ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา	วิศวกรรมโยธา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนักและเศษปูนขาว

Improvement of Lateritic Soil by Bottom Ash and Lime Powder

นามผู้วิจัย นายรณภูมิ ลิ่มศรีสวัสดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(รองศาสตราจารย์ประทีป ดวงเดือน, M.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทวรางกูร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทวรางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.......... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนักและเศษปูนขาว

Improvement of Lateritic Soil by Bottom Ash and Lime Powder

โดย

นายรณภูมิ ลิ่มศรีสวัสดิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รณภูมิ ลิ่มศรีสวัสดิ์ 2553: การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนักและเศษปูนขาว ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประทีป ดวงเดือน, M.Eng. 89 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำเถ้าหนักและเศษปูนขาวเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังเพื่อพัฒนาคุณภาพของวัสดุเพื่อนำไปใช้ในงานทาง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวเหลือทิ้ง อันได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน, ปริมาณเถ้าหนักและเศษปูนขาวเหลือทิ้ง และอายุการบ่ม สำหรับตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้นำมาจากแหล่งดินลูกรังในจังหวัดกาญจนบุรี โดยนำมาร่อนแยกขนาดและนำเม็ดดินแต่ละขนาดมาผสมกันให้ได้การกระจายขนาดตามที่กำหนดไว้โดยแบ่งเป็น 2 เกรด ได้แก่ เกรด B และ D ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยจากนั้นนำดินลูกรังมาผสมกับเถ้าหนักและเศษปูนขาวเหลือทิ้งในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15, และ20 โดยน้ำหนักของดินแห้งแล้วทำการทดสอบหาค่า ดัชนีความเหนียวของดิน, ความหนาแน่นของดิน, California Bearing Ratio และ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดิน โดยทำการทดสอบทันทีหลังบดอัดและที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อผสมปริมาณเถ้าหนักและเศษปูนขาวเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความเหนียวของดินลดลง, ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง, ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น, ปริมาณเถ้าหนักและเศษปูนขาวเหลือทิ้งที่ทำให้ค่า Unsoaked และ Soaked CBR มีค่าเพิ่มสูงมากที่สุด คือประมาณ 10% และ25% ในดินลูกรังเกรดB และD เมื่อผสมเกินกว่าค่านี้กำลังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ค่า Unsoaked และ Soaked CBR จะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น, ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำที่ทดสอบทันทีหลังบดอัดมีแนวโน้มลดลงประมาณ 10 เท่าในดินลูกรังเกรด B และเพิ่มขึ้นประมา 70 เท่าในดินลูกรังเกรด D และเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ดินลูกรังเกรด B มีค่าความซึมน้ำต่ำลงประมาณ 3 เท่าและลูกรังเกรด D มีค่าต่ำลงประมาณ 241 เท่า

สรุปได้ว่า แคลเซียมคาร์บอเนตเหลือทิ้งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังเมื่อผสมในสัดส่วนที่เหมาะสม

____________ ____________________ ___ / ___ / ___

ลานมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ronnapoom Limsriswad 2010: Improvement of Lateritic Soil by Bottom Ash and Lime Powder. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Prateep Duangdeun, M.Eng. 89 pages.

The research attempted to study the improvement of engineering properties of lateritic soil stabilized with bottom ash and lime powder for using in road embankment construction. The study involved the effects of grain size distribution, quantity of bottom ash and lime powder and curing times. Lateritic soil sample from borrow pit in Kanjanapuli province were sieved to obtain different grain size distributions and then prepared by controlling specified grain size distribution. Soil samples were prepared and grouped into B and D graded soil according to subbase standard specification of Department of Highway, Thailand. Lateritic soil were mixed with bottom ash and lime powder at the proportion of 5, 10, 15, 20 percent and 10, 20, 25 30 percent by dry weight of soil. Then, the specimens were tested to find out plasticity index, modified proctor compaction test, california bearing ratio and coefficient of permeability after compacted and curing for 3, 7, 14 and 28 days.

Experimental results showed that when the quantity of bottom ash and lime powder increased, the plasticity index and the maximum dry density appeared to decrease, while the optimum moisture content increased. The appropriate quantity of bottom ash and lime powder used in the mixture which gave the maximum value of Unsoaked and Soaked CBR value were 10% and 25% for B and D graded. Unsoaked and Soaked CBR values were increased with increasing curing time. Coefficient of permeability with bottom ash and lime powder after compaction, were decreased by 10 for B graded and increased by 70 times for D graded. At 28 days of curing time, coefficient of permeability with bottom ash and lime powder were decreased by 3 times for B grade and D grade were increased by 241 times.

Bottom ash and lime powder can be used to stabilize the lateritic soil if mixing with the appropriate portion.

______________________________ ______________________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดต่อ รศ.ประทีป ดวงเดือน ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการประสิทธิประสาทวิชาความรู้ เพื่อให้เกิดวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขึ้นมาพร้อมทั้งคณะกรรมการที่ปรึกษาประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ก่อโชค จันทวรางกูร กรรมการวิชาเอก ที่กรุณาให้ความรู้คำแนะนำ ตลอดจนเสนอแนะแนวทางในการดำเนินงานจนวิทยานิพนธ์นี้แล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ คุณหัสนัย ลิ้มเจริญบริษัทและBLCP POWER จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อข้อมูล, เถ้าหนักและให้ทุนอุดหนุน ด้วยดีตลอดมาจนการวิจัยนี้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณ กิตติศักดิ์ แก้วสามเรือน ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่และเครื่องมือในการทดลอง รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ให้คำชี้แนะ ข้อมูล แนวทาง การทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยฯ ทุกท่าน ในการช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่างๆ รวมทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องปริญญาโทวิศวกรรมปฐพีทุกท่าน ซึ่งมิอาจกล่าวนามลงในกิตติกรรมประกาศได้ครบที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นแรงใจในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความปรารถนาดีของทุกท่าน จึงขอขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่คอยสนับสนุนส่งเสริมในด้านการศึกษาและเป็นกำลังใจในการเรียนมาโดยตลอด หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวม ผู้วิจัยขอยกความดีที่เกิดขึ้นให้แก่ บิดามารดา และคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถและประสบความสำเร็จในการศึกษา

รณภูมิ ลิ่มศรีสวัสดิ์
เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ป

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณซิลิกาและเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	11
2	คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	12
3	การแจกแจงขนาดคละสำหรับวัสดุชั้นพื้นทาง	14
4	การแจกแจงขนาดคละสำหรับวัสดุชั้นรองพื้นทาง	14
5	องค์ประกอบทางเคมีในเถ้าหนักเปรียบเทียบกับเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F และ C	20
6	องค์ประกอบทางเคมีในเศษปูนขาวเปรียบเทียบกับปูนขาวมาตรฐาน	22
7	มาตรฐานการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์	27
8	สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกและบ่งบอกดินตัวอย่างและผลการทดสอบต่างๆ มีดังนี้	39
9	การกระจายขนาดของเม็ดดินที่ใช้ในการทดสอบ	41
10	คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินลูกรัง	44
11	องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในดินลูกรัง,เถ้าหนัก และเศษปูนขาว	46
12	ผลการทดสอบ Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังเกรดผสม B, D, เถ้าหนักและเศษปูนขาว	49
13	ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินลูกรังผสมเกรด B, D และสารผสมเพิ่ม	52
14	ผลการทดสอบ Unsoaked และ Soaked CBR. ของดินลูกรังผสมเกรด B, D และสารผสมเพิ่ม	54
15	ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมเกรด B, D และเถ้าหนัก	54
16	ค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม	56
17	ค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม	57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตารางที่		หน้า
18	ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม	60
19	ผลการทดสอบ Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม	63
20	ผลการทดสอบ soaked CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม	64
21	ลักษณะการใช้งานของดินลูกรังที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่มต่างๆ	78
22	ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม	81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	10
2	คุณสมบัติของปูนขาวเมื่อผสมดิน	26
3	ขั้นตอนการวิจัย	38
4	การกระจายขนาดของเม็ดดินแต่ละเกรดที่ใช้ในการทดสอบ	40
5	การกระจายขนาดของเม็ดดินของตัวอย่างดินลูกรังที่สุ่มเก็บมาจากบ่อยืมดิน	43
6	การกระจายขนาดของเถ้าหนักที่ใช้ในงานวิจัย	46
7	การกระจายของเศษปูนขาว A (Lime Powder)ที่ใช้ในงานวิจัย	48
8	แสดงค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่างๆ	50
9	ค่าการทดสอบ CBR ที่อัตราส่วนผสมต่างๆของสารผสมเพิ่ม	51
10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นของดินลูกรังผสมเกรด B, D และสารผสมเพิ่ม	53
11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินกลุ่มต่างๆ	55
12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index กับปริมาณสารผสมเพิ่มและอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม	58
13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index กับปริมาณสารผสมเพิ่มและอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม	59
14	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นของสารผสมเพิ่มและดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ	61
15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม	61
16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม	62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ | หน้า

17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม 62

18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 66

19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 66

20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 67

21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 67

22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 68

23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรดD ผสมสารผสมเพิ่ม 68

24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B 69

25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B 69

26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B 70

27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณสารผสมของผสมดินลูกรังผสมเกรด D 70

28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D 71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D	71
30	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ที่ระยะการบ่มต่างๆ	72
31	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 5% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	73
32	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 10% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	73
33	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 15% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	74
34	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 20% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	74
35	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ที่ระยะการบ่มต่างๆ	75
36	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 10% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	75
37	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสม เพิ่ม 20% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	76
38	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 25% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	76
39	กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 30% ที่ระยะการบ่มต่างๆ	77
40	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม ทันทีที่บดอัด	81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม ทันทีที่บดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน	82
42	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม ทันทีที่บดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน	82
43	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่มทันทีที่บดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน	83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนักและเศษปูนขาว

Improvement of Lateritic Soil by Bottom Ash and Lime Powder

คำนำ

ถนนเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการพัฒนาประเทศ ในการที่จะสร้างถนนให้มีมาตรฐานที่ดีนั้นจะต้องมีวัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน วัสดุที่สำคัญในการก่อสร้างถนนก็คือดินลูกรัง เนื่องจากในปัจจุบันนั้นดินลูกรังที่มีคุณภาพที่ดีนั้นหาได้น้อยมาก ดังนั้นจึงจะต้องมีการนำดินลูกรังที่มีคุณภาพที่ไม่ได้มาตรฐานมาทำการปรับปรุงคุณภาพ และเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือคุณภาพและราคา

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีโรงไฟฟ้าถ่านหินเกิดขึ้นในประเทศไทยหลายแห่งเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และผลของการผลิตกระแสไฟฟ้าก็คือขยะที่เหลือทิ้งจากโรงงานคือ เถ้าหนักและเศษปูนขาว ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำเอาเถ้าหนักและเศษปูนขาวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์น้อยมาก ดังนั้นการนำเถาหนักและเศษปูนขาว ไปใช้ประโยชน์จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก

ในงานก่อสร้างทางโดยทั่วไปจะมีการนำดินลูกรังในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ก่อสร้างมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างทาง แต่วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นนั้นมักมีความแปรปรวนของวัสดุค่อนข้างสูง ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในการรับน้ำหนักและบางส่วนต่ำกว่าเกณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนวัสดุที่มีคุณภาพในการก่อสร้าง ดังนั้นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนักและเศษปูนขาว (Lime Powder) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุให้ได้มาตรฐานและสามารถใช้ในการก่อสร้างทางมากยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยวิธีทางเคมี (Chemical Stabilization) ด้วยเถ้าหนักผสมเศษปูนขาว

2. ศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณของเถ้าหนักผสมเศษปูนขาว และอายุการบ่มต่อความเหนียว (Plasticity) ของดิน

3. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้สารผสมเพิ่ม(เถ้าหนักผสมเศษปูนขาว) อันได้แก่

3.1 การกระจายขนาดของเม็ดดิน
3.2 ปริมาณของสารผสมเพิ่ม
3.3 อายุการบ่ม

4. พิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมหนักและเศษปูนขาวในช่วงอายุของการบ่มและปริมาณเถ้าหนักและเศษปูนขาว ที่ผสมในสัดส่วนต่างๆกัน

5. ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเถ้าหนักผสมเศษปูนขาว มาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาโดยเฉพาะด้านวิศวกรรมการทางต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอบเขตของการวิจัย

1. ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้นำมาจาก ต.เขาคันหอก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี

2. สารผสมเพิ่มที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เถ้าหนักและเศษปูนขาว ที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียดของบริษัท BLCP POWER จำกัด จากนิคมอุสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

3. ตัวอย่างดินลูกรังที่จะนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมนั้นนำมาจากการเตรียมตัวอย่างดินให้ให้อยู่ในช่วง Grade B และD ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางของวัสดุมวลรวมตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ โดยทำการทดสอบหาค่า Liquid Limit และ Plastic Limit เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของดินทันทีหลังผสมเสร็จและที่อายุการบ่ม

5. การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนทดสอบ โดยวิธี California Bearing Ratio แบบ Unsoaked CBR. และ Soaked CBR. ของตัวอย่างดินลูกรังและดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มซึ่งบดอัดที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) โดยตัวอย่างดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มจะทำการทดสอบที่อายุการต่างๆ

6. การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของตัวอย่างดินลูกรังและดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มซึ่งบดอัดที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ดินลูกรัง

ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อนซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง มีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสามารถแข็งตัวได้เมื่อทิ้งไว้ในอากาศ และมักมีสีแดงเพราะมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่ คุณสมบัติของดินลูกรังขึ้นอยู่กับชนิดของหินต้นกำเนิด ส่วนประกอบทางเคมี และสภาพภูมิอากาศ ดินลูกรังเมื่อนำมาบดอัดจะสามารถรับแรงเฉือนได้สูงขึ้นและมักนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างงานทาง เป็นดินถมคันทาง ดินถมงานเขื่อนและงานฐานราก

คำจำกัดความของดินลูกรัง

สำหรับคำจำกัดความตามคุณสมบัติการแข็งตัวของดินลูกรัง (Buchanan, 1807) เป็นผู้ริเริ่มใช้คำว่า “laterite” เรียกดินที่พบในมาลาบาร์ ประเทศอินเดียซึ่งหมายถึง ดินที่มีสีเหลืองอ่อนเนื่องจากมีเหล็กผสมอยู่ในปริมาณสูง มีความพรุน ไม่แบ่งชั้น มีความอ่อนตัวพอที่จะตัดเป็นแผ่นขนาดเท่าอิฐได้ และเมื่อขุดพบจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ ดังนั้น จึงนิยมมาทำเป็นอิฐ เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง

สำหรับคำจำกัดความทางเคมี (Mallet, 1883) เป็นผู้ริเริ่มให้ความหมายดินลูกรัง (Lateritic Soils) ว่าหมายถึงดินที่ตามธรรมชาติจะมีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม จากนั้น Bauer (1898) ได้ให้ความหมายของดินลูกรังว่าหมายถึงวัสดุที่มีสารประกอบของซิลิก้าและปริมาณของอลูมิเนียมในรูปของไฮดรอกไซด์สูงเมื่อเทียบกับปริมาณของ bauxite จากนั้น (Fermor, 1911) ได้พัฒนาการเรียกชื่อลูกรังตามธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของซิลิก้า ธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังได้แก่ เหล็ก,อลูมิเนียม,ไทเทเนียมและแมงกานีส ในเวลาต่อมา (Lacroix, 1913) ได้จำแนกชนิดของลูกรังตามปริมาณของออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบได้แก่

1. True laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90

2. Silicate laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบกว่าร้อยละ 50-90

3. Laterite Clay มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบกว่าร้อยละ 10-50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งต่อมา Martin และ Doyne (1927) ได้แบ่งชนิดของดินลูกรังตามอัตราส่วนของซิลิก้าต่ออลูมินาดังนี้

1. True laterite มีส่วนของ SiO_2/Al_2O_3 น้อยกว่า 1.33

2. Lateritic Soils หรือดินลูกรัง มีส่วนของ SiO_2/Al_2O_3 ระหว่าง 1.33-2.00

3. Non-lateritic tropically weathered-soil มีส่วนของ SiO_2/Al_2O_3 มากกว่า 2.00

สำหรับคำจำกัดความทาง Morphology Alexander และ Cady (1962) ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้าน morphology ฟิสิกส์และเคมีที่เกี่ยวข้องกับลูกรังโดยให้ความหมายไว้ดังนี้

Laterite หรือลูกรัง หมายถึงดินที่เกิดจากกระบวนการทำลายในอัตราค่อนข้างสูงมี Secondary oxide ของเหล็กหรืออลูมิเนียมในปริมาณสูง โดยปราศจากความเป็นด่าง และ Primary Silicate ในบางครั้งอาจมีแร่ควอทซ์และคาโอลิไนท์ในปริมาณสูงและมีคุณสมบัติที่แข็งตัวเมื่อกระทบอากาศ

Lateritic Soil หรือดินลูกรัง หมายถึงดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมผสมอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ laterization มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เองและมี laterite rock หรือ laterite gravel ผสมอยู่

Laterite rock หรือหินลูกรัง หมายถึงดินลูกรังที่เกิดการแข็งตัวเองอย่างสมบูรณ์ มีความเหนียวและความแข็ง จะแสดงคุณสมบัติของหินมากกว่าดิน เช่น หินศิลาแลงเป็นต้น

Phinthite เป็นรูปแบบหนึ่งของหินลูกรังที่สามารถตัดด้วยเครื่องตัดโลหะได้ ในขณะที่อยู่ใต้ดินเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดการแข็งที่ไม่คืนสู่สภาพเดิม

Laterite gravel หรือกรวดลูกรัง ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบซึ่งเป็นเม็ดเล็กๆ มีความแข็งแตกต่างกัน บางทีอาจจะยึดเกาะเป็นมวลก้อนใหญ่ หรืออาจสึกกร่อนจนกลายเป็น silty หรือ clayey lateric soil

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Self-hardening-property หมายถึง คุณสมบัติของการแข็งตัวได้เองเมื่อสูญเสียความชื้นในตัว และคุณสมบัตินี้จะไม่กลับสู่สภาพเดิม ถึงแม้ได้รับความชื้นอีก

Sesquioxide หมายถึง Al_2O_3, Fe_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของลูกรัง

กระบวนการเกิดดินลูกรัง Primary Minerals และ Secondary ในดินลูกรัง

Primary Minerals ในดินลูกรัง

กระบวนการทำลายในเขตร้อนเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ฟิสิกส์หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปของ primary rock-forming minerals เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบ 1:1 และสารประกอบลูกรังซึ่งได้แก่ เหล็ก,อลูมิเนียม,ไทเทเนียม และแมงกานีส สะสมอยู่เป็นจำนวนมากโดยแบ่งขั้นตอนในการเกิดลูกรังออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

1. Decomposition เป็นขบวนการทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary minerals ในหินออกไซด์ต่างๆ ได้แก่ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O และอื่นๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร

2. Laterization จะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะการระบายที่เหมาะสม เกิดการรวมตัวของซิลิก้า,ด่าง และสารพวกออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3, Fe_2O_3, Ti_2O_3) ส่วนสารอื่นๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ด่าง ของน้ำในดินและสภาวะการระบาย

Mohr และ Van Baren (1954) ได้กล่าวว่ากระบวนการ Laterization เกิดขึ้น เนื่องจากสภาวะทางธรรมชาติและการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีของหินเดิมภายใต้สภาวะทางเคมีและการเปลี่ยนรูปที่ต่ำกระบวนการทำลายทางเคมี-ฟิสิกส์ จะไม่ดำเนินต่อไปในช่วงของการเปลี่ยนรูปแร่ดินเหนียวและมีแนวโน้มที่จะเกิดแร่ดินเหนียวพวกคาโอลิไนท์หรือไฮเดรทหรือแอนไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมต่อมา Remillion (1967) ได้กล่าวว่าภายใต้สภาวะการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนานนี้แร่ดินเหนียวจะถูกชะล้างเหลือสารที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม เช่น gibbsite หรือไอดรัสออกไซด์ของเหล็ก เช่น ลิโมไนต์หรือเกอร์ไทท์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. Dehydration หรือ Desiccation จะเกิดดีไฮเดรชั่นในบางส่วนหรือทั้งหมดของเซสควิ-ออกไซด์ และ secondary mineral ซึ่งบางครั้งทำให้เกิดการแข็งตัวเกิดความเข้มข้น เกิดการตกผลึกของ amorphous iron colloids ไปเป็น dense crystalline iron mineral ได้แก่ ไลมอไนต์ ($Fe_2O_3.15H_2O$) เกอร์-ไทท์ (Fe_2O_3,H_2O) และเฮมาไทต์(Fe_2O_3)

สรุปได้ว่าการแข็งตัวในดินลูกรังเกิดขึ้นเนื่องจากออกไซด์อิสระของเหล็ก 3 ชนิดได้แก่ เฮมาไทท์, ไลมอไนต์และเกอร์ไทท์เคลือบบนอนุภาคดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเฮมาไทต์ กระบวนการ Laterization จะทำให้ออกไซด์อิสระของเหล็กในรูปของเฮมาไทท์ที่เคลือบอยู่บนอนุภาคดินมีความหนาเพิ่มขึ้น

Secondary mineral ในดินลูกรัง

วิธีการหา secondary minerals ในดินลูกรัง ได้แก่ การวิเคราะห์ x-ray diffraction, การวิเคราะห์ differential Thermal Analysis (DTA) และการวิเคราะห์ scaning electron microscope

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินลูกรัง

จากการศึกษาพบว่าความเป็นกรด-ด่างของดินลูกรังเปลี่ยนแปลงตามความลึก แต่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-8 แสดงว่าดินลูกรังจะเกิดในบริเวณที่มีสภาวะเป็นกรด

สารอินทรีย์ (Newill, 1959) กล่าวว่าดินลูกรังที่มีเม็ดละเอียดจะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าดินลูกรังที่มีเม็ดหยาบโดยทั่วไปแล้วดินลูกรังจะมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำโดยจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.0 ที่ชั้นผิวดิน

Secondary minerals ในดินลูกรัง ได้แก่ แร่ดินเหนียว คาโอลิไนท์, ฮาลลอยไซด์, อิลไลท์, มอนท์โมริลโลไนท์ และอื่นๆ การเกิด Secondary mineral ในดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ พืชที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ secondary minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์อย่างมากในทางวิศวกรรมปฐพีเพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในดินลูกรังจะมีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและพืชพันธุ์ ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตจะลดลงเมื่อเกิดการชะล้างและขบวนการ laterization มากขึ้น

การกระจายของเม็ดดิน ดินลูกรังส่วนใหญ่มีการกระจายขนาดของเม็ดดินดี กล่าวคือ มีขนาดคละกันดี

ความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังอยู่ระหว่าง 2.67-3.46 จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กออกไซด์ในดินลูกรัง กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณของเหล็กออกไซด์มากจะมีความถ่วงจำเพาะสูง

ดัชนีพลาสติก ค่าพลาสติกซิตีของดินลูกรังขึ้นอยู่กับปริมาณของดินเหนียว ดังนั้น จึงมีค่าไม่แน่นอนขึ้นกับกระบวนการชะล้างและกระบวนการ laterization กล่าวคือถ้ามีการชะล้างและเกิดกระบวนการ laterization สูง ปริมาณของดินเหนียวจะยังผลให้ค่าพลาสติกซิตีลดลง เนื่องจากแร่ดินเหนียวถูกเคลือบด้วยเซสควิออกไซด์ ทำให้ surface activity ของแร่ดินเหนียวถูกขจัด

กำลังรับแรงเฉือน ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลขององค์ประกอบทาง genetic ชนิดของหินเดิมและองศาที่เกิดกระบวนการทำลาย ซึ่งหมายถึงองศาที่เกิดขบวนการ decomposition, laterization และ desiccation นอกจากนั้นแล้วการทดลองต่างชนิดกันให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนต่างกันโดย (Lambe, 1958) ได้ศึกษาอิทธิพลขององศาที่เกิดขบวนการ decomposition ที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินพบว่าดินลูกรังที่ความลึกต่างๆ ให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ต่างกัน และจากการศึกษาของ (Baldovin, 1969) พบว่า ดินลูกรังที่มีองศาที่เกิดขบวนการ laterization สูงจะทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูง

สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน การซึมผ่านของดินลูกรังขึ้นกับชนิดของหินเดิม ลักษณะตามธรรมชาติของดิน อัตราส่วนโพรงและวิธีการเตรียมตัวอย่าง ความชื้นและความหนาแน่นแห้งมีผลอย่างมากต่อการซึมผ่านของดินลูกรัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น กล่าวคือมีฤดูร้อนและฤดูฝนสลับกันเป็นระยะเวลาค่อนข้างยาวนาน สภาพภูมิอากาศเหมาะแก่การเกิดดินลูกรัง จะพบดินลูกรังมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือ หินเดิมส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินบะซอลท์ และหินดินดาน บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทยแสดงไว้ในภาพที่ 1

Hongsnoi (1969) กล่าวว่า ในประเทศไทยพบดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามวิธีการเกิดดังนี้

Primary lateritic soils หมายถึง ดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และเกิดอยู่กับที่เหนือหินเดิม เหล็กที่เป็นส่วนประกอบได้จากธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆ ลงไป และเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากขึ้นในชั้นดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในแต่ละฤดู น้ำฝนซึ่งมีออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่างๆ ละลายอยู่จะออกซิไดซ์ธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมในดินเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งมีสีแดง การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักเกิดเป็นชั้นๆ จากผิวดินจนถึงชั้นของหินเดิม ดังนี้

1. ชั้นผิวดิน

2. ชั้นดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแห้งและแข็ง เกิดจากการเกาะกันของเฮมาไทท์เป็นเม็ดเล็กๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย

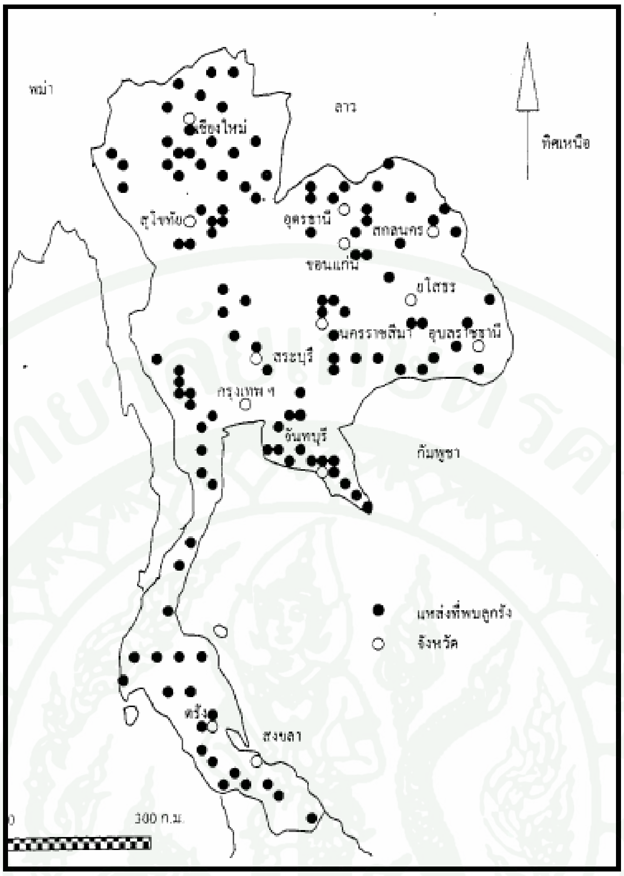
3. ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมจากการเริ่มแข็งตัวของลิโมไนท์

4. ดินเหนียวอ่อน ชุ่มชื้น และมีเหล็กออกไซด์ มีขนาดเม็ดต่างๆ
5. ชั้นดินเหนียวสีเทา มีลิโมไนท์ปนหรือแทรกตามรอยแตก

6. ชั้นหินเดิมที่ผุพัง เป็นพวกกรวด ทราย และดินเหนียว

7. ชั้นหินเดิม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย

ที่มา: สุภาพร (2528)

ขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์ก จะมีค่าต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรังและเพิ่มมากขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินเดิมที่ผุพัง โดยปกติส่วนในสุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน ผิวนอกเป็นเหล็กออกไซด์ที่แข็งกว่าความหนาของเหล็กออกไซด์จะมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อม

Secondary lateritic soils หมายถึง ดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้ายมาจากหินเดิม น้ำใต้ดินที่ไหลผ่านจะทำให้ออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวขึ้นและออกไซด์เหล็กในบริเวณนั้นด้วยดินลูกรังประเภทนี้โดยทั่วไปจะไม่แบ่งชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างๆกัน ขึ้นกับสภาพแวดล้อมต่างๆ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินที่ทับถม เหล็กออกไซด์ในดินลูกรังประเภทนี้กระจัดกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรก มักเกิดล้อมรอบกรวดหรือชิ้นส่วนของหินที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แตกหัก ทำให้ดินลูกรังประเภทนี้ขนาดเม็ดใหญ่ มีความแข็งที่แตกต่างกันปรากฏชั้นของเฮมาไทต์, ลิโมไนต์ และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดิลูกรังประเภทแรก นอกจากนี้จะปรากฏขึ้นระหว่างดินลูกรังกับหินเดิมค่อนข้างชัดเจน ขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กของดินลูกรังประเภทนี้มีค่าต่ำกว่าประเภทแรก

Pendleton and Sharasuvana (1946) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทย โดยสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณซิลิกาและเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย

เขตพื้นที่	SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	อัตราส่วนของ SiO_2/R_2O_3
Sandy soil	47.0	30.1	12.7	3.2
Basaltic country rock	23.6	39.9	21.8	0.9
Parent material of mix origin	31.3	40.0	17.7	1.4
Unknown parent material	37.9	40.1	11.9	2.1

ที่มา: Pendleton and Sharasuvana (1946)

Morrison (1965) ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย โดยสรุปไว้ในตารางที่ 2

วุฒิชัย (2526) ศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังจากแหล่งต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าดินลูกรังส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-2 ตามการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งเป็นกรวดปนดินตะกอนหรือกรวดปนทรายแป้งและดินเหนียว (Silty or Clayey Gravel) ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนน และหากจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification จะได้เป็นประเภท GW/GP และ SW/SP ส่วนประกอบของดินลูกรังส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเคโอลิไนต์ปริมาณมาก และอิลไลต์ปริมาณพอสมควร นอกจากนี้อาจพบมอนต์โมริลโลไนต์, เวอร์มิคิวไลต์, คลอไรต์, เกอไทต์และควอร์ตปนอยู่ด้วย ปัญหาที่มักพบบ่อยสำหรับดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คือ ดินมีค่า Liquid Limit และ Plasticity Indexมากกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	0.00	66.00
Liquid Limit , %	18	97
Plasticity Index , %	NP	51
การจำแนกดินตามระบบ AASHTO	A-1-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์ต่อลบ.ฟุต)	118.00	144.50
ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด , %	7.00	13.40
California Bearing Ratio , %	7.00	60.00
การบวมตัว , %	0.10	55.00

ที่มา: Morrison (1965)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มาตรฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในงานทาง

กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2532) ได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุสำหรับชั้นพื้นทางไว้ดังนี้

1. Liquid limit ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์หรือตามที่ระบุในแบบ
2. ดัชนีพลาสติกไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์หรือตามที่ระบุในแบบ
3. เปอร์เซ็นต์การขัดสี ไม่เกินร้อยละ 40
4. Lab CBR. ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์หรือตามที่กำหนดในแบบ

การแจกแจงขนาดคละสำหรับวัสดุชั้นพื้นทางกำหนดไว้ในตารางที่ 3

สำหรับชั้นรองพื้นทางมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. liquid limit ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์หรือตามที่ระบุในแบบ
2. ดัชนีพลาสติก ไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์หรือตามที่ระบุในแบบ
3. เปอร์เซ็นต์การขัดสี ไม่เกินร้อยละ 60
4. Lab CBR. ไม่น้อยกว่า 25-30 เปอร์เซ็นต์หรือตามที่กำหนดในแบบ

การแจกแจงขนาดคละสำหรับวัสดุชั้นรองพื้นทาง แสดงไว้ในตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 การแจกแจงขนาดคละสำหรับวัสดุชั้นพื้นทาง

ขนาดช่องตะแกรง	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรง %			
	เกรด A	ผสม B	เกรด C	เกรด D
2" (50.0 มม.)	100	100	-	-
1" (25.0 มม.)	-	-	100	100
3/8" (9.5 มม.)	30-65	40-75	50-85	60-100
No.10 (2.00 มม.)	15-40	20-45	25-50	40-70
No.40 (0.425 มม.)	8-20	15-30	15-30	25-45
No.200 (0.075 มม.)	2-8	5-20	5-15	5-20

ที่มา: กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2532)

ตารางที่ 4 การแจกแจงขนาดคละสำหรับวัสดุชั้นรองพื้นทาง

ขนาดช่องตะแกรง	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรง %				
	เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D	เกรด E
2" (50.0 มม.)	100	100	-	-	-
1" (25.0 มม.)	-	-	100	100	100
3/8" (9.5 มม.)	30-65	40-75	50-85	60-100	-
No.10 (2.00 มม.)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
No.40 (0.425 มม.)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
No.200 (0.075 มม.)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

ที่มา: กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2532)

อนึ่ง ข้อกำหนดการแจกแจงขนาดคละของวัสดุชั้นรองพื้นทางในเกรด A, B, C และ D นี้เหมือนกับข้อกำหนดของวัสดุชั้นพื้นทางทุกประการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วุฒิชัย (2526) ได้ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังจากแหล่งต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าดินลูกรังส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-2 ตามระบบการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งเป็นกรวดปนดินตะกอนหรือกรวดปนทรายแป้งและดินเหนียว (Silty or Clayey Gravel) ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนน และจัดเป็นประเภท GW, GP และ SW, SP ตามระบบการจำแนกดินแบบ Unified Soil Classification โดยส่วนประกอบของดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วย เคโอลิไนต์ปริมาณมาก และอิลไลต์ปริมาณพบสมควร นอกจากนี้อาจพบมอนต์โมริลโลไนต์ เวอร์มิคิวไลต์ คลอไรต์ เกอไทต์ และควอร์ตปนอยู่ ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยสำหรับตัวอย่างดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยคือ มีค่า Liquid Limit และ Plasticity Index มากกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้

วรศักดิ์ และ สมหวัง (2538) ได้ดำเนินการศึกษาพบว่า ดินลูกรังสามารถใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง ไหล่ทาง พื้นทาของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงปานกลาง และสามารถใช้เป็นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยาง เพราะเม็ดดินลูกรังจะไม่แตกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นในอากาศ แหล่งดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มักพบชั้นดินลูกรังหนาประมาณ 1.4-2.0 เมตร ค่า Liquid Limit และ Plasticity Limit ของดินลูกรังส่วนมากจะสูงกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง และถ้านำดินลูกรังผสมกับซีเมนต์จะมีคุณสมบัติใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้เป็นอย่างดี

การปรับปรุงคุณภาพของดิน

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยวิธีทางเคมี

Mitchell (1982) ได้กล่าวไว้ว่า การใช้สารเคมีผสมลงในดิน มีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินได้แก่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาตรซึ่งพิจารณาได้จากการบวมตัว และการหดตัวของดิน ปรับปรุงคุณสมบัติในการรับน้ำหนัก หรือพฤติกรรมของ Stress-Strain ของดิน ปรับปรุงการไหลซึมของน้ำที่ผ่านดิน และเพิ่มความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

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

ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยวิธีทางเคมี

1. คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ดินตามธรรมชาติจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเฉพาะตัว ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics) อาจกล่าวสรุปได้ว่า การกระจายขนาดของเม็ดดิน(Particle Size Distribution) สารอินทรีย์ สารประกอบอื่นๆ เช่น เกลือซัลเฟต หรือคลอไรด์ และองค์ประกอบทางเคมี จัดเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน

2. สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizers) โดยทั่วไปแล้ว สารเพิ่มเสถียรภาพชนิดเดียวกันที่ผสมในปริมาณที่มากกว่าจะให้กำลังมากกว่าภายใต้เงื่อนไขตัวแปรอื่นคงที่และดินนั้นมีความชื้นเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ในทางกลับกัน สารเพิ่มเสถียรภาพต่างชนิดกันย่อมมีผลต่อการพัฒนากำลังของดินด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเชื่อมประสาน(Cementitious Compounds) รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เมื่อสารเพิ่มเสถียรภาพนั้นทำปฏิกิริยากับดิน

3. น้ำ (Water) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยวิธีทางเคมี เพราะว่าน้ำจะเป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และการเพิ่มกำลังของดิน ปริมาณความชื้นในดินที่น้อยเกินไปอาจทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ไม่สมบูรณ์ หรือถ้าปริมาณความชื้นมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกินไป น้ำส่วนเกินจากปฏิกิริยา จะยังคงเหลือกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของดินที่แข็งตัวแล้วและเป็นตัวทำให้พื้นผิวลื่นเมื่อมีแรงกระทำเป็นผลทำให้ได้ค่ากำลังของดินต่ำกว่าความเป็นจริง

4. เทคนิคการปรับปรุง (Techniques of Stabilization) นอกจากองค์ประกอบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว กำลังของดินยังขึ้นอยู่กับเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพ ระยะเวลาในการผสมที่แตกต่างกัน ความเร็วในการผสม เงื่อนไขในการบ่ม ตลอดจนการเตรียมสภาพดินก่อนการปรับปรุง และการดูแลหลังการผสม (Pre and post treatment) จะมีผลทำให้กำลังของดินที่แตกต่างกันไป

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพ

1. การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (Cation Exchange) โซเดียมอิออนในดินจะถูกแทนที่โดยอิออนบวกอื่นๆ ซึ่งมีวาเลนซี่สูงกว่า หรือมีขนาดอะตอมใหญ่กว่าโดยเรียงลำดับความสามารถในการแทนที่จากมากไปน้อย คือ $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > H^{+} > Na^{+} > Li^{+}$ สำหรับอิออนลบที่พบมากคือ SO_4^{2-}, Cl^{-}, PO_4^{3-} และ NO^{3-}

2. การจับตัวกันของเม็ดดิน (Flocculation – agglomeration) การเติมสารเพิ่มเสถียรภาพลงไปในดินจะทำให้อนุภาคดินเหนียว เกิดการรวมตัวเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้น กล่าวคือ อิออนบวกจากสารเพิ่มเสถียรภาพเมื่อเข้าไปในมวลดิน จะเข้าไปจับตัวบนผิวอนุภาคของดินเหนียว สารซิลิเกตจะละลายเข้าสู่โพรงน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมประสาน ส่งผลให้เม็ดดินมีโครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อความเข้มข้นของอิออนสูงขึ้น จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของแร่ดินเหนียว ซึ่งจะทำให้วงน้ำ Double Layer หดตัวแคบเข้า อนุภาคดินเหนียวจะเกิดการดึงดูดกันเป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ อนุภาคของเม็ดดินจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้Liquid Limit ลดลง Plastic Limit เพิ่มขึ้น และ Plasticity Index ลดลง โครงสร้างของดินจะมีความมั่นคงขึ้น

3. การเชื่อมประสาน (Pozzolanic Reaction) สารซิลิกา (SiO_2) และ/หรือ Alumina (Al_2O_3) จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มเสถียรภาพที่ใช้ผสมกับดินที่อุณหภูมิปกติและมีความชื้น ทำให้เกิดสารประกอบใหม่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลานิค ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่ทำให้กำลังของดินเพิ่มมากขึ้น

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$3CaCO_3.2SiO_2.3H_2O$) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้มีผลเพียงเล็กน้อยแต่ก็ไม่ควรให้เกิดขึ้นมากเนื่องจากจะทำให้การทำปฏิกิริยาอื่นๆลดน้อยลง

คุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไป

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

2. คุณสมบัติทางด้านการบดอัด (Compaction) เมื่อผสมสารเพิ่มเสถียรภาพลงไปในดินจะทำให้คุณสมบัติของดินทางด้านการบดอัดเปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ลดลง และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของดินเดิมที่ใช้

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

เถ้าหนัก

ขั้นตอนการเกิดเถ้าหนัก

ถ่านหินจะถูกโม่บดจนเป็นผงละเอียด (Pulverized) ก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ในเตา เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นจะถูกส่งไปยังเตาเผาไหม้ถ่านหินเพื่อใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า ภายหลังจากการเผาไหม้ถ่านหินแล้วจะเกิดเถ้า 2 ชนิด คือเถ้าหนัก (Bottom Ash) กับเถ้าลอย (Fly Ash) คิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 20:80 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน ชนิดของเตาเผา กระบวนการเผา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้โดยเถ้าหนักจะตกลงก้นถัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณลักษณะโดยทั่วไปของเถ้าหนัก

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า เถ้าหนัก คือ กากหรือตะกอนที่มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีลักษณะคล้ายกับทราย ซึ่งได้จากการเผาไหม้ผงถ่านหินตามกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเถ้าหนักทั่วไปจะมีสีเทาถึงดำ หรือสีน้ำตาล อนุภาคของเถ้าหนักนั้นมีขนาดแตกต่างกันไปโดย อนุภาคส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระและมีเหลี่ยมคมเมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะป่นเป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักโดยวิธี X- Ray Diffraction พบว่าเถ้าหนักประกอบด้วยสารหลายชนิด ซึ่งเมื่อเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานคาดว่า เถ้าหนักนี้มีองค์ประกอบของสารประเภทซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ quartz, cristobalite และ mullite และจากการทดสอบโดยเครื่อง scanning electron microscope พบว่าเถ้าหนักมีลักษณะโครงสร้างอนุภาคนั้นมีขนาดที่แตกต่างและรูปร่างที่แตกต่างกันไป

สำหรับเถ้าหนักนั้น ยังไม่มีข้อกำหนดขององค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐานแต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกับเถ้าลอยซึ่งมีข้อกำหนดขององค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C 618 โดยจะใช้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิกาออกไซด์ ,อลูมินาออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ โดยแบ่งออกเป็นชั้นคุณภาพของเถ้าลอยออกเป็นชั้นคุณภาพ C และชั้นคุณภาพ F โดยที่ชั้นคุณภาพ C และชั้นคุณภาพ F ซึ่งมีผลรวมร้อยละของออกไซด์ดังกล่าวอย่างน้อย 70 และ 50 ตามลำดับ เป็นไปตามตารางที่ 5 ทั้งนี้การกำหนดองค์ประกอบดังกล่าวเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเถ้าลอยนั้นมีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างเพียงพอมากน้อยเพียงใดนอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคในระยะยาวอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีในเถ้าหนักเปรียบเทียบกับเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F และ C

องค์ประกอบทางเคมี	ชั้นคุณภาพเถ้าลอย		เถ้าหนัก
	F	C	
ผลรวมของปริมาณซิลิก้าออกไซด์ อลูมินา และเฟอร์ริกออกไซด์ SiO_2+ Al_2O_3+Fe_2O_3	>70	>50	91.87
ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO), max %	<10	>10	2
ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO , max %	-	-	0.97
ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), max %	5.0	5.0	0.07
ปริมาณความชื้น, max %	3.0	3.0	36
ปริมาณคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (Loss on Ignition , LOI), max %	6.0	6.0	-
อัลคาไลน์ในรูปของไดโซเดียมออกไซด์ (Na_2O), max %	1.5	1.5	0.45

ที่มา: ASTM C618-92a (1994)

สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 5 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณซัลเฟตมีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับน้ำหนัก/แรงอัด และเวลาในการก่อตัวได้ ทั้งยังมีผลเสียต่อคอนกรีตที่แข็งตัวอีกด้วย อย่างไรก็ตามยังมีส่วนช่วยเสริมในการเกิด Sulfate Attack

สำหรับปริมาณความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 3 มิฉะนั้นจะเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงาน (Handling Difficulty) และสำหรับชั้นคุณภาพ C แล้วจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่าของน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผาไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 6ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ หากมีค่าของน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผามากจะทำให้ความต้องการน้ำในคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าจะมีค่าของน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผาต่ำกว่าร้อยละ 6 ส่วนปริมาณอัลคาไลน์ในรูปของไดโซเดียมออกไซด์มากที่สุดไม่เกินร้อยละ 1.5 เนื่องจากมีปริมาณปูนขาวอิสระสูงจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาของ Alkali Aggregate ขึ้นได้ อย่างไรก็ตามเถ้าลอยที่มีปริมาณของไดโซเดียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 1.5 จะนำมาใช้กับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาได้ก็ต่อเมื่อผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่ปรากฏการขยายตัวจนเกิดความเสียหายได้

เศษปูนขาว (Lime Powder)

การนำเศษปูนขาวซึ่งมี CaO เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังควบคู่ไปกับการบดอัดดินนั้นยังมิได้มีการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศมากนัก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานตลอดจนถึงการนำไปใช้งานอย่างจริงจังต่อไปในอนาคต

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเศษปูนขาวโดยวิธีการ X-ray fluorescence spectrometer มีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณดังตารางที่ 6 มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ประมาณ 2.97 ลักษณะทางกายภาพของเศษปูนขาวเป็นผงสีเทาขาว

คุณลักษณะโดยทั่วไปของเศษปูนขาว

เศษปูนขาว คือ กากหรือของเหลือทิ้งที่มีลักษณะเป็นละเอียดค่อนข้างสม่ำเสมอ มีเทาหรือขาวขุ่น มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานตามธรรมชาติ เนื่องจากประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะเป็นผงร่วนไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสน้ำในปริมาณที่เหมาะสมและอายุการบ่มมากขึ้นจะแข็งตัวได้ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติที่แข็งตัวได้อันเนื่องมาจากเศษปูนขาวมีปริมาณปูนขาวอิสระ (CaO) ปนอยู่มากพอที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำจนกลายเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานต่อไปกับซิลิกาและอลูมินาจนเกิดเป็นสารเชื่อมประสานที่แข็งตัวได้ เช่น แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีในเศษปูนขาวเปรียบเทียบกับปูนขาวมาตรฐาน

คุณลักษณะ	คุณลักษระทางเคมีและฟิสิกส์ของปูนสุก			เศษปูนขาว
	ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2	ชั้นคุณภาพ 3	
แคลเซียมออกไซด์ ไม่น้อยกว่า	90	88	85	55.99
ซิลิกอนไดออกไซด์ ไม่เกิน	1.0	1.5	2.0	15.25
คาร์บอนไดออกไซด์ ไม่เกิน	2.5	3.0	3.5	—
สิ่งเจอปน				
- ไอร์ออน (III) ออกไซด์	0.4	0.4	0.4	—
- ซัลเฟอร์	0.5	1.0	1.5	—
- อะลูมิเนียมออกไซด์	1.0	1.0	1.0	2.86
- แมกนีเซียมออกไซด์	1.8	2.0	2.0	0.11
ปริมาณสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่เกิน	7.0	9.0	12.0	—

ที่มา: มอก. 319 เล่ม 1-2551

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการผสมปูนขาว

เศษปูนขาวเป็นรูปแบบหนึ่งของปูนขาวโดยมีส่วนประกอบทางเคมี อันประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 ซึ่งอาจอยู่ในรูปของปูนขาวไฮเดรต ($Ca(OH)_2$) เมื่อมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องจะทำปฏิกิริยาไม่รุนแรง และเกิดสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีของดินหลังผสมแคลเซียมออกไซด์ประกอบด้วยปฏิกิริยา อันได้แก่ ปฏิกิริยา Hydration และ Flocculation ในช่วงเริ่มต้น และปฏิกิริยาในระยะยาว อันได้แก่ Cementation และ Carbonation ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระยะยาว (Hausmann,1990)

1. Hydration ปูนขาวในรูปของแคลเซียมออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำในดินทันทีที่ถูกผสม ก่อให้เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน และสร้างรูปร่างโครงข่ายที่แข็งแรงต่อเนื่องกันมากบ้างน้อยมากตามขนาดคละของเม็ดดิน ทำให้เม็ดดินที่ไม่ถูกทำปฏิกิริยาเข้ามาใกล้ชิดกัน ซึ่งจะเพิ่มความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แข็งแรงให้กับวัสดุที่ปรับปรุงแล้วยังแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างในมวลดิน ทำให้ลดการซึมน้ำและการบวมตัวของมวลดินรวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาวะ การเปลี่ยนแปลงความชื้นรอบ ๆ อีกด้วย การทำปฏิกิริยาเช่นนี้จะมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพดินที่มีความชื้นสูง ในการผสมจะทำให้เกิดความร้อน ซึ่งความร้อนที่แผ่ออกไปจะมีผลต่อการทรุดตัวของดินอีกด้วย

2. Flocculation หรือขบวนการจับตัวกันของเม็ดดิน (Agglomeration) หลังจากเติมสารเพิ่มเสถียรภาพลงในดิน ทำให้อนุภาคขนาดเท่าดินเหนียวเกิดการรวมตัวเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้นกล่าวคือ อิออนบวกจากสารเพิ่มเสถียรภาพเมื่อเข้าไปในมวลดิน จะเข้าไปจับตัวบนผิวของอนุภาคขนาดเท่าดินเหนียว สารซิลิเกตจะละลายเข้าสู่โพรงน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมประสาน ส่งผลให้เม็ดดินมีโครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อความเข้มข้นของอิออนสูงขึ้น จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของแร่ดินเหนียว ทำให้ Liquid Limit ลดลงPlastic Limit เพิ่มขึ้น และ Plasticity Index ลดลงโครงสร้างของดินจะมีความมั่นคงขึ้น

Diamond and Kinter (1965) กล่าวว่าเนื่องจากน้ำที่อยู่ในชั้น Double layer บางลงจึงทำให้เกิดการ Flocculation และเกิดการรวมตัวของเม็ดดิน (Agglomeration) ซึ่งมีผลทำให้ค่า Liquid Limit ลดลง Plastic Limit เพิ่มขึ้น และ Plasticity Index ลดลง ปฏิกิริยา Flocculation และ Agglomeration นี้มีผลต่อค่า Plasticity Index, Shrinkage Limit และ Workability ของดิน Cation Exchange และ Flocculation-Agglomeration นี้ไม่ได้เป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้กำลังของดินผสมปูนขาวพัฒนาขึ้นมากนัก

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ จะทำให้ความเหนียวของดินเหนียวลดลงซึ่งทำให้ดินร่วนขึ้น ดังนั้นปูนขาวจึงมีประโยชน์ที่จะนำมาใช้กับวัสดุที่มีความเป็นพลาสติกสูงๆ และดินที่มีปริมาณน้ำมาก ซึ่งยากต่อการใช้งานเพราะบดอัดได้ลำบาก ซึ่งเมื่อผสมปูนขาวจะทำให้บดอัดง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ปูนขาวในการลดค่าความเหนียวของดินอีกด้วย

3. Cementation (Pozzolanic Reaction) หรือการเชื่อมประสาน ปฏิกิริยาในช่วงนี้มักจะเกิดสารผลิตภัณฑ์ใหม่สารซิลิกา (SiO_2) และ/หรืออลูมิน่า (Al_2O_3) ซึ่งจะก่อให้เกิดคุณสมบัติเชื่อมประสานตัวซึ่งกันและกัน กล่าวคือในขบวนการของการเติมปูนขาวภายหลังการเติมลงดิน ค่าความเป็นด่างจะสูงขึ้นที่สภาวะ pH สูงเช่นนี้การชะละลายของ Silica และ Alumina ในดินเพิ่มมากขึ้น โดย Silicate ที่สลายตัวออกจากโครงสร้างของอนุภาคดินมาทำปฏิริยากับ Ca^{2+} แล้วเกิดเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารประกอบใหม่ ได้แก่ Calcium Silicate Hydrate (CSH) และ Calcium Aluminate Hydrate (CAH) ซึ่งเป็นสารที่จะแข็งตัวตามเวลาและเชื่อมประสานเม็ดดินเข้าด้วยกันส่งผลให้ดินมีกำลังสูงขึ้น

Diamond and Kinter (1965) พบว่าปฏิกิริยาระหว่างดินกับปูนขาวนั้น นอกจากจะได้สารประกอบ CSH แล้วยังได้สารประกอบประเภท Calcium Aluminate Hydrate (CAH) อีกด้วย ดังสมการ

$$Ca^{2+} + 2(OH)^{-} + SiO_2 \longrightarrow CSH$$
$$Ca^{2+} + 2(OH)^{-} + Al_2O_3 \longrightarrow CAH$$

สาร CSH ที่เกิดขึ้นจากดินผสมปูนขาวเป็นสารชนิดเดียวกันกับสารที่เกิดในดินผสมซีเมนต์ แต่แตกต่างกันที่สาร CSH ในดินผสมปูนขาวเกิดจากปฏิกิริยา Pozzolanic ระหว่าง Ca^{2+} กับซิลิกาในดิน ส่วนสาร CSH ในดินผสมซีเมนต์เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์กับน้ำ

ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิด CAH โดยพื้นฐานแล้วจะเกิดขึ้นทันที และจะเกิดที่จุดต่อระหว่างขอบและผิวหน้าของดินเดิม สำหรับสารประกอบ CSH จะเกิดปฏิกิริยาที่ช้ากว่า แรงยึดเกาะซึ่งเกิดจากสารประกอบ CAH จะไม่มีความแข็งแรงเหมือนแรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ของสารประกอบ CSH

Ruenkrairergsa (1982) กล่าวว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับดินความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นอาจจะเพิ่มขึ้นได้ไม่เต็มที่ หากมีสารประกอบอื่นๆ อยู่ในมวลดินนั้นด้วย เช่น สารอินทรีย์และซัลเฟต จะทำให้ความแข็งแรงของดินผสมปูนขาวลดลง โดยจะแบ่ง Ca^{2+} มาจากปฏิกิริยา Pozzolanic Reaction ทำให้อัตราการเพิ่มของความแข็งแรงของดินผสมปูนขาวลดลง สารประกอบของเหล็ก เช่น Fe_2O_3 ที่เคลือบอยู่ในโครงสร้างของดินก็สามารถหน่วงการเกิดปฏิกิริยาให้ช้าลงได้เช่นกัน

ปฏิกิริยา Cementation เป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้กำลังของดินเหนียวผสมปูนขาวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่จากปริมาณของซิลิกาที่มีอยู่จำกัดค่าหนึ่ง ถ้ามีการใช้ปูนขาวเพิ่มมากขึ้นกว่าความต้องการในการทำปฏิกิริยากับซิลิกาในดิน ปูนขาวที่เพิ่มขึ้นนี้จะไม่ทำให้กำลังเพิ่มขึ้น และอาจทำให้กำลังลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

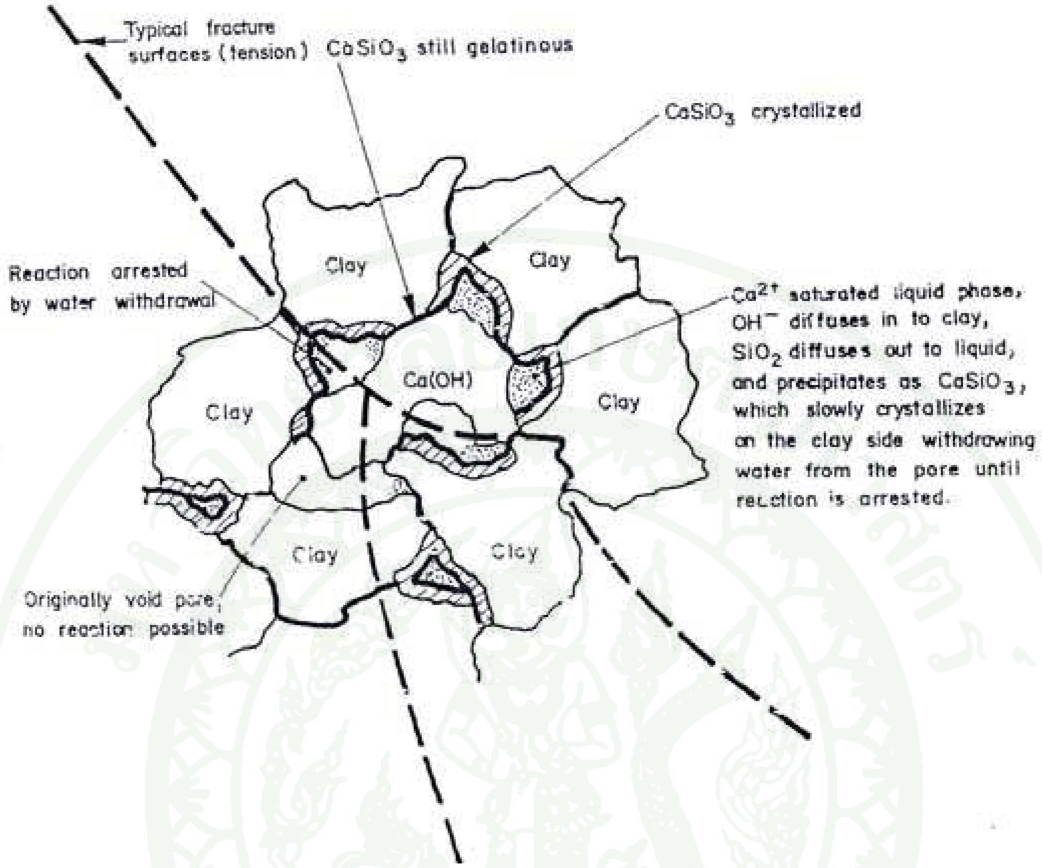
4. การเกิดสารประกอบคาร์บอเนต (Lime Carbonation) เกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หรือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) ในสารเพิ่มเสถียรภาพจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$ หรือ $3CaCO_3.2SiO_2.3H_2O$) กับน้ำ ดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$CaCO_3$ ที่เกิดขึ้นจะทำให้ Ca อิออนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา Pozzolanic ลดลง ซึ่งจะทำให้เกิดสารประกอบ Calcium Silicate Hydrate ให้ช้าลงอันเป็นผลให้กำลังของดินผสมปูนขาวช้าลงกว่าปกติ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้มีผลเพียงเล็กน้อยแต่ก็ไม่ควรให้เกิดขึ้นมากเนื่องจากจะทำให้ การทำปฏิกิริยาอื่นๆ ลดน้อยลง

Croft (1964) ได้อธิบายว่าปูนขาวซึ่งทำปฏิกิริยากับแร่ดินหรือวัสดุ Pozzolan จะทำให้เกิดสารละลาย Calcium Silicate ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนเจลห่อหุ้มเม็ดดินมีคุณสมบัติในการเชื่อมยึดเม็ดดินให้เกาะติดกันและเป็นตัวปิดกั้นทางเดินของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินดังภาพที่ 2 ซึ่งคล้ายปฏิกิริยา Hydration ของปูนซีเมนต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 กลสมบัติของปูนขาวเมื่อผสมดิน

ที่มา: Ingles (1970)

จากปฏิกิริยาข้างต้น เห็นได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังอาจมีคุณสมบัติบางประการใกล้เคียงกับส่วนผสมดินซีเมนต์ ซึ่งมีอยู่หลายมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 7 โดยต่างประเทศแถบยุโรปและอเมริกามักจะออกแบบโดยยึดมาตรฐานของ Portland Cement Association ซึ่งยึดเอาการทดลอง Freezing and Thawing เป็นหลักในการประเมินความแข็งแรงของดินซีเมนต์ เพราะมีสภาพอากาศแตกต่างกันมาก ส่วนในประเทศไทยกรมทางหลวงใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมของ Portland Cement Association แต่ประเมินความแข็งแรงของดินซีเมนต์โดยใช้มาตรฐานของ Transport and Road Research Laboratory(TRRL) คือค่า Unconfined Compressive Strength(UCS) (ธีระชาติ, 2531) จากแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่บดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานโดยใช้ปริมาณน้ำที่ Opimum Moisture Content(OMC) ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน

แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) สำหรับพื้นทางดินซีเมนต์หรือมีค่าไม่น้อยกว่า 689 กิโลพาลคัล สำหรับรองพื้นทางดิน

ตารางที่ 7 มาตรฐานการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์

ลำดับที่	สถาบัน	มาตรฐานการออกแบบ
1.	กรมทางหลวง ประเทศไทย	กำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
2.	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย	CBR ไม่น้อยกว่า 120
3.	British Road Research Laboratory	กำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
4.	กรมทางหลวง ประเทศกานา	CBR ไม่น้อยกว่า 120
5.	ประเทศแอฟริกา ส่วนมาก	CBR ไม่น้อยกว่า 120
6.	Nationnal Association of Australia State Roads Authority (NAASRA)	กำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและ CBR เมื่ออายุ 7 วันและอยู่ในสภาพแช่น้ำ 4 วัน ไม่น้อยกว่า 120

ที่มา: Ruenkrairergsa (1982)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของดิน

การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยการใช้หนัก

ในปี 2004 R.Forteza และคณะได้มีการนำเอาเถ้าหนักซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเผาถ่านหิน มาใช้ผสมลงในดินเพื่อใช้เป็นชั้นพื้นทางและรองพื้นทางในการก่อสร้างถนนในประเทศสเปน ปรากฏว่าสามารถทำให้ค่า CBR. มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเดิม และ Chandler และคณะ(1997) ได้ทำการทดสอบหาค่า CBR. ปรากฏว่าดินที่ผสมเถ้าหนัก ให้ค่า CBR. ที่สูงขึ้น แต่ว่ามีข้อมูลที่สนับสนุนผลการวิจัยน้อยเกินไป

Kim and Prezzi (2006) ได้ศึกษาหาอัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าลอยและเถ้าหนักเพื่อทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยขึ้นเรื่อยมากว่าเถ้าหนัก จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดต่ำลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่ามากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนัก

วิเศษ (2552) ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังในเกรด B และ D พบว่า การผสมเถ้าหนักในตัวอย่างดินลูกรังจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดลดลง ส่วนกำลังอัดของดินผสมเถ้าหนักจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าหนักที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด โดยอัตราส่วนผสมสูงสุดจะอยู่ประมาณ 10 % ในดินลูกรังเกรด B และ 25% ในดินลูกรังเกรด D

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย

อนิรุทธิ์ และ สุเทพ (2530) ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังในกลุ่ม GC, GP–GM และดินทรายปนดินเหนียวด้วยเถ้าลอยแม่เมาะพบว่า การผสมเถ้าลอยในตัวอย่างดินเม็ดละเอียดจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดลดลง ส่วนในดินเม็ดหยาบนั้นจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดลดลง ส่วนกำลังอัดของดินผสมเถ้าลอยจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด โดยอัตราส่วนผสมสูงสุดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 15–25 % เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังอัดของดินผสมเถ้าลอยกับดินผสมซีเมนต์ และปูนขาว พบว่า กำลังอัดของดินผสมเถ้าลอยจะมีค่าต่ำกว่าดินที่ผสมปูนซีเมนต์ แต่สูงกว่าดินที่ผสมปูนขาว

พลาการ (2542) ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยมาใช้ผสมดินลูกรัง โดยใช้ดินลูกรังกลุ่ม SC ที่นำมาจากจังหวัดระยอง และใช้เถ้าลอยลิกไลต์ จากแม่เมาะ จังหวัดลำปาง อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยต่อดินลูกรังเท่ากับ 0:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนักของดิน จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มสูงขึ้น ค่าคามหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะมีค่าลดลง สำหรับผลการศึกษาค่า CBR. พบว่าค่า Unsoaked CBR. มีกำลังเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการบ่ม ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกริยาปอซโซลาน และไม่สูญเสียความแข็งแรงเมื่อนำตัวอย่างไปแช่น้ำ แต่ถ้าปริมาณเถ้าลอยลิกต์ไนต์ต่อดินมากกว่า 1:3 พบว่ากำลังกลับลดลง การบวมตัวจะมีค่าประมาณ 80% เมื่อเทียบกับตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมเถ้าลอย

วินัย และคณะ (2543) ศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณเถ้าลอยที่ผสมในดินลูกรังและอายุการบ่มซึ่งมีผลต่อค่า CBR. ของดินลูกรังโดยอาจสรุปได้ว่า ค่า Unsoaked CBR. ของดินลูกรังผสมเถ้าลอยมีค่าแปรผันกับปริมาณเถ้าลอย และอายุการบ่ม ส่วนค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปลี่ยนแปลงไม่เด่นชัด โดยมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับปริมาณเถ้าลอย ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแปรผกผันกับปริมาณเถ้าลอย คือมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยมากขึ้นทั้งนี้เพราะการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยทำให้ส่วนละเอียดเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นเนื่องจากการบดอัดมีค่าลดลง ค่า CBR. ของดินลูกรังผสมเถ้าลอยมีค่ามากกว่า CBR. ของดินลูกรังที่ไม่ผสมเถ้าลอย นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบราคาของพื้นทางที่ทำจากหินคลุกและดินลูกรังผสมเถ้าลอยด้วย พบว่าการใช้ดินลูกรังผสมเถ้าลอยมีราคาถูกกว่าในกรณีที่แหล่งดินลูกรังอยู่ไม่ไกลจากสถานที่ก่อสร้างและระยะทางจากโรงไฟฟ้าไปยังสถานที่ก่อสร้างน้อยกว่า 287.37+22.41X กิโลเมตร เมื่อ X คือ ระยะทางจากแหล่งวัสดุถึงสถานที่ก่อสร้าง

พิทักพงษ์ และ สุรศักดิ์ (2544) ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรัง โดยใช้ดินลูกรังจากจังหวัดสุพรรณบุรีมาผสมกับเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักของดินแห้ง ผลการศึกษาการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงตามลำดับ ด้านกำลังของดินพบว่า ค่า CBR. และค่า Unconfined Compressive Strength ของดินลูกรังผสมเถ้าลอยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาบ่ม และปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าการบวมตัวลดลงประมาณ 10% เมื่อเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ได้ผสมเถ้าลอย

สมพร (2548) ได้ศึกษาพบว่าการใช้เถ้าลอยในการปรับปรุงคุณภาพดินพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยสูงขึ้น ค่าดัชนีความเหนียวจะลดลงประมาณ 1-4% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดส่วนมากคงที่ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มลดลง ค่า Unsoaked และ Soaked CBR. ของดินลูกรังผสมเถ้าลอยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยและอายุการบ่มซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า CBR. ที่อายุการบ่ม 3, 7 และ 14 วันกับค่าCBR. ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 50%, 70% และ 85% ตามลำดับ

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้ปูนขาว

Woo (1971) ได้ศึกษาวิจัยการใช้ปูนขาวผสมดินลูกรังพบว่าเมื่อใช้ปริมาณปูนขาวมากขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะลดลง ค่าปริมาณความชื้นจะมากขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Wet Compressive Strength กับปริมาณปูนขาว จะมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งพาราโบล่าคว่ำ ปริมาณปูนขาวชนิด Hydrated Lime ร้อยละ 3 จะให้ค่า Wet Compressive Strength สูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brom (1984) กล่าวว่า เมื่อพิจารณาถึงการปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น การใช้ซีเมนต์จะมีความเหมาะสมกว่าการใช้ Quicklime เพราะ ซีเมนต์มีราคาถูกกว่า Quicklime อีกทั้งการเก็บรักษา Quicklime ทำได้ยากเพราะสภาพภูมิอากาศมีความชื้น และซีเมนต์สามารถปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติสูงขึ้นอย่างชัดเจนกว่า Quicklime และ Quicklime จะมีขีดจำกัดในการปรับปรุงคุณภาพของดินอยู่

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้ปูนซีเมนต์

Winterkorn and Chandrasekharan (1951) ศึกษาดินลูกรังหลายประเทศทั่วโลกโดยนำมาปรับปรุงด้วยการผสมซีเมนต์พบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมที่จะให้กำลังสูงสุดสำหรับดินลูกรังบางประเภทใช้ซีเมนต์สูงถึงประมาณร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังได้รายงานว่า การปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์จะให้ผลที่ดีหรือไม่ขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ผสมอยู่ในดินและ Degree of Laterization

Jones and Yimsirikul (1965) ได้ศึกษาดินลูกรังที่มีค่า Plasticity Index อยู่ในช่วง 12–39 มาผสมกับซีเมนต์ แล้วทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บดอัดแบบมาตรฐาน และทดสอบหาค่า CBR. พบว่า ค่า CBR. จะมีค่ามากกว่า 100 และถ้าเพิ่มพลังการบดอัดมากขึ้นจะทำให้ทั้งค่า CBR. และ UCS ของดินผสมซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณซีเมนต์ที่จะทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าไม่ต่ำกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อายุการบ่ม 28 วัน คือปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5 นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR. และ UCS ไว้ด้วย

Department of Highways and Siam Cement (1965) ทดลองสร้างถนนตัวอย่างโดยใช้ปูนซีเมนต์ ผสมดินลูกรังในจังหวัดอุบลราชธานี โดยออกแบบให้เป็นชั้นทางกึ่งยืดหยุ่น โดยกำหนดค่า UCS ต้องอยูระหว่าง 17.5 ถึง 56.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc.) ที่อยู่การบ่ม 7 วัน โดยอธิบายว่า ถ้ากำลังสูงกว่า 56.6 ksc. จะทำให้ชั้นดินสูญเสียความยืดหยุ่นและเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นวัสดุแข็งเกร็ง ซึ่งอาจก่อปัญหาการแตกร้าวที่ผิวหน้าขึ้นได้ และกำหนดค่า CBR. ของดินซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 120 จากการทดลองพบว่า ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3 จะให้ค่า UCS ที่เหมาะสม และการผสมไม่ควรทำข้ามวันเพราะความชื้นในอากาศจะทำให้ดินซีเมนต์เสียคุณภาพไป

Moh (1967) ได้ทดลองดินลูกรังที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์10 เป็นจำนวน 6 แห่ง ในประเทศไทย ได้แก่ จันทบุรี หัวหิน ขอนแก่น เพชรบุรีและสระบุรี พบว่ามีค่า PI ประมาณ 11 ถึง19 เมื่อนำมาผสมซีเมนต์ร้อยละ 4 ถึง 7 จะทำให้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 250 psi ซึ่งเป็นข้อกำหนดของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

British Road Research Laboratory ที่ได้ทำการทดลองในแอฟริกามาแล้ว โดยค่า UCS สูงสุดจะเกิดขึ้นที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ OMC หรือมากกว่านั้นร้อยละ 2 ถ้าความหนาแน่นลดลงร้อยละ 5 จะทำให้กำลังอัดที่ 7 วัน และ 28 วัน ลดลงร้อยละ 25 และร้อยละ 40 ตามลำดับ การบ่มที่อายุ 1 วันจะทำให้กำลังอัดประมาณร้อยละ 60 ของกำลังอัดที่ 28 วัน และถ้าบ่มด้วยอุณหภูมิสูงจะเพิ่มอัตราการพัฒนากำลังและเพิ่มกำลังในระยะยาว นอกจากนี้ดินซีเมนต์ที่มีค่า UCS สูงกว่า 150 psi. อายุการบ่ม 7 วัน จะมีความคงทนต่อภาวะเปียกสลับกับแห้ง

Woo (1971) ได้ทดลองดินลูกรังในปะเทศไทยตั่งแต่ Sad Loam (A-2-4) ถึง clay (A-7-5) ซึ่งมีค่า PI ในช่วง 9 ถึง 35 ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมกับซีเมนต์ พบว่า UCS จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น และปริมาณซีเมนต์ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดแบบมาตรฐาน 250 psi.(17.5 ksc) จะอยู่ในช่วงร้อยละ 3 และ 7 ของน้ำหนักดินผึ่งแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินแห้งซึ่งใกล้เคียงกับงานก่อสร้างถนนดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่เคยสร้างในประเทศไทย

ทรงพล (2529) ทดลองนำดินลูกรังผสมซีเมนต์ มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับ CBR. และค่า Initial Tangent Modulus(E_i) กับ CBR. โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 โดยใช้อายุการบ่มเป็นเวลา 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน พบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงควรมีค่าร้อยละ 3 ขึ้นไป เมื่ออายุการบ่มมากขึ้น ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับอนุภาคดินจะมีผลต่อกำลังรับแรงอัดมากกว่าค่า Unsoaked CBR. และการเพิ่มพลังงานในการบดอัดจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

ธีระชาติ และ สุเชษฐ์ (2532) ได้ศึกษาโดยนำดินลูกรังกลุ่ม A-2-7 ในจังหวัดสกลนครมาผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 3, 4, 5, 6 และ 7 ของน้ำหนักดินผึ่งแห้งพบว่า ดินลูกรังธรรมดาเมื่อบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจะมีค่า UCS เท่ากับ 7.69 ksc. และค่า Unsoaked CBR. เท่ากับ 67 โดยได้ค่า OMC ร้อยละ 11 และความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อผสมซีเมนต์ค่า OMC จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด ความสัมพันธ์ของ UCS กับ CBR. จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นในลักษณะที่เหมือนกันและขึ้นกับปริมาณซีเมนต์และอายุการบ่ม เมื่อทดลองด้วยวิธี Wet and Dry จะมีค่าน้ำหนักสูญเสียมากในช่วง 7 วันแรก โดยให้เหตุผลว่าเป็นเพราะช่วงเวลาดังกล่าวปฏิกิริยาไฮเดรชันยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธีระชาติ และ ทรงพล (2534) ทดลองนำดินลูกรังประเภท A-2-7 ในจังหวัดสกลนคร ซึ่งมีค่าความเหนียวสูงผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 1, 3, 5 และ 7 ที่อายุการบ่มต่าง ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่า UCS กับ Unsoaked CBR. พบว่า มีความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ทั้งตัวอย่างที่บดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ทำให้สามารถทำนายค่า Unsoaked CBR. จากค่า UCS ได้ ยกเว้นแต่ปริมาณซีเมนต์ ร้อยละ 1 ซึ่งมีค่าต่ำ ในการวิเคราะห์และกำหนดค่าความสัมพันธ์อัตราการเพิ่มของ UCS และ CBR. ทุกอายุการบ่มจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดสวนที่เท่า ๆ กัน เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น และค่า OMC ของดินลูกรังกับดินลูกรังผสมซีเมนต์มีค่าต่างกันไม่ถึงร้อยละ 1

ศุภกิจ และ อติมนต์ (2544) ได้ทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินลูกรังประเภท Silty Sand หรือ A-2-4 จากจังหวัดสระบุรีผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 4 ถึง 7 บดอัดด้วยพลังงานสูงกว่ามาตรฐานในช่วงปริมาณความชื้นเท่ากับ OMC ± ร้อยละ 2 พบว่า ดินลูกรังจะมีกำลังสูงขึ้นมากเมื่อผสมซีเมนต์ โดยกำลังจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ในลักษณะที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และการพิบัติจะเกิดขึ้นค่าความเค้นต่ำกว่าดินลูกรังที่ไม่ผสมซีเมนต์ โดยการบดอัดในด้านแห้งจะให้กำลังสูงสุดสำหรับตัวอย่างที่ทดสอบโดยไม่แช่น้ำ แต่เมื่อดินซีเมนต์อยู่ในสภาพเปียกเป็นเวลานานพอสมควรกำลังจะลดลงมาก ซึ่งการบดอัดด้วยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะช่วยให้ดินซีเมนต์มีค่ากำลังที่ดีและกำลังไม่ลดลงมากนัก

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเหลือทิ้ง

ณัฏยาณี และ คุณากร(2549) ได้ดำเนินการศึกษาการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน โดยใช้แคลเซียมผสมลงในดินตัวอย่างในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แล้วทดสอบ UCS พบว่า เมื่อดำเนินการผสมแคลเซียมร้อยละ 40 จะให้ค่าประมาณ 0.418 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่า Modulus of Elasticity มากที่สุดประมาณ 348.33 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

Okagbue and Yakubu (2000) ได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ หินปูนเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตปูนซีเมนต์แทนที่การใช้ปูนขาวเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังแบบ GW-GC พบว่าเมื่อผสมสารลงในดินจะทำให้ Liquid Limit Plastic Limit เพิ่มขึ้นส่วนค่า Plasticity Index ลดลง ค่า Shrinkage Limit ลดลงตามปริมาณของสารที่ใช้ จากการทดสอบการบดอัดดินพบว่าค่า Maximum Dry Density จะลดลงส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดจะสูงขึ้นในส่วนของค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน(CBR.) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นโค้งคว่ำที่ปริมาณสารผสมเพิ่มร้อยละ 6 โดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จะให้ค่า CBR. สูงที่สุดโดยมีค่า CBR. แบบ Unsoaked เท่ากับ 90% และแบบ Soaked เท่ากับ 70% ในส่วนของการทดสอบ Unconsolidation Undrain Triaxial test พบว่าปริมาณผสมสารเพิ่มขึ้นค่า Cohesion จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่า Angle of Shearing resistance จะมีค่าลดลงตามปริมาณสารที่เพิ่มขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้วัสดุอื่นๆ

ธาดา และ เศวต (2548) ศึกษาการนำฝุ่นตะกรันเหล็กที่เป็นเศษเหลือจากการถลุงเหล็กมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง โดยใช้ดินลูกรังจากจังหวัดชลบุรี ผสมฝุ่นตะกรันเหล็กอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของดิน พบว่าเมื่อนำฝุ่นตะกรันเหล็ก ผสมลงไปในตัวอย่างดิน ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรืออาจพออนุมานได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับการทดสอบ UCS พบว่าค่า (Su) ของดินลูกรังผสมฝุ่นตะกรันเหล็กจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมต่างๆ คือร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก โดยจะมีค่า Su มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 36.751 ตันต่อตารางเมตร ค่า CBR. ของดินลูกรังผสมฝุ่นตะกรันเหล็ก จะมีค่าร้อยละ CBR. เพิ่มสูงขึ้นโดยจะมีค่าร้อยละ CBR. มีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ผู้วิจัยยังได้สรุปอีกว่าเนื่องจากฝุ่นตะกรันมีความแข็งกว่าเม็ดดินลูกรังจึงทำให้รับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกได้ดีกว่าดินลูกรังไม่ผสมฝุ่นตะกรันเหล็ก

มนตรี และคณะ (2543) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าถ่านหินบิทูมีนัส ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ามาบตาพุด จ.ระยอง และลูกรังจากจังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดระยองโดยผสมในอัตราส่วนผสม ดินลูกรัง:เถ้าถ่านหินบิทูมินัส ในอัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30, 65:35 และ 60:40 ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 90 วันตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ดินลูกรังที่ผสมเถ้าถ่านหินบิทูมีนัสจะมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสูงกว่าดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมเถ้าถ่านหิน การทดสอบกำลังอัดพบว่าก้อนทดสอบที่ผสมเถ้าถ่านหินบิทูมีนัสในอัตรา 30% ให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 90 วัน ของดินลูกรังจากจังหวัดนครราชสีมา และจากจังหวัดระยอง ได้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 60.60 ksc. และ 62.36 ksc.ตามลำดับ ค่ากำลังก้อนทดสอบจะมีค่าต่ำลงเมื่อผสมเถ้าถ่านหินบิทูมีนัสมากขึ้น ส่วนก้อนทดสอบที่ผสมเถ้าถ่านหินบิทูมีนัสที่ต่ำกว่า 30% จะให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่จะสูงมากที่สุดที่อัตรา 30%

กรวิศว์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าผสมลูกรัง โดยได้นำเอาแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าจากถนนสาย วังน้อย-อยุธยา มาผสมกับลูกรังในอัตราส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

15, 30, 45, 60, 75 และ 90% โดยน้ำหนักของดินแห้ง และทำการทดสอบUnconfined Compression Test และ CBR. พบว่า แอสฟัลท์คอนกรีตเก่าผสมลูกรัง 90% จะให้ค่า UCS มากกว่า 8 ksc. ซึ่งสามารถใช้เป็นชั้นรองพื้นทางได้ ส่วนค่า CBR. ของแอสฟัลท์เก่าผสมลูกรัง 90% จะให้ค่า Soaked CBR. เท่ากับ 70 ทั้งนี้ในการศึกษาพบว่าจำเป็นต้องใช้ปริมาณลูกรังที่ใช้ค่อนข้างสูง เพราะในผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่ามียางมะตอยผสมอยู่

จุฑามาศ และ บุษมา (2547) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังและดินเหนียวด้วยโฟมและซีเมนต์ โดยทดสอบ UCS พบว่า การผสมโฟมและซีเมนต์ ลงในดินลูกรังและดินเหนียวช่วยให้ลดน้ำหนักของดิน แต่การรับกำลังต้านทานแรงเฉือนน้อยกว่าดินเหนียวและดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ผสมโฟม ส่วนผลการทดสอบกำลังแรงดึงโดยทางอ้อม (Indirect Tensile Test) พบว่าการผสมโฟมที่ 0%, 0.1%, 0.2% และ 0.3% มีการรับกำลังอัดต้านทานแรงเฉือนได้ดีที่สุด ปัญหาที่พบในการทดสอบ คือ การผสมโฟมให้เข้ากันกับดินและซีเมนต์ทำได้ยาก เนื่องจากโฟมมีน้ำหนักเบาเกิดการฟุ้งกระจาย ผู้วิจัยยังให้ข้อเสนอว่าหากต้องนำไปใช้ในงานจริงควรมีการออกแบบเครื่องป้องกันการฟุ้งกระจายของส่วนผสมให้เหมาะสมต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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 ASTMD 1883-94)

6. ชุดเครื่องมือทดสอบความซึมน้ำของดิน (มาตรฐาน ASTM D 2434-68)

7. ชุดเครื่องมือทดสอบความสึกกร่อนของเม็ดดิน (มาตรฐาน ASTM D 131-96)

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ดินลูกรังจาก ต.เขาคันหอก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี

2. เถ้าหนักและเศษปูนขาวที่ใช้ในการผสมดินลูกรังได้มา จากบริษัทBLCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

3. น้ำ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำประปา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

ขั้นตอนการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างดินและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินธรรมชาติ 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. เตรียมตัวอย่างดินลูกรังโดยร่อนแยกขนาดของดินธรรมชาติออกเป็นแต่ละขนาดตามต้องการเพื่อนำกลับมาผสมกันใหม่ให้ได้ตามมาตรฐานชั้นพื้นทางของกรมทางหลวง

3. หาอัตราส่วนสารผสมที่ดีที่สุดของเถ้าหนักผสมเศษปูนขาว โดยทำการทดสอบค่า California Bearing Ratio ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าหนักต่อเศษปูนขาว โดยน้ำหนักของเถ้าหนักที่อัตราส่วน 1:0.1, 1:0.3, 1:0.5, 1:0.7, 1:0.9 เพื่อให้ได้ค่า California Bearing Ratio ที่สูงที่สุด

4. ผสมสารผสมเพิ่มลงไปในดินที่เตรียมไว้ในข้อที่ 2 ในอัตราส่วนส่วนผสมสารผสมเพิ่มต่อดินร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ30% ของน้ำหนักดินแห้ง โดยเพิ่มไปเรื่อยๆร้อยละ 5 ต่อครั้งจนกว่าจะได้ค่า California Bearing Ratio ที่สูงที่สุด

5. ทดสอบหาค่า Liquid Limit และ Plastic Limit ทันทีหลังผสมและดินอีกส่วนหนึ่งค่อยๆพรมน้ำจนมีความชื้นที่เหมาะสม บ่มจนครบอายุ 3 , 7 ,14 และ 28วัน แล้วจึงนำไปทดสอบหาค่า Liquid Limit และ Plastic Limit เปรียบเทียบกับดินลูกรังกลุ่มเดียวกันที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่ม

6. ทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Modified Proctor Compaction Test เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธี California Bearing Ratio แบบ Unsoaked และ Soaked CBR. ของตัวอย่างดินลูกรังและดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มซึ่งบดอัดที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น โดยตัวอย่างดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มจะทำการทดสอบที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ

8. ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของตัวอย่างดินลูกรังและดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มซึ่งบดอัดแล้ว โดยทดสอบเฉพาะที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น โดยตัวอย่างดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มนี้จะทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำทันทีหลังบดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน

9. ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

ขั้นตอนการวิจัยจะแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3

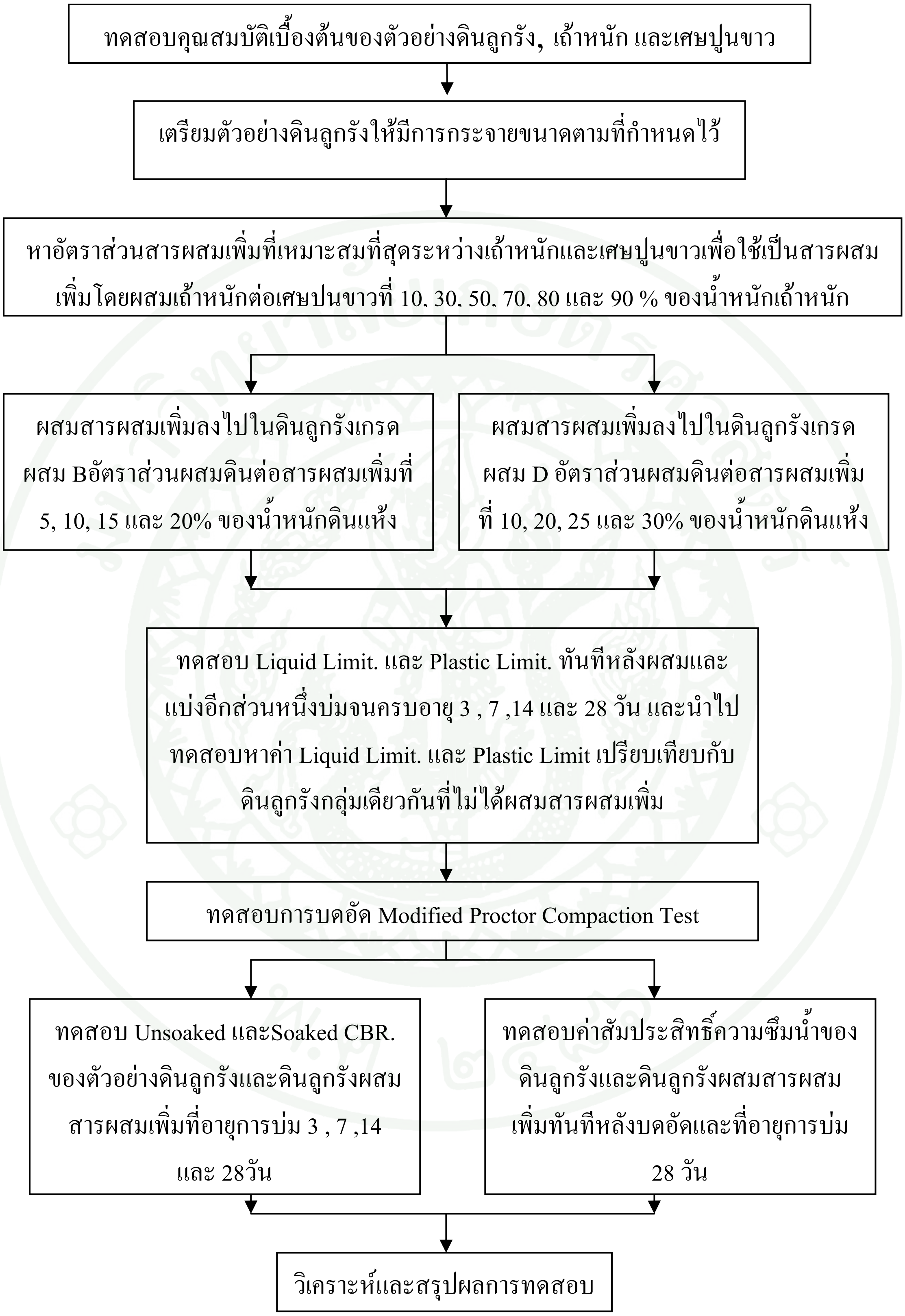
สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาในการทำวิจัย

เริ่มเตรียมตัวอย่างดินและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งทำการทดสอบ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2552 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมตัวอย่างและการเรียกชื่อตัวอย่างดิน

1. นำดินลูกรังที่ได้มาทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 ” , 3/8” , #10 , #40 และ #200 นำดินที่ค้างตะแกรงแต่ละเบอร์มาเก็บไว้เพื่อใช้ผสมเตรียมตัวอย่างอีกครั้ง

2. นำดินที่แบ่งไว้จากข้อ 1 มาเตรียมดินในเกรดผสม B และ D ตามมาตรฐานชั้นพื้นทางและรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย โดยให้มีการกระจายขนาดของเม็ดดินและการจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification System ตามภาพที่ 4 และตารางที่ 9

3. นำดินที่เตรียมไว้มาทำให้มีสภาพแห้งในอากาศเพื่อจำลองสภาพให้เหมือนการบดอัดในสนาม

สำหรับการเรียกชื่อตัวอย่างดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มนั้น มีวิธีการเรียกชื่อดังตารางที่ 8

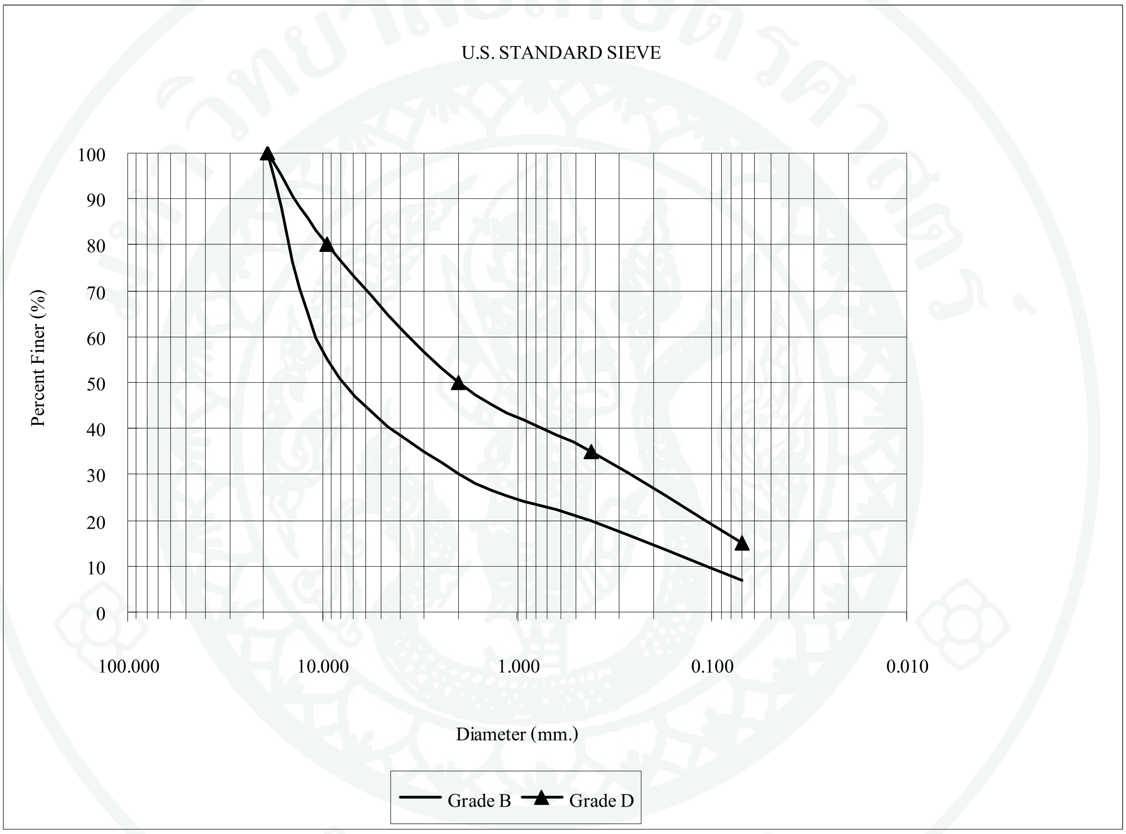
ตารางที่ 8 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกและบ่งบอกดินตัวอย่าง และผลการทดสอบต่างๆ มีดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
B_0%	ดินลูกรังเกรดผสม B ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม
B_5%	ดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่ม 5%
B_10%	ดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่ม 10%
B_15%	ดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่ม 15%
B_20%	ดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่ม 20%
D_0%	ดินลูกรังเกรดผสม D ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม
D_10%	ดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่ม 10%
D_20%	ดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่ม 20%
D_25%	ดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่ม 25%
D_30%	ดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่ม 30%
BA	เถ้าหนัก
LP	เศษปูนขาว (Lime Powder)
ZAV	Zero air void curve (เส้นแสดงปริมาตรอากาศเป็นศูนย์)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
Un	การทดสอบ CBR. แบบไม่แช่น้ำ (Unsoak CBR)
So	การทดสอบ CBR. แบบแช่น้ำ (Soak CBR)



ภาพที่ 4 การกระจายขนาดของเม็ดดินแต่ละเกรดที่ใช้ในการทดสอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 การกระจายขนาดของเม็ดดินที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดช่องตะแกรง	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรง %	
	B	D
1" (19.0 มม.)	100	100
3/8" (9.5 มม.)	55	80
No.10 (2.00 มม.)	30	50
No.40 (0.425 มม.)	20	35
No.200 (0.075 มม.)	7	15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินธรรมชาติ

ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้จากการสุ่มตัวอย่างดินจากบ่อลูกรังใน อำเภอท่ามะกาจังหวัดกาญจนบุรีจากการศึกษาดินพบว่าดินลูกรังส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดงอิฐเม็ดดินธรรมชาติมีรูปร่างค่อนข้างเป็นเหลี่ยมและมีปริมาณของดินเม็ดละเอียดปนค่อนข้างมากพิจารณาจากลักษณะเม็ดดินที่มีดินเหนียวปนจากการสุ่มตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมได้ผลดังนี้

1. ผลการทดสอบ Atterberg’s Limits มีดังนี้

   1.1 Natural Moisture Content มีค่าอยู่ระหว่าง 7.13 (± 1.00)
   1.2 Liquid Limit มีค่าอยู่ระหว่าง 23.28 – 25.97%
   1.3 Plastic Limit มีค่าอยู่ระหว่าง 15.50 – 17.51%
   1.4 Plasticity Index มีค่าอยู่ระหว่าง 7.78 – 8.36%

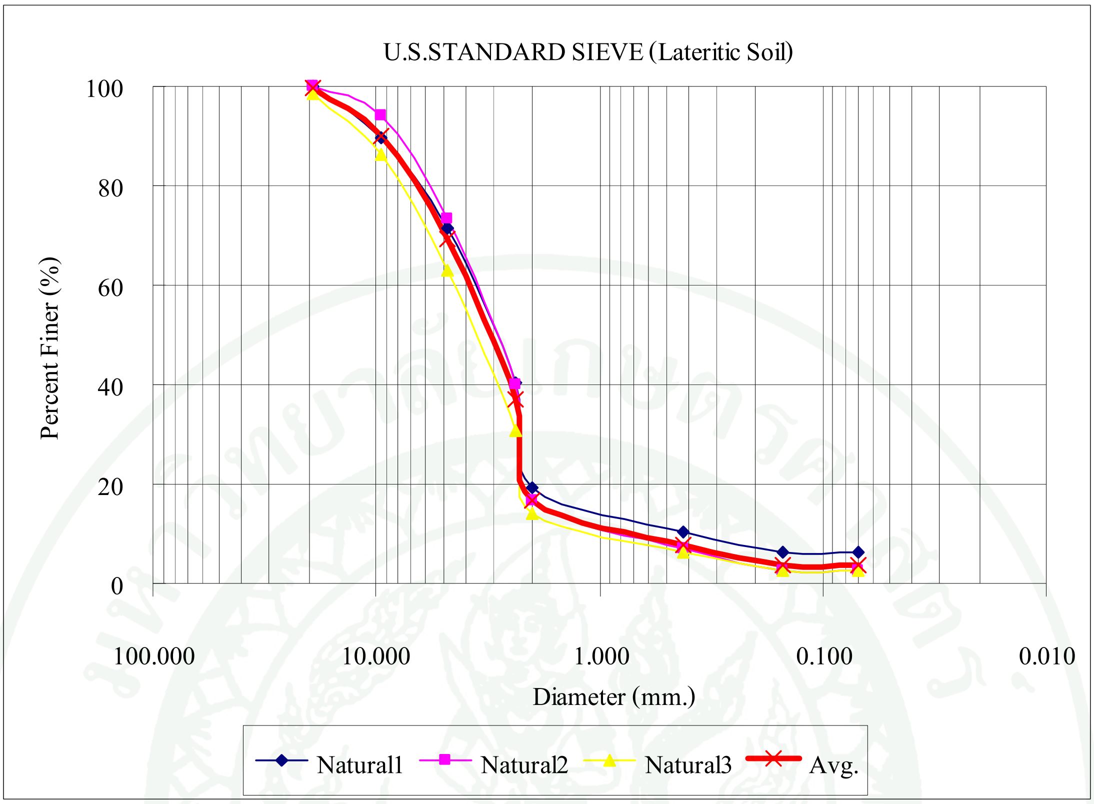
2. ความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังมีค่าอยู่ระหว่าง 2.708 (±0.020)

3. ผลการทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดินโดยวิธีร่อนแบบแห้ง พบว่าดินลูกรังประกอบด้วยปริมาณของกรวด (Gravel) ขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75-75.00 มิลลิเมตร ประมาณ 30.86 %, ปริมาณของทราย (Sand) ขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075-4.75 มิลลิเมตร ประมาณ 65.27 % และปริมาณของตะกอนทราย (Silt) หรือดินเหนียว (Clay) ขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร ประมาณ 3.87 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่มีกรวดและทรายเป็นมวลหลัก และมีตะกอนทรายหรือดินเหนียวเป็นมวลรองผลการทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดินได้แสดงไว้ดังภาพที่ 5

4. การจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification และ AASHTO พบว่าตัวอย่างดินลูกรังจัดอยู่ในกลุ่ม SC และ A-2-4 (0) โดยมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังตารางที่ 10

5. จากการทดสอบการสึกกร่อนโดยวิธี Los Angeles Abrasion Test พบว่าตัวอย่างดินลูกรังมีเปอร์เซ็นต์ความสึกกร่อน เท่ากับ 60.60 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 การกระจายขนาดของเม็ดดินของตัวอย่างดินลูกรังที่สุ่มเก็บมาจากบ่อยืมดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินลูกรัง

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ
องค์ประกอบเนื้อดิน (ระบบ Unified)	
- กรวด (%)	29.28
- ทราย (%)	54.50
- ตะกอนทรายหรือดินเหนียว (%)	16.22
Natural Water Content (%)	7.13 (± 1.00)%
Specific Gravity	2.708 (±0.020)
Atterberg's Limit	
- Liquid Limit (%)	23.28 – 25.97%
- Plasticity Limit (%)	15.50 – 17.51%
- Plasticity Index (%)	7.78 – 8.36%
การจำแนกดินระบบ Unified	SC
การจำแนกดินระบบ AASHTO	A-2-4 (0)
Los Angeles Abrasion (%)	60.60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณสมบัติของเถ้าหนัก

คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเถ้าหนัก

เถ้าหนักที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเถ้าหนักบิทูมินัสที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียดจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีลักษณะคล้ายกับทราย มีสีเทาถึงดำ หรือสีน้ำตาล อนุภาคของเถ้าหนักนั้นมีขนาดแตกต่างและฟุ้งกระจายได้ง่าย

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของเถ้าหนัก

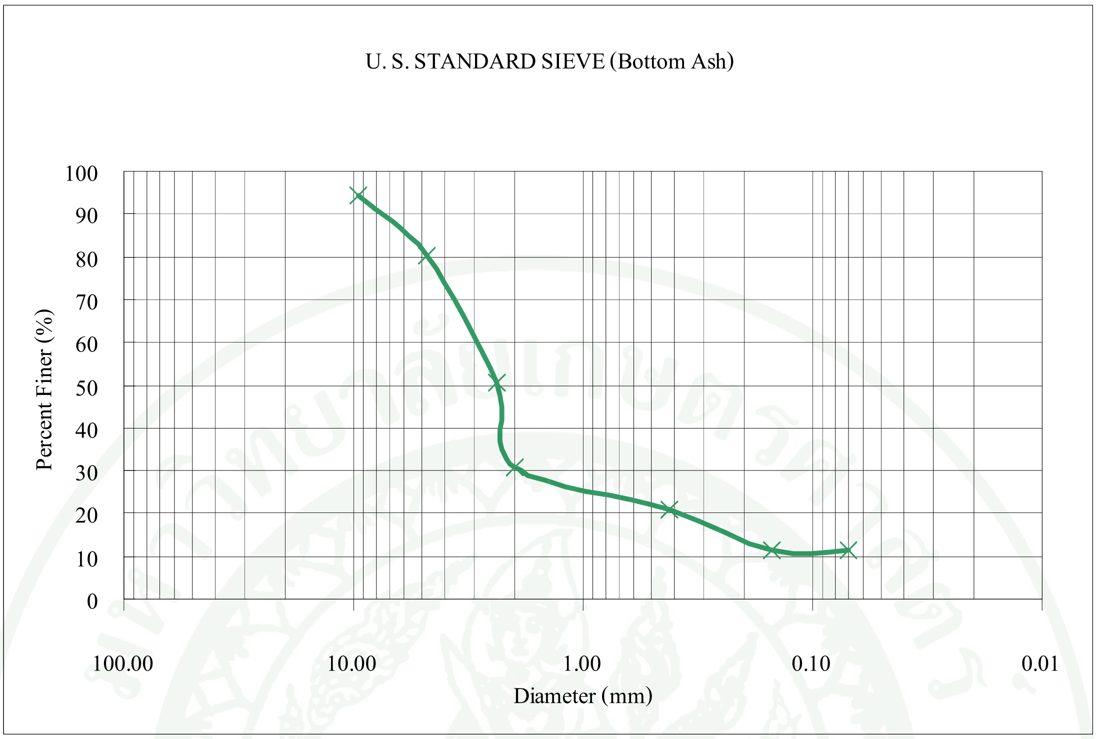
1. ผลการทดสอบการหาปริมาณความชื้นได้ 36.00 (± 3.00)%

3. ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะได้ 2.250 (± 0.020)

5. การกระจายขนาดของเม็ดดิน

ผลการทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดินได้แสดงไว้ดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่าการกระจายตัวของเม็ดดินเป็นแบบมีขนาดคละกันดี (Well-grade) การจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification และ AASHTO พบว่าตัวอย่างดินลูกรังจัดอยู่ในกลุ่ม SP และ A-3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 การกระจายขนาดของเถ้าหนักที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติทางด้านเคมีของเถ้าหนัก

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ในตัวอย่างที่ใช้ทดสอบในโครงการนี้ โดยใช้วิธีวิเคราะห์คือ Wavelength dispersive X-ray Fluorescence spectrometer พบว่า เถ้าหนักที่ได้มีองค์ประกอบของสารหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในดินลูกรัง,เถ้าหนัก และเศษปูนขาว

วัสดุ	ปริมาณธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)						
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	Fe_2O_3
ดินลูกรัง	0.04	0.70	13.43	73.36	0.05	0.20	3.43
เถ้าก้นเตา	0.45	0.97	18.00	64.23	0.07	2.00	9.64
เศษปูนขาว	0.14	1.28	2.86	15.25	12.78	55.99	6.45

หมายเหตุ *

1. ปริมาณธาตุหาโดยวิธี Theoretical formulas, " fundamental parameter calculation"
2. ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้คำนวณค่าให้อยู่ในรูป oxide ของธาตุนั้นๆ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของโลหะในเถ้าหนักด้วยเครื่อง X-ray Fluoresence Spectrometer พบว่าองค์ประกอบหลักของเถ้าหนักได้แก่ ซิลิกาออกไซด์มีค่าร้อยละ 64.23, อลูมินาออกไซด์มีค่าร้อยละ 18, เฟอร์ริกออกไซด์มีค่าร้อยละ 9.64และแคลเซียมออกไซด์มีค่าร้อยละ 2 เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าหนักกับประเภทของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTMC618 พบว่าเถ้าหนักที่ใช้ในการทดสอบนี้มีคุณสมบัติทางเคมีไม่ไม่ผ่านข้อกำหนดของการแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยในทุกชั้นมาตรฐาน เนื่องจากมีผลรวมของ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 น้อยกว่าร้อยละ 50 และมีปริมาณ CaO น้อยกว่าร้อยละ 10

คุณสมบัติของเศษปูนขาว

เศษปูนขาวที่นำมาทดสอบนี้เป็นขยะที่นำมาจากโรงไฟฟ้า BLCP POWER จากการสุ่มตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมได้ผลดังนี้

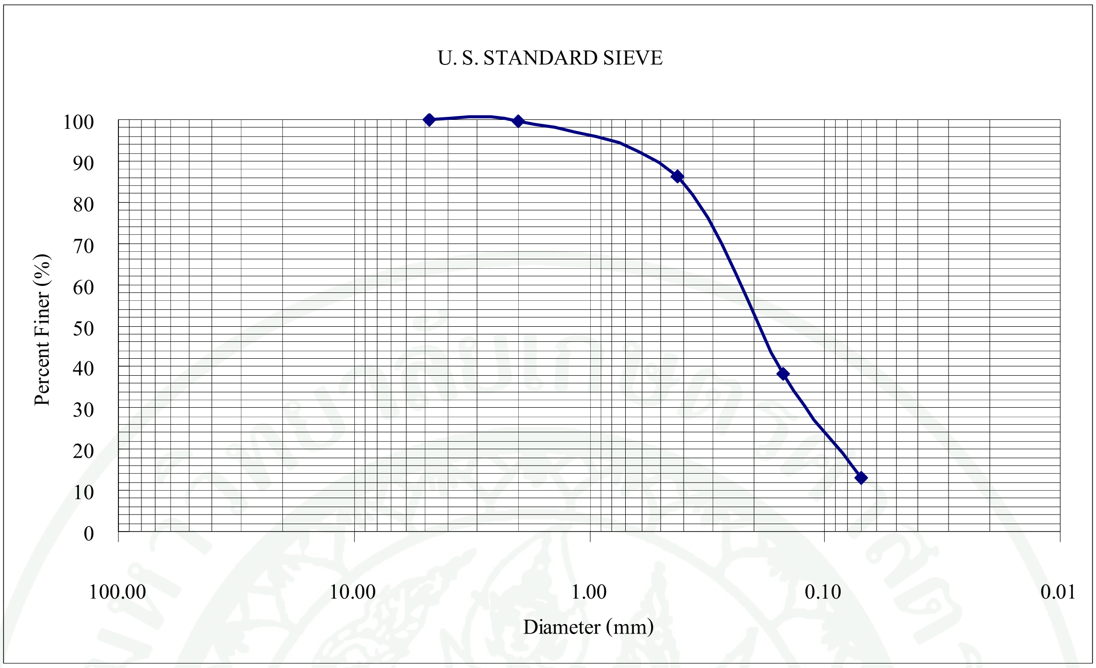
1. Natural Moisture Content มีค่าอยู่ที่ 0 %

3. ความถ่วงจำเพาะได้ 2.97

5. การกระจายขนาดของเม็ดดิน

ผลการทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดินได้แสดงไว้ดังภาพที่ 7 ซึ่งพบว่าการกระจายตัวของเม็ดดินเป็นแบบมีขนาดสม่ำเสมอกัน (Poorly-grade) การจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification และ AASHTO พบว่าตัวอย่างดินลูกรังจัดอยู่ในกลุ่ม SM และ A-4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 การกระจายของเศษปูนขาว A (Lime Powder)ที่ใช้ในงานวิจัย

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังเกรดผสม B, D, เถ้าหนักและเศษปูนขาว

คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังเกรดผสม B และเกรดผสม D ที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ ค่า Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index ซึ่งผลการทดสอบต่างๆ ได้แสดงดังตารางที่ 12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบ Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมเกรด B, D, เถ้าหนักและเศษปูนขาว

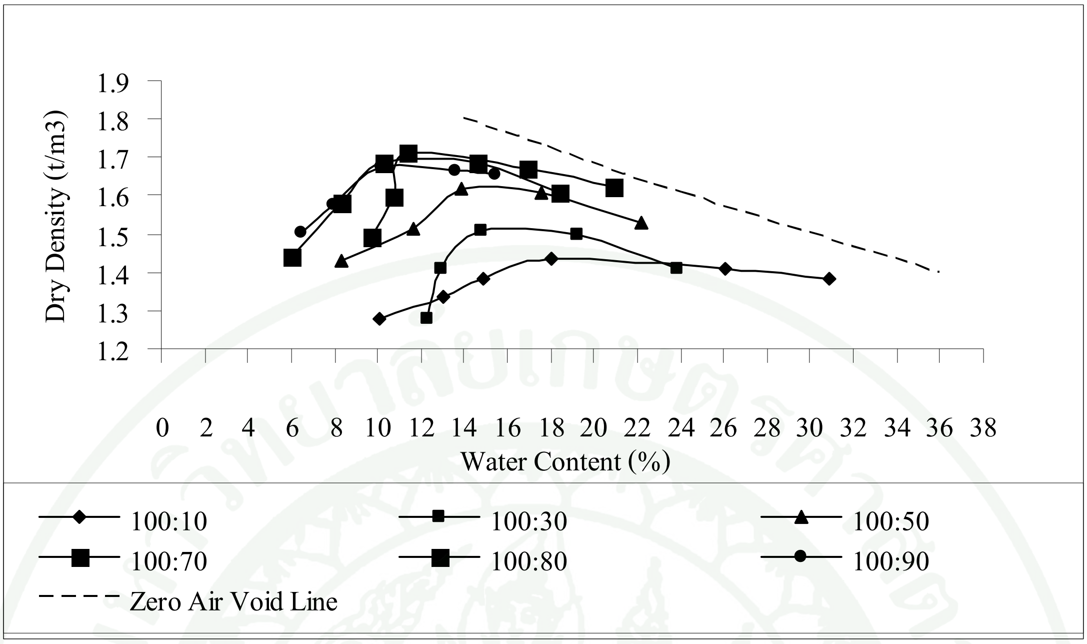
กลุ่มดิน	Atterberq's Limits		
	Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index
เกรดผสม B	22.65	16.36	6.29
เกรดผสม D	25.90	14.68	11.21
เถ้าหนัก	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
เศษปูนขาว	18.75	ไม่มี	ไม่มี

ผลการหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของสารผสมเพิ่มระหว่างเถ้าหนักผสมเศษปูนขาว

ผลการทดสอบด้านการบดอัด

การบดอัดสารผสมเพิ่มระหว่างเถ้าหนักและเศษปูนขาว จะทำให้ทราบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งการทดสอบนี้จะผสมน้ำหนักของเถ้าหนักต่อน้ำหนักของเศษปูนขาว ที่อัตราส่วน 1:0.1, 1:0.3, 1:0.5, 1:0.7, 1:0.8, 1:0.9 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่างๆ

จากผลการทดสอบเมื่อผสมสารผสมเพิ่มในอัตราส่วน 10%, 30%, 50%, 70%, 80% และ 90% พบว่าค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าเป็น 1.44, 1.51, 1.62, 1.71, 1.70 และ1.68 t/m^3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผสมสารผสมเพิ่มเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การทดสอบ California Bearing Ratio : CBR

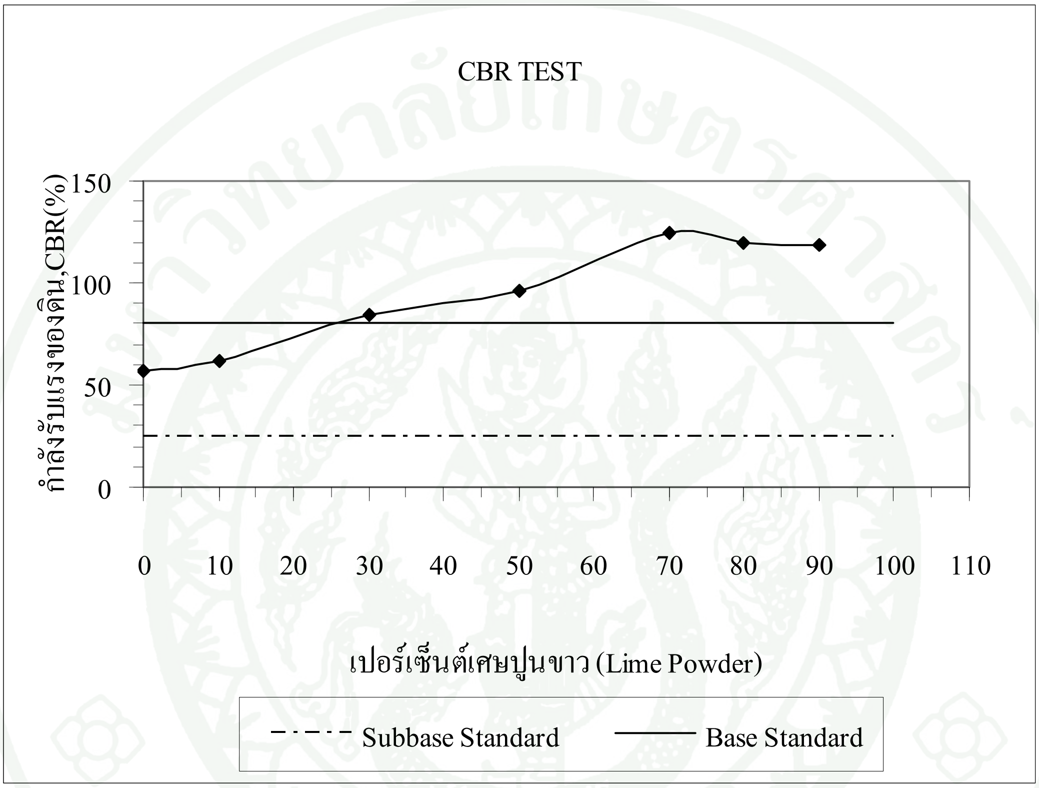
เป็นการทดสอบวัดแรงเฉือน(Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว เพื่อนำมาใช้ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนนและสนามบินโดยอ้างอิงจากมาตรฐานกรมทางหลวง(2544) ดังนี้

วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นทางต้องมีค่าCBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุรองพื้นทางต้องมีค่าCBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการทดลองจะทดสอบ CBR ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าหนักและเศษปูนขาว ที่ 1:0.1, 1:0.3, 1:0.5, 1:0.7, 1:0.8 และ1:0.9 ตามลำดับ โดยจะทดสอบค่า CBR ที่จุด Maximum Dry Density และ Optimum Water content จากการทดสอบการบดอัดที่ส่วนผสมต่างๆ โดยจะได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ค่าการทดสอบ CBR ที่อัตราส่วนผสมต่างๆของสารผสมเพิ่ม

จากผลการทดสอบเมื่อผสมสารผสมเพิ่มในอัตราส่วน 10%, 30%, 50%, 70%, 80% และ 90% พบว่าค่า CBR มีค่าเป็น 62.11%, 84.05%, 96.53%, 124.67%, 119.33% และ 119.012% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า CBR มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อผสมสารผสมเพิ่มเพิ่มขึ้นถึง 70% ซึ่งจะได้ค่า CBR สูงที่สุดโดยได้ค่าที่ 124.67 %

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังเกรดผสม B, D, และสารผสมเพิ่ม

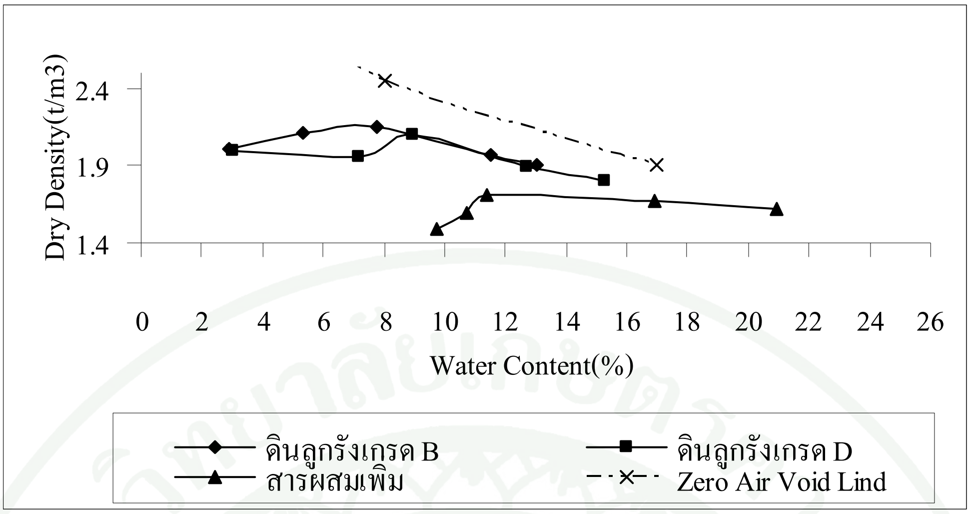
คุณสมบัติด้านการบดอัด

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินลูกรังกลุ่มเกรดผสม B และเกรดผสม D ที่เตรียมขึ้น โดยการบดอัดด้วย Mold มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว ใช้พลังงานในการบดอัดประมาณ 56000 ปอนด์-ฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต (lb.-ft./ft.^{3}) จากผลการศึกษาพบว่าดินลูกรังเกรดผสม B เกรดผสม D และสารผสมเพิ่มมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MDD) ประมาณ 2.15, 2.10, และ1.71 ตันต่อลูกบาศก์เมตร (t/m.^{3}) ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณความชื้นเหมาะสม (OMC) พบว่าดินลูกรังเกรดผสม B เกรดผสม D และสารผสมเพิ่มมีปริมาณความชื้นเหมาะสม เท่ากับ 7.20, 8.40, และ12.10% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาพิจารณาพบว่าการที่ดินลูกรังเกรดผสม B ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดรองลงมาคือดินลูกรังเกรดผสม D และสารผสมเพิ่มตามลำดับ ในส่วนของค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมพบว่าดินลูกรังในกลุ่มเกรดผสม B จะมีค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมน้อยที่สุด ส่วนในดินลูกรังเกรดผสม D และสารผสมเพิ่ม จะมีค่าความชื้นเหมาะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะดินลูกรังเกรดB มีปริมาณของกรวดมากแต่มีปริมาณส่วนดินเม็ดละเอียดน้อยทำให้มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดสูงแต่ปริมาณความชื้นเหมาะสมต่ำและในกลุ่มอื่นๆจะมีปริมาณกรวดน้อยลงแต่มีปริมาณส่วนของดินเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลงแต่ปริมาณความชื้นเหมาะสมกลับสูงขึ้นดังตารางที่ 13 และภาพที่ 10

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินลูกรังผสมเกรด B, D และสารผสมเพิ่ม

กลุ่มดิน	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	ปริมาณความชื้นเหมาะสม (%)
เกรดผสม B	2.15 (±0.20)	7.20 (±0.20)
เกรดผสม D	2.10 (±0.30)	8.40 (±0.50)
สารผสมเพิ่ม	1.712 (±0.10)	12.1 (±0.20)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นของดินลูกรังผสมเกรด B,D และสารผสมเพิ่ม

คุณสมบัติด้านกำลัง

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังของดินลูกรังโดยการทดสอบ California Bearing Ratio แบบ Unsoaked และ Soaked CBR. ของลูกรังเกรดผสม B และ D ที่เตรียมขึ้นแสดงไว้ดังตารางที่ 14 จากผลการทดสอบพบว่า ดินลูกรังเกรดผสม B จะให้ค่า Unsoaked และ Soaked CBR. สูงกว่าดินลูกรังเกรดผสม D ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการบดอัดและลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดินที่มีปริมาณขนาดเม็ดกรวดและทรายผสมอยู่เป็นปริมาณมาก ส่วนค่า CBR ของสารผสมเพิ่มนั้น ที่มีค่าสูงมากก็เนื่องมาจากเศษปูนขาว ที่มีอยู่ในส่วนผสมเพิ่มทำปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น จึ่งส่งผลให้เกิดการยึดเกาะตัวกันอย่างหนาแน่น ทำให้ค่าที่ได้มีค่าที่สูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบ Unsoaked และ Soaked CBR. ของดินลูกรังผสมเกรด B, D และสารผสมเพิ่ม

กลุ่มดิน	California Bearing Ratio (CBR.), (%)	
	Unsoaked	Soaked
เกรด B	30.55	21.33
เกรด D	15.40	12.01
เถ้าหนัก	56.63	36
เศษปูนขาว	120	-
สารผสมเพิ่ม	124.67	-

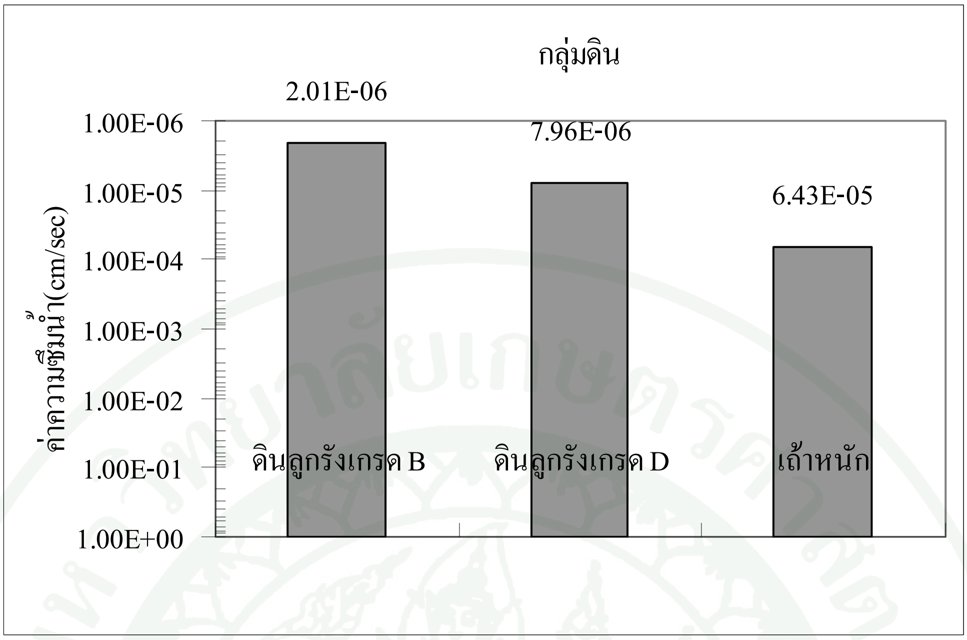
คุณสมบัติทางด้านความซึมน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความซึมน้ำขอดินลูกรังในกลุ่มเกรด B, และ D ซึ่งทดสอบโดยวิธี Constant Head แบบใช้ความดันเข้าช่วย โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังกลุ่มต่างๆดังแสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 11 พบว่า ดินลูกรังในกลุ่มเกรดผสม Bจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำต่ำสุด ในขณะที่ดินลูกรังกลุ่มเกรดผสม D และเถ้าหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำเฉลี่ยของดินลูกรังเกรดผสม B มีค่าต่ำกว่าดินลูกรังเกรดผสม D อยู่ประมาณ 1.6 เท่า และเถ้าหนักมีความซึมน้ำสูงที่สุด

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมเกรด B, D และเถ้าหนัก

กลุ่มดิน	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ(cm./sec.)
เกรด B	2.01E-06
เกรด D	7.96E-06
เถ้าหนัก	6.43E-05

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินกลุ่มต่างๆ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังเกรดผสม B และ D ที่เตรียมขึ้นผสมสารผสมเพิ่มในอัตราส่วน 10% ในดินลูกรังเกรด B และ 25%ในดินลูกรังเกรด D ของน้ำหนักดินแห้ง โดยพิจารณาจากค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม โดยการศึกษาจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ประเด็นคือ 1. พิจารณาอิทธิพลของปริมาณสารผสมเพิ่มต่อค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มโดยทดสอบทันทีหลังผสม และ 2. อิทธิพลของอายุการบ่มต่อค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มเปรียบเทียบกับดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมสารผสมเพิ่ม

อิทธิพลของปริมาณสารผสมเพิ่มต่อค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index แสดงไว้ดังตารางที่ 16-17 และ ภาพที่ 12-13 จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้นจะทำให้ค่า Liquid Limit มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย โดยทั้งดินลูกรังเกรดผสม B และเกรดผสม D พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มค่า Liquid Limit มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า Plastic Limit ในดินลูกรังเกรดผสม B มีแนวโน้มคงที่ ส่วนในดินลูกรังเกรดผสม D มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Plasticity Index มีแนวโน้มลดลงทั้งในดินลูกรังเกรดผสม B และ D ดังนั้นจากผลการทดสอบสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้นจะส่งผลทำให้ดินลูกรังมีค่าความเหนียวลดลง

เมื่อพิจารณาถึงผลของอายุการบ่มของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มโดยเปรียบเทียบค่า Liquid Limit , Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มในกลุ่มเดียวกัน ทดสอบทันทีหลังผสมและที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน แสดงไว้ดังตารางที่ 16-17 และภาพที่ 12-13 พบว่าค่า Liquid Limit ของดินลูกรังเกรดผสม B และเกรดผสม D มีแนวโน้มคงที่ ในขณะที่ค่า Plastic Limit มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยทั้งในดินลูกรังเกรดผสม B และ ส่วน Plastic Index มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเถ้าหนักและเศษปูนขาวเป็นวัสดุที่ไม่มีความเหนียว (Non-Plasticity) แต่ในวัสดุเศษปูนขาวนั้นเมื่อทำการบ่มโดยทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เกิดการยึดเกาะกันมากขึ้น เมื่อนำมาผสมลงดินจึงทำให้ความเหนียวของดินลดลงในช่วงแรกและจะเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อยตามอายุการบ่ม

ตารางที่ 16 ค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม

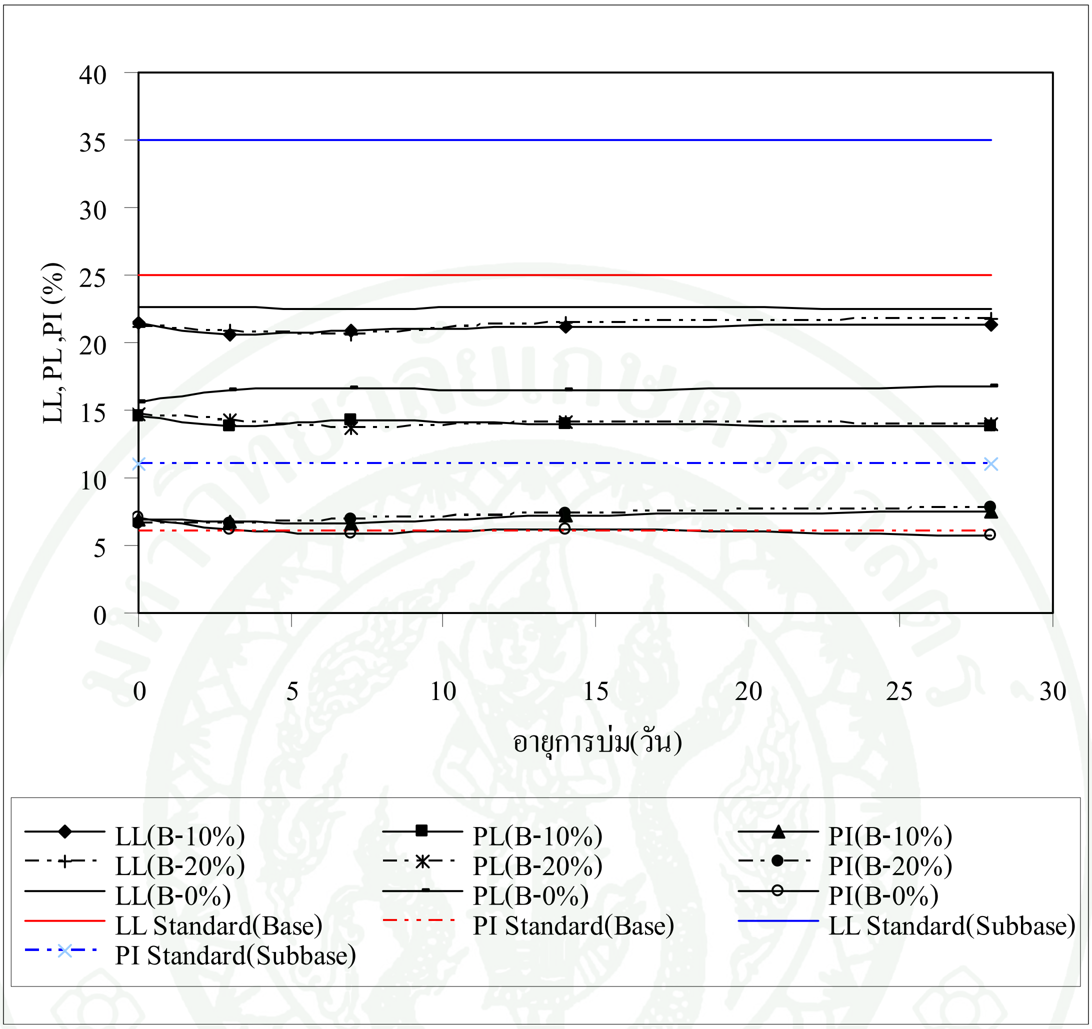
ปริมาณสารผสมเพิ่ม	อายุการบ่ม (วัน)				
%	หลังผสม	3	7	14	28
	Liquid Limit (%)				
10	27.50	26.53	26.89	27.16	27.26
20	27.25	26.93	26.62	26.87	26.95
	Plastic Limit (%)				
10	20.54	20.19	20.30	19.95	19.78
20	20.07	19.06	19.71	19.45	19.27
	Plasticity Index (%)				
10	6.95	6.77	6.59	7.21	7.49
20	6.55	7.87	6.91	7.42	7.68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

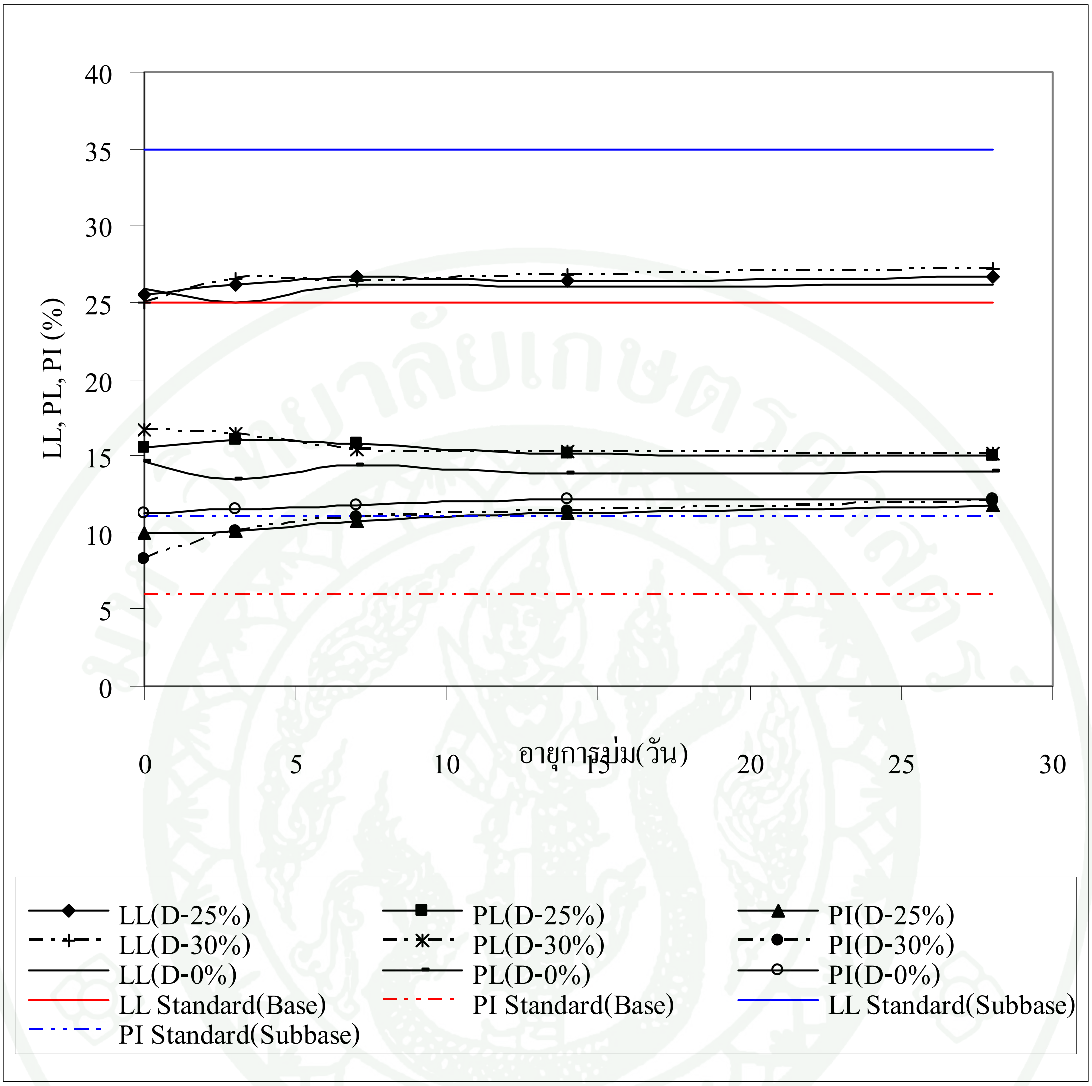
ตารางที่ 17 ค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม

ปริมาณสารผสมเพิ่ม	อายุการบ่ม (วัน)				
%	หลังผสม	3	7	14	28
	Liquid Limit (%)				
25	26.85	27.11	26.62	26.44	26.73
30	26.45	27.00	26.44	26.76	26.03
	Plastic Limit (%)				
25	20.87	21.04	20.85	20.21	20.31
30	22.13	21.23	20.40	20.32	19.51
	Plasticity Index (%)				
25	5.97	6.07	5.77	6.23	6.42
30	4.32	5.77	6.04	6.44	6.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index กับปริมาณสารผสมเพิ่มและอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index กับปริมาณสารผสมเพิ่มและอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังเกรดผสม B และD ผสมสารผสมเพิ่ม

คุณสมบัติด้านการบดอัด

ผลการทดสอบบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานโดยใช้ Mold มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว มีพลังงานประมาณ 56,000 ปอนด์.ฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต(lb.ft/ft^3) โดยที่ดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสม 5, 10, 15, 20 %โดยน้ำหนักของดินแห้ง และดินลูกรัง

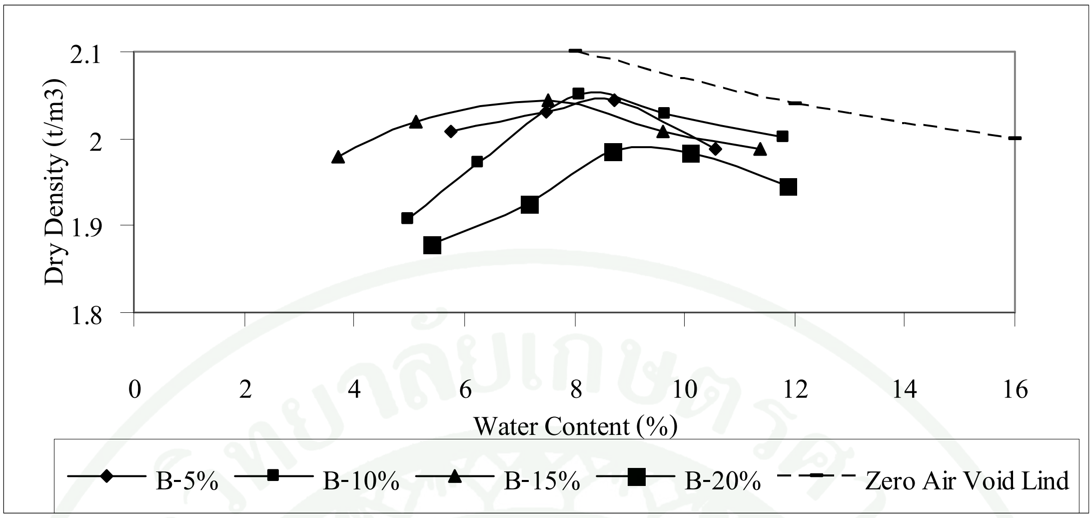
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสม 10, 20, 25, 30 %โดยน้ำหนักของดินแห้งแสดงไว้ดังตารางที่ 18 และภาพที่ 14-17 จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลงทั้งในดินลูกรังเกรดผสม B และเกรดผสม D สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดจากการผสมสารผสมเพิ่มที่มีน้ำหนักเบากว่าดินลูกรังลงไปแทนที่จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง ในส่วนของค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินลูกรังเกรดผสม B และ D มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารผสมเพิ่มเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากสารผสมเพิ่มที่ผสมลงในดินลูกรังมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าดินลูกรังมากพื้นที่ผิวจำเพาะจึงสูงกว่าและสามารถดูดซึมน้ำได้เป็นอย่างดีทำให้ความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอนุภาคดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

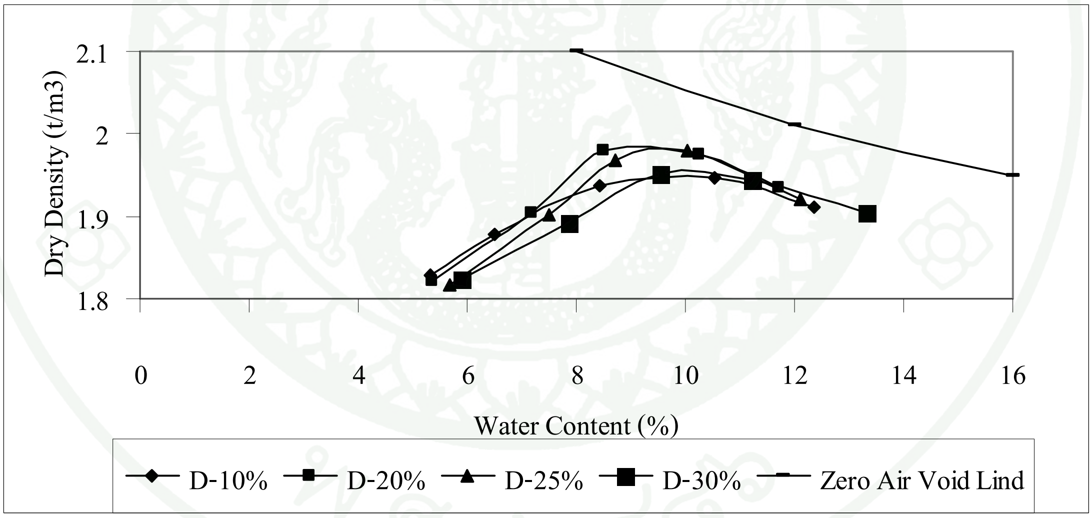
ตารางที่ 18 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม

กลุ่มดิน (Grade)	ปริมาณสารผสมเพิ่ม (%)	Maximum Dry Density (t/m^3)	Optimum Water Content (%)
B	0	2.15	7.2
	5	2.07	8.8
	10	2.04	8.4
	15	2.01	8.2
	20	2.00	9.3
D	0	2.10	8.4
	10	1.95	9.8
	20	1.99	9.0
	25	1.98	9.6
	30	1.96	10.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

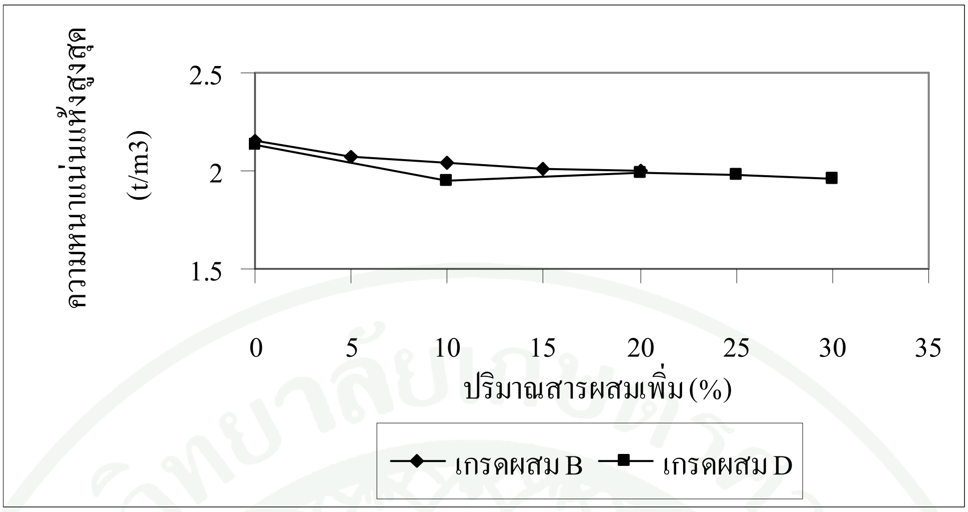


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นของสารผสมเพิ่มและดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

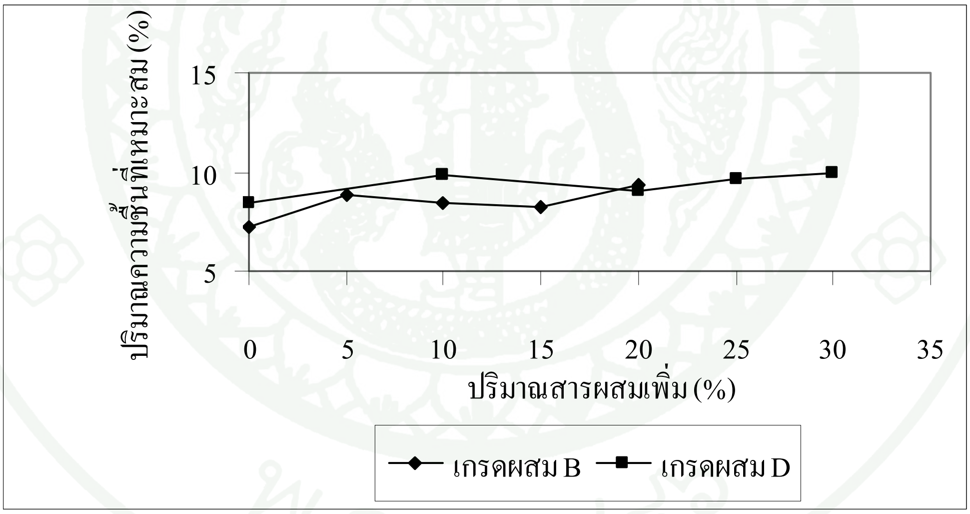


ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรัง ผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรัง ผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณสมบัติด้านกำลัง

ผลการทดสอบ Unsoaked และ Soaked CBR ของดินลูกรังเกรดผสม B และ D ที่เตรียมขึ้นผสมสารผสมเพิ่มโดยที่ดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสม 5, 10, 15, 20 % โดยน้ำหนักของดินแห้ง และดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสม 10, 20, 25, 30 %โดยน้ำหนักของดินแห้งทดสอบทันทีหลังบดอัดและที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน โดยผลการทดสอบแสดงไว้ดังตารางที่ 19-20

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบ Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม

กลุ่มดิน	ปริมาณสารผสมเพิ่ม	CBR (%). อายุการบ่ม (วัน)				
		0	3	7	14	28
เกรดผสม B	0	30	38	44	62	74
	5	39	55	57	101	130
	10	57	92	112	255	355
	15	46	83	131	208	310
	20	42	74	77	205	264
เกรดผสม D	0	15	24	86	118	185
	10	22	35	86	118	185
	20	45	62	112	165	280
	25	58	66	128	199	317
	30	49	60	87	163	265

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบ soaked CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม

กลุ่มดิน	ปริมาณสารผสมเพิ่ม	CBR(%).				
		อายุการบ่ม (วัน)				
		0	3	7	14	28
เกรดผสม B	0	21	27	35	48	57
	5	42	66	126	195	275
	10	93	115	202	364	456
	15	77	110	187	335	401
	20	53	82	132	290	377
เกรดผสม D	0	12	15	27	34	41
	10	120	152	215	310	379
	20	140	174	242	360	442
	25	173	180	267	280	457
	30	153	166	245	260	436

อิทธิพลของปริมาณสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อค่า Unsoaked และ Soaked CBR พบว่า จากการทดสอบในดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่ม ค่า CBR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่ปริมาณสารผสมเพิ่มที่ให้ค่ากำลังของดินมีค่าสูงที่สุดคือ 10% ของน้ำหนักดินแห้ง และจากการทดสอบในดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มให้ค่าสูงสุดคือ 25% ของน้ำหนักดินแห้งจากนั้นแม้จะเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มมากขึ้นกำลังของดินลูกรังก็จะไม่เพิ่มขึ้นแต่จะทำให้กำลังของดินลูกรังลดลงโดยผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ 2 ประเด็นดังนี้

1. เนื่องจากดินลูกรังเกรดผสม B เป็นดินที่มีขนาดคละกันค่อนข้างดี เมื่อผสมสารผสมเพิ่มเข้าไปในดินจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดคละและปฏิกิริยาทางเคมี โดยที่เมื่อผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วน 5% และ 10% อนุภาคของสารผสมเพิ่มจะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินเม็ดใหญ่และยังมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นจึงทำให้ค่า CBR. ที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อผสมที่อัตราส่วนผสม 15% และ 20% สารผสมเพิ่มจะเข้าไปแทนที่ดินลูกรังที่มีขนาดคละที่ดีอยู่แล้ว และถึงแม้จะมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น แต่ทำให้ขนาดคละนั้นด้อยลงจึงทำให้ผลของการขัดสีระหว่างเม็ดดินมีค่าน้อยลงจึงทำให้ค่า CBR. มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ แต่ในดินลูกรังเกรดผสม D เมื่อผสมสาร

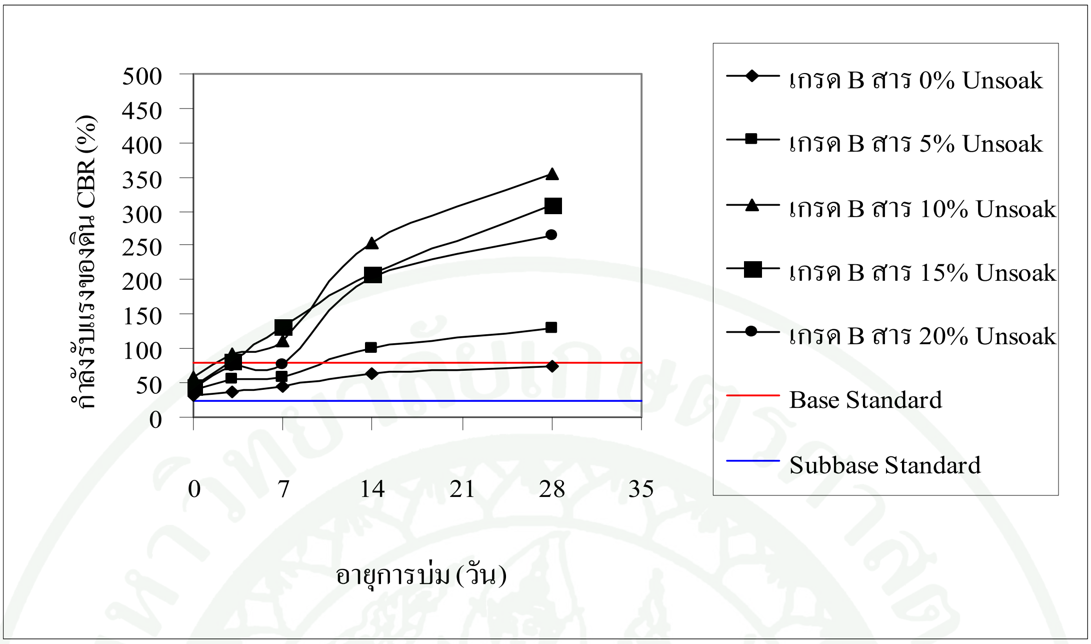
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผสมเพิ่มลงไป สารผสมเพิ่มจะเข้าไปทำหน้าที่เติมเต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินและเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นทำให้ค่า CBR. สูงขึ้น และเมื่อผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วน 25% สารผสมเพิ่มจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเข้าไปเติมเต็มช่องว่างได้ดีที่สุด ทำให้ได้ค่า CBR. ที่มากที่สุด และเมื่อทำการผสมสารผสมเพิ่มมากกว่านี้ ค่า CBR. มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารผสมเพิ่มที่เพิ่มมากขึ้น

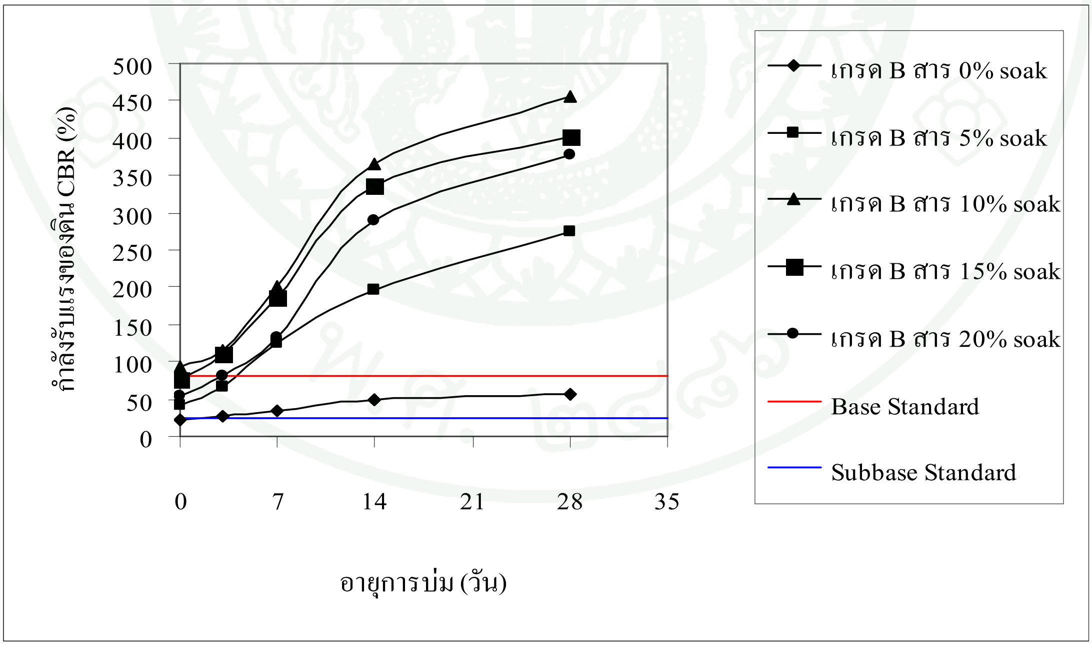
2. เศษปูนขาวจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติดิน โดยมีส่วนทำให้ซิลิกาและอลูมินาในดินชะออกมามากขึ้นในขณะเดียวกันเศษปูนขาวจะช่วยเพิ่ม Ca ที่จะทำปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นทั้งหมด การเติมสารผสมเพิ่มซึ่งเป็นสารปอซโซลานจะมีส่วนเร่งการทำปฏิกิริยา เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ เช่น CSH ในลำดับต่อมา ช่วยทำให้ดินมีความเชื่อมประสานได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากในดินหนึ่งๆ จะมีซิลิกาและอลูมินาอยู่ในปริมาณหนึ่ง อัตราส่วนของปูนขาวที่ไม่สมดุล และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัดส่วนสารผสมเพิ่มเพิ่มขึ้น จึงไม่มีส่วนช่วยให้กำลังของดินเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามสารผสมเพิ่มจะไปลดอัตราส่วนของปูนขาวซึ่งโดยทั่วไปให้กำลังสูงกว่า จึงเป็นสาเหตุทำให้กำลังของดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนสารผสมเพิ่มที่มีปริมาณมาก

อิทธิพลของอายุการบ่มที่มีต่อค่า CBR เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 18-29 พบว่าค่า CBR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอายุการบ่มในช่วงแรก 3 ถึง7 วันนั้นค่า CBR จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และหลังจากนั้นในช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 28 วัน ค่า CBR จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องรวดเร็ว

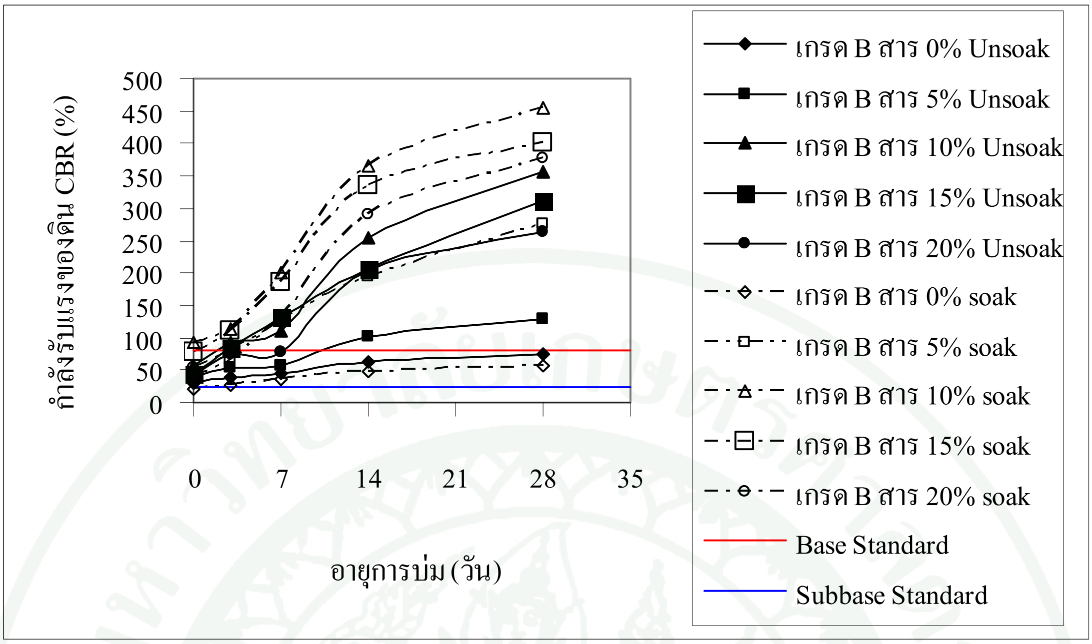
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



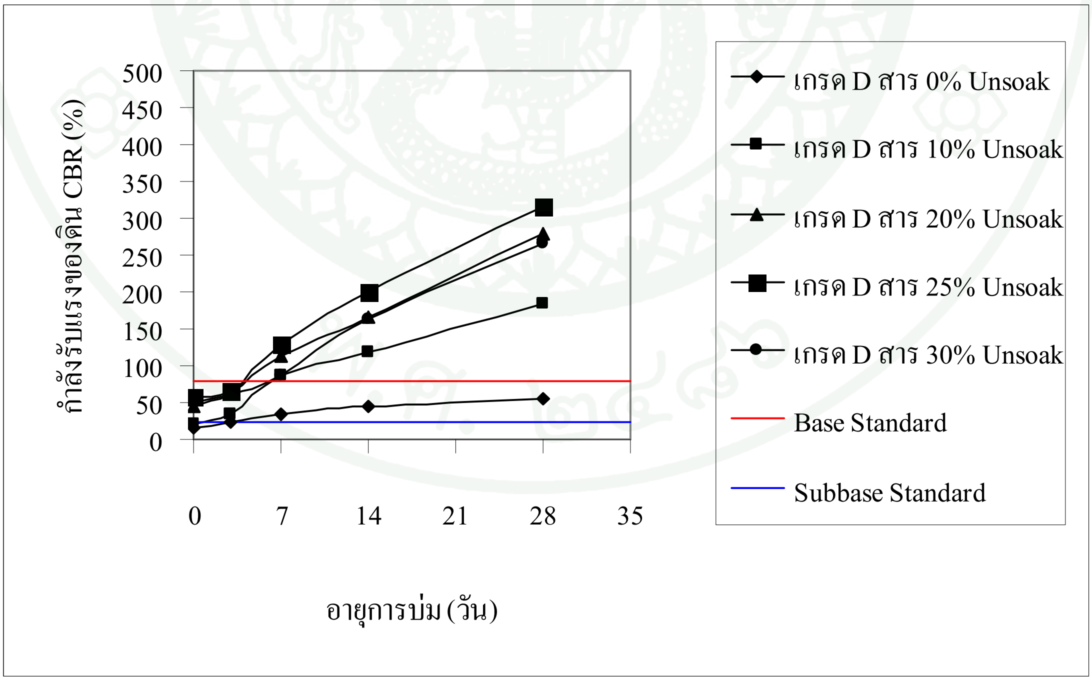
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม



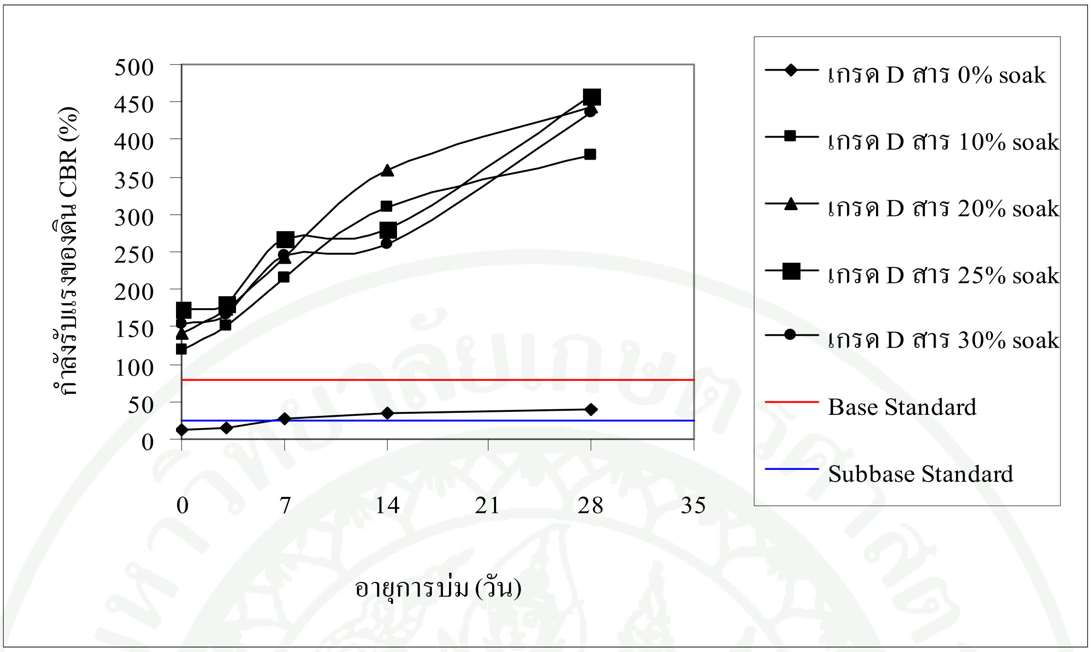
ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม



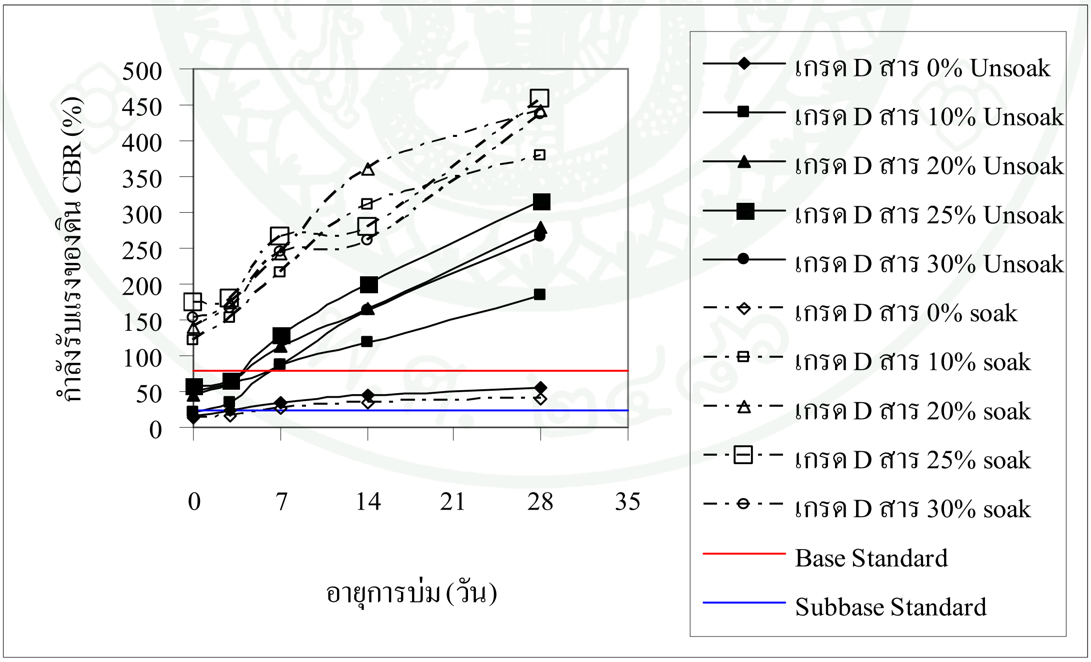
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม



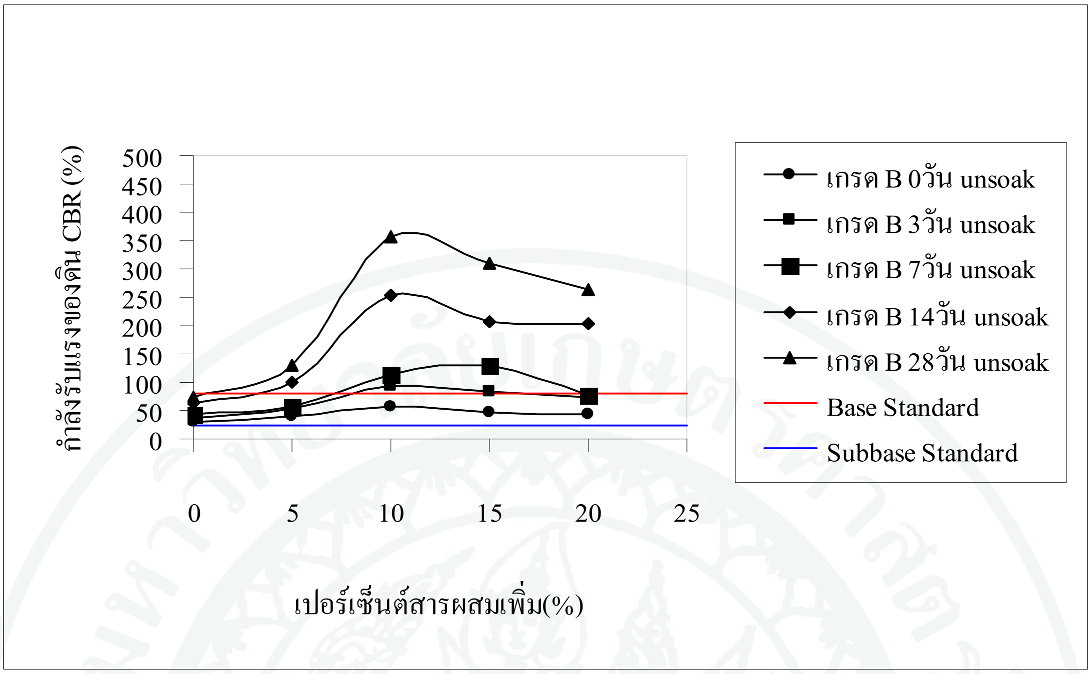
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม



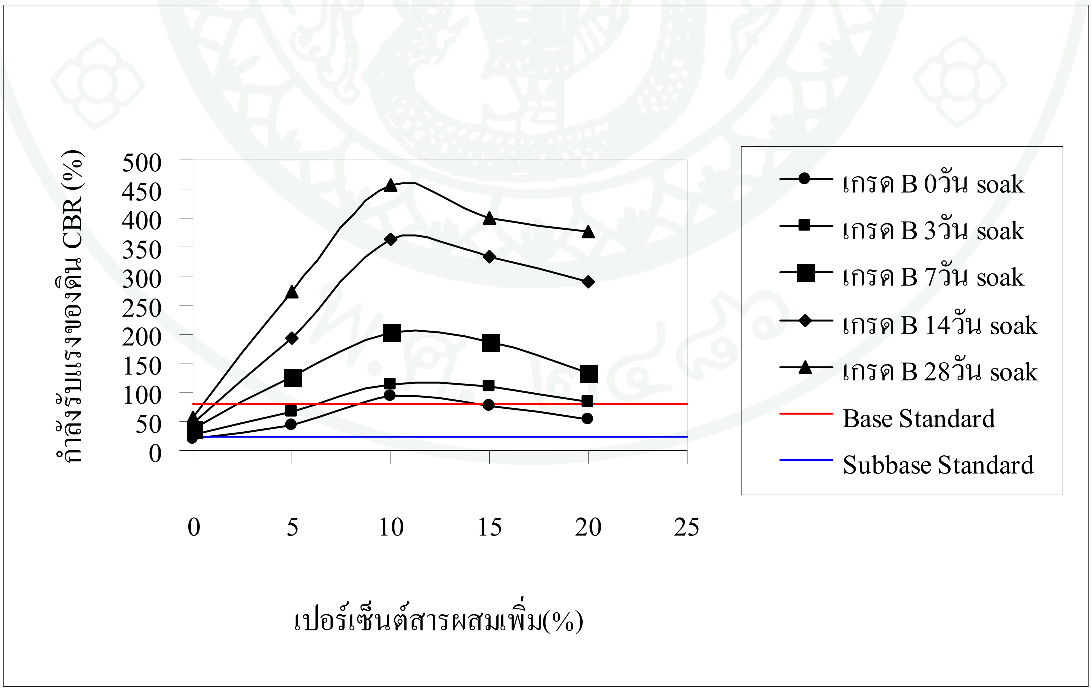
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังผสมเกรดD ผสมสารผสมเพิ่ม

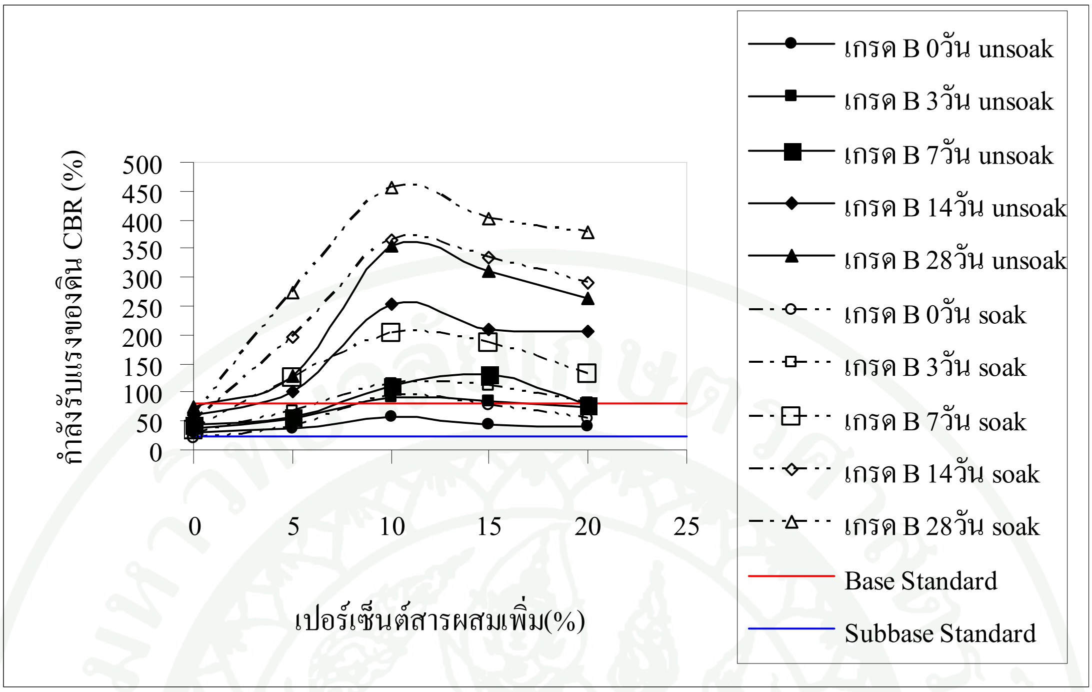


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B

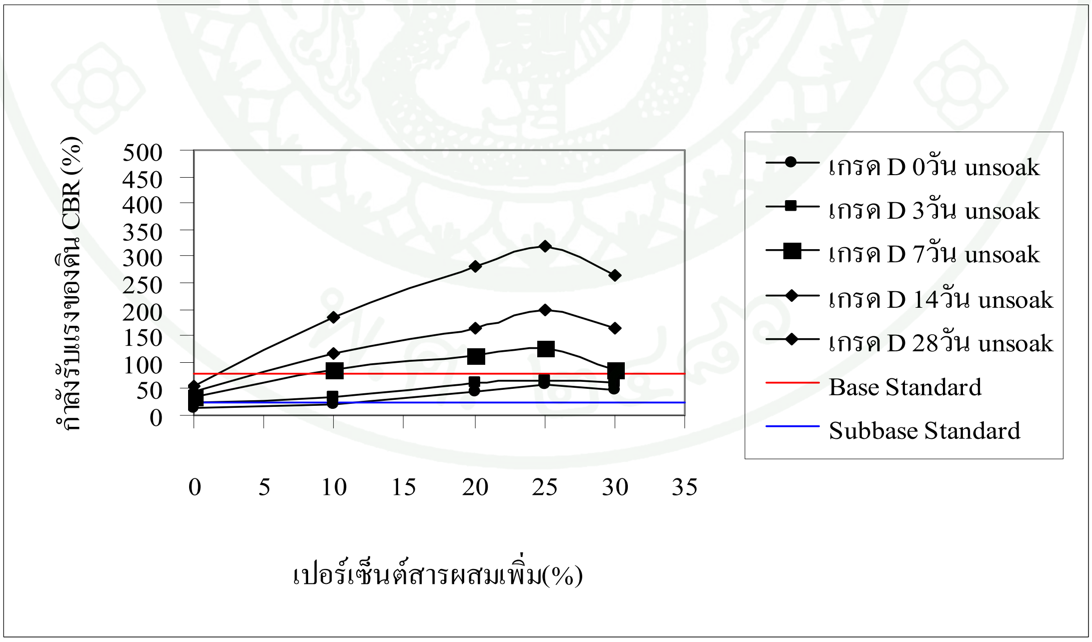


ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B

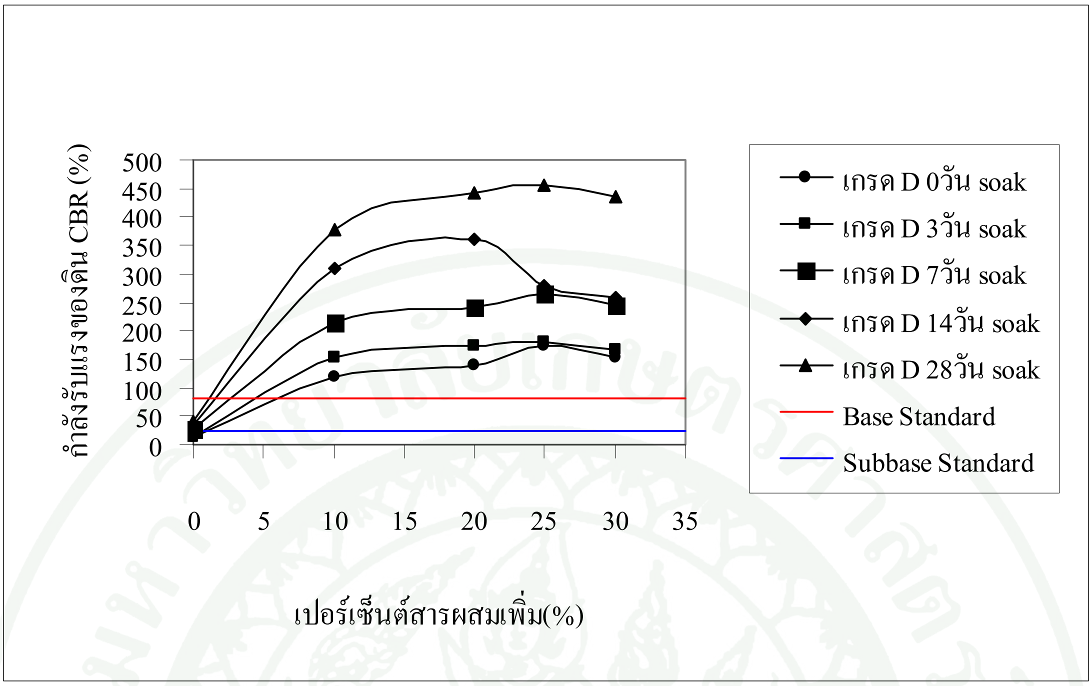
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



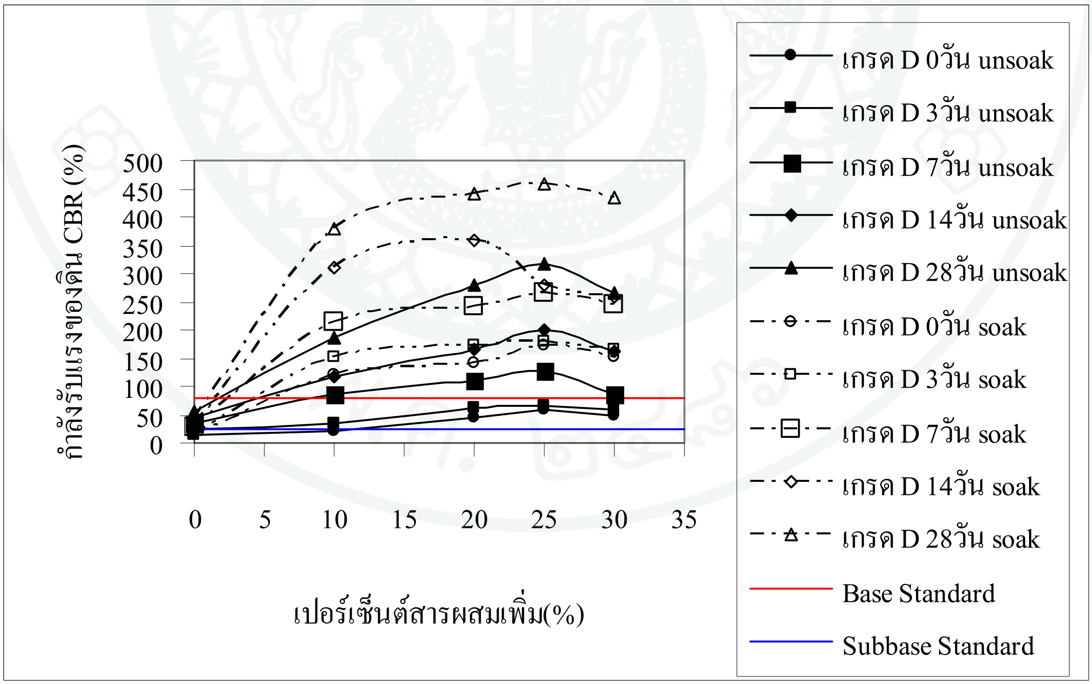
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณสารผสมของผสมดินลูกรังผสมเกรด D



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D



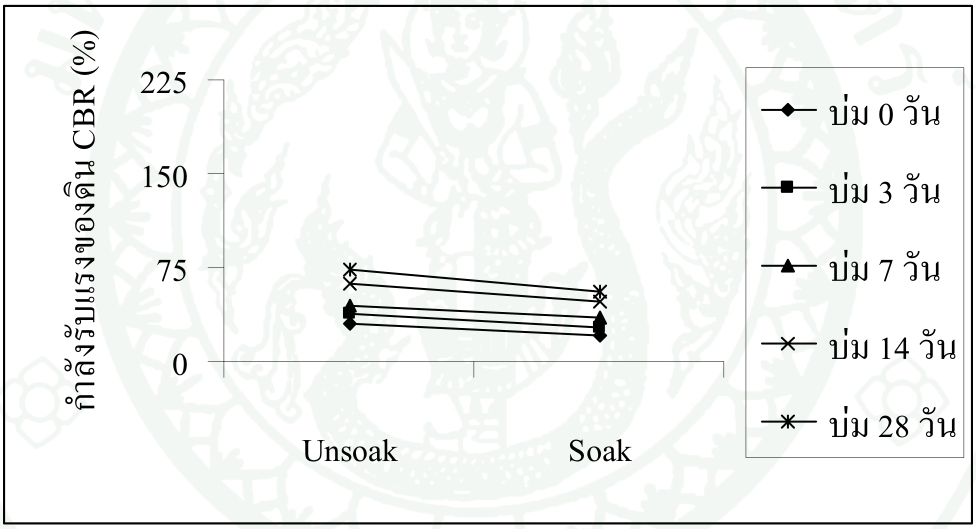
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

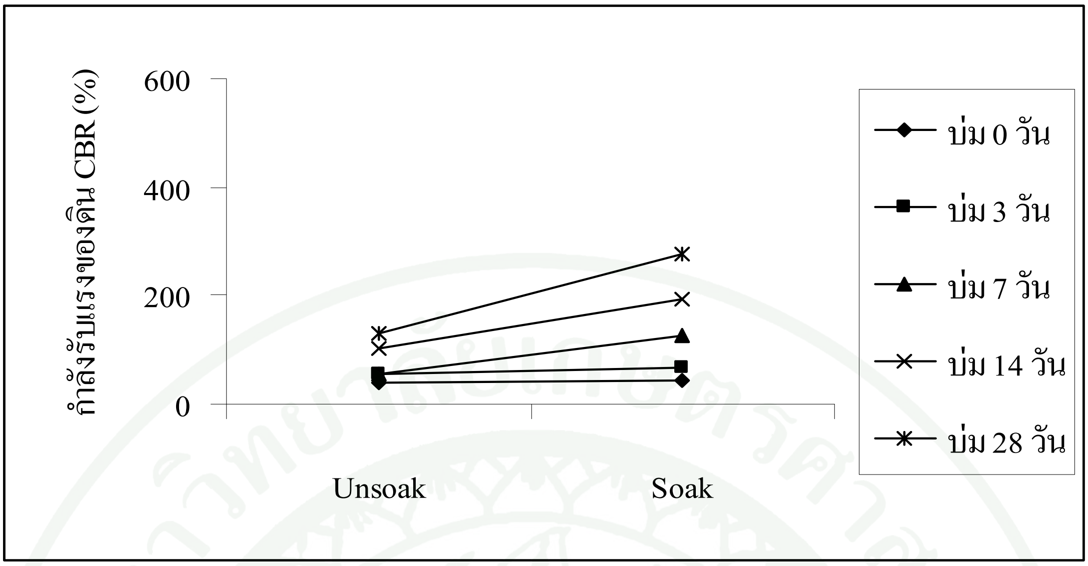
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงของดินลูกรังระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR เพื่อให้เห็นค่าความแตกต่าง ดังแสดงในภาพที่ 30 – 39

จากผลการทดลองจะเห็นว่าในดินลูกรังผสมเกรด B และ D ที่ยังไม่ได้ทำการผสมสารผสมเพิ่ม ค่า Unsoak CBR จะมีค่าสูงกว่า Soak CBR อยู่ 25-44% และ20-60% ในดินลูกรังเกรด B และD ตามลำดับ

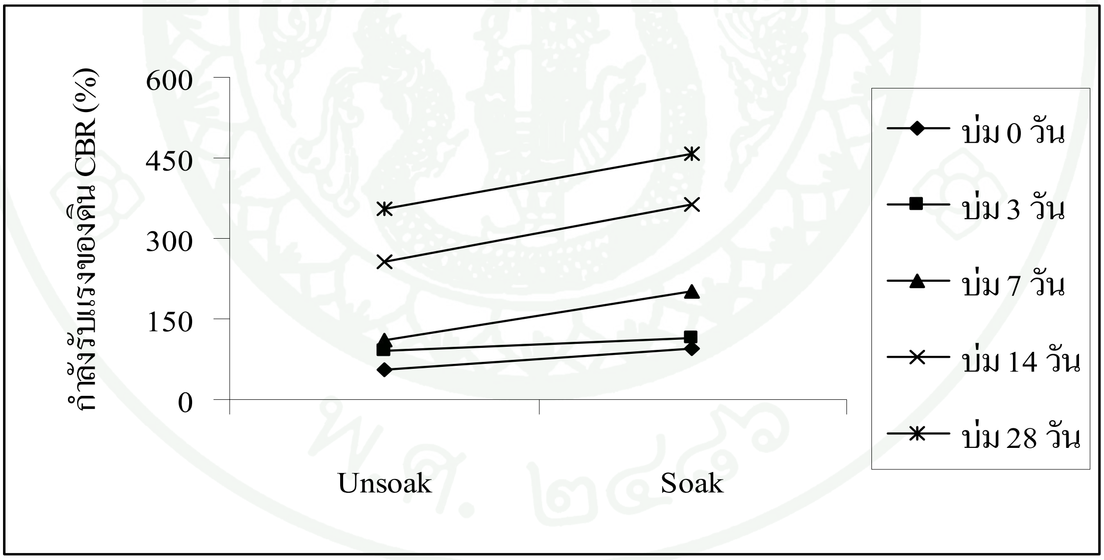
เมื่อทำการผสมสารผสมเพิ่มในดินลูกรังจะเห็นว่า ค่า Soak CBR สูงกว่า Unsoak CBR ทั้งในดินลูกรังผสมเกรด B และD โดยมีค่าสูงกว่าประมาณ 10-120% ในดินลูกรังผสมเกรด B และ40-450% ในดินลูกรังผสมเกรด D



ภาพที่ 30 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ที่ระยะการบ่มต่างๆ

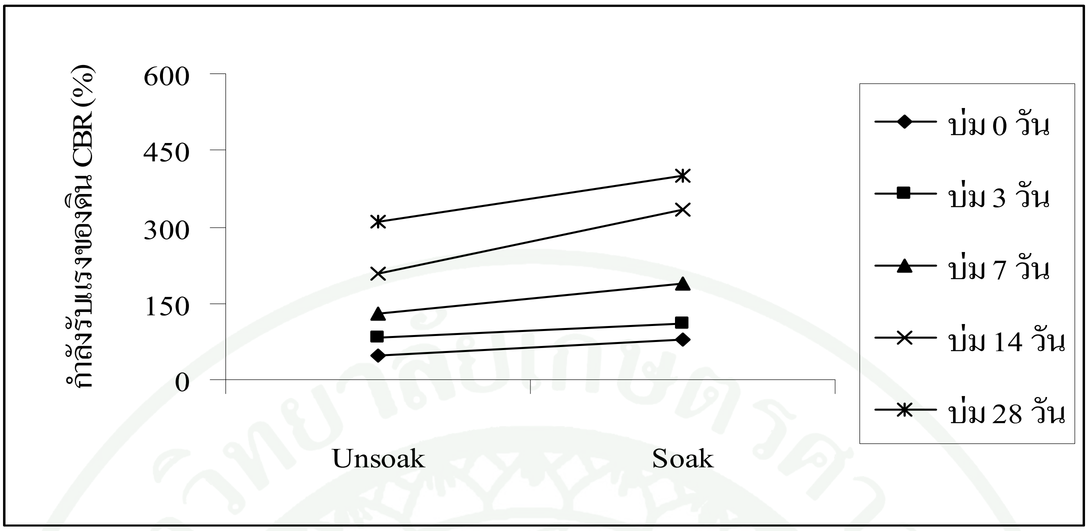


ภาพที่ 31 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 5% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

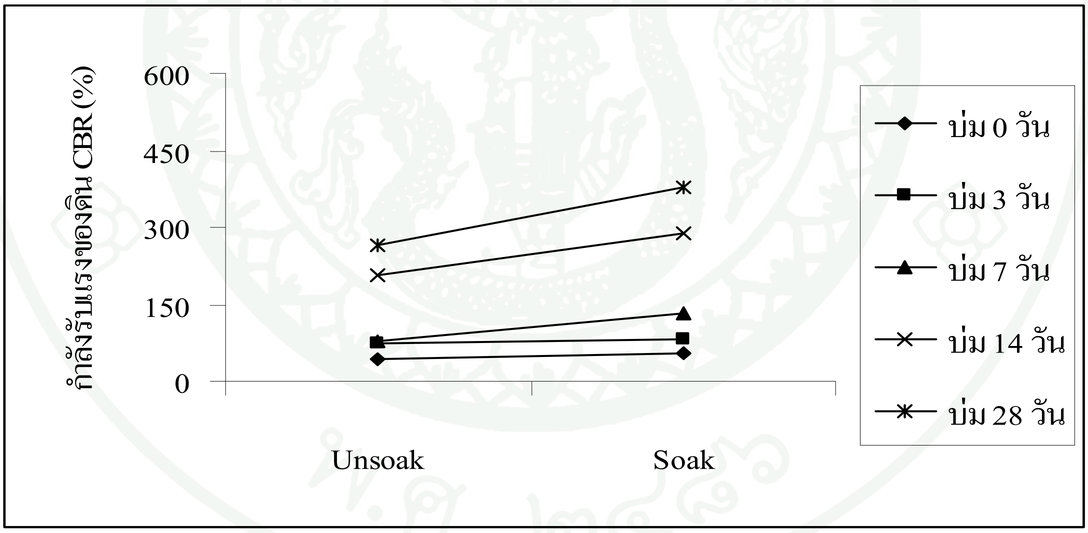


ภาพที่ 32 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 10% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

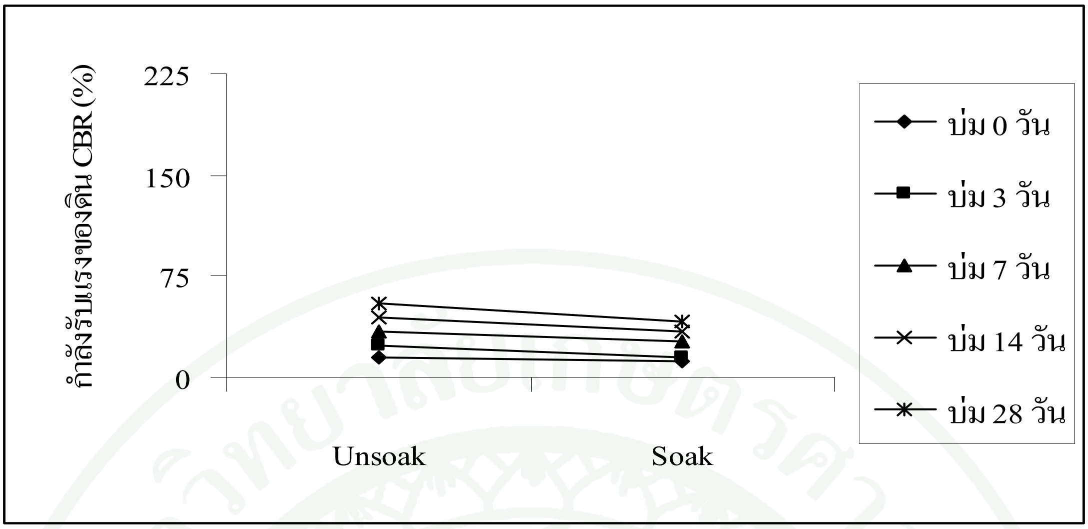
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



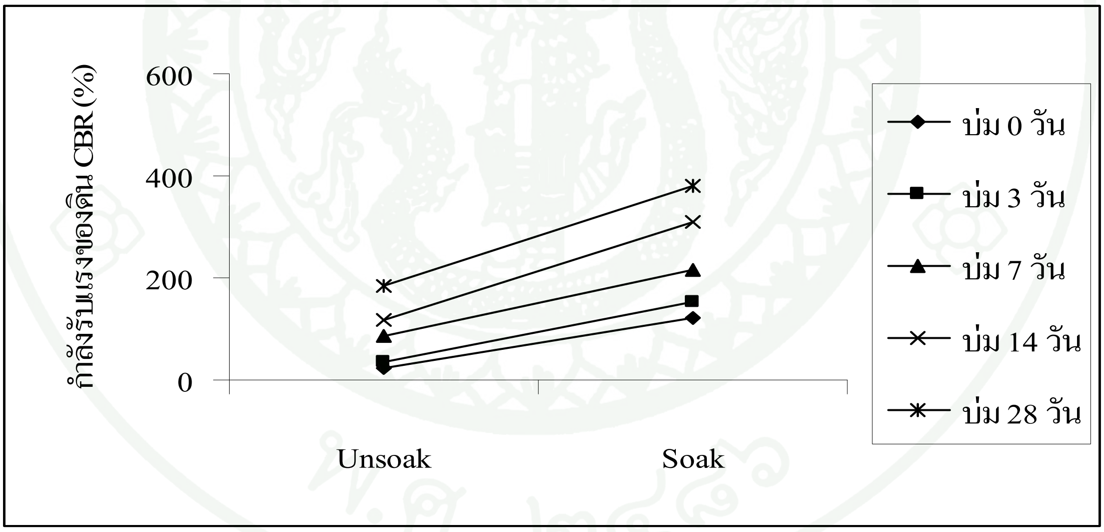
ภาพที่ 33 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 15% ที่ระยะการบ่มต่างๆ



ภาพที่ 34 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 20% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

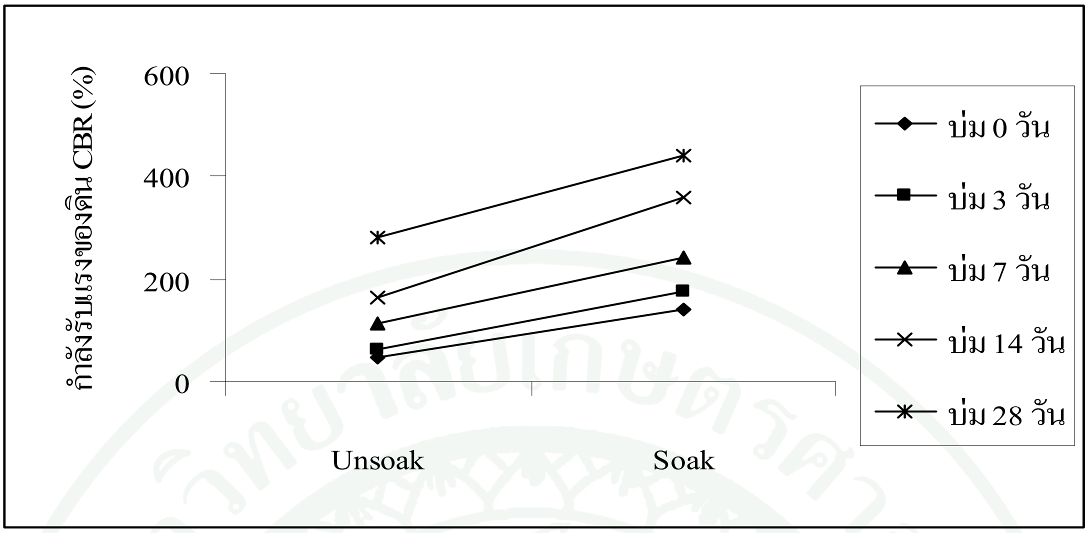


ภาพที่ 35 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ที่ระยะการบ่มต่างๆ



ภาพที่ 36 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 10% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

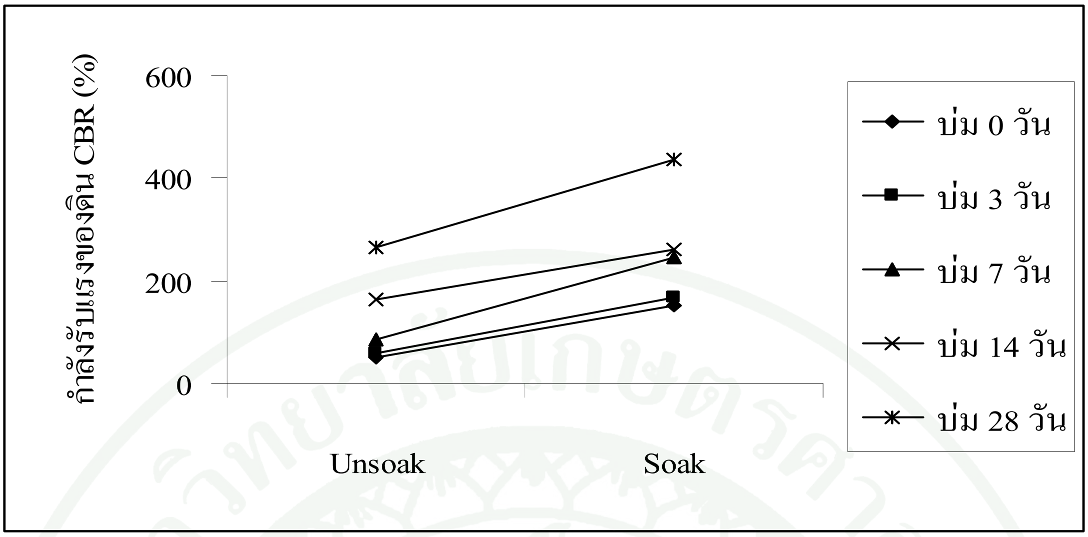
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 20% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

ภาพที่ 38 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 25% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 39 กำลังรับแรงระหว่าง Unsoak CBR และ Soak CBR ของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 30% ที่ระยะการบ่มต่างๆ

การพัฒนากำลังที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก เมื่อผสมปริมาณสารผสมเพิ่มที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration, Flocculation ก่อให้เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน และสร้างรูปร่างโครงข่ายที่แข็งแรงต่อเนื่องกันมากบ้างน้อยบ้างตามขนาดคละของเม็ดดิน ทำให้เม็ดดินที่ถูกทำปฏิกิริยาเข้ามาใกล้ชิดกันส่งผลให้กำลังของดินลูกรังเพิ่มขึ้นในทันทีที่มีการผสม

ในส่วนการพัฒนากำลังที่เพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มนั้นเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยา Cementation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้กำลังของดินมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อนำดินและเถ้าหนักผสมกับเศษปูนขาวเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้กำลังของดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

จากผลการทดสอบค่า CBR พบว่าค่ากำลังแบบ Soaked CBR ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าการทดสอบแบบ Unsoaked CBR.เนื่องมาจากปริมาณสารผสมเพิ่ม (เถ้าหนักและเศษปูนขาว) มีการทำปฏิกิริยา Hydration และ Cementation ซึ่งต้องการปริมาณน้ำที่พอเหมาะ โดยวิธีการบ่มตัวอย่างอาจทำให้น้ำระเหยออกไป ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ไม่สมบูรณ์ และเนื่องจากสารผสมเพิ่มมีการเชื่อมประสานคล้ายกันกับที่เกิดในปูนซีเมนต์จึงทำให้มีความต้องการความชื้นมากขึ้นเพื่อรักษาการเกิดปฏิกิริยาให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างไปแช่น้ำ (Soaked) ก็จะทำให้การทำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปฏิกิริยาสมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้เกิดสารเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคมากขึ้นมีการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่แข็งแรงทำให้มีค่า CBR (Soaked) เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มด้วย

จากการทดสอบและสมติฐานข้างต้นเห็นได้ว่าปฏิกิริยาที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังคือปฏิกิริยา Cementation เป็นหลัก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าดินลูกรังที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าหนักและเศษปูนขาว จัดเป็นวัสดุคล้ายดินซีเมนต์ โดยต้องอาศัยปริมาณสารผสมเพิ่มและอายุการบ่มจึงจะมีคุณสมบัติด้านกำลังใกล้เคียงกับกำลังของดินซีเมนต์ และสามารถแนะนำช่วงการใช้งานเมื่อเทียบกับมาตรฐานต่างๆ แสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ลักษณะการใช้งานของดินลูกรังที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่มต่างๆ

กลุ่มดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ								
กลุ่มดิน (Grade)	ปริมาณสารผสมเพิ่ม %	อายุการบ่ม (วัน)					วิธีการทดสอบ	
		0	3	7	14	28	Un	So
B	0	●	●	●	●	●	u	–
B	5	●	●	●	●+	●+#	u	–
B	10	●	●+	●+	●+#	●+#	u	–
B	15	●	●+	●+#	●+#	●+#	u	–
B	20	●	●	●	●+#	●+#	u	–
D	0	–	–	●+	●+	●+#	u	–
D	10	–	●	●+	●+	●+#	u	–
D	20	●+	●+	●+	●+#	●+#	u	–
D	25	●	●	●+#	●+#	●+#	u	–
D	30	●	●	●+	●+#	●+#	u	–

อธิบายสัญลักษณ์

● หมายถึง ค่าการทดสอบ CBR ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงในส่วนของ Subbase (25%)

+ หมายถึง ค่าการทดสอบ CBR ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงในส่วนของ Base (80%)

หมายถึง ค่าการทดสอบ CBR ผ่านมาตรฐานบ.ปูนซีเมนต์ไทยในส่วนของ ชั้นดินซีเมนต์ (120%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 (ต่อ)

กลุ่มดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ								
กลุ่มดิน (Grade)	ปริมาณ สารผสมเพิ่ม %	อายุการบ่ม (วัน)					วิธีกาทดสอบ	
		0	3	7	14	28	Un	So
B	0	-	●	●	●	●	–	S
B	5	●	●	●+#	●+#	●+#	–	S
B	10	●+	●+	●+#	●+#	●+#	–	S
B	15	●	●+	●+#	●+#	●+#	–	S
B	20	●	●+	●+#	●+#	●+#	–	S
D	0	–	–	●	●	●	–	S
D	10	●+#	●+#	●+#	●+#	●+#	–	S
D	20	●+#	●+#	●+#	●+#	●+#	–	S
D	25	●+#	●+#	●+#	●+#	●+#	–	S
D	30	●+#	●+#	●+#	●+#	●+#	–	S

อธิบายสัญลักษณ์

● หมายถึง ค่าการทดสอบ CBR ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงในส่วนของ Subbase (25%)

+ หมายถึง ค่าการทดสอบ CBR ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงในส่วนของ Base (80%)

หมายถึง ค่าการทดสอบ CBR ผ่านมาตรฐานบ.ปูนซีเมนต์ไทยในส่วนของ ชั้นดินซีเมนต์ (120%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณสมบัติด้านความซึมน้ำ

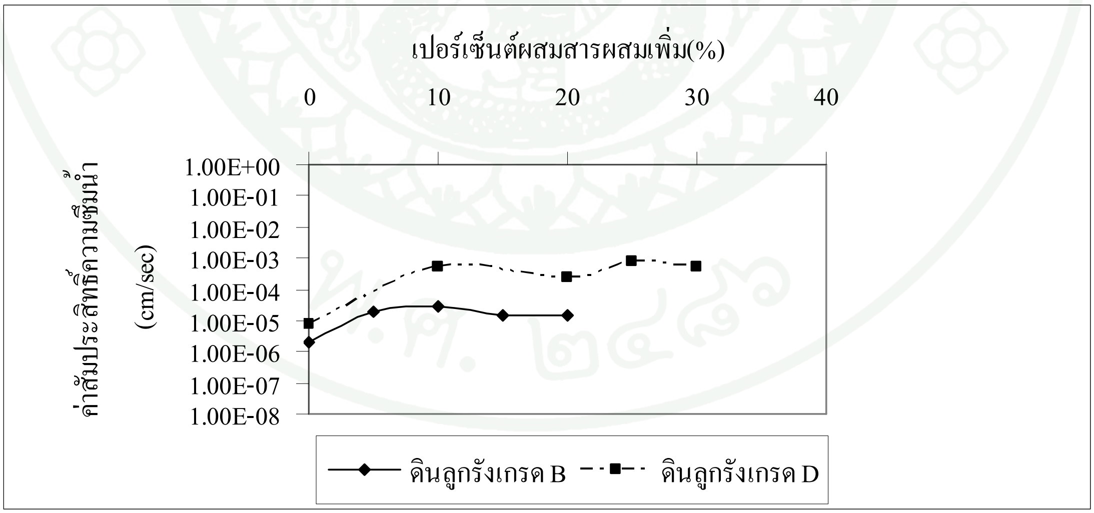
จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาว ในดินลูกรังเกรดผสม B และ D โดยวิธี Constant Head แบบใช้ความดันเข้าช่วย ดังแสดงในตารางที่ 22 พบว่าเมื่อปริมาณสารผสมเพิ่มมีจำนวนเพิ่มขึ้นคุณสมบัติด้านการซึมน้ำของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มมีแนวโน้มทึบน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะในดินลูกรังเกรดผสม B แต่ในดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มกลับมีค่าความซึมน้ำสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 40 ที่เป็นเช่นนี้เพราะสารผสมเพิ่มมีลักษณะเป็นเม็ดหยาบและผงละเอียดปนกันอยู่ แต่มีปริมาณเม็ดหยาบมากกว่า เมื่อนำมาผสมกับมวลดินแล้วทำการบดอัดจะทำให้โครงสร้างของของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยในดินลูกรังเกรดผสม B อนุภาคของสารผสมเพิ่มจะเข้าไปอุดช่องว่างภายในมวลดิน ซึ่งโครงสร้างส่วนมากประกอบไปด้วยดินเม็ดใหญ่ ทำให้ดินมีความทึบน้ำมาก แต่ในดินลูกรังเกรดผสม D ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นดินเม็ดเล็กค่อนข้างมาก สารผสมเพิ่มที่ผสมเพิ่มลงไปจะเข้าไปแทนที่ส่วนที่เป็นดินเม็ดละเอียดทำให้โครงสร้างของดินโปร่งมากขึ้น เป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำมีค่ามากขึ้นหรือโปร่งน้ำขึ้น

เมื่อทำการบ่มดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มและนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ โดยวิธีConstant Head แบบใช้ความดันเข้าช่วยเช่นเดียวกัน ผลของอายุการบ่มของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มต่อค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำได้แสดงไว้ในภาพที่ 41-43 เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อายุการบ่ม 28 วันกับดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่ทดสอบทันทีหลังบดอัดพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อายุการบ่ม 28 วันมีค่าต่ำลงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 – 10 เท่า ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า ปูนขาวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอสโซลานิกขึ้นทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรทและแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรทซึ่งมีคุณสมบัติในการเพิ่มการเชื่อมยึดระหว่างเม็ดดินให้สูงขึ้น ส่งผลให้มวลดินมีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถรับแรงเฉือนได้มากขึ้น ตลอดจนเพิ่มคุณสมบัติความทึบน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

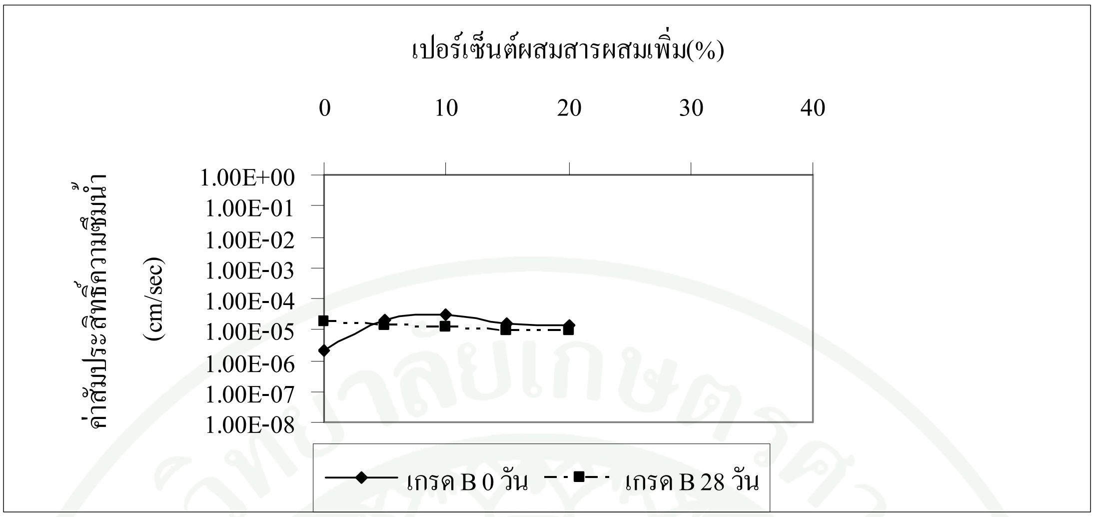
ตารางที่ 22 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม

Coefficient of Permeability (cm./sec.)			
กลุ่มดินลูกรัง	ปริมาณสารผสมเพิ่ม	อายุการบ่ม	
		ทดสอบทันทีหลังบดอัด	28
เกรดผสม B	0	2.01E-06	1.87E-05
	5	1.98E-05	1.31E-05
	10	2.83E-05	1.15E-05
	15	1.51E-05	9.34E-06
	20	1.93E-05	8.74E-06
เกรดผสม D	0	7.96E-06	2.23E-05
	10	5.09E-04	2.11E-07
	20	2.41E-04	4.94E-07
	25	7.47E-04	5.84E-07
	30	5.60E-04	2.12E-06

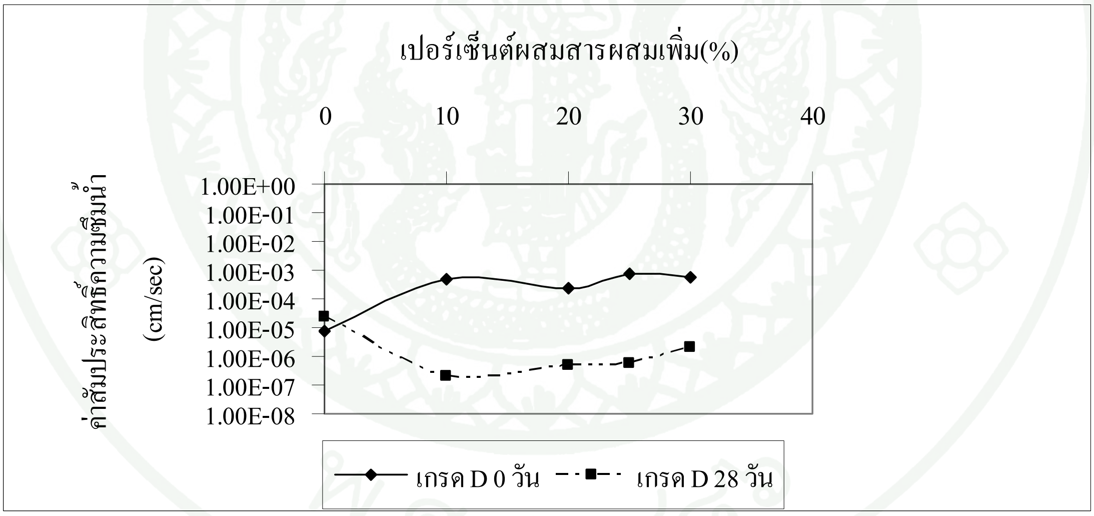


ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม ทันทีที่บดอัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

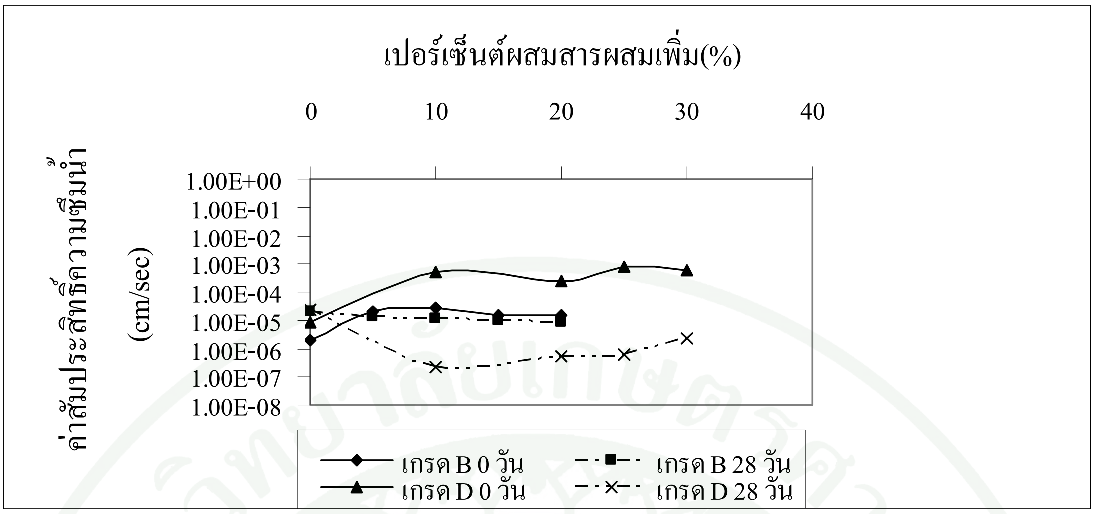


ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม ทันทีที่บดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม ทันทีที่บดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำกับปริมาณสารผสมเพิ่มของดินลูกรังผสมเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่มทันทีที่บดอัดและที่อายุการบ่ม 28 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ดินลูกรังที่เก็บมาจากสนามมีคุณสมบัติเบื้องต้นสามารถจำแนกประเภทตามระบบ Unified Soil Classification System ได้เป็นดิน SM หรือจำแนกตามระบบ AASHTO ได้เป็นดินA-4

2. เถ้าหนัก บิทูมินัสที่นำมาใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีลักษณะคล้ายกับทราย มีสีเทาถึงดำ หรือสีน้ำตาล อนุภาคของเถ้าก้นเตานั้นมีขนาดแตกต่าง และฟุ้งกระจายได้ง่าย ในส่วนของเศษปูนขาว ที่นำมาใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีลักษณะคล้ายทรายละเอียดมีสีขาวและฟุ้งกระจายได้ง่าย

3. ดินลูกรังเกรดผสม B มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ส่วนค่า Unsoaked C.B.R. และ Soaked C.B.R. สารผสมเพิ่มมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ดินลูกรังเกรดผสม B และD มีค่าลดลงตามลำดับ ค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินลูกรังเกรดผสม B มีค่าน้อยที่สุดแต่ในดินลูกรังเกรดผสม D และสารผสมเพิ่มมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังเกรดผสม B มีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือดินลูกรังเกรดผสม D และเถ้าก้นเตา

4. เมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า Liquid Limit มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย โดยทั้งดินลูกรังเกรดผสม B และเกรดผสม D ค่า Liquid Limit มีค่าลดลงประมาณ 1-4% และค่า Plastic Limit ในดินลูกรังเกรดผสม B และD มีแนวโน้มลดลง ค่า Plasticity Index ลดลงโดยดินลูกรังเกรดผสม B และ D มีค่า Plasticity Index ลดลงในช่วงระยะเวลาการบ่ม 0-7 วัน จากนั้นจะมีแนวโน้มสูงขึ้น

5. เมื่อปริมาณสารผสมเพิ่มเพิ่มสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลงค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในดินลูกรังเกรดผสม B และเกรดผสม D

6. ค่า Unsoaked และ Soaked CBR ในดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่ม ค่า CBR มีแนวโน้มคงที่จนถึงจุดหนึ่งแล้วลดลง ที่ปริมาณสารผสมเพิ่มที่ให้ค่ากำลังของดินมีค่าสูงที่สุดคือ 10% ของน้ำหนักดินแห้ง และในดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มให้ค่าสูงสุดคือ 25% ของน้ำหนักดินแห้งจากนั้นแม้จะเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มมากขึ้นกำลังของดินลูกรังก็จะไม่เพิ่มขึ้นแต่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จะทำให้กำลังของดินลูกรังลดลง อิทธิพลของอายุการบ่มที่มีต่อค่า CBR จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอายุการบ่มในช่วงแรก 3 ถึง 7 วันนั้นค่า CBR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นในช่วงอายุการบ่ม 14 ถึง 28 วัน ค่า CBR จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช้า ๆ

7. ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำเมื่อปริมาณสารผสมเพิ่มเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่มทึบน้ำมากขึ้น แต่ในดินลูกรังเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มมีค่าสูงขึ้น ผลของอายุการบ่มของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มต่อค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อายุการบ่ม 28 วันกับดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่ทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อายุการบ่ม 28 วันมีค่าต่ำลงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 – 10 เท่า

8.จากงานวิจัยในครั้งนี้เมื่อพิจารณาในด้านกำลังของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มพบว่าดินลูกรังเกรดผสม B ผสมสารผสมเพิ่มมีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้ในงานพื้นทางและดินเกรดผสม D ผสมสารผสมเพิ่มมีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้ในงานรองพื้นทางได้อย่างเหมาะสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาถึงคุณสมบัติด้านกำลังของดินลูกรังผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวในครั้งนี้ใช้การทดสอบ C.B.R. เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบเพิ่มเติมด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น Unconfied Compressive Strength เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของดินลูกรังผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวในดินลูกรังเกรดอื่นๆ และดินชนิดอื่นๆ เช่น ดินเหนียว หรือดินทราย

3. การศึกษากลไกในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆมีความสำคัญเพื่อใช้ในการอธิบายโครงสร้างของดินผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการพัฒนากำลังของดิน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในด้าน Physic–Chemical โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และ X – Ray Diffraction (XRD)

4. ควรทำแปลงทดสอบดินลูกรังผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวในสนาม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวที่ได้จากการทดสอบในสนาม กับคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไปในอนาคต

5. ควรทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิการบ่มต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของดินผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวเพราะการทำงานในสนามเราไม่สามารถควบคุมการสูญเสียความชื้นเนื่องจากอุณหภูมิให้คงที่ได้เหมือนอย่างในห้องปฏิบัติการ

6. ควรทำการศึกษาถึงผลของการล่าช้าการบดอัดดินต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของดินผสมเถ้าหนักและเศษปูนขาวเพราะการทำงานในสนามนั้น เราไม่สามารถที่จะผสมและบดอัดให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาสั้นๆได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทางหลวง. 2513. **รายละเอียดควบคุมการก่อสร้าง.** กรมทางหลวงแผ่นดิน, กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

ณัฎยาณี บำเพ็ญผล และ คุณากร แพรกทอง. 2549. **การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยใช้แคลเซียม.** ปริญญานิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ธาดา ดวงแก้ว และ เศวต ช่วยสถิตย์. 2548. **การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยฝุ่นตะกรันเหล็ก.** ปริญญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นพรัตน์ ท้วมประดิษฐ์. 2543. **อิทธิพลของการบดอัดซ้ำที่มีต่อคุณสมบัติของดินลูกรังในการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลาการ พีรภาคย์. 2542. **การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังโดยวิธีผสมเถ้าลอยลิกไนต์.** การศึกษาพิเศษประกาศนียบัตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิทักษ์พงษ์ ทองยอดอินทร์ และ สุรศักดิ์ โสพส. 2544. **การปรับปรุงดินลูกรังเพื่อใช้เป็นพื้นทางโดยใช้เถ้าลอย.** ปริญญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วรศักดิ์ ตันติวนิช และ สมหวัง ช่างสุวรรณ. 2538. **ธรณีวิทยาแหล่งดินลูกรังบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย** รายงานฉบับที่ วว. 134 กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง.

วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติไกร และ ประทีป ดวงเดือน. 2522. **ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

วิเศษ แจ้งจิตร. 2552. **การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนัก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ. 2526. **การศึกษาคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย**. สถาบันเทคโนโลยีพระจองเกล้า, กรุงเทพฯ.

ศุภกิจ นนทนานันท์ และ อติมนต์ ยุพกรณ์. 2544. อิทธิพลของปริมาณซีเมนต์และปริมาณน้ำในมวลดินที่มีต่อความแข็งแรงของดินลูกรังผสมซีเมนต์, น. GTE 91-97. ใน **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7.** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สมพร ฤดีวิโรจน์ .2548 . **การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Bumjoo Kim and Monica Prezzi. 2006. Compaction characteristics and corrosivity of Indiana class-F fly and bottom ash mixtures. **Construction and Building Material** 2006

Morrison, H.J. 1965. **Report on research and development program for laterite, lateritic soils and highway construction in the kingdom of Thailand**. J.E. Greiner, Baltimore.

Okagbue, C.O. and Yakubu, J.A. Limestone ash wste as a substitute for lime in soil improvement for engineering construction**. Bull Eng Geol Env** (2000) 58: 107-113

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	รณภูมิ ลิ่มศรีสวัสดิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด	เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์