกจมลงก้นแม่น้ำ ถ้าคลอง โดยที่ทรายหยาบจะมีน้ำหนักมากกว่าจะตกตะกอนก่อน ทรายที่มีขนาดละเอียดกว่า ในบางแห่งจะพบทรายมีลักษณะเป็นชั้นๆตามความเร็วของน้ำแต่ละฤดู

ทรายอีกประเภทหนึ่งก็คือทรายบกจะอยู่ใต้ผิวดิน ก่อนข้างสกรปรก คือมีเศษดินหรือ อินทรีย์วัตถุปนอยู่มากกว่าเกินกำหนดจะต้องทำการล้างทรายนั้นให้สะอาดก่อนนำไปใช้ เพราะ ทรายที่มีอินทรีย์วัตถุปนอยู่มากจะทำให้กำลังยึดเหนี่ยวมีค่าต่ำ

ทรายอีกประเภทหนึ่งคือ ทรายทะเลจะมีลักษณะมนกลมกว่าทรายแม่น้ำ เพราะว่าถูกคลื่น พัดพาซัดสืออยู่ตลอดเวลา ไม่เหมาะกับการคอนกรีตเพราะไม่มีเหลี่ยมมุมที่จะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว ดี แต่ถ้าจะเป็นต้องจะใช้จะต้องล้างเกลือที่เคลือบผิวเม็ดทรายออกไปก่อน

ทรายที่จะนำมาใช้ในงานรองพื้นถนน

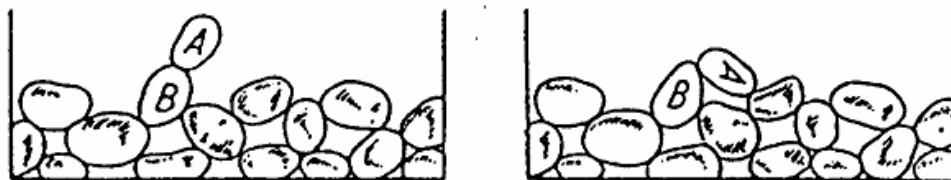
ทรายที่จะนำไปใช้ในงานรองพื้นทางจะนำไปใช้ใน 2 ส่วน คือ ในการทำชั้นผิวทาง (Surface) และใช้ในการทำชั้นพื้นทางและรองพื้นทาง (Base and Subbase)

สำหรับทรายที่ใช้ในชั้นผิวทาง (Surface) จะใช้เป็นส่วนผสมใน Asphaltic Concrete ของ ผิวทางแบบ Flexible Pavement และใช้เป็นวัสดุในคอนกรีตสำหรับก่อสร้างผิวทาง แบบ Rigid Pavement Asphaltic Concrete หมายถึง ส่วนผสมระหว่างมวลรวมกับยาง Asphalt โดยผสมกันที่ อุณหภูมิสูงๆ เมื่อนำไปลาดบนถนนแล้วทำการอัดให้แน่นจะสามารถรับน้ำหนักยานพาหนะได้ดีกว่า แข็งแรง ทนทาน และมีผิวทางที่เรียกว่า ผิวทางที่ทำเป็นชั้นๆ (Layered System)

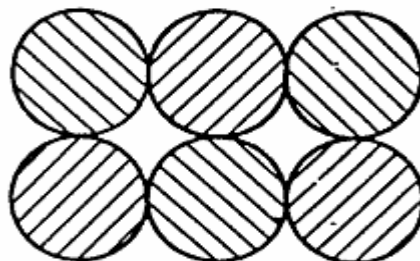
สำหรับชั้นทรายที่ใช้ในชั้นพื้นทางและรองพื้นทางสำหรับผิวทางแบบ Flexible Pavement ชั้นพื้นทาง และรองพื้นทางจะเป็นชั้นที่ถ่ายน้ำหนักจากชั้นผิวทางลงสู่พื้นชั้น Subgrade ความแข็งแรงของถนนจะมีมากน้อยเพียงไรก็ขึ้นกับชั้นพื้นทางและรองพื้นทาง สองชั้นนี้ ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการทำชั้นนี้จึงต้องมีคุณภาพที่ดี มีความสามารถรับแรงกดอัด (Pressure) สูงๆ ได้ซึ่งเกิดจากน้ำหนักล้อของรถที่วิ่งไปมาได้

โครงสร้างของทราย

การจัดเรียงตัวของทรายมีลักษณะเป็นโครงสร้างที่แต่ละอนุภาคจะสัมผัสกับอนุภาคอื่นๆ มากมาย ซึ่งเป็นการถ่ายเทแรงเพื่อรับน้ำหนักเท่านั้น โดยแต่ละจุดที่สัมผัสกันจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค โครงสร้างชนิดนี้เรียกว่า Single Grained Structure ดังภาพที่ 3 โครงสร้างแบบ Single Grained นี้ บางครั้งอาจจัดเรียงดังอยู่ในสภาพหลวม ดังภาพที่ 4 หรืออยู่ในสภาพที่แน่น ดังภาพที่ 5 สำหรับแบบจำลองอนุภาคทรงกลม เมื่อจัดเรียงตัวในสภาพแน่นที่สุดจะมีอัตราส่วนช่องว่างประมาณ 0.35 และเมื่อจัดเรียงตัวในสภาพหลวมที่สุดจะมีอัตราส่วนช่องว่างสูงถึง 0.91

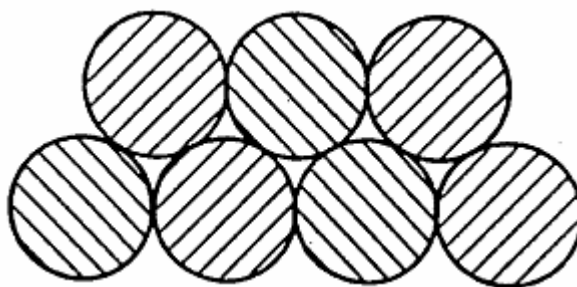


ภาพที่ 3 โครงสร้างแบบ Single Grained Structure



ภาพที่ 4 โครงสร้างในสภาพหลวม

ที่มา : Means and Parcher (1963)



ภาพที่ 5 โครงสร้างในสภาพแน่น

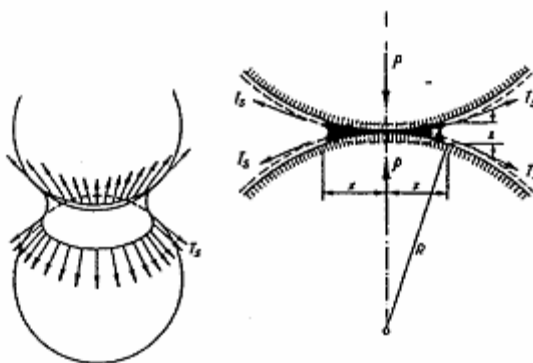
ที่มา : Means and Parcher (1963)

โครงสร้างแบบ Single Grained จะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของแต่ละอนุภาคได้ ซึ่งที่แต่ละจุดสัมผัสนี้เองที่มีการส่งผ่านแรง ทำให้โครงสร้างชนิดนี้ไม่มีการยุบตัวมากนัก การจัดเรียงตัวของเม็ดทรายจะถูกต้านด้วยแรงเสียดทานที่ผิวอนุภาค (Surface Friction) ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันในแนวตั้งจาก ณ จุดสัมผัส (Normal Contact Pressure)

หากมีแรงภายนอกมากระทำจนทำให้มุมของผิวเม็ดทรายที่กระทำกับเส้นปกติ (Normal Line) มีค่ามากกว่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดทราย จะส่งผลให้เม็ดทรายเลื่อนไถลลงสู่ด้านล่างในลักษณะของการทับถมแบบสุ่ม (Random) ซึ่งทำให้อยู่ในสภาพที่ค่อนข้างหลวม

เมื่อทรายได้รับความชื้นจะเกิดปรากฏการณ์สำคัญที่มีผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม เรียกว่า Capillary Action ปรากฏการณ์นี้จะเกี่ยวข้องกับแรงดึงผิวของน้ำ โดยแรงดึงผิวเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างผิววัสดุที่แตกต่างกัน คือ เม็ดทราย น้ำ และอากาศ

ถ้าพิจารณาที่จุดสัมผัสระหว่างเม็ดทรายจะเห็นว่าล้อมรอบไปด้วยปริมาณความชื้นที่เรียกว่า Contact Moisture ดังภาพที่ 6 ซึ่งมีลักษณะเป็นผิวโค้งสัมผัสกับพื้นผิวอนุภาคทรงกลมและจะอยู่ตลอดแนวของจุดสัมผัส แรงดึงของน้ำ ณ จุดสัมผัสนี้จะช่วยยึดเหนี่ยวเม็ดทรายให้ติดกัน เช่นเดียวกับดินเหนียว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า แรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ซึ่งทำให้ทรายสามารถรับแรงกดและแรงดึงได้ แต่เมื่อทรายอยู่ในสภาพแห้งหรืออิมตัวด้วยน้ำ Contact Moisture จะหายไป ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดทรายหายไปด้วย



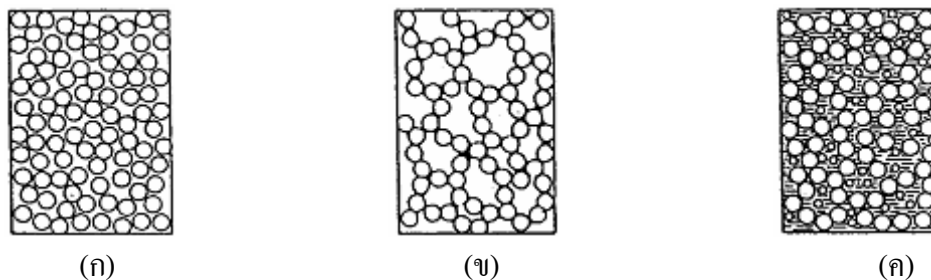
ภาพที่ 6 ปรากฏการณ์ Capillary Action

การจัดเรียงของเม็ดทรายในสภาวะต่างๆ จะแสดงดังภาพที่ 7

โครงสร้างที่มีเพียงเม็ดทรายกับอากาศ หรือเม็ดทรายกับน้ำ จะแสดงดังภาพที่ 7(ก) โดยเม็ดทรายและช่องว่างระหว่างอนุภาคจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งโครงสร้าง (Uniformly Dispersed)

โครงสร้างที่ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายประกอบด้วยอากาศจำนวนมากและมีน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จะแสดงดังภาพที่ 7(ข) พบว่าแรงดัน ณ จุดสัมผัสระหว่างเม็ดทราย (Contact Pressure) จะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ Capillary Action ซึ่งทำให้เม็ดทรายเหล่านี้สามารถจัดเรียงตัวอยู่ได้ในสภาวะที่หลวมมากๆ โดยบางครั้งช่องว่างระหว่างเม็ดทรายอาจมีขนาดใหญ่กว่าตัวเม็ดทรายเองก็ได้

โครงสร้างที่มีปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น แรงตึงผิวที่กระทำระหว่างอากาศกับน้ำ จะทำให้อากาศหดตัวเล็กน้อยจนมีลักษณะเป็นเม็ดอากาศเล็กๆ ไปแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดทราย โครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า Matrix ดังภาพที่ 7(ค)

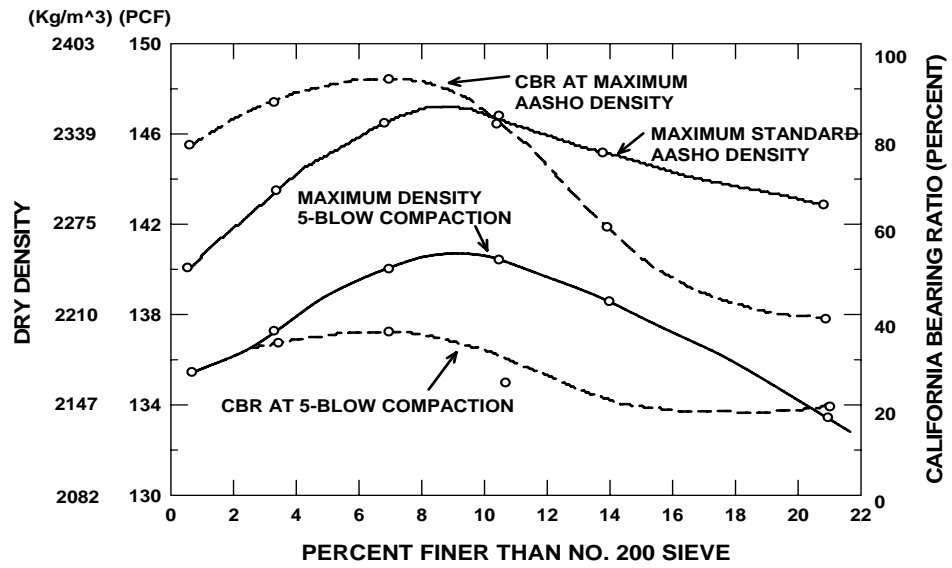


ภาพที่ 7 การจัดเรียงตัวของเม็ดทรายในสถานะต่างๆ

Youd (1938) ได้กล่าวว่าความสะอาดของทรายเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดสอบหาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Density) และความหนาแน่นต่ำสุด (Minimum Density)

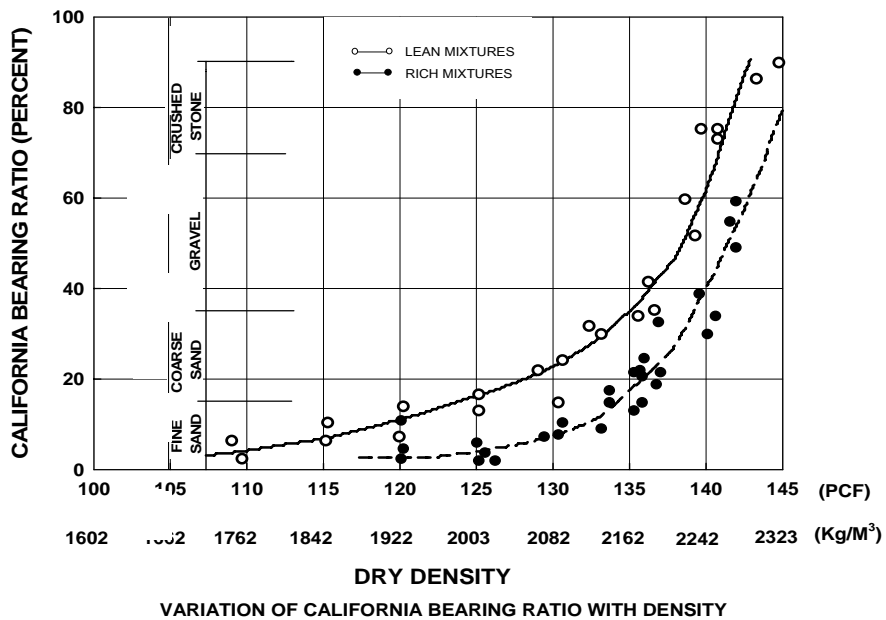
Houlubec and Appolonia (1973) ได้ศึกษาพบว่ารูปร่างของอนุภาคมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของทราย อนุภาคที่มีเหลี่ยมมุมมากจะทำให้ช่องว่างของทรายเพิ่มมากขึ้นมากตามไปด้วย หมายความว่าความหนาแน่นของทรายก็จะน้อยลงตามไปด้วย

จิรพัฒน์ (2529) ได้ศึกษาผลของปริมาณมวลละเอียดที่ผสมในหินต่อความหนาแน่นแห้งและ C.B.R. พบว่าค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเมื่อมีมวลละเอียดประมาณอัตราร้อยละ 8 – 12 ส่วนค่า C.B.R. สูงสุด เมื่อมีปริมาณมวลละเอียดอัตราร้อยละ 6 – 8 ดังภาพที่ 8 และค่าความหนาแน่นแห้งและ C.B.R. จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดวัสดุใหญ่ขึ้น โดยค่า C.B.R. สูงสุดจะมีปริมาณมวลละเอียดต่ำกว่าที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเล็กน้อยดังภาพที่ 8 นอกจากนี้ ยังพบว่าวัสดุที่มีมวลละเอียดน้อยกว่าจะให้ค่า C.B.R. สูงกว่าวัสดุที่มีมวลละเอียดผสมอยู่เป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ผลของปริมาณมวลละเอียดที่ผสมในหินต่อความหนาแน่นแห้ง และ C.B.R.

ที่มา : จีรพัฒน์ (2529)



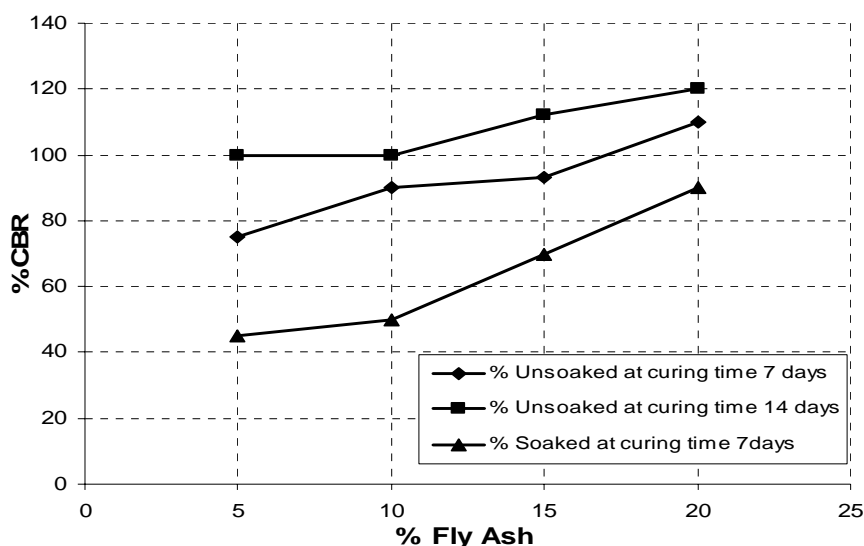
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบ C.B.R. กับ ความหนาแน่นแห้งของวัสดุที่มีมวลละเอียดในจำนวนไม่เท่ากัน

ที่มา : จีรพัฒน์ (2529)

การปรับปรุงคุณภาพของดินทราย

Parker and Thornton (1976) ได้ทดลองใช้เถ้าลอยผสมลงไปดินทรายพบว่าเถ้าลอยจะช่วยให้ความสามารถในการซึมน้ำของดินลดลง

พัฒน์พงษ์ (2546) ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยมาใช้ผสมดิน Silty Sand โดยใช้ดิน Silty Sand ในจังหวัดพิจิตร และใช้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียด จากแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยผสมในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดิน ผลการศึกษาการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ผลการศึกษาค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked ได้แสดงไว้ในภาพที่ 9 โดยพิจารณาค่า Unsoaked C.B.R. ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน ในส่วนของค่า Soaked C.B.R. พิจารณาที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่า ค่า Unsoaked C.B.R. ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันสูงเกินอัตรา ร้อยละ 100 ทั้งสิ้น ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 10 ด้านการบวมตัวจะมีค่าลดลงเหลือเพียงอัตรา ร้อยละ 0.01 จากผลการศึกษาสรุปได้ว่ากำลังของดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าลอยและ ระยะเวลาของการบ่ม ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก และไม่สูญเสียความแข็งแรงเมื่อนำ ตัวอย่างไปแช่น้ำ



ภาพที่ 10 ค่า C.B.R. กับปริมาณเถ้าลอยของดิน Silty Sand ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ที่มา : พัฒน์พงษ์ (2546)

การปรับปรุงคุณภาพของดิน

การปรับปรุงคุณภาพของดินเป็นกระบวนการที่ทำให้ดินตามธรรมชาติมีความทนทานต่อการสึกกร่อน สามารถรับน้ำหนักหรือการจราจรภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ โดยอาจใช้การบดอัด การทำให้แน่นด้วยเทคนิคเฉพาะ การควบคุมการทดลอง หรือการใช้สารผสมเพิ่มซึ่งอาจอยู่ในรูปของของเหลวหรือเป็นผงมาเติมลงในดิน ซึ่งปัจจัยหลักที่เราต้องพิจารณาคือ ขนาดคละและปริมาณความชื้นในมวลดินที่ให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Hogentogger, 1938)

Hausmann (1990) กล่าวว่าในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อใช้เป็นฐานรากหรือวัสดุทางวิศวกรรมปฐพีนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินทางวิศวกรรมดังนี้

1. เพิ่มความสามารถในการรับกำลัง
2. ลดการเสียรูป (Distortion) ภายใต้ความเครียด (เพิ่ม Stress-Strain Modulus)
3. ลดความสามารถในการยุบตัว (Compressibility)
4. ควบคุมการเกิดการหดตัวและบวมตัว
5. ควบคุมความชื้นน้ำ
6. ป้องกันความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (Freezing/Thawing, Wetting/Drying)
7. ลดการเกิด Liquefaction
8. ลดความแปรปรวนของดินที่นำมาใช้

ในการปรับปรุงคุณภาพดินสามารถแบ่งเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพดินออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินเชิงกล (Mechanical Modification) เป็นการเพิ่มความหนาแน่น (Soil Density) ด้วยการใช้แรงกระทำหรือการบดอัด (Compaction) เพื่อลดปริมาตรของช่องว่างของอากาศในมวลดินโดยปริมาตรของเนื้อดินและความชื้นยังคงเดิม

2. เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินวิธีทางไฮดรอลิก (Hydraulic Modification) เป็นการนำน้ำออกจากมวลดิน (Dewatering) สำหรับมวลดินละเอียด การระบายน้ำออกทำได้ช้า ดังนั้นจึง Dewatering โดยการ Consolidation หรือ ใช้ Preload ช่วยเร่งกระบวนการ

3. เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินเชิงกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Modification) เป็นการใช้สารผสมเพิ่ม หรือ วัสดุผสม (Additive) เช่น กากจากอุตสาหกรรม (Industrial By-Products) วัสดุเหลือทิ้ง (Waste Materials) เม็ดกรวดทราย (Granular Materials) สารประเภทซีเมนต์ (Cementitious Materials) และ สารเคมีอื่นๆ เพื่อปฏิกิริยากับดิน หรืออาจจะเป็นการฉีดน้ำปูนลงไปดิน (Grouting) รวมถึงการให้ความร้อนหรือความเย็นเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบในดิน

4. เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการเสริมกำลัง (Modification by inclusions and confinement) เป็นปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเสริมกำลังรับแรงดึงให้ดินด้วยการใช้เส้นใย (Fiber) ตาข่าย (Mesh) การยึด (Nailing and Anchor) และการสร้างกำแพงกันดิน (Retaining) ซึ่งเป็นการเสริมแรงด้านข้าง (Confinement) ให้ลาดดิน

การปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยวิธีทางเคมี

Mitchell and R.K Katti (1981) การใช้สารเคมีผสมลงในดิน มีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินได้แก่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาตรซึ่งพิจารณาได้จากการบวมตัว และการหดตัวของดิน ปรับปรุงคุณสมบัติในการรับน้ำหนัก หรือพฤติกรรมของ Stress-Strain ของดิน ปรับปรุงการไหลซึมของน้ำที่ผ่านดิน และเพิ่มความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

สารเคมี หรือสารเพิ่มเสถียรภาพที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ปูนขาว ซีเมนต์ ยิปซั่ม หรือเถ้าลอย เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ดินมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย สำหรับความเหมาะสมของการเลือกใช้สารเพิ่มเสถียรภาพนั้น จะต้องคำนึงถึงผลประโยชน์ในการทำงาน การจัดเก็บรักษาและต้องมียอดประกอบที่ไม่มีพิษ รวมทั้งต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยวิธีทางเคมี

1. คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ดินตามธรรมชาติจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเฉพาะตัว ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน โดยสามารถวิเคราะห์ได้จาก ทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics) อาจกล่าวสรุปได้ว่า การกระจายขนาดของเม็ดดิน (Particle Size Distribution) สารอินทรีย์ สารประกอบอื่นๆ เช่น แกลีซิลเฟต หรือคลอไรด์ และ องค์ประกอบทางเคมี จัดเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน

2. สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizers) โดยทั่วไปแล้ว สารเพิ่มเสถียรภาพชนิดเดียวกันที่ผสม ในปริมาณที่มากกว่าจะให้กำลังมากกว่าภายใต้เงื่อนไขตัวแปรอื่นคงที่และดินนั้นมีความชื้น เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ในทางกลับกัน สารเพิ่มเสถียรภาพต่างชนิดกันย่อมมีผลต่อการ พัฒนากำลังของดินด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเชื่อมประสาน (Cementitious Compounds) รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เมื่อสารเพิ่ม เสถียรภาพนั้นทำปฏิกิริยากับดิน

3. น้ำ (Water) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยวิธีทาง เคมี เพราะน้ำจะเป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการเพิ่มกำลังของดิน ปริมาณ ความชื้นในดินที่น้อยเกินไปอาจทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ไม่สมบูรณ์ หรือถ้าปริมาณความชื้น มากเกินไป น้ำส่วนเกินจากปฏิกิริยา จะยังคงเหลือกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของดินที่ แข็งตัวแล้วและเป็นตัวทำให้พื้นผิวลื่นเมื่อมีแรงกระทำเป็นผลทำให้ได้กำลังของดินต่ำกว่าความ เป็นจริง

4. เทคนิคการปรับปรุง (Techniques of Stabilization) นอกจากองค์ประกอบอื่นๆ ที่กล่าว มาแล้ว กำลังของดินยังขึ้นอยู่กับเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพ ระยะเวลาในการผสมที่แตกต่างกัน ความเร็วในการผสม เงื่อนไขในการบ่ม ตลอดจนการเตรียมสภาพดินก่อนการปรับปรุง และการ ดูแลหลังการผสม (Pre and post treatment) จะมีผลทำให้กำลังของดินที่แตกต่างกันไป

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพ

1. การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (Cation Exchange) โขเดียมอออนในดินจะถูกแทนที่โดยอออนบวกอื่นๆ ซึ่งมีวาเลนซ์สูงกว่า หรือมีขนาดอะตอมใหญ่กว่าโดยเรียงลำดับความสามารถในการแทนที่จากมากไปน้อย คือ $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > H^+ > Na^+ > Li^+$ สำหรับอออนลบที่พบมากที่สุดคือ SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} และ NO_3^-

2. การจับตัวกันของเม็ดดิน (Flocculation – agglomeration) การเติมสารเพิ่มเสถียรภาพลงไปในดินจะทำให้อนุภาคดินเหนียว เกิดการรวมตัวเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้น กล่าวคือ อออนบวกจากสารเพิ่มเสถียรภาพเมื่อเข้าไปในมวลดิน จะเข้าไปจับตัวบนผิวอนุภาคของดินเหนียว สารซิลิเกตจะละลายเข้าสู่โพรงน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมประสาน ส่งผลให้เม็ดดินมีโครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อความเข้มข้นของอออนสูงขึ้น จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของแร่ดินเหนียว ซึ่งจะทำให้ชั้นน้ำ Double Layer หดตัวแคบเข้า อนุภาคดินเหนียวจะเกิดการดึงดูดกันเป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ อนุภาคของเม็ดดินจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้ Liquid Limit ลดลง Plastic Limit เพิ่มขึ้น และ Plasticity Index ลดลง โครงสร้างของดินจะมีความมันคงขึ้น

3. การเชื่อมประสาน (Pozzolanic Reaction) สารซิลิกา (SiO_2) และ/หรือ Alumina (Al_2O_3) จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มเสถียรภาพที่ใช้ผสมกับดินที่อุณหภูมิกัดและมีความชื้น ทำให้เกิดสารประกอบใหม่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่ทำให้กำลังของดินเพิ่มมากขึ้น

4. การเกิดสารประกอบคาร์บอเนต (Lime Carbonation) เกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หรือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$) ในสารเพิ่มเสถียรภาพจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$ หรือ $3CaCO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้มีผลเพียงเล็กน้อยแต่ก็ไม่ควรให้เกิดขึ้นมากเนื่องจากจะทำให้การทำปฏิกิริยาอื่นๆ ลดน้อยลง

คุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไป

1. คุณสมบัติด้านความเหนียว (Plasticity Index) สารเพิ่มเสถียรภาพเมื่อเติมลงไปในดินจะทำให้ความเหนียวของดินเปลี่ยนแปลง โดย Plasticity Index จะลดลง Plastic Limit จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพ สำหรับ Liquid Limit อาจเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของดินที่ใช้ผสม โดยดินเหนียวที่มีค่า Plasticity สูง ค่า Liquid Limit จะลดลง ส่วนดินเหนียวที่มีค่า Plasticity ต่ำ ค่า Liquid Limit จะเพิ่มขึ้น

2. คุณสมบัติทางการบดอัด (Compaction) เมื่อผสมสารเพิ่มเสถียรภาพลงไปในดินจะทำให้คุณสมบัติของดินทางการบดอัดเปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ลดลง และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของดินเดิมที่ใช้

3. คุณสมบัติทางการกำลัง (Compressive Strength) กำลังของส่วนผสมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างเช่น ชนิดของดิน ปริมาณ และชนิดของสารเพิ่มเสถียรภาพที่ใช้ ความหนาแน่นของการบดอัด ปริมาณความชื้น ระยะเวลาในการผสม อุณหภูมิในการบ่ม และปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น

นพรัตน์ (2543) ศึกษาอิทธิพลของการบดอัดซ้ำที่มีผลต่อคุณสมบัติของดินลูกรัง โดยเตรียมตัวอย่างดินลูกรังเป็น 4 กลุ่ม คือ SP, GP, SC และ GC ตามการจำแนกดินในระบบ Unified Soil โดยในการบดอัดแต่ละความชื้นนั้นได้แบ่งดินออกเป็น 2 ชนิด คือ ดินที่บดอัดตัวอย่างซ้ำและดินที่บดอัดตัวอย่างใหม่ จากนั้นนำดินตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบการกระจายของเม็ดดิน ค่าพิคกัต Atterberg ค่า California Bearing Ratio (C.B.R.) แบบ soaked และค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำพบว่าตัวอย่างดินที่ผ่านการบดอัดซ้ำจะมีการแตกของเม็ดดินซึ่งเป็นผลทำให้การกระจายของเม็ดดินเปลี่ยนแปลง ค่าพิคกัตเหลวมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ค่าพิคกัตพลาสติกมีแนวโน้มคงที่ ความหนาแน่นแห้งสูงขึ้นในตัวอย่างดินกลุ่ม SP และ GP และต่ำลงในดินกลุ่ม SC และ GC ค่า C.B.R. สูงขึ้นในตัวอย่างดินกลุ่ม SP, GP และ SC และต่ำลงในกลุ่ม GC ค่าความชื้นน้ำมีแนวโน้มต่ำลงในทุกกลุ่มดิน

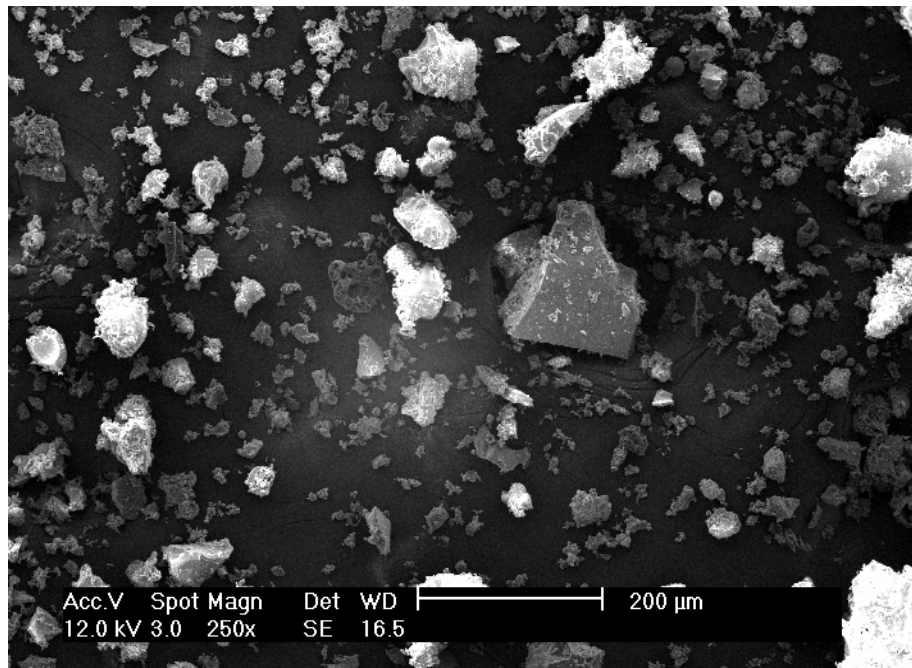
เถ้าก้นเตา

ขั้นตอนการเกิดเถ้าก้นเตา

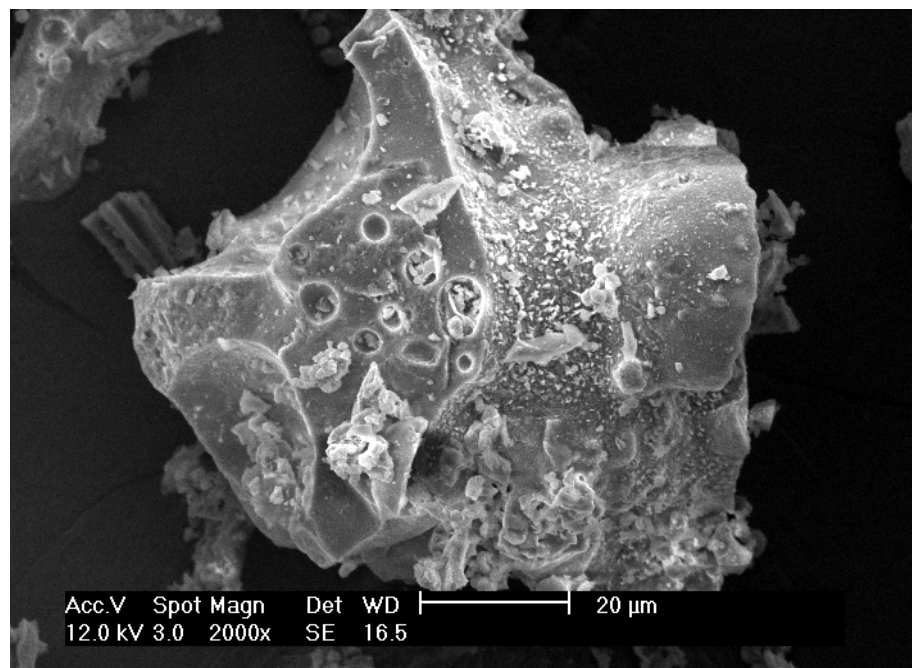
ถ่านหินจะถูกโม่บดจนเป็นผงละเอียด (Pulverized) ก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ในเตา เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นจะถูกส่งไปยังเตาเผาไหม้ถ่านหินเพื่อใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า ภายหลังจากการเผาไหม้ถ่านหินแล้วจะเกิดเถ้า 2 ชนิด คือ เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) กับเถ้าลอย (Fly Ash) คิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 20 : 80 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน ชนิดของเตาเผา กระบวนการเผา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยเถ้าก้นเตาจะตกลงก้นถัง

คุณลักษณะโดยทั่วไปของเถ้าก้นเตา

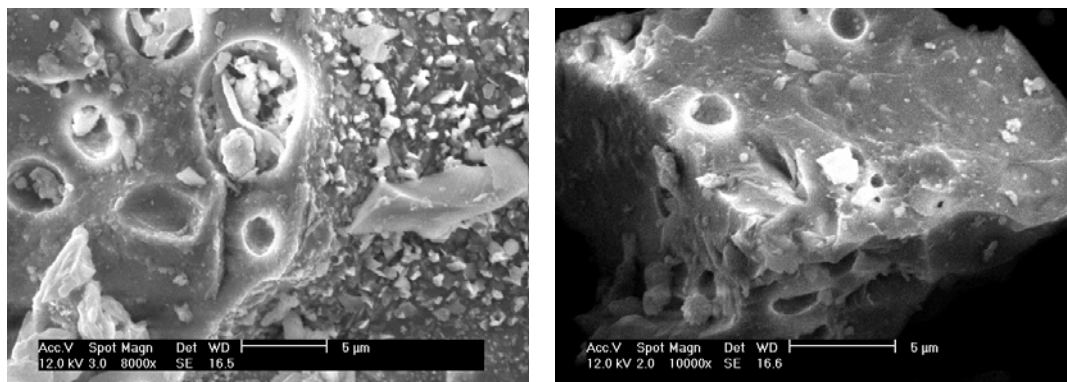
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า เถ้าก้นเตา คือ กากหรือตะกอนที่มีลักษณะเป็นเม็ดหยาบ และผงละเอียดปนกันอยู่แต่มีส่วนของเม็ดหยาบมากกว่า ซึ่งเม็ดหยาบนั้นมีลักษณะคล้ายกับทราย ซึ่งได้จากการเผาไหม้ถ่านหินตามกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเถ้าก้นเตาทั่วไปจะมีสีเทาถึงดำ หรือสีน้ำตาล จากตัวอย่างภาพถ่ายเถ้าก้นเตาจากการใช้เครื่อง scanning electron microscope จะพบว่าอนุภาคของเถ้าก้นเตานั้นมีขนาดแตกต่างกันไป โดย อนุภาคส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระและมีเหลี่ยมคมเมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะป่นเป็นฝุ่น ไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค



ภาพที่ 11 การกระจายตัวและขนาดของอนุภาคแฉ่ำกั้นเตา



ภาพที่ 12 ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของแฉ่ำกั้นเตา



ภาพที่ 13 ลักษณะพื้นผิวอนุภาคของเถ้าก้นเตา

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตา

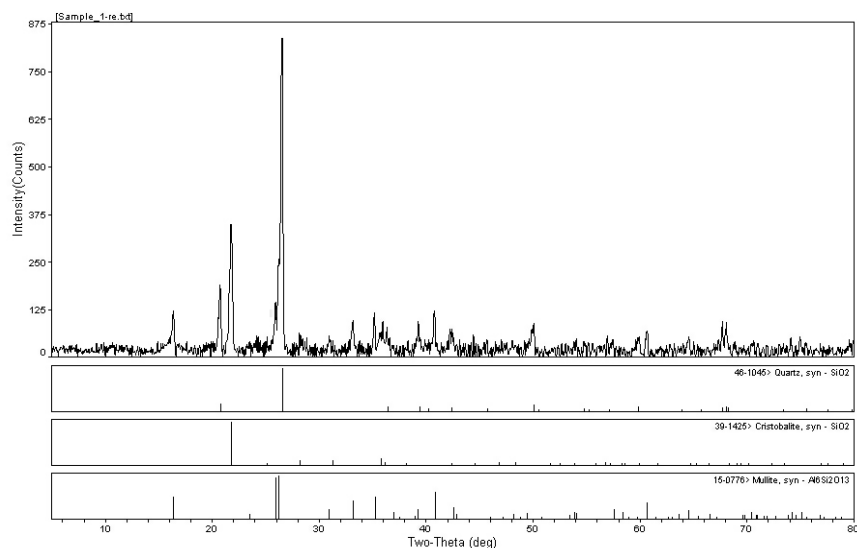
จากผลการวิเคราะห์พบว่า กราฟ XRD ของเถ้าก้นเตาที่ได้มีองค์ประกอบของสารหลายชนิด ซึ่งเมื่อเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานคาดว่า เถ้าก้นเตานี้มีองค์ประกอบของสารประเภทซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ quartz, cristobalite และ mullite และเมื่อพิจารณาจากรูปแบบของเส้นกราฟ แสดงให้เห็นว่าสารที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าก้นเตานี้มีลักษณะ โครงสร้างที่เป็นผลึกซึ่งมีการจัดเรียงตัวของระนาบผลึกที่มีความเป็นระเบียบ องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าก้นเตา พบว่ามีปริมาณสารประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าก้นเตา

Bottom ash	Composition(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O
	28.96	12.01	3.74	1.22	0.66	0.10	0.15

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีในถ้ำกั้นเตาเปรียบเทียบกับถ้ำลอยชั้นคุณภาพ F และ C

องค์ประกอบทางเคมี	ชั้นคุณภาพถ้ำลอย		ถ้ำกั้นเตา
	F	C	
ผลรวมของปริมาณซิลิกาออกไซด์ อลูมินา และเฟอร์ริกออกไซด์ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	50	44.71
ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) , max %	<10	>10	1.22
ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) , max %	-	-	0.66
ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) , max %	5.0	5.0	0.10
ปริมาณความชื้น , max %	3.0	3.0	48.11
ปริมาณคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (Loss on Ignition , LOI) , max %	6.0	6.0	49.25
อัลคาไลในรูปของไดโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) , max %	1.5	1.5	0.15



Materials Data, Inc.

[JEOL] c:\File \XRD\T3255103-5111938-51\Sample_1-re.jd> %θ, ΔD, # 2θ, 2008 11:33a (MDI\JAD\B)

ภาพที่ 14 กราฟระหว่าง intensity และ theta จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่อง XRD

การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยการใช้เถ้าก้นเตา

นิรชร (2539) ได้ศึกษาในส่วนของคุณสมบัติของเถ้าก้นเตา จากโรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยศึกษาคุณสมบัติด้าน ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการคงตัว (Soundness) ค่าเทียบเท่าทราย (Sand Equivalent) และขนาดคละ เพื่อศึกษาแนวทางการนำเถ้าก้นเตาใช้เป็นมวลละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีต จากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติในเรื่องค่าการคงตัวเท่ากันที่ไม่ผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนด ซึ่งสามารถชดเชยโดยการพิจารณาแทนที่เถ้าในมวลรวมละเอียดเพียงบางส่วน ทั้งนี้ในส่วนคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าก้นเตา พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติของการศึกษาถ้ำลอย ซึ่งเป็นสารปอซโซลาน

สมัชชา (2549) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินถมหอบขอนแก่น โดยใช้สารปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเถ้าก้นเตาที่เป็นส่วนเหลือจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า นำมาทำการบดโดยเถ้าก้นเตาที่นำมาใช้มีส่วนที่ค้ำบนตะแกรง 325 ในช่วงอัตราร้อยละ 15 - 20 เป็นสารผสมเพิ่ม

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขตของตัวอย่างดินที่ใช้สารผสมเพิ่มร้อยละ 5 โดยเปลี่ยนสัดส่วนของเถ้าก้นเตาในสารผสมเพิ่มพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์ต่อเถ้าก้นเตาเป็น 60 ต่อ 40 และโดยการทดสอบความแข็งแรงแบบแคลิฟอร์เนียเบริงเรโซพบว่าใช้สารผสมเพิ่มประมาณร้อยละ 2 ที่อายุ 28 วัน ทำให้ดินถมหอบขอนแก่นมีความแข็งแรงเท่ากับหินคลุก และสภาพแช่น้ำไม่ได้ทำให้ดินที่ได้รับการปรับปรุงแล้วลดความแข็งแรงลง นอกจากนี้ได้ทดสอบพฤติกรรมในการรับน้ำหนักโดยทำแบบจำลองขนาด 1.2 x 1.2 x 0.3 เมตร ให้น้ำหนักบรรทุก โดยแผ่นเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เมตร แล้ววัดความดันที่กระจายลงไปได้แบบจำลอง ซึ่งดินถมหอบที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพสามารถลดการกระจายแรงลงได้เป็นอย่างดี

ในต่างประเทศได้มีการศึกษาการนำเถ้าก้นเตาไปใช้ประโยชน์ ในส่วนของงานทาง ใช้เป็นวัสดุรองพื้นทางในรูปแบบธรรมชาติ และโดยการปรับปรุงคุณภาพกับหินปูนเป็นวัสดุพื้นทางใช้เป็นวัสดุถมกลับในงานก่อสร้างถนน ใช้ทำคอนกรีตบล็อก และใช้แทนที่มวลรวมละเอียดในงานคอนกรีต

Chapman et al. (1996) ได้ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์กั้นเตาโดยการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ปูนขาวผสมที่จำนวนอัตราร้อยละ 1-6 พบว่าค่ากำลังแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) มีค่าเพิ่มขึ้นรวมถึงศึกษาการนำซีเมนต์กั้นเตามาใช้เป็นวัสดุรองพื้นทางในรูปแบบธรรมชาติ และรูปแบบหลังการปรับปรุงคุณภาพแล้ว พบว่ามีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุรองพื้นทาง

Forteza et al. (2004) ได้มีการนำเอาซีเมนต์กั้นเตาซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเผาถ่านหิน มาใช้ผสมลงในดินเพื่อใช้เป็นชั้นพื้นทางและรองพื้นทางในการก่อสร้างถนนในประเทศสเปน ปรากฏว่าสามารถทำให้ค่า C.B.R มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเดิม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องมือทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดิน (มาตรฐาน ASTM D 422-63)
2. ชุดเครื่องมือทดสอบความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (มาตรฐาน ASTM D 854-98)
3. ชุดเครื่องมือทดสอบ Atterberg 's Limits Test (มาตรฐาน ASTM D 2216-80 , D 4318-98)
4. ชุดเครื่องมือทดสอบการบดอัดดินแบบ Modified Proctor Compaction Test (มาตรฐาน ASTM D 1557-91)
5. ชุดเครื่องมือทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบ California Bearing Ratio (มาตรฐาน ASTM D 1883-94)
6. ชุดเครื่องมือทดสอบความชื้นน้ำของดิน (มาตรฐาน ASTM D 2434-68)
7. ชุดเครื่องมือทดสอบความสึกกร่อนของเม็ดดิน (มาตรฐาน ASTM D 131-96)

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. หินคลุกจากโรงโม่จังหวัดชลบุรีและทรายจากท่าทรายจังหวัดนครสวรรค์
2. ถ้ำกั้นเตาที่ใช้ในการศึกษาเป็นถ้ำกั้นที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียดจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี นิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
3. น้ำ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำประปา

วิธีการ

ขั้นตอนการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างหินคลุกและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างหินคลุกธรรมชาติ ได้แก่

- 1.1 Natural Water Content (ASTM D 2216-92)
- 1.2 การกระจายขนาดของเม็ดดิน (ASTM D 422-63)
- 1.3 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ASTM D 854-98)
- 1.4 Atterberg 's Limits Test (ASTM D 2216-80 , D 4318-98)
- 1.5 จำแนกดินตามระบบ Unified Soil Classification (ASTM D2487-69)
- 1.6 ความสึกกร่อนของเม็ดดิน (ASTM D 131-96)

2. เก็บตัวอย่างทรายและเถ้าก้นเตา และทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของทรายและเถ้าก้นเตา ได้แก่

- 2.1 Natural Water Content (ASTM D 2216-92)
- 2.2 การกระจายขนาดของเม็ดดิน (ASTM D 422-63)
- 2.3 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ASTM D 854-98)
- 2.4 จำแนกดินตามระบบ Unified Soil Classification (ASTM D2487-69)

3. เตรียมตัวอย่างหินคลุกโดยร่อนแยกขนาดของดินธรรมชาติออกเป็นแต่ละขนาดตามต้องการเพื่อนำกลับมาผสมกันใหม่ให้ได้ตามมาตรฐานชั้นพื้นทางของกรมทางหลวง

4. ผสมเถ้าก้นเตาลงไปในหินคลุกที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3 ในอัตราส่วนส่วนผสมเถ้าก้นเตาต่อดินโดยแทนที่ร้อยละ 10 , 20 , 25 และ 30% ของน้ำหนักดินแห้ง และผสมเถ้าก้นเตาในทรายในอัตราส่วนเถ้าก้นเตาต่อทรายโดยแทนที่ร้อยละ 10, 20 และ 30% ของน้ำหนักดินแห้ง

5. ทดสอบหาค่า Liquid Limit และ Plastic Limit ของหินคลุกที่ผสมเถ้าก้นเตาทันทีหลังผสมและหินคลุกอีกส่วนหนึ่งค่อยๆพรมน้ำจนมีความชื้นที่เหมาะสม บ่มจนครบอายุ 3, 7, 14 และ

28วัน แล้วจึงนำไปทดสอบหาค่าLiquid Limit และ Plastic Limit เปรียบเทียบกับหินคลุกกลุ่มเดียวกันที่ไม่ได้ผสมเถ้ากันเตา

6. ทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Modified Proctor Compaction Test เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

7. ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธี California Bearing Ratio แบบ Unsoaked และ Soaked C.B.R. ของตัวอย่างหินคลุกและหินคลุกผสมเถ้ากันเตากับทรายและทรายผสมเถ้ากันเตาซึ่งบดอัดที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น โดยตัวอย่างจะทำการทดสอบทันทีหลังบดอัดและที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

8. ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของตัวอย่างหินคลุกและหินคลุกผสมเถ้ากันเตากับทรายและทรายผสมเถ้ากันเตาซึ่งบดอัดแล้ว โดยทดสอบเฉพาะที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น โดยตัวอย่างหินคลุกผสมเถ้ากันเตาและทรายผสมเถ้ากันเตานี้จะทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำทันทีหลังบดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน

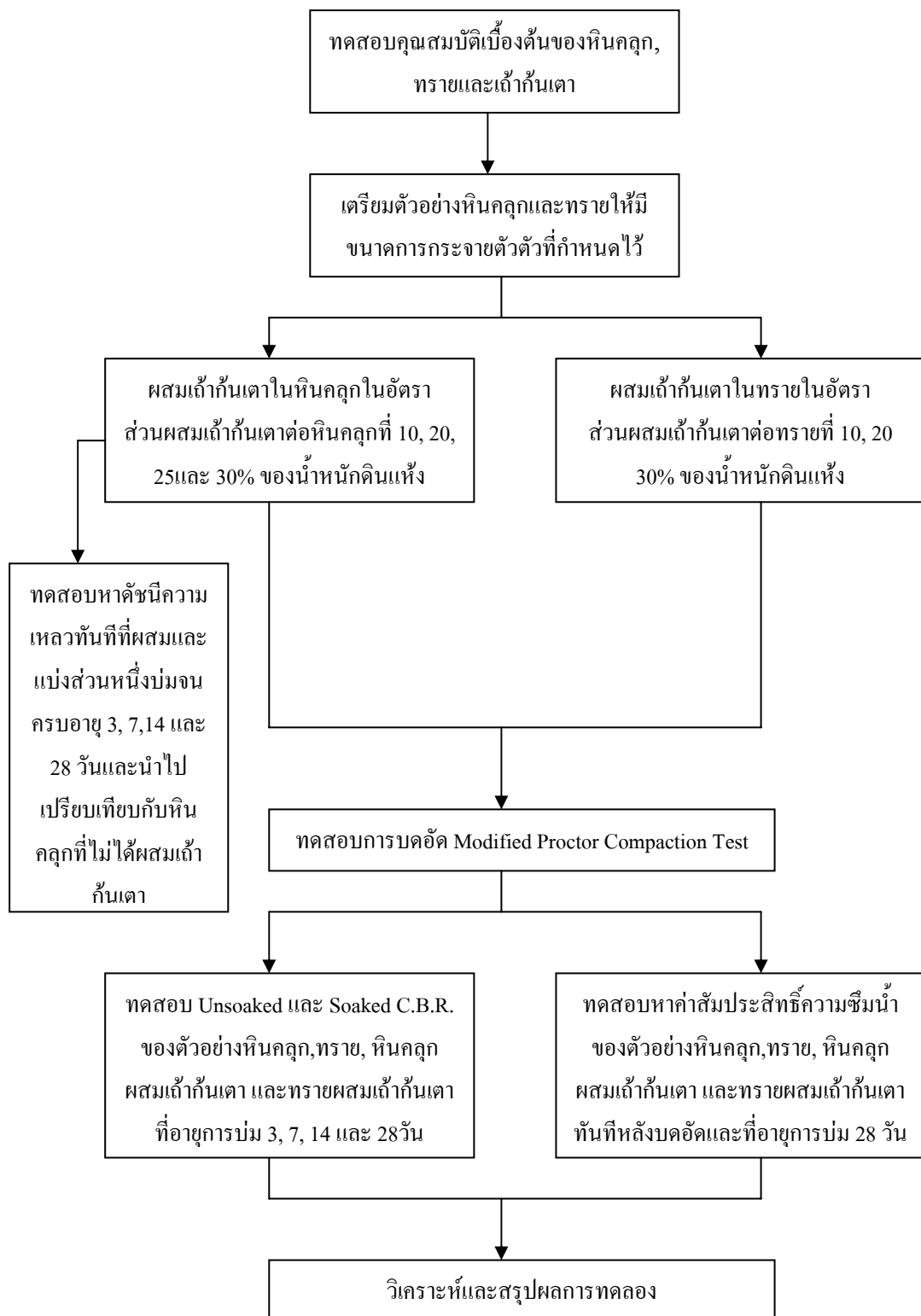
9. ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาในการทำวิจัย

เริ่มเตรียมตัวอย่างวัสดุและทำการทดสอบตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ถึงเดือน
กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างและการเรียกชื่อตัวอย่าง

1. นำดินโคลนที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4", 3/8", #10, #40 และ #200 และนำดินโคลนที่ค้างตะแกรงแต่ละเบอร์มาเก็บเพื่อใช้ผสมเตรียมตัวอย่างอีกครั้ง

2. นำดินโคลนที่แบ่งไว้จากข้อ 1 มาเตรียมดินโคลนในเกรด B ตามมาตรฐานพื้นที่ทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย โดยให้มีการกระจายขนาดเม็ดดินและการจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification System ตามตารางที่ 5 และภาพที่ 16

3. นำดินโคลนที่เตรียมไว้มาทำให้มีสภาพแห้งในอากาศเพื่อจำลองให้เหมือนการบดอัดในสนาม

สำหรับการเรียกชื่อตัวอย่างดินโคลนและทรายผสมเข้ากันเดานั้นจะเรียกเป็นดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเรียกชื่อ

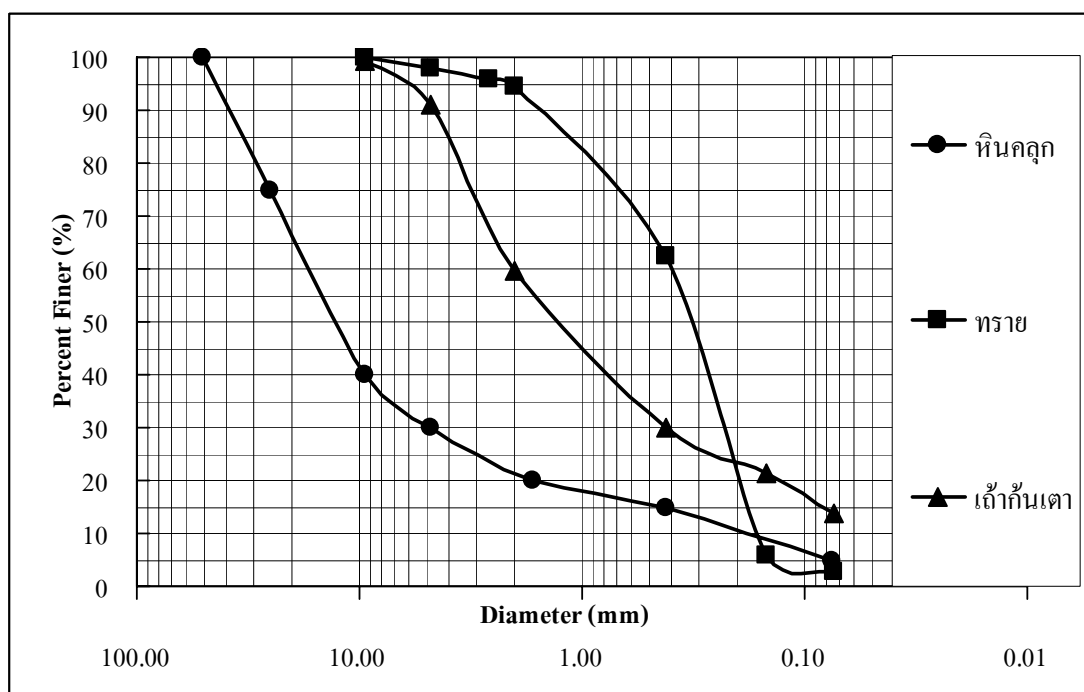
สัญลักษณ์	ความหมาย
CR_BA0%	ดินโคลนที่ไม่ผสมเข้ากันเดา
CR_BA10%	ดินโคลนผสมเข้ากันเดา 10%
CR_BA20%	ดินโคลนผสมเข้ากันเดา 20%
CR_BA25%	ดินโคลนผสมเข้ากันเดา 25%
CR_BA30%	ดินโคลนผสมเข้ากันเดา 30%
CR_BA40%	ดินโคลนผสมเข้ากันเดา 40%
S_BA0%	ทรายที่ไม่ผสมเข้ากันเดา
S_BA10%	ทรายผสมเข้ากันเดา 10%
S_BA20%	ทรายผสมเข้ากันเดา 20%
S_BA30%	ทรายผสมเข้ากันเดา 30%
BA100%	เข้ากันเดา 100%
CR(UT)	ดินโคลนที่ทดสอบทันทีหลังบดอัด
CR(T)	ดินโคลนที่ทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
S(UT)	ทรายที่ทดสอบทันทีหลังบดอัด
S(T)	ทรายที่ทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 5 การกระจายขนาดของหินคลุกที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	น้ำหนักผ่านตะแกรง %
19.0 (3/4 นิ้ว)	100
9.5 (3/8 นิ้ว)	40
2.00 (เบอร์ 10)	20
0.425 (เบอร์ 40)	15
0.075 (เบอร์ 200)	5



ภาพที่ 16 การกระจายขนาดของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ผลและวิจารณ์

คุณสมบัติเบื้องต้นของหินคลุกและทราย

ตัวอย่างหินคลุกที่ใช้ในการวิจัย ได้จากการสุ่มตัวอย่างหินจากโรงโม่ในจังหวัดชลบุรี โดยหินมีสีเทาดำ มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ส่วนทรายนั้นได้จากการสุ่มตัวอย่างทรายจากท่าทรายในจังหวัดนครสวรรค์ เป็นทรายหยาบ มีสีน้ำตาลเหลือง การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นจากการสุ่มตัวอย่างได้ผลดังนี้

1. ผลการทดสอบ Atterberg 's Limits มีดังนี้

- 1.1 Natural Moisture Content ของหินคลุกมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8-2.0%
- 1.2 Liquid Limitของหินคลุกมีค่าอยู่ระหว่าง 26.0-28.0%
- 1.3 Plastic Limitของหินคลุกมีค่าอยู่ระหว่าง 19.0-20.0%
- 1.4 Plasticity Indexของหินคลุกมีค่าอยู่ระหว่าง 8.0-9.0%
- 1.5 Shrinkage Limitของหินคลุกมีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-6.0%
- 1.6 Natural Moisture Content ของทรายมีค่าอยู่ระหว่าง 4.0-5.0%
- 1.7 ทรายเป็นวัสดุที่ไม่มีความเหนียว

2. ความถ่วงจำเพาะของหินคลุกและทรายมีค่าเท่ากับ 2.8 และ 2.64 ตามลำดับ

3. ผลการทดสอบการกระจายขนาดของหินคลุกและทรายได้แสดงไว้ดังภาพที่ 17 ซึ่งพบว่าหินคลุกมีการกระจายตัวที่มีขนาดคละกั้นคิมิลักษณะเป็นกรวดปนดินตะกอน ส่วนทรายมีการกระจายตัวแบบขนาดสม่ำเสมอ

4. การจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification System และ AASHTO พบว่าตัวอย่างหินคลุกจัดอยู่ในกลุ่ม GW-GM และ A-1a(0) ส่วนตัวอย่างทรายจัดอยู่ในกลุ่ม SP และ A-3

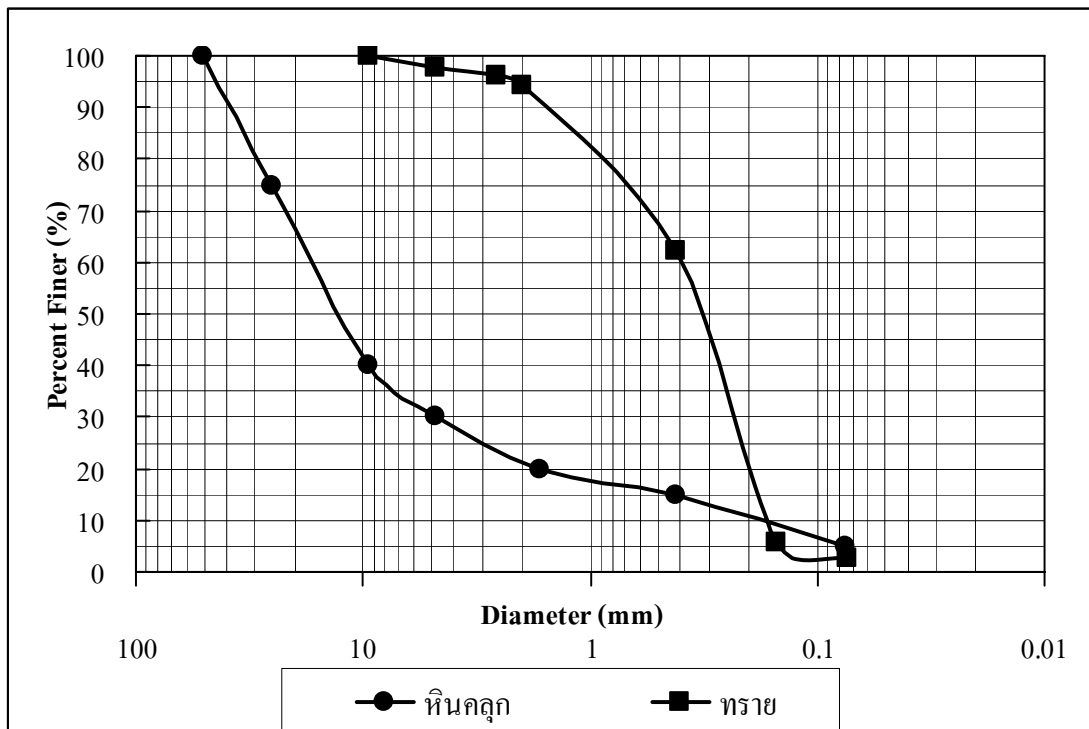
5. การทดสอบความสึกกร่อน โดยวิธี Los Angeles Abrasion Test ซึ่งทำการทดสอบหินคลุก พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความสึกกร่อน เท่ากับ 21%

6. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

6.1 การทดสอบของหินคลุกพบว่า มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ประมาณ 2.36 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณความชื้นเหมาะสมประมาณ 6 % ค่า California Bearing Ratio แบบ Unsoaked CBR มีค่าประมาณ 85% และแบบ Soaked CBR มีค่าประมาณ 60%

6.2 การทดสอบของทรายพบว่า มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ประมาณ 1.6ตันต่อลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณความชื้นเหมาะสมประมาณ 12 % ค่า California Bearing Ratio แบบ Unsoaked CBR มีค่าประมาณ 13% และแบบ Soaked CBR มีค่าประมาณ 12.5%

7. คุณสมบัติด้านความซึมน้ำ จากการศึกษพบว่าหินคลุกและทรายมีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำประมาณ 1.39×10^{-6} และ 2.27×10^{-5} cm./sec.ตามลำดับ



ภาพที่ 17 การกระจายขนาดของหินคลุกและทรายที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าก้นเตา

คุณสมบัติด้านกายภาพของเถ้าก้นเตา

เถ้าก้นเตาที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นกากที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหิน จากขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี นิคมมาบตาพุดจ.ระยอง โดยเถ้าก้นเตาที่ใช้ไม่ได้มีการปรับปรุงความละเอียด ลักษณะของเถ้าก้นเตาโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเม็ดหยาบและผงละเอียดปนกันอยู่ แต่มีส่วนของเม็ดหยาบมากกว่า และจากการใช้เครื่อง scanning electron microscope(SEM) ตรวจสอบที่กำลังขยายแตกต่างกัน จะพบว่าอนุภาคของเถ้าก้นเตานั้นมีขนาดที่แตกต่างและรูปร่างที่แตกต่างกันไปโดยจะมีลักษณะพื้นผิวทั้งที่เรียบและที่เป็นเป็นแบบขรุขระและมีลักษณะความเป็นเหลี่ยมคม ที่มุมของอนุภาค ดังแสดงไว้ดังภาพที่ 18-20 การทดสอบคุณสมบัติของเถ้าก้นเตา ทางด้านวิศวกรรมพบว่า Moisture Content มีค่าประมาณ 27.8%, ค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.31 เมื่อผสมน้ำแล้วไม่สามารถป้อนให้เป็นแท่งยาวเพื่อหาค่า Plastic Limit ได้ (NP), ผลการทดสอบการกระจายขนาดของเถ้าก้นเตาดังแสดงในภาพที่ 21 สามารถจำแนกในระบบ Unified Soil Classification System และ AASHTO พบว่า จัดอยู่ในกลุ่ม SW และ A-3 ตามลำดับ, ผลการทดสอบการบดอัดแบบ Modified Proctor Compaction Test พบว่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าประมาณ 1.14 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 11.6 % ค่า California Bearing Ratio แบบ Unsoaked CBR มีค่าประมาณ 50% และแบบ Soaked CBR มีค่าประมาณ 37% ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำมีค่าประมาณ 1.27×10^{-3} cm./sec.

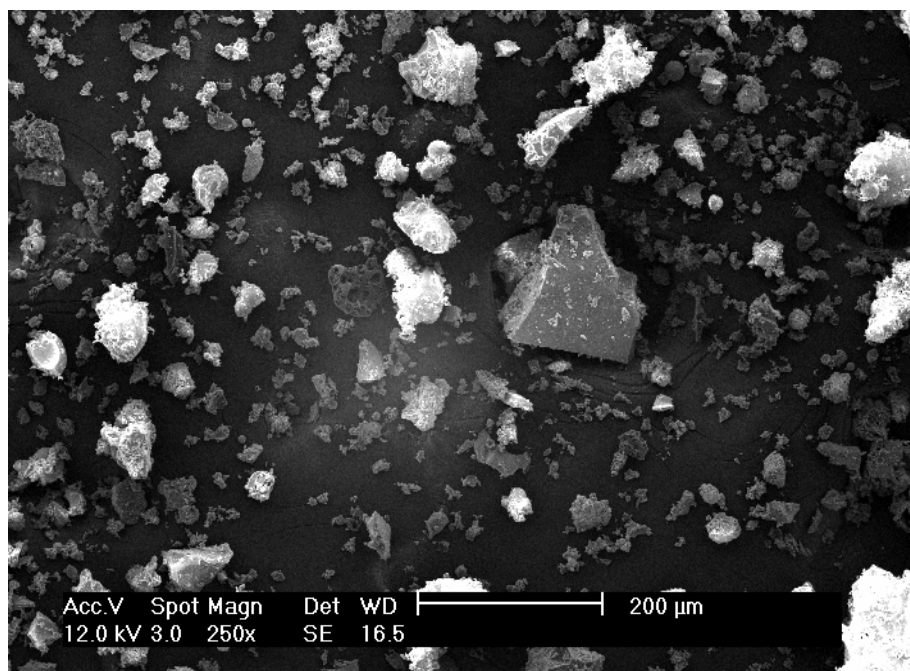
คุณสมบัติทางด้านเคมีของเถ้าก้นเตา

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเถ้าก้นเตา พบว่า ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณ 28.96%, อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณ 12%, เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ประมาณ 3.74%, แคลเซียมออกไซด์ มีค่าน้อยกว่า 1.22%, แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) น้อยกว่า 0.66%, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ น้อยกว่า 0.10%, อัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) น้อยกว่า 0.15%, ปริมาณคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (Loss on Ignition, LOI) ประมาณ 49%

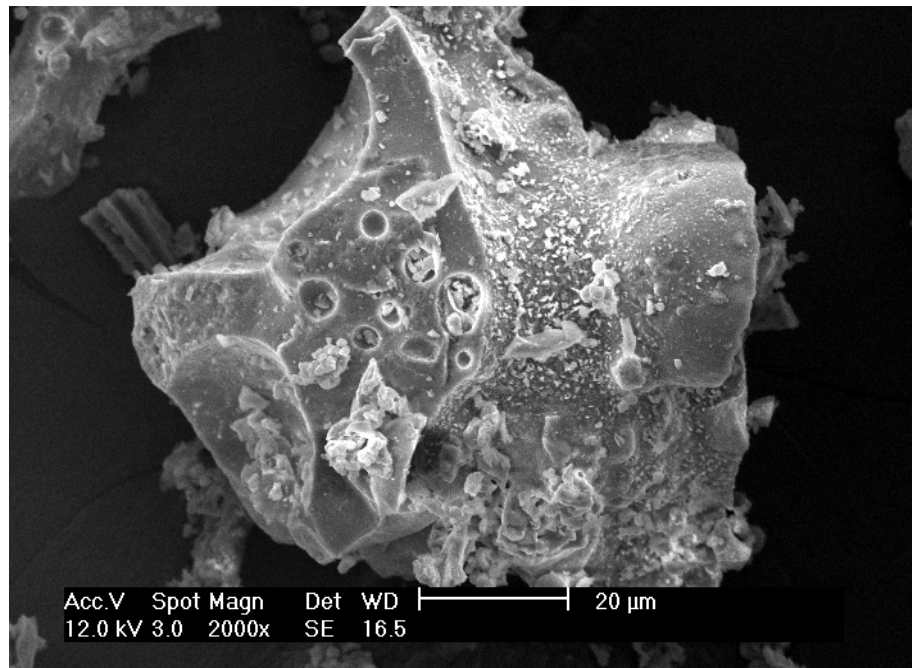
จากผลการวิเคราะห์พบว่า กราฟ XRD ของเถ้าก้นเตาที่ได้มีองค์ประกอบของสารหลายชนิด ซึ่งเมื่อเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานคาดว่า เถ้าก้นเตานี้มีองค์ประกอบของสารประเภทซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ quartz, cristobalite และ mullite และเมื่อพิจารณาจากรูปแบบของเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าสารที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าก้นเตานี้มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นผลึกซึ่งมีการจัดเรียงตัวของระนาบผลึกที่มีความเป็นระเบียบ องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าก้นเตา ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่ามีปริมาณสารประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าก้นเตา

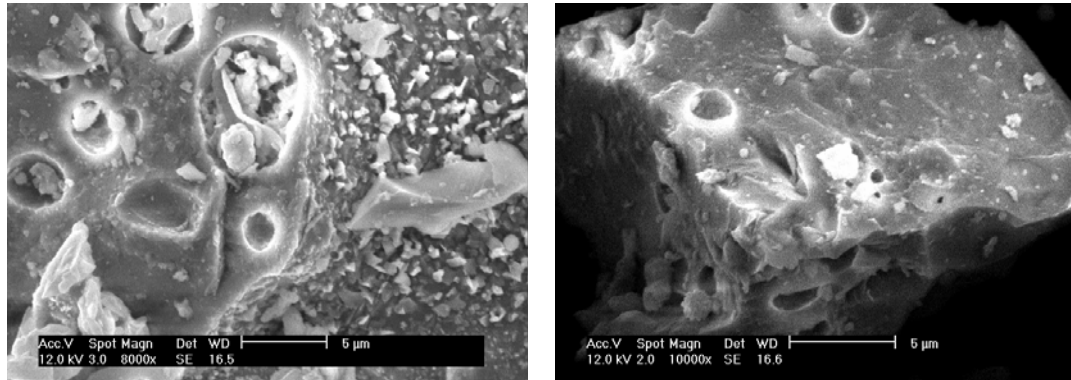
Bottom ash	Composition(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O
	28.96	12.01	3.74	1.22	0.66	0.10	0.15



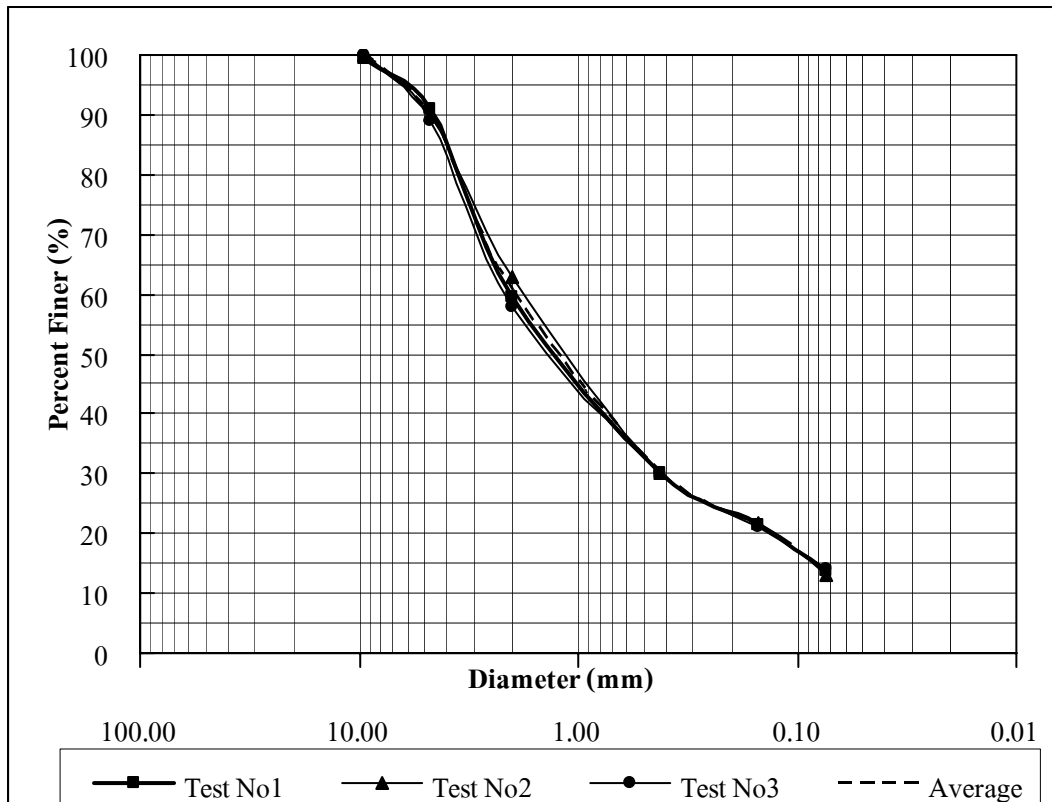
ภาพที่ 18 การกระจายตัวและขนาดของอนุภาคเถ้าก้นเตา



ภาพที่ 19 ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ่ากั้นเตา



ภาพที่ 20 ลักษณะพื้นผิวอนุภาคของเถ่ากั้นเตา



ภาพที่ 21 การกระจายของเม็ดดินที่ใช้ในงานวิจัย

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุก ทราย และเม็ดดิน

คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ Liquid Limit, Plasticity Limit และ Plasticity Index ซึ่งค่า Liquid Limit, Plasticity Limit และ Plasticity Index ของหินคลุก ได้ประมาณ 26.0-28.0, 19.0-20.0 และ 8.0-9.0% ตามลำดับ ส่วนทรายและเม็ดดินเป็นวัสดุที่ไม่มีความเหนียวทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบได้

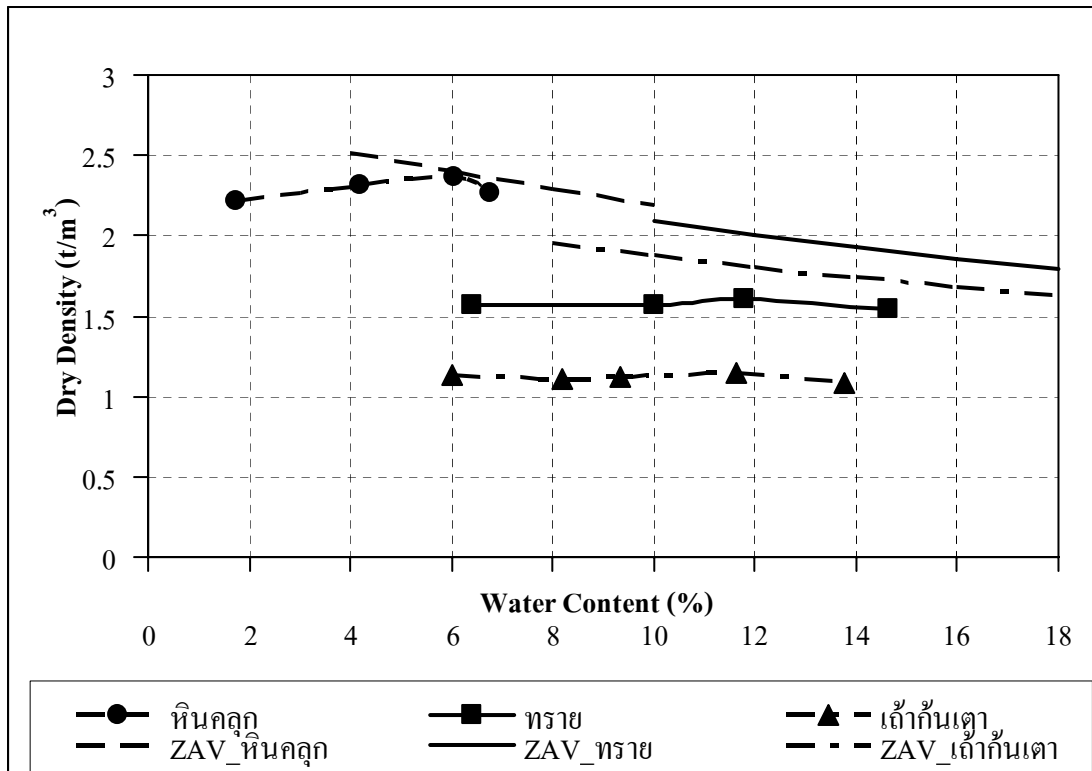
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุก ทราย และเถ้าก้นเตา

คุณสมบัติด้านการบดอัด

ตารางที่ 7 ผลทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและทราย

วัสดุที่ทดสอบ	$\gamma_{d,max}$ (t/m ³)	O.M.C (%)
หินคลุก	2.36	6.0
ทราย	1.60	12.0
เถ้าก้นเตา	1.14	11.6

พิจารณาผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและทรายซึ่งแสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 22 พบว่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดหินคลุกมีความสัมพันธ์ต่อค่าความหนาแน่นแห้ง มากกว่าในทรายและเถ้าก้นเตา ทั้งนี้เนื่องจากทรายและเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุที่ไม่มีความชื้นแน่นอน ดังนั้นปริมาณความชื้นจึงไม่ค่อยมีความสัมพันธ์ต่อความหนาแน่นแห้ง



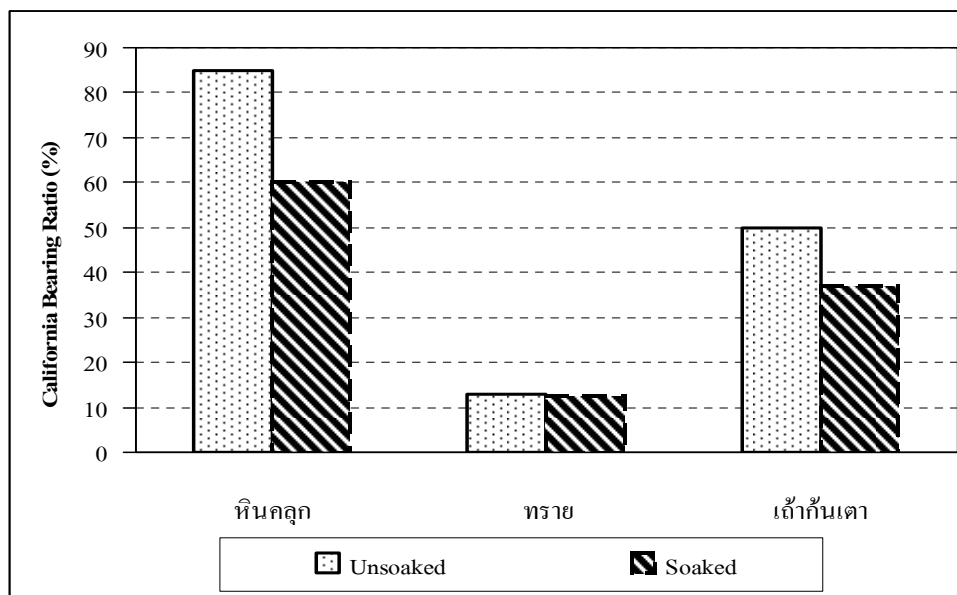
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของหินคลุก ทรายและใ้ก้นเตา

คุณสมบัติด้านกำลัง

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบ Unsoaked และ Soaked ของหินคลุก ทรายและใ้ก้นเตา

วัสดุที่ทดสอบ	California Bearing Ratio (%)	
	Unsoaked	Soaked
หินคลุก	85	60
ทราย	13	12.5
ใ้ก้นเตา	50	37

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังของหินคลุก ทราย และเถ้าก้นเตาโดยการทดสอบ California Bearing Ratio แบบ Unsoaked และ Soaked C.B.R. แสดงไว้ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 23 จากผลการทดสอบพบว่า เถ้าก้นเตามีค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ต่ำกว่าหินคลุก ทั้งนี้ เนื่องจากเถ้าก้นเตามีปริมาณเม็ดละเอียดมากกว่าหินคลุก มีค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. มากกว่าทราย เป็นเพราะลักษณะการกระจายของเม็ดดิน ซึ่งเถ้าก้นเตามีการกระจายตัวแบบคละกัน ดีต่างจากทรายที่มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ



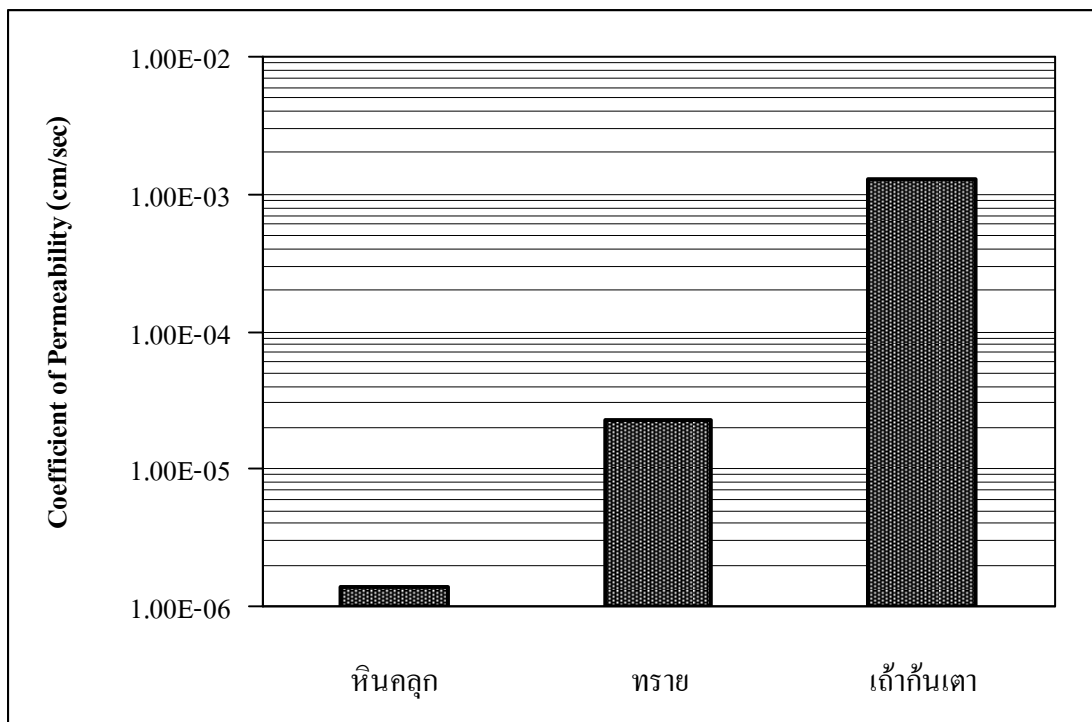
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ของหินคลุก ทราย และ เถ้าก้นเตา

คุณสมบัติด้านความชื้นน้ำ

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุก ทรายและเถ้าก้นเตา

วัสดุที่ทดสอบ	ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ(cm/s)
หินคลุก	1.39×10^{-06}
ทราย	2.27×10^{-05}
เถ้าก้นเตา	1.27×10^{-03}

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความซึมน้ำของหินคลุก ทราย และเถ้าก้นเตา ด้วยวิธี Constant Head โดยใช้ความดันเข้าช่วย ผลการทดสอบแสดงไว้ดังตารางที่ 9 และภาพที่ 24 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำเฉลี่ยของหินคลุก ทราย และเถ้าก้นเตา มีค่าประมาณ 1.39×10^{-6} , 2.27×10^{-5} และ 1.27×10^{-3} cm./sec ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำเฉลี่ยของเถ้าก้นเตา มีค่าสูงกว่าหินคลุกและทราย อยู่ประมาณ 900 และ 55 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของหินคลุก ทราย และเถ้าก้นเตา

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุก ทราย และเถ้าก้นเตา

ตารางที่ 10 ค่า Liquid Limit., Plastic Limit. และ Plasticity Index ของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตา

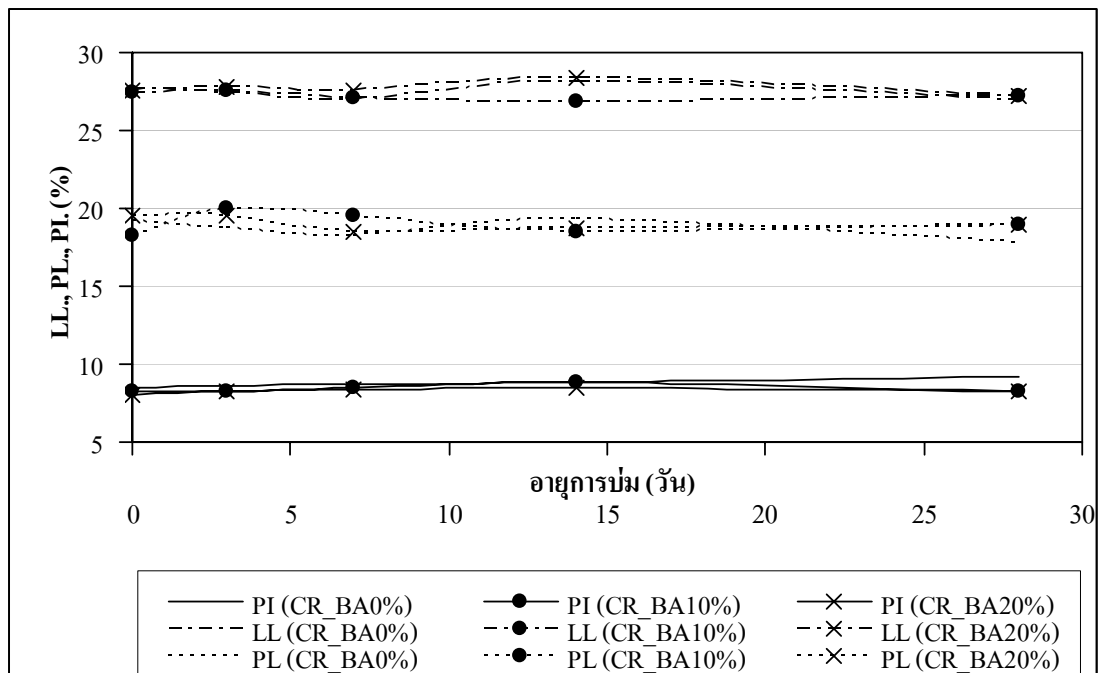
ปริมาณเถ้า(%)	อายุการบ่ม (วัน)				
	หลังผสม	3	7	14	28
<u>Liquid Limit</u>					
0	27.7	27.4	28.05	28.32	27.00
10	27.46	27.59	27.06	26.91	27.26
20	26.56	27.77	27.61	27.12	27.26
<u>Plastic Limit</u>					
0	19.2	18.74	18.2	19.25	17.78
10	18.23	20	19.62	18.44	18.94
20	19.53	19.48	18.47	18.77	19
<u>Plasticity Index</u>					
0	8.5	8.66	8.76	8.87	9.22
10	9.23	7.59	7.56	8.41	8.3
20	8.03	8.29	9.14	9.55	8.26

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตาในอัตราส่วน 10 และ 20% ของน้ำหนักดินแห้ง โดยพิจารณาจากค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตา โดยการศึกษาจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ประเด็น

คือ 1. พิจารณาอิทธิพลของปริมาณเถ้าแก้วนต่อค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินคลุกผสมเถ้าแก้วน โดยทดสอบทันทีหลังผสม และ 2. อิทธิพลของอายุการบ่มต่อค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินคลุกผสมเถ้าแก้วน เปรียบเทียบกับดินคลุกที่ยังมิได้มีการปรับปรุงคุณภาพดินที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

อิทธิพลของปริมาณเถ้าแก้วนต่อค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index แสดงไว้ดังตารางที่ 10 และ ภาพที่ 25 จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแก้วนมากขึ้นจะทำให้ค่า Liquid Limit มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่า Plastic Limit มีแนวโน้มคงที่ ส่งผลทำให้ค่า Plasticity Index มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอายุการบ่มของดินคลุกผสมเถ้าแก้วน โดยเปรียบเทียบค่า Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินคลุกผสมเถ้าแก้วน ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน กับค่า Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินคลุกผสมเถ้าแก้วนทันทีที่หลังผสม พบว่าค่า Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index มีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นจากผลการทดสอบสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแก้วนมากขึ้นจะทำให้ดินคลุกมีค่าความเหนียวลดลงโดยประมาณ 1%

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้สามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ 1. เถ้าแก้วนเป็นวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติด้านความเหนียว (Non-Plasticity) เมื่อผสมลงในดินคลุกจึงส่งผลให้ดินคลุกมีค่าความเหนียวลดลง และ 2. อาจเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุและการจับตัวกันของเม็ดดิน (Cation Exchange and Flocculation) ทำให้อนุภาคขนาดดินเหนียวเกิดการรวมตัวเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ดินร่วนขึ้น ส่งผลให้ค่า Liquid Limit มีแนวโน้มลดลง, ค่า Plastic Limit มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Plasticity Index มีแนวโน้มลดลง อันอาจเป็นผลทำให้โครงสร้างของดินที่ได้รับการปรับปรุงมีความมั่นคงมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่าประเด็นที่ 1 คือสาเหตุหลักที่ทำให้ความเหนียวลดลง



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquid Limit, Plastic Limit, Plasticity Index กับปริมาณแก็กกันเตาและอายุการบ่มของหินคลุกผสมแก็กกันเตา

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุกและทราย ผสมแก็กกันเตา

คุณสมบัติด้านการบดอัด

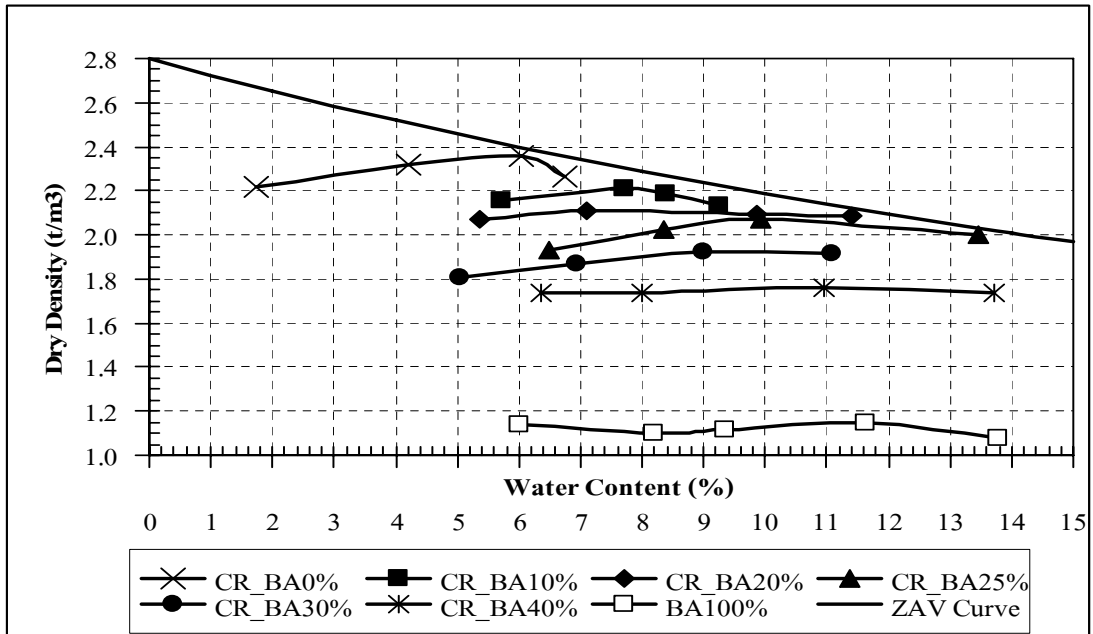
ตารางที่ 11 ผลทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและทราย ที่ผสมแก็กกันเตา

วัสดุที่ทดสอบ	ปริมาณแก็กกันเตา (%)	$\gamma_{d,max}$ (t/m ³)	Water Content (%)
หินคลุก	0	2.36	6
	10	2.20	8
	20	2.11	7
	25	2.07	10
	30	1.92	10
	40	1.76	11

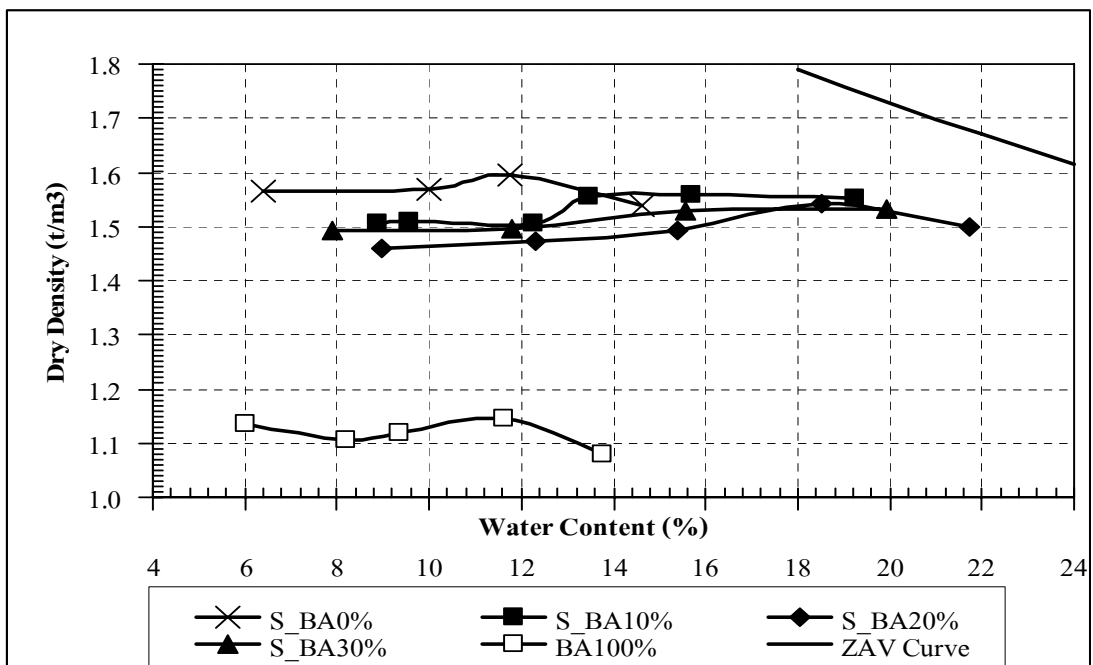
ตารางที่ 11(ต่อ)

วัสดุที่ทดสอบ	ปริมาณเถ้ากั้นเตา (%)	$\gamma_{d,max}$ (t/m ³)	Water Content (%)
ทราย	0	1.60	12
	10	1.56	14
	20	1.54	18
	30	1.53	19

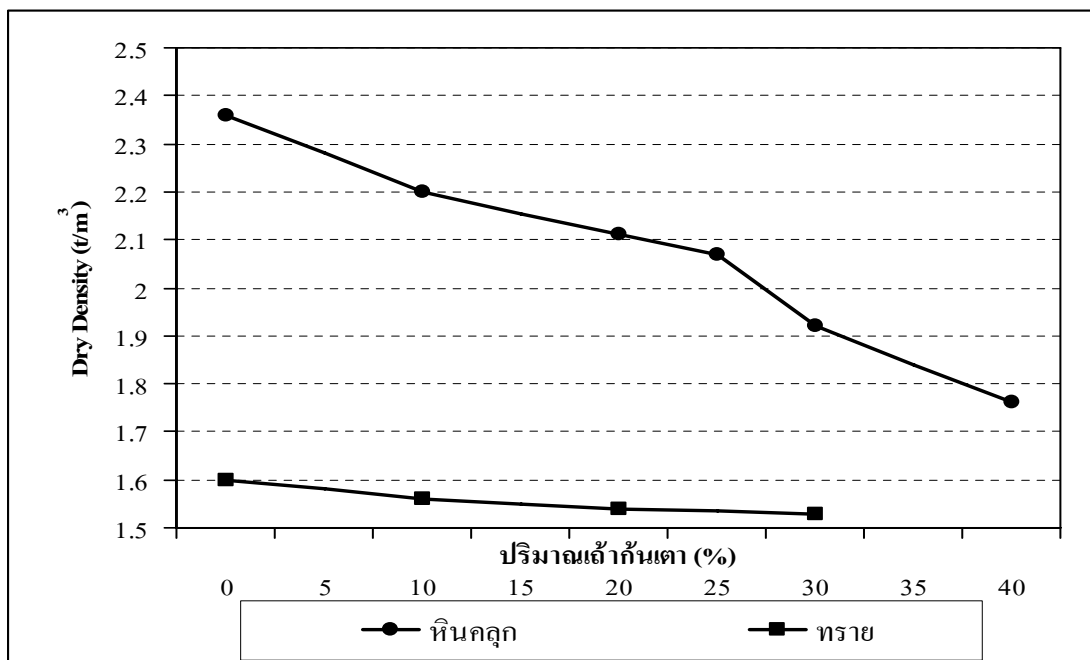
พิจารณาผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตา โดยการบดอัดด้วย Mold มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว ใช้พลังงานในการบดอัดประมาณ 56,000 ปอนด์-ฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต (lb.-ft./ft.³) แสดงไว้ดังตารางที่ 11 และภาพที่ 26-29 จากการศึกษาหินคลุกที่ผสมเถ้ากั้นเตาในอัตราส่วน 10, 20, 25, 30 และ 40% โดยน้ำหนักดินแห้ง พบว่าเมื่อปริมาณเถ้ากั้นเตามากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง เช่นเดียวกับทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตาในอัตราส่วน 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้งพบว่าเมื่อปริมาณเถ้ากั้นเตามากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก เถ้ากั้นเตามีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดละเอียดและมีน้ำหนักเบากว่าหินคลุกและทราย เมื่อผสมเถ้ากั้นเตาลงไปเถ้ากั้นเตาจะเข้าไปแทนที่ จึงส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นลดลง ในส่วนของค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของหินคลุกและทราย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้ากั้นเตาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากเถ้ากั้นเตาที่ผสมลงในหินคลุกและทรายมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าหินคลุกและทรายมากพื้นที่ผิวจำเพาะจึงสูงกว่าทำให้ความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอนุภาคดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย



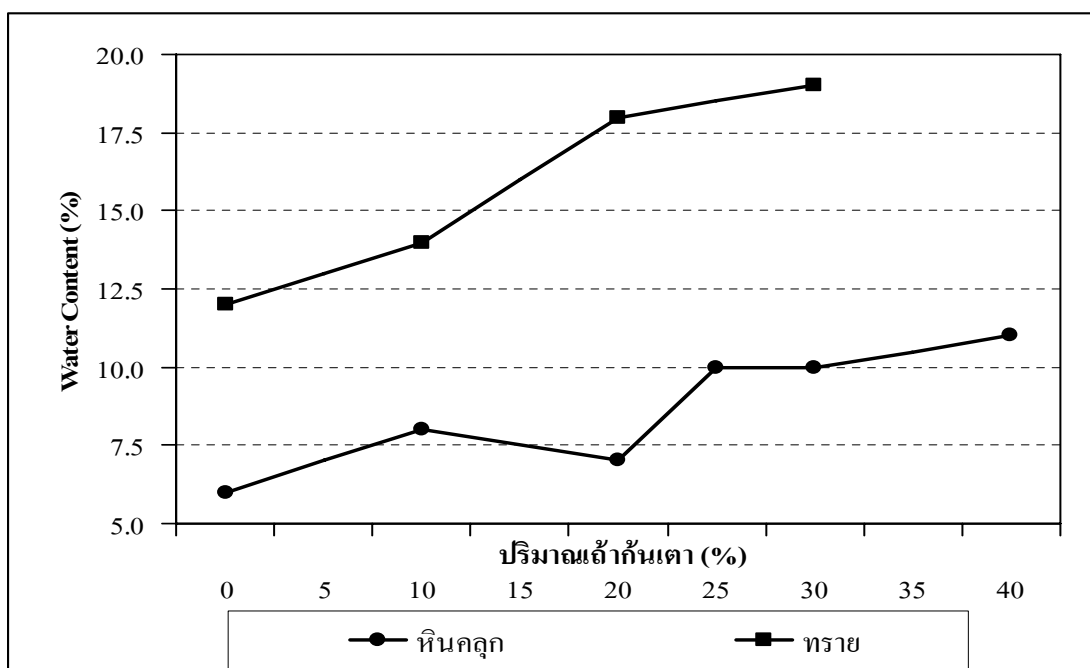
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของหินคลุกที่เปอร์เซ็นต์ผสมแก็กันเตาต่างๆ



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของทรายที่เปอร์เซ็นต์ผสมแก็กันเตาต่างๆ



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งของหินคลุกและทรายที่ปริมาณเถ้ากั้นเตาต่างๆ



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของหินคลุกและทรายที่ปริมาณเถ้ากั้นเตาต่างๆ

คุณสมบัติด้านกำลัง

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบ Unsoaked ของหินคลุกและทราย ที่ผสมเข้ากันเตา

California Bearing Ratio (%)						
วัสดุที่ ทดสอบ	ปริมาณ เข้ากันเตา (%)	อายุการบ่ม(วัน)				
		หลังบดอัด	3	7	14	28
หินคลุก	10	76	78	78	92	93
	20	93	100	96	105	96
	25	102	109	115	120	92
	30	95	92	90	89	87
ทราย	10	19	20	28	17	17
	20	30	29	33	37	40
	30	45	47	49	48	46
เข้ากันเตา	100	45	44	47	43	50

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบ Soaked ของหินคลุกและทราย ที่ผสมเข้ากันเตา

California Bearing Ratio (%)						
วัสดุที่ ทดสอบ	ปริมาณ เข้ากันเตา (%)	อายุการบ่ม(วัน)				
		หลังบดอัด	3	7	14	28
หินคลุก	10	71	75	73	81	85
	20	86	84	90	103	90
	25	100	111	115	105	90
	30	60	65	70	72	75

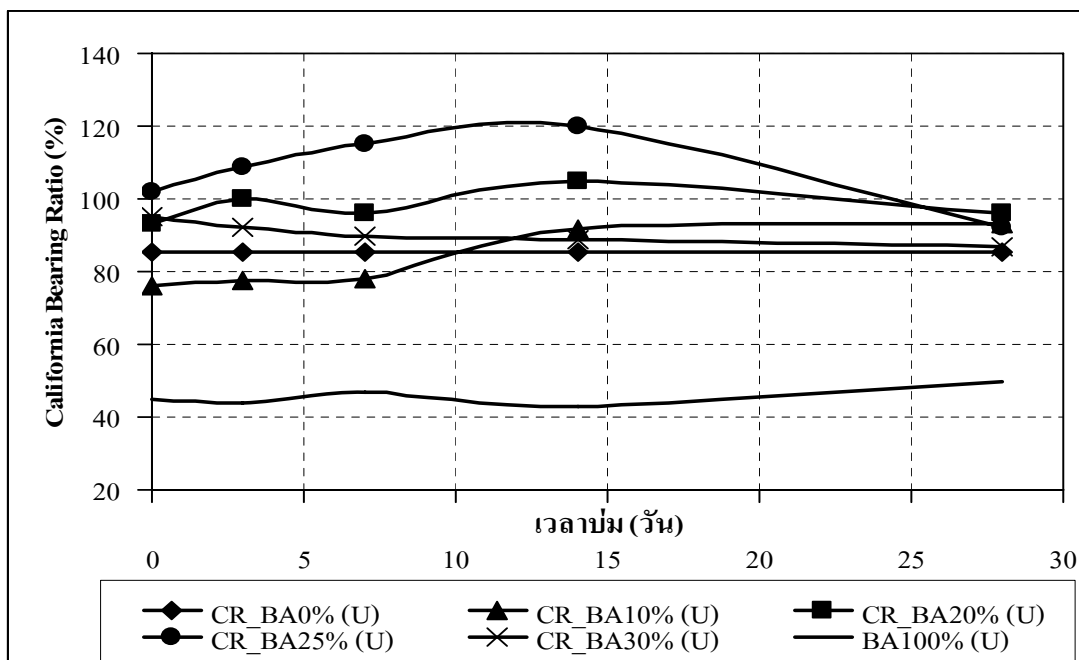
ตารางที่ 13(ต่อ)

วัสดุที่	ปริมาณ	California Bearing Ratio (%)				
		หลังบดอัด	3	7	14	28
ทดสอบ	เถ่ากั้นเตา (%)					
	10	15	16	13	11	9
ทราย	20	24	18	22	26	29
	30	23	30	25	28	30
เถ่ากั้นเตา	100	36	33	37	38	39

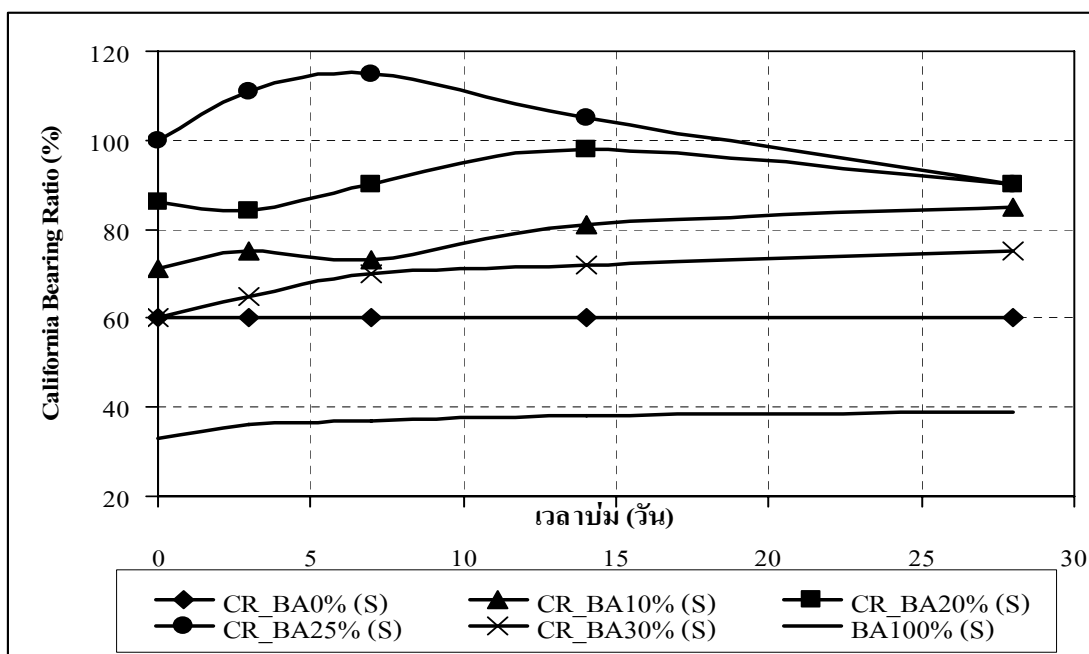
อิทธิพลของอายุการบ่มต่อกำลังของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ่ากั้นเตา

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ่ากั้นเตา โดยการทดสอบ California Bearing Ratio แบบ Unsoaked และ Soaked C.B.R. ของหินคลุกที่ผสมเถ่ากั้นเตาในอัตราส่วน 10, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนักหินแห้ง และทรายที่ผสมเถ่ากั้นเตาในอัตราส่วน 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนักดินแห้ง ทันทีที่บดอัดเสร็จและที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, และ 28 วัน โดยผลการทดสอบแสดงไว้ดังตารางที่ 12-13 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. กับอายุการบ่มที่ปริมาณเถ่ากั้นเตาต่างๆแล้วจะเห็นได้ว่า เมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 30-33

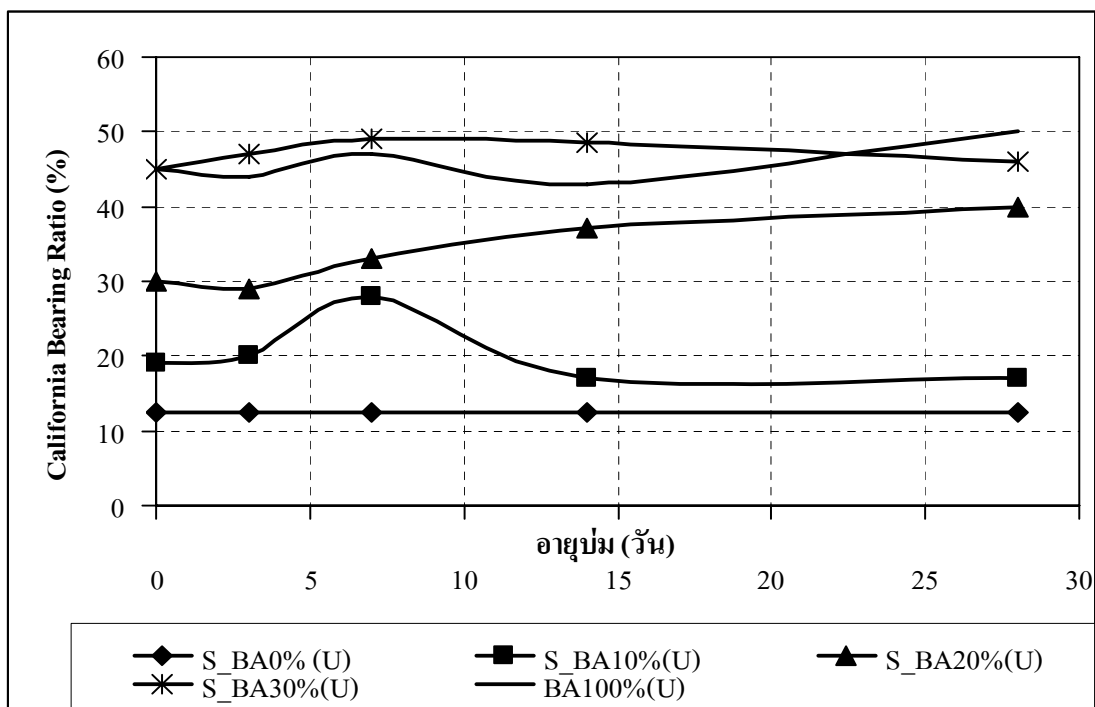
เมื่อเปรียบเทียบค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 วันกับค่า C.B.R. ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอายุการบ่มจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับมวลดิน



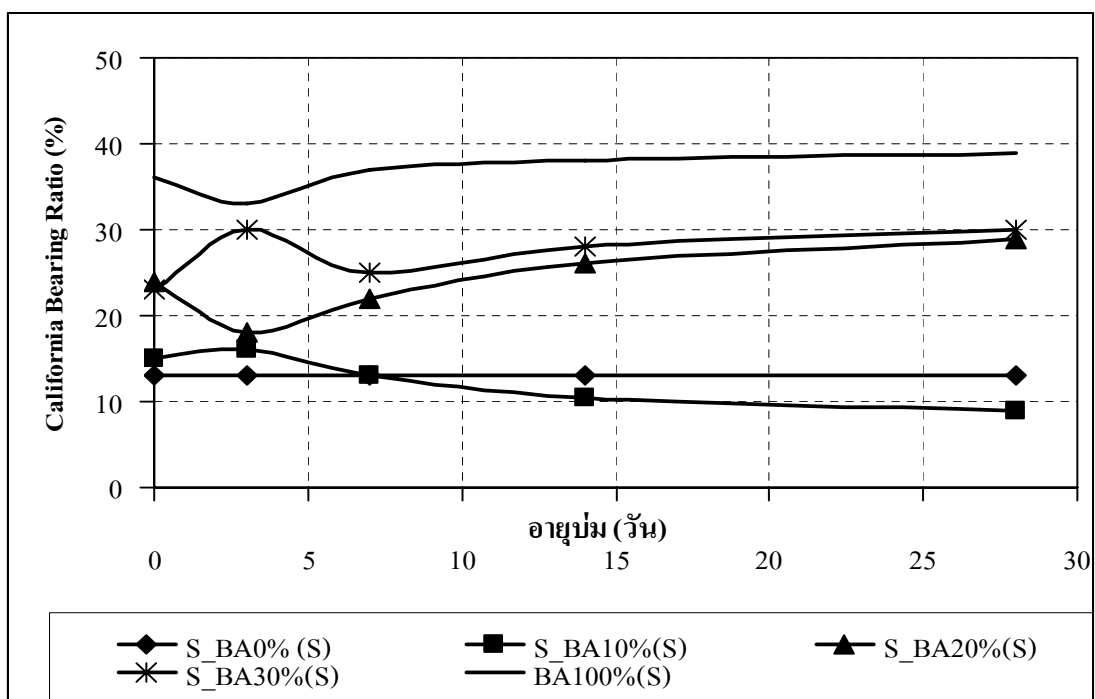
ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของหินคลุก ผสมแก็กันเตา



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของหินคลุก ผสมแก็กันเตา



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของทราย ผสมเถ้าก้นเตา

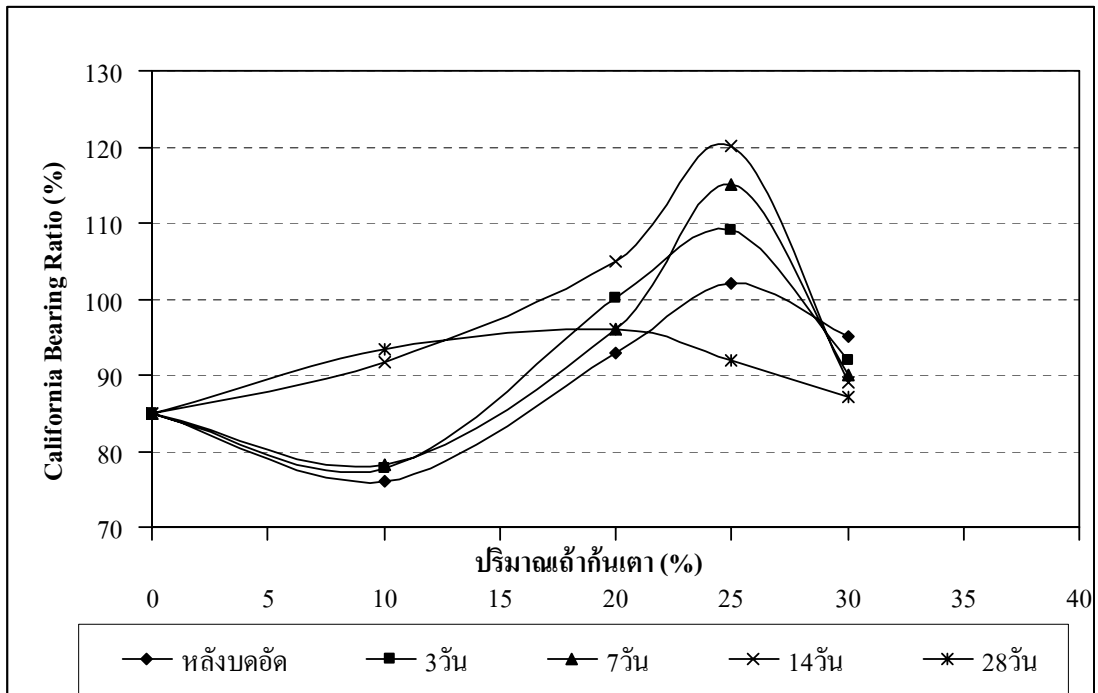


ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของทราย ผสมเถ้าก้นเตา

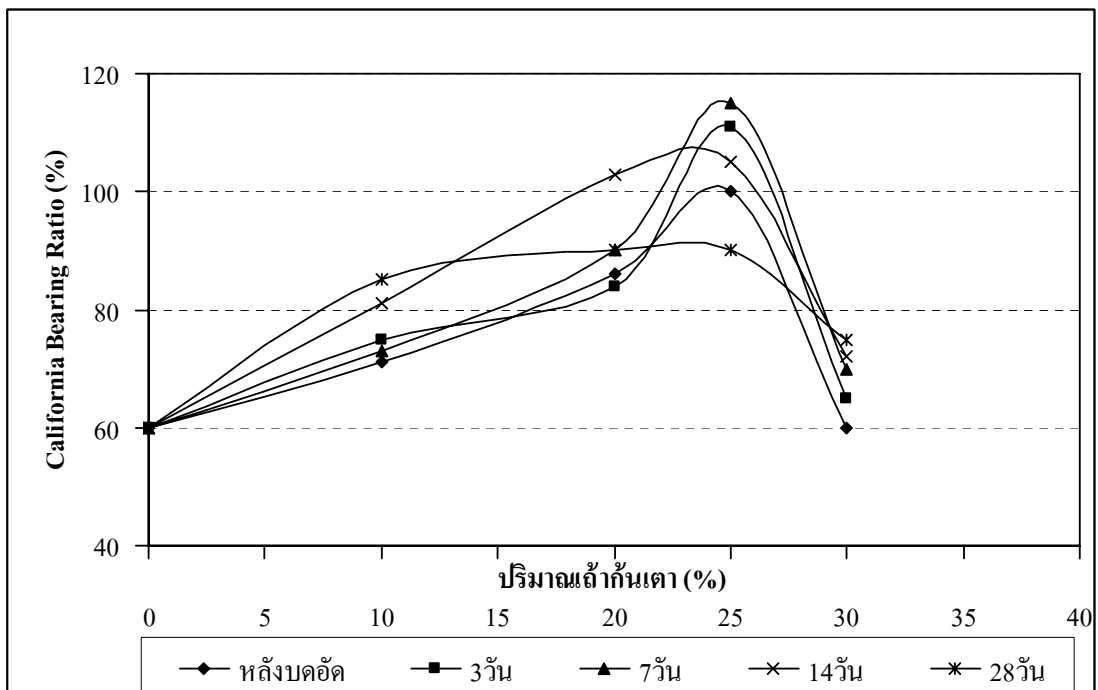
อิทธิพลของปริมาณเถ้าก้นเตาต่อกำลังของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตา

จากผลการทดสอบ Unsoaked และ Soaked C.B.R ของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตาที่อัตราส่วนผสม 10, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของปริมาณเถ้าก้นเตาที่มีต่อค่า C.B.R. พบว่าค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าก้นเตาจนถึงจุดหนึ่งที่เถ้าก้นเตาให้ค่ากำลังของหินคลุกมีค่าสูงสุดที่ 25% โดยน้ำหนักดินแห้ง จากนั้นแม้จะเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้นกำลังของหินคลุกก็จะไม่เพิ่มขึ้นแต่จะทำให้กำลังของหินคลุกลดลง ดังแสดงในภาพที่ 34-38 เมื่อลองพิจารณาตัวอย่างหินคลุกผสมเถ้าก้นเตา พบว่าเมื่อผสมเถ้าก้นเตาที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนักดินแห้งที่อายุบ่ม 14 วัน ให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R ถึง 105 และ 103% ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตาเป็น 25% ที่อายุการบ่ม 14 วันจะทำให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R เพิ่มขึ้นเป็น 120 และ 105% แต่เมื่อผสมเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้นถึง 30% ที่อายุการบ่ม 14 วันจะทำให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R ลดลงเป็น 89 และ 72% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่เป็นแนวโน้มเช่นนี้เพราะเถ้าก้นเตาเป็นวัสดุที่มีขนาดละเอียดดี เมื่อผสมเถ้าก้นเตาลงไป ทำให้ลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินในหินคลุก ค่า C.B.R. จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยจะทำให้ค่า C.B.R. มีค่าสูงสุดเมื่อผสมที่ปริมาณ 25% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการผสมเถ้าก้นเตาลงในหินคลุก พบว่า จะให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R สูงกว่าหินคลุกที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพทุกอัตราส่วนผสม

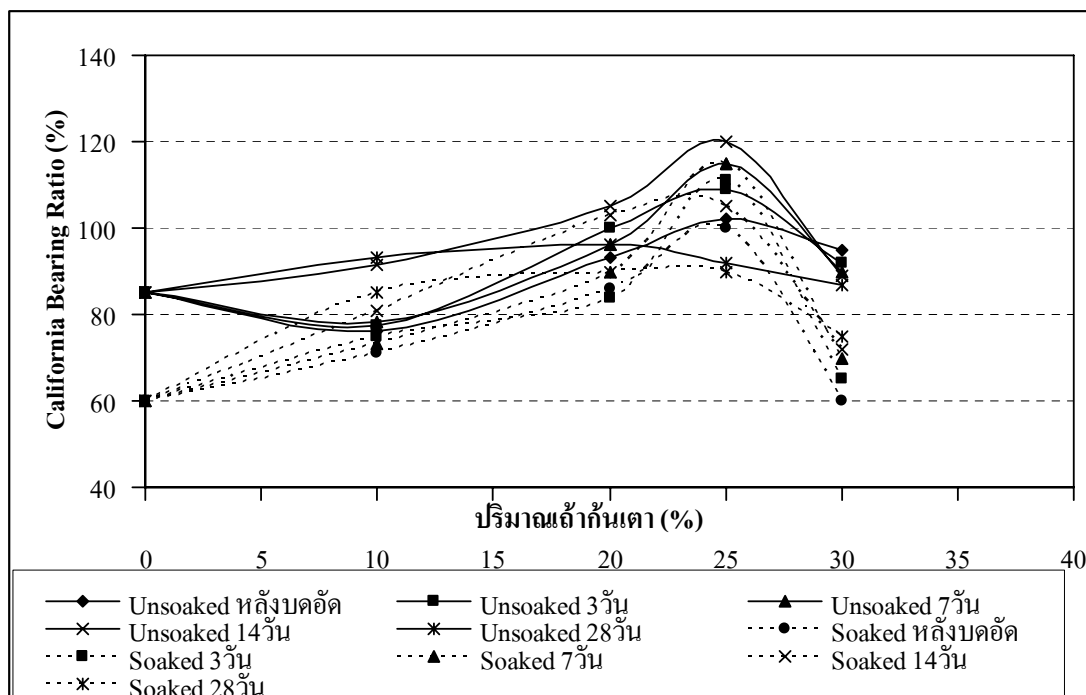
เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณเถ้าก้นเตาที่มีต่อค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R ของทรายผสมเถ้าก้นเตาที่อัตราส่วนผสม 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน พบว่าค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าก้นเตา ดังแสดงในภาพที่ 37-39 เมื่อลองพิจารณาตัวอย่างทรายผสมเถ้าก้นเตา พบว่าเมื่อผสมเถ้าก้นเตาที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 3 วัน ให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R ถึง 28 และ 16% ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตาเป็น 20% ที่อายุการบ่ม 3 วัน จะให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R เพิ่มขึ้นเป็น 33 และ 18% ยิ่งถ้าเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้นถึง 30% ที่อายุการบ่ม 3 วัน ก็จะทำให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R สูงถึง 49 และ 30% ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเถ้าก้นเตามีคุณสมบัติด้านกำลังดีกว่าทรายอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อผสมเถ้าก้นเตาลงไปจึงทำให้ค่า C.B.R. ของทรายเพิ่มขึ้น



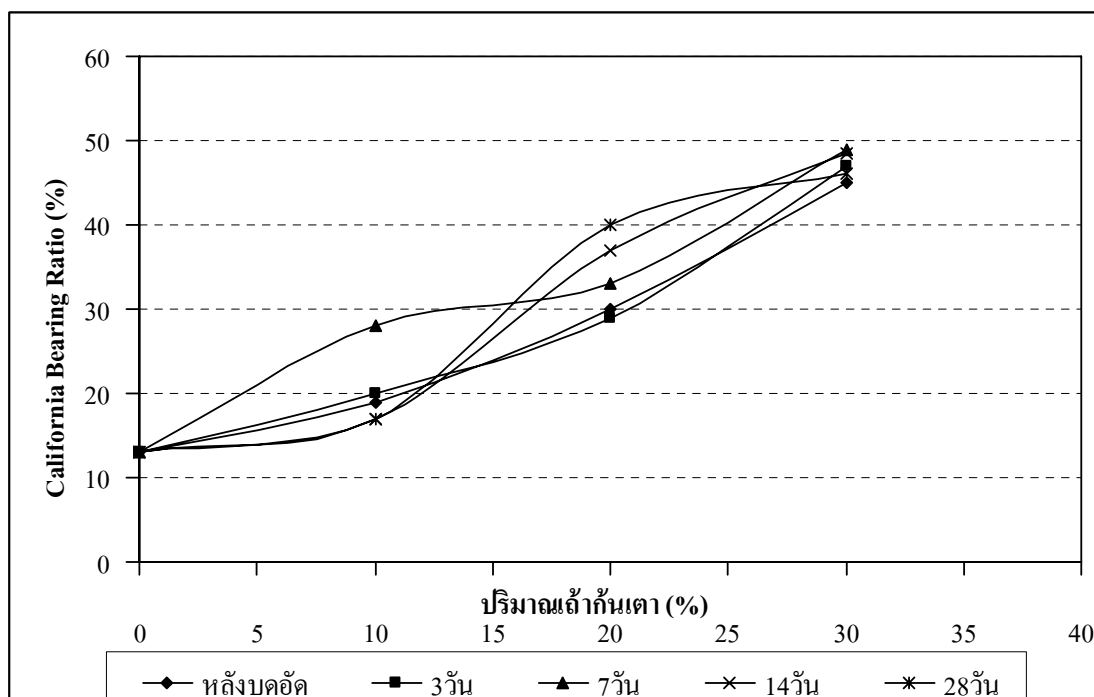
ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณแฉะดินผสมหินคลุก



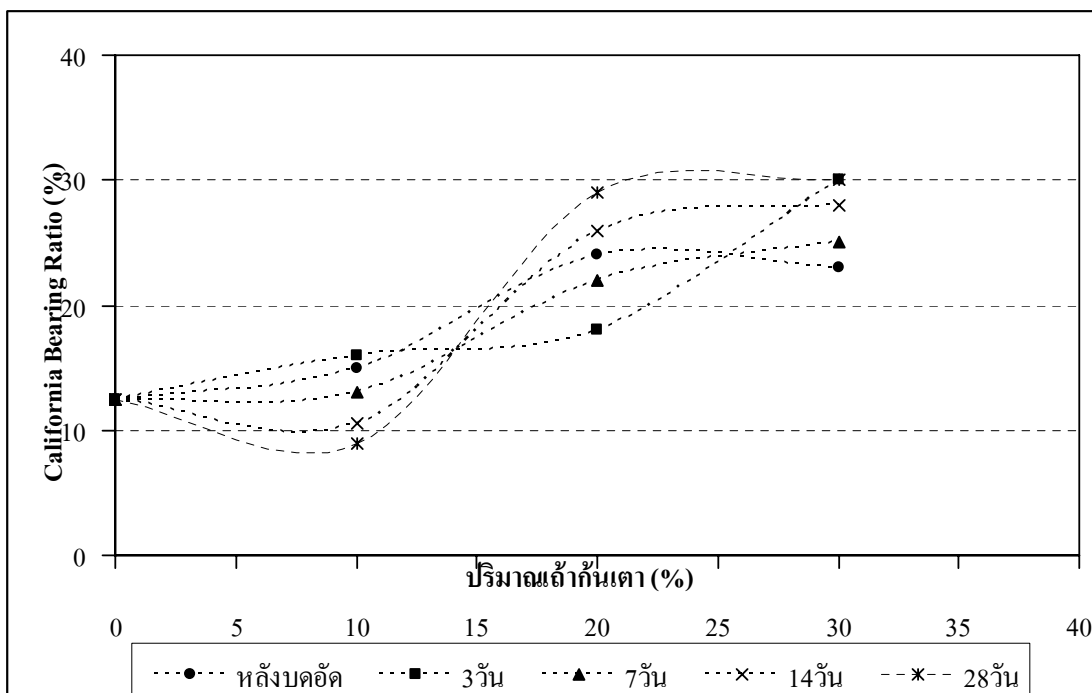
ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณแฉะดินผสมหินคลุก



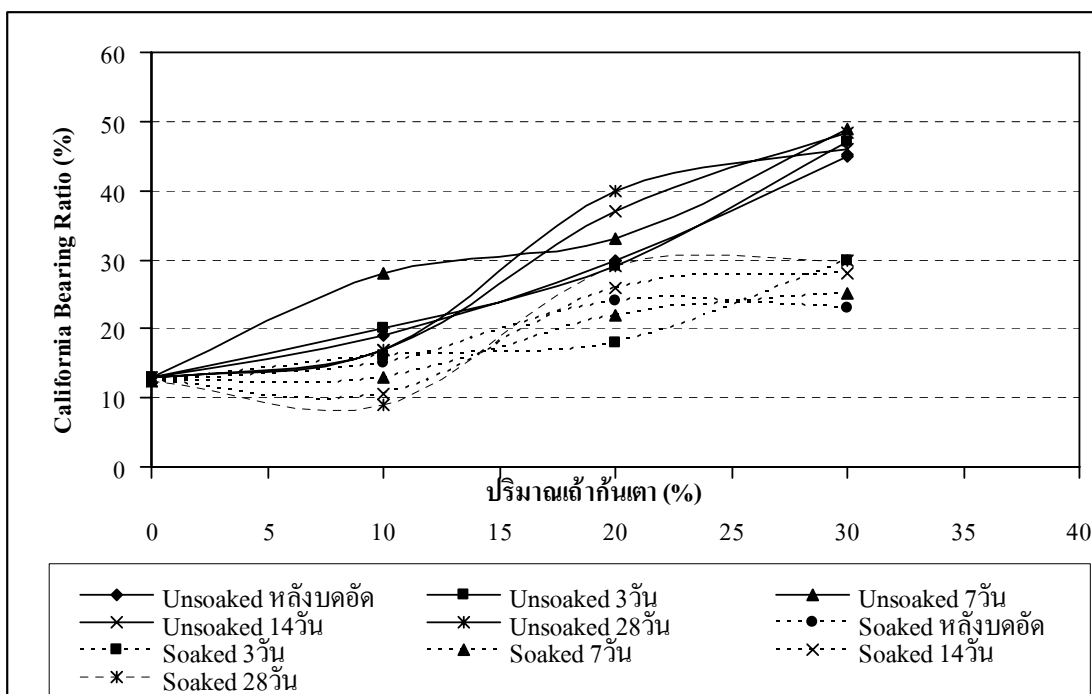
ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณแฉีกั้นเตาผสมหินคลุก



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณแฉีกั้นเตาผสมทราย



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณแฉ่ำกั้นเตาผสมทราย



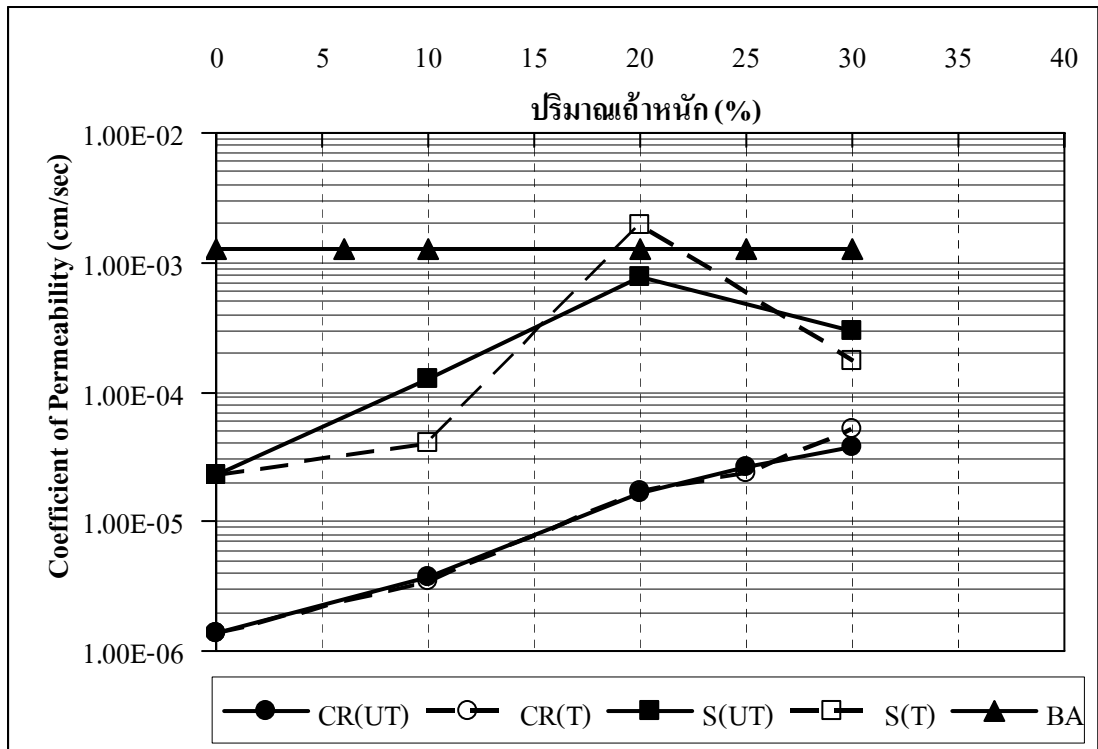
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณแฉ่ำกั้นเตาผสมทราย

คุณสมบัติทางด้านความชื้นน้ำ

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุก และทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตา

วัสดุที่ทดสอบ	ปริมาณเถ้ากั้นเตา (%)	Coefficient of Permeability (cm/sec)	
		หลังบดอัด	28วัน
หินคลุก	0	1.39×10^{-6}	1.39×10^{-6}
	10	3.77×10^{-6}	3.47×10^{-6}
	20	1.65×10^{-5}	1.70×10^{-5}
	25	2.62×10^{-5}	2.40×10^{-5}
	30	3.79×10^{-5}	5.16×10^{-5}
ทราย	0	2.27×10^{-5}	2.27×10^{-5}
	10	1.24×10^{-4}	3.98×10^{-5}
	20	7.67×10^{-4}	1.96×10^{-3}
	30	3.00×10^{-4}	1.74×10^{-4}
เถ้ากั้นเตา	100	1.27×10^{-3}	1.27×10^{-3}

จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุกและทรายผสมเถ้ากั้นเตาโดยวิธี Constant Head แบบใช้ความดันเข้าช่วย ของหินคลุกที่ผสมเถ้ากั้นเตาในอัตราส่วน 10, 20, 25 และ 30% โดยน้ำหนักดินแห้ง และทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตาในอัตราส่วน 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนักดินแห้ง ทันทีที่บดอัดเสร็จและที่อายุบ่ม 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าอายุในการบ่มไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตาในส่วนของปริมาณของเถ้ากั้นเตานั้นพบว่าเมื่อปริมาณเถ้ากั้นเตาเพิ่มขึ้นคุณสมบัติด้านการซึมน้ำของทั้งหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้ากั้นเตามีแนวโน้มโปร่งน้ำมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 40 โดยในหินคลุกและทรายนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 30 และ 15 เท่า ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการจับตัวกันของเม็ดดิน ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนและมีอนุภาคใหญ่ขึ้นส่งผลให้น้ำในมวลดินสามารถไหลซึมผ่านได้ดีขึ้น



ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณน้ำของหินคลุกและทรายที่ผสมเข้ากันเท่าที่ทดสอบทันทีหลังบดอัดและที่อายุบ่ม 28 วัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. หินคลุกที่นำมาทดสอบมีคุณสมบัติเบื้องต้นสามารถจำแนกประเภทตามระบบ Unified Soil Classification System และ AASHTO จัดอยู่ในกลุ่ม GW-GM และ A-1a(0) ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างทรายจัดอยู่ในกลุ่ม SP และ A-3 ตามลำดับ
2. แก้วกั้นเตาที่นำมาใช้ในการทดสอบสามารถจำแนกประเภทตามระบบ Unified Soil Classification System จัดอยู่ในกลุ่ม SW หรือจำแนกตามระบบ AASHTO จัดอยู่ในกลุ่ม A-3 โดยรูปร่างอนุภาคของแก้วกั้นเตาจากภาพถ่ายด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่ามีลักษณะขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันไปโดยจะมีลักษณะพื้นผิวทั้งที่เรียบและที่เป็นเป็นแบบขรุขระและมีลักษณะความเป็นเหลี่ยมคม ที่มุมของอนุภาค มีขนาดการกระจายตัวสม่ำเสมอ
3. หินคลุกและทรายมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด ประมาณ 2.36 และ 1.60 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณความชื้นเหมาะสมพบว่า หินคลุกและทรายมีปริมาณความชื้นเหมาะสม ประมาณ 6 และ 12% ตามลำดับ, ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ของหินคลุกมีค่าประมาณ 85 และ 60% ตามลำดับ และทรายมีค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. ประมาณ 13 และ 12.5% ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำเฉลี่ยของหินคลุกและทราย มีค่าประมาณ 1.39×10^{-06} และ 2.27×10^{-05} cm./sec. ตามลำดับ
4. เมื่อปริมาณแก้วกั้นเตาที่ผสมลงในหินคลุก เพิ่มขึ้นพบว่าค่า Liquid Limit ของหินคลุกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ค่า Plastic Limit มีแนวโน้มคงที่ ส่งผลให้ค่า Plasticity Index เพิ่มขึ้นประมาณ 1%
5. เมื่อปริมาณแก้วกั้นเตาเพิ่มสูงขึ้นค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของหินคลุกและทราย มีแนวโน้มลดลงและปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6. ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R ของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตาจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม อิทธิพลของปริมาณเถ้าก้นเตาที่มีต่อค่า C.B.R. ของหินคลุกผสมเถ้าก้นเตานั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่ปริมาณเถ้าก้นเตาประมาณ 25% โดยจะให้ค่ากำลังของหินคลุกมีค่าสูงสุด จากนั้นแม้จะเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้นกำลังของหินคลุกก็จะไม่เพิ่มขึ้นแต่จะทำให้กำลังของหินคลุกลดลง ส่วนในทรายผสมเถ้าก้นเตานั้นค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าก้นเตา

7. อายุในการบ่มนั้นไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตา อิทธิพลของปริมาณเถ้าก้นเตาพบว่าเมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุกและทรายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของหินคลุก จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 30 เท่า และทราย จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 15 เท่า

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาถึงคุณสมบัติด้านกำลังของหินคลุกและทรายผสมเถ้าก้นเตาในครั้งนี้ใช้การทดสอบ C.B.R. เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบเพิ่มเติมด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น Unconfined Compressive Strength ในการทดสอบหินคลุกและ Direct Shear ในการทดสอบทราย

2. การศึกษากลไกในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆมีความสำคัญเพื่อใช้ในการอธิบายโครงสร้างของหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตาที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการพัฒนากำลังของดิน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในด้าน Physico-Chemical โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และ X-Ray Diffraction (XRD)

3. ควรทำแปลงทดสอบหินคลุกและทรายที่ผสมเถ้าก้นเตาในสนาม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบในสนาม กับคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไปในอนาคต

4. ควรทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิกัมกับต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของหินคลุกและทรายที่ผสมเข้ากันเตา เพราะการทำงานในสนามเราไม่สามารถควบคุมการสูญเสียความชื้นเนื่องจากอุณหภูมิกัมให้คงที่ได้เหมือนอย่างในห้องปฏิบัติการ

5. ควรทำการศึกษาถึงผลของการล่าช้าการบดอัดต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของหินคลุกและทรายที่ผสมเข้ากันเตา เพราะการทำงานในสนามนั้น เราไม่สามารถที่จะผสมและบดอัดให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาสั้นๆได้

6. การศึกษาในครั้งนี้ใช้เข้ากันเตาบิโทมินัสเป็นสารเชื่อมประสานเพียงชนิดเดียว ดังนั้นควรทำการศึกษาการใช้สารเชื่อมประสานอื่นๆมาเป็นสารผสมเพิ่ม เช่น เข้ากันเตากับปูนขาว หรือเข้ากันเตากับจีไอโพลีเมอร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทางหลวง. 2513. รายละเอียดควบคุมการก่อสร้าง. กรมทางหลวงแผ่นดิน กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

กัมปนาท บุญกัน. 2542. การศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของหินคลุกด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยรังสิต.

เจนภพ เสาะสมบุรณ์, สรยุทธ วรกิจสกุล และอาทิตย์ อนันต์วัฒน์. 2543. คุณสมบัติของแหล่งหินที่ใช้ในงานทางในเขตภาคกลางตอนบน. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เจษฎา ขอดมงคล และอดิศร สุวรรณโมลี. 2540. การปรับปรุงคุณภาพหินคลุกด้วยซีเมนต์และปูนขาว. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

จิรพัฒน์ โชติศิโร. 2529. การออกแบบทาง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชินณพงศ์ ดอกแก้ว, ณัฐพงศ์ พันธุ์มณี, สิทธิพร ใจห้าว และอนุสรณ์ เตียพานิช. 2543. ผลกระทบของ Gradation ที่มีต่อ Cement Modified Crushed Rock Base. วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

นพรัตน์ ท้วมประดิษฐ์. 2543. อิทธิพลของการบดอัดซ้ำที่มีต่อคุณสมบัติของดินลูกรังในการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรชร นกแก้ว. 2539. การศึกษาการใช้เถ้าหนักลิแกนด์แทนมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ภูเวียง โกศรี. 2540. การศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมหินคลุก เปรียบเทียบกับดินลูกรังผสมหินคลุกและปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทางในประเทศลาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มนตรี ธรรมธระ. 2547. การศึกษาคุณสมบัติของหินคลุกเพื่อใช้ในการก่อสร้างถนนลาดยางในจังหวัดบุรีรัมย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- รังสรรค์ วงษ์บุญ. 2542. การหาความหนาแน่นสูงสุดของทรายเมื่อนำมาใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง, น. GTE 95-100. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. 2522. ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศรากร หนูเอก. 2548. การปรับปรุงวัสดุพื้นทางหินคลุกด้วยซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศุภกิจ นนทนานันท์. 2537. การปรับปรุงคุณภาพดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมพร ฤดีวิโรจน์. 2548. การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมัชชา แสนสุวรรณศรี. 2549. การปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบบอนแก่นด้วยปูนซีเมนต์ผสมกับเถ้าก้นเตา สำหรับงานพื้นทาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ภาณุวัฒน์ สุริยฉัตร และพัฒน์พงษ์ ทวีพันธ์. 2546, คุณสมบัติธรณีเทคนิคของทรายพิจิตรผสมเถ้าลอยลิกไนต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ : 72-81.

Chapman, B.R. and George, P.,1996, Fly Ash in Embankment - Hebei Province China.

Proceedings of National Symposium on the use of Recycled Materials in Engineering Construction. Sydney: pp 70-76

Forteza, R, M. Fara, C. Seguib and V. Cerdá. 2004, **Characterization of bottom ash in municipal solid waste incinerator for its use in road base** .Waste Management 28

Hausmann. 1990. **M.R. Engineering principles of ground modification.** McGraw-Hill, Sydney.

Hogentogler, C.A. **Engineering Properties of the Soils.** New York. Megraw-Hill,1938.

Holubec and E.D. Appolonia. E.D 1973, **Effect of Particle Shape on the Engineering Properties of Granular Soil.** Evaluation of Relative Density and Its Role in Geotechnical Projects Involving Cohesionless Soils. ASTM STP523. American Society for Testing Materials: pp 304-318.

Means, R.E. and J.V. Parcher. 1963. Physical Properties of Soils. C.E. Merrill Books, Ohio. 464 p.

Mitchell, J.K and R.K Katti, 1981, **Soil Improvement-State-of-The-Art Report Proceedings,10th ICSMFE.** Stockholm,Vol. 4, 509-565

Parker, D.G. and S.I. Thornton, 1976, **Permeability of Fly Ash and Fly Ash Stabilized Soil.** Federal Highway Administration. USA. Report No. FHWA/RD/M-0356.

Youd, T.L. 1938. **Factors Controlling Maximum and Minimum Density of Sand.** Evaluation of Relative Density and Its Role in Geotechnical Projects Involving Cohesionless Soils.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวจุฑาทิพย์ เขียวแจ่ม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 4 กรกฎาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-