การใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์เพื่อซ่อมถนนภายหลังประสบอุทกภัย

The Use of Lateritic Soil Cement to Repair Flood Damaged Roads

ผู้วิจัย

นายชัชวาลย์ รัตนพันธุ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.ปิติ จันทรุไทย	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
รศ.ดร.สราวุธ จริตงาม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา

กันยายน 2557

การใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์เพื่อซ่อมถนนภายหลังประสบอุทกภัย

The Use of Lateritic Soil Cement to Repair Flood Damaged Roads

ผู้วิจัย

นายชัชวาลย์ รัตนพันธุ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.ปิติ จันทรุไทย	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
รศ.ดร.สราวุธ จริตงาม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา

กันยายน 2557

บทคัดย่อ

ในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่จะใช้หินคลุกเป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับงานถนน เนื่องจากหินคลุกที่ใช้มีปริมาณมากและเริ่มขาดแคลนควบคู่ไปกับการปรับขึ้นราคาน้ำมันซึ่งมีผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายการก่อสร้างทางหลวง นอกจากนี้การผลิตของหินบดที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะ การระเบิด การบดและการขนส่งสินค้าทางถนนทั้งหมดที่สร้างฝุ่นละอองที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม แม้ว่าดินลูกรังสามารถพบได้ในหลายพื้นที่ แต่ไม่เหมาะสมที่จะเป็นวัสดุชั้นพื้นทางสำหรับงานถนน งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเพิ่มปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงดินลูกรังเพื่อซ่อมแซมถนนที่เสียหายจากน้ำท่วม โดยจะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มดินลูกรังกับหินคลุก

การพัฒนาคุณภาพของดินลูกรังโดยการผสมซีเมนต์เพื่อนำมาทดแทนการใช้หินคลุกในการซ่อมแซมชั้นพื้นทางของถนนหลังน้ำท่วมเพราะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำซากทุกปี และต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมถนนค่อนข้างสูง การนำดินลูกรังมาปรับปรุงและใช้งานในวัตถุประสงค์ดังกล่าว นอกจากช่วยประหยัดงบประมาณแล้ว ยังช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากหินคลุก เนื่องกระบวนการผลิตหินคลุกต้องผ่านกระบวนระเบิด โม่ และย่อยหิน ทำให้เกิดฝุ่นหินและเสียงดังซึ่งเป็นปัญหาและผลกระทบโดยตรงกับชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง งานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการคิดเพื่อช่วยลดงบประมาณแผ่นดินในการซ่อมแซมถนนหลังอุทกภัยแล้ว ยังช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอีก ซึ่งจะเป็นประโยชน์และสมควรให้การสนับสนุนเป็นอย่างยิ่ง

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยใช้ดินลูกรังจาก บ้านห้วยโอน อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ในอัตราส่วนร้อยละ 3, 5, 7, 9 ของน้ำหนักดินแห้งตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรัง ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่ 5% อายุการบ่ม 7 วัน มีค่า 23.91 ksc ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดไว้ คือ 21.50 ksc ถือว่าเป็นสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น

คำสำคัญ: ดินลูกรัง, หินคลุก, การปรับปรุงดิน, ซ่อมแซมถนนเสียหายหลังน้ำท่วม

Abstract

In many developing countries, crushed rock is employed as a base course material for road pavement. Since crushed rock is required in large quantities, its shortages coupled with fuel price hike are having the effect of pushing up highway construction cost. In addition, the production of crushed rock involves drilling, blasting, crushing and road haulage, all of which create dust which is detrimental to the environment. Although lateritic soil is obtainable in many areas, it is too brittle and thus not suitable as road base course material. This research presents the idea of adding cement to stabilize the lateritic aggregateto repair flood damaged roads. It compares the strength characteristics of cement-enhanced lateritic soil against those of crushed rock.

This case study, conducted in Songkhla province in southern Thailand, was to investigate the increases in compressive strength of the material samples after they have been mixed with portland cement type 1at a mix proportion of 3%, 5%, 7% and 9% by dry soil weight. From test results, compression strength of laterite soil specimens improved at 5% cement provided the best basement soil in quality. It provided the standard unconfined compressive strength according to that defined by The Department of Highway of Thailand.

Keywords: Lateritic soil, Crushed rock, Soil improvement, Repair flood damaged roads

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่าน รศ.วิมล ดำศรี อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และดร.ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยให้สามารถดำเนินการลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่านในการให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีการโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และจัดพิมพ์รายงานจนสำเร็จลุล่วงอย่างดียิ่ง

นายชัชวาลย์ รัตนพันธุ์
ดร.ปิติ จันทรุไทย
รศ.ดร.สราวุธ จริตงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
2 ทฤษฎีในทางวิศวกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ ที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ดินลูกรัง (Lateritic Soil)	6
2.3 หินคลุกปูนซีเมนต์ และน้ำ	13
2.3.1 หินคลุก	13
2.2.2 ปูนซีเมนต์	14
2.2.3 น้ำ	15
3 วิธีการศึกษาและทดสอบ	16
3.1 วิธีการทดสอบ	16
3.2 การเก็บตัวอย่าง	16
3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	17
3.4 การทดสอบ	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (มาตรฐาน ทล.-ท. 205 และAASHTO T 27 – 70)	19
3.4.2 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน (มาตรฐาน ทล.-ท. 103 และAASHTO T 80) การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) (มาตรฐาน AASHTO T 9)	19
3.4.3 การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (มาตรฐาน ทล.-ท. 108 และ AASHTO T 180)	21
3.4.4 การทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (มาตรฐาน ทล.-ท 105 และ เทียบเท่า AASHTO T 208)	22
4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	26
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดิน	26
4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของดินลูกรัง	28
4.3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุก	31
5 การนำงานวิจัยไปใช้งาน	36
5.1 การก่อสร้างและปรับปรุงผิวทางโดยใช้ดินซีเมนต์แทนหินคลุก	36
5.1.1 ประโยชน์ของการนำดินซีเมนต์มาใช้เป็นพื้นทางแทนหินคลุก	38
5.1.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการก่อสร้างและปรับปรุงผิวทาง	41
5.2 การลดมลพิษในเรื่องของฝุ่นและเสียงที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหมืองหิน	44
6 สรุปผลการทดลอง	48
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก ก การเตรียมวัสดุ	53
ภาคผนวก ข การทดลองหินคลุก	57
ภาคผนวก ค การทดลองดินลูกรัง	67

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	10
2.2	ผลการทดสอบหาค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก	11
2.3	ผลการทดสอบการบดอัด	11
2.4	ผลการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ของคุณภาพวัสดุของชั้นทาง	12
2.5	มาตรฐานความสัมพันธ์ CBR และความเหมาะสมการใช้งาน	12
2.6	ขนาดคละของวัสดุหินคลุกที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์	14
3.1	อัตราส่วนผสมที่ต้องเตรียมสำหรับทดสอบดินลูกรังและหินคลุก	25
4.1	ผลการทดสอบดินตัวอย่าง	26
4.2	ค่า OMC และ MDD ของดินลูกรังที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	27
4.3	การทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุก	28
4.4	การทดสอบค่ากำลังอัดของดินลูกรังโดยเฉลี่ย	30
4.5	การทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุก	31
4.6	การทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุกโดยเฉลี่ย	33
4.7	ค่า CBR ของดินลูกรังที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	34
4.8	ค่า CBR ของหินคลุกที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	34
5.1	เปรียบเทียบราคาของวัสดุทดแทนกับหินคลุก	40
5.2	ขั้นตอนการนำวัสดุทดแทนเพื่อทดสอบหาค่ากำลังอัดและสัดส่วนผสมที่เหมาะสม	43

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างความเสียหายของถนนที่เกิดขึ้นหลังน้ำลด	5
2.2	บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	9
3.1	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างหินคลุก ตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล	17
3.2	การห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออก	18
3.3	การบ่มตัวอย่าง	18
3.4	แผนภูมิการทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล	24
4.1	การกระจายตัวของเม็ดดินลูกรังและหินคลุก	27
5.1	โครงสร้างถนนโดยทั่วไป	37
5.2	โครงสร้างถนนโดยที่ใช้ดินซีเมนต์	37
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่าร้อยละของปริมาณปูนซิเมนต์โดยน้ำหนักที่ผสมในดินลูกรังกับราคาวัสดุผสม และราคาหินคลุกต่อราคาวัสดุผสม	41
5.4	ขั้นตอนการดำเนินการในการซ่อมแซมถนนภายหลังประสบอุทกภัย	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากเหตุการณ์มหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นในเมื่อปี 2554 ได้สร้างความเสียหายให้กับเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ระดับน้ำท่วมสูงในหลายพื้นที่และเป็นวงกว้าง ทำให้ประชาชนทั่วไปได้รับความเดือดร้อน และมีผลกระทบจำนวนหลายร้อยหมู่บ้าน น้ำท่วมใหญ่ในปีที่ผ่านมาได้ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับถนนทางหลวงทั้งสายหลักและสายรอง รวมทั้งถนนทางหลวงชนบทในหลายเส้นทาง ซึ่งเบื้องต้นได้ประเมินมูลค่าความเสียหายเพื่อใช้ในการซ่อมแซมทางหลวงประมาณ 11,000 ล้านบาท ส่วนถนนทางหลวงชนบท มูลค่าประมาณ 5,200 ล้านบาท โดย พล.ต.ท.ชัจจ์ กุลดิลก รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงคมนาคม คาดอาจต้องใช้เงินถึง 1.6 หมื่นล้านบาท ซ่อมถนนที่พังจากน้ำท่วม (ไทยรัฐอนไลน์, 16 ตุลาคม 2554)

กรณีถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสียหายในระดับลึกเป็นแห่งๆ ควรซ่อมแซมด้วยวิธีขุดซ่อมผิวทางแอสฟัลต์ (Deep Patching) โดยขุดรื้อโครงสร้างทางที่เป็นจุดอ่อนตัว เสียหายหรือถูกน้ำกัดเซาะออกให้หมด แล้วแทนที่ด้วยวัสดุชั้นพื้นทาง (Base) ที่มีคุณภาพไม่ต่ำกว่าชั้นทางเดิม บดทับให้แน่น แล้วปูผิวแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ตามแบบโครงสร้างชั้นทางเดิม

โดยทั่วไปการก่อสร้างชั้นพื้นทางมักจะใช้วัสดุประเภทหินคลุกซึ่งมีราคาสูงและเริ่มคลาดแคลนในหลายพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงขอทำการศึกษาการใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์มาใช้ทดแทนวัสดุหินคลุกเพื่อลดราคาก่อสร้างและซ่อมแซมถนนที่ได้รับความเสียหายหลังน้ำท่วม ซึ่งจะช่วยลดงบประมาณแผ่นดินในการใช้เงินสำหรับการซ่อมแซมถนน อันจะเป็นประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมก่อสร้าง ช่วยสนับสนุนให้เกิดการใช้ทรัพยากรของประเทศไปใช้อย่างคุ้มค่า ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัสดุประเภทหินคลุกได้จากการระเบิดหินและย่อยหิน ซึ่งมีมลพิษทางเสียงและอากาศค่อนข้างสูง และช่วยส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของประเทศทางอ้อมอีกด้วย

นอกจากนี้ความรู้ที่ได้จากการพัฒนาวัสดุท้องถิ่นดังกล่าว สามารถที่จะถ่ายทอดให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน โดยผ่านทาง กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เทศบาล องค์การบริหารส่วน

จังหวัด และองค์การบริหารส่วนตำบล ซึ่งในระยะยาวจะส่งเสริมให้ชุมชนสามารถก่อสร้างและบำรุงรักษาทางได้อย่างมีมาตรฐาน

การพัฒนาคุณภาพของดินลูกรังโดยการผสมซีเมนต์เพื่อนำมาทดแทนการใช้หินคลุกในการซ่อมแซมชั้นพื้นทางของถนนหลังน้ำท่วมเพราะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำซากทุกปี และต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมถนนค่อนข้างสูง การนำดินลูกรังมาปรับปรุงและใช้งานในวัตถุประสงค์ดังกล่าว นอกจากช่วยประหยัดงบประมาณแล้ว ยังช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากหินคลุก เนื่องกระบวนการผลิตหินคลุกต้องผ่านกระบวนระเบิด โม่ และย่อยหิน ทำให้เกิดฝุ่นหินและเสียงดังซึ่งเป็นปัญหาและผลกระทบโดยตรงกับชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง เช่น เหมืองหินบริเวณเขาคูหา อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา (ASTV, 2 สิงหาคม 2554) งานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการคิดเพื่อช่วยลดงบประมาณแผ่นดินในการซ่อมแซมถนนหลังอุทกภัยแล้ว ยังช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอีก ซึ่งจะเป็นประโยชน์และสมควรให้การสนับสนุนเป็นอย่างยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิจัยและพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังมาแทนที่หินคลุกมาใช้ในการก่อสร้างซ่อมแซมถนนหลังน้ำท่วม

2. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการก่อสร้างและปรับปรุงทางผิวทางให้กับหน่วยงานส่วนท้องถิ่น เทศบาล องค์การบริหารส่วนจังหวัด และองค์การบริหารส่วนตำบล

3. ช่วยลดมลพิษในเรื่องของฝุ่นหินและเสียงที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหมืองหินเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เพื่อเป็นการพัฒนาดินลูกรังซึ่งมีราคาถูกและหาง่ายมาทดแทนการใช้หินคลุกสำหรับงานซ่อมแซมถนนหลังน้ำท่วม ทำให้ช่วยประหยัดงบประมาณแผ่นดิน

2. สามารถนำเทคโนโลยีการก่อสร้างและปรับปรุงทางผิวทางถ่ายทอดให้กับหน่วยงานส่วนท้องถิ่น เทศบาล องค์การบริหารส่วนจังหวัด และองค์การบริหารส่วนตำบล

3. เพื่อเป็นการลดปัญหาการขาดแคลนหินคลุก และลดการใช้หินคลุก ซึ่งจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในเรื่องของมลภาวะทางเสียงและอากาศจากอุตสาหกรรมการผลิตหิน

4. นำผลงานที่ได้เผยแพร่แก่หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ได้แก่ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เทศบาล องค์การบริหารส่วนจังหวัด องค์การบริหารส่วนตำบลมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นต้น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากหินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัด มีราคาสูงและเริ่มขาดแคลนในหลายพื้นที่ของประเทศไทย และมีมลภาวะทางเสียงและอากาศในขั้นตอนและกระบวนการผลิต โดยนำดินลูกรังซึ่งมีราคาถูกกว่ามากมาแทนที่ เพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างและซ่อมแซมถนนได้ โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. วัสดุท้องถิ่นที่จะศึกษาเป็นดินลูกรังและหินคลุกในจังหวัดสงขลาหรือจังหวัดใกล้เคียง

2. หาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม อ้างอิงจากมาตรฐานของกรมทางหลวงได้แก่ Unconfined Compressive Strength (UCS) และ California Bearing Ratio (CBR) เพื่อนำข้อมูลมาสังเคราะห์และเป็นแนวทางใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีในทางวิศวกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ ที่เกี่ยวข้อง

อธิบดีกรมทางหลวงชนบท เปิดเผยถึงสถานการณ์น้ำท่วมใหญ่เมื่อปี 2554 ว่าส่งผลให้ถนนของกรมทางหลวงชนบทเสียหาย หากนับตั้งแต่วันที่ 28 กรกฎาคม 2554 ถึง 6 พฤศจิกายน 2554 มีถนนจำนวน 911 สายทางที่ได้รับความเสียหาย โดยแบ่งเป็นเส้นทางที่ยังสามารถสัญจรได้ 701 สายทาง และเส้นทางที่ไม่สามารถสัญจรได้ 210 สายทาง ซึ่งจากการประเมินในเบื้องต้น ณ ปัจจุบันมีมูลค่าความเสียหายประมาณ 6,930 ล้านบาท (ไทยรัฐออนไลน์, 16 ตุลาคม 2554)

นายพิศักดิ์ จิตวิริยะวศิน รองอธิบดีกรมทางหลวงชนบท เผยความคืบหน้าการซ่อมแซมถนนหลังวิกฤตน้ำท่วมเมื่อปี 2554 ว่า มีถนนที่ได้รับความเสียหายจากน้ำท่วม 530 เส้นทาง โดยได้รับงบประมาณการซ่อมแซมจากรัฐบาล 4,914 ล้านบาท ดำเนินการซ่อมแซมแล้วเสร็จ 419 โครงการ เหลือ 111 โครงการ คาดว่าในเดือนตุลาคมที่จะถึงนี้การซ่อมแซมจะแล้วเสร็จทั้งหมด (ฐานเศรษฐกิจ, 22 สิงหาคม 2555)

ดินลูกรังเป็นดินที่พบมากในพื้นที่ภาคใต้ และไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างพื้นทาง เพราะมีปัญหาในเรื่องของการรับน้ำหนัก การนำดินมาปรับปรุงคุณภาพก่อนทำการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปมักจะใช้วัสดุประเภทหินคลุกมาทำโครงสร้างชั้นพื้นทาง (Ruenkairergsa T. and Apimeteetamrong S., 2000)

งานวิจัยนี้ได้นำดินลูกรังที่ใช้เป็นวัสดุรองพื้นทาง (Subbase) มาปรับปรุงคุณภาพเนื่องจากในปัจจุบันหินคลุกที่ใช้เป็นวัสดุในชั้นพื้นทาง (Base course) เป็นวัสดุที่หายาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากแหล่งอื่นที่ไกลๆซึ่งมีราคาแพงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงจึงได้มีการนำปูนซีเมนต์มาช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุชั้นพื้นทางให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าตามที่มาตรฐานของกรมทางหลวงที่ได้กำหนดไว้ (ราคาดินลูกรังถูกกว่าราคาหินคลุกประมาณ 5 เท่า ราคาดินลูกรังประมาณ 190 บาทต่อ ลบ.ม. และราคาหินคลุกประมาณ 980 บาทต่อ ลบ.ม.)

ความเสียหายของถนนหลังการเกิดอุทกภัยความเสียหาย อาจมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของถนน โดยระดับความเสียหายอาจครอบคลุมตั้งแต่ชั้นผิวทางจนถึงชั้นพื้นทาง เนื่องจากปริมาณน้ำไหลซึมเข้าสู่ชั้นโครงสร้างทางได้ ข้อมูลความเสียหายของถนนหลังน้ำท่วมที่สำรวจพบได้แก่ (กรมทางหลวง, 2555)

- ถนนมีการอ่อนตัว ยุบตัว หรือ แตกร้าว หรือ เป็นหลุมบ่อ ไหล่ทางอ่อนตัว หรือ เมื่อทดสอบโดยใช้รถบรรทุกแล่นทับสามารถสังเกตเห็นการยุบตัวด้วยสายตา

- วัสดุยารอยต่อในถนนคอนกรีตหลุดล่อนเสียหายมาก มีร่องรอยการอัดทะลักบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีต

- อาจเกิดความเสียหายของผิวทางเป็นรอยแตกร้าว (Cracks) คลื่นลูกระนาด (Corrugations) ทรุด เป็นแอ่ง (Depression) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling) หลุมบ่อ (Potholes) ผิวทางมียางเยิ้ม (Bleeding) เป็นต้น ที่ระดับความรุนแรงปานกลางถึงสูงเป็นแห่งๆบนผิวทาง ดังรูปที่ 2.1

- บางกรณีน้ำอาจจะมุดลงกัดเซาะเชิงลาดคันทางจนเชิงลาดคันทางเสียหายและอาจกัดเซาะลึกเข้ามาถึงบริเวณผิวจราจร แต่ยังสามารถใช้เป็นทางสัญจรได้

- วัสดุชั้นผิวทางอาจจะหลุดล่อนเป็นบางจุดและเมื่อขุดเปิดผิวทางจะพบว่าชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางในบางจุดอาจมีความชื้นมากกว่าปกติพอสมควร

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างความเสียหายของถนนที่เกิดขึ้นหลังน้ำลด

ตัวอย่างดินลูกรังและหินคลุกจะนำมาหาคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ และปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่นำไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างและทดสอบ ดังตารางที่ 1 โดยอ้างอิงมาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์สำหรับงานชั้นพื้นทางที่อายุบ่ม 7 วัน จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 17.5 ksc และค่า CBR มากกว่า 50% (จิรพัฒน์ โชติกไกร, 2549)

2.2 ดินลูกรัง (Lateritic Soil)

ดินที่มีชั้นลูกรัง หรือเศษหินกรวดเกิดขึ้นเป็นชั้นหนาแน่นทึบพบที่ระดับความลึกประมาณ 50 ซม.จากผิวดินจึงทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยปกติชั้นลูกรังที่พบจะประกอบด้วยลูกรัง เศษหินหรือกรวดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร จากผลการสำรวจพบว่าประเทศไทยมีดินลูกรังประมาณ 52 ล้านไร่หรือร้อยละ 16.3 ของพื้นที่ทั้งประเทศ พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (วิเศษ แจ้งจิตร, 2552) ดินลูกรังหรือ ดินปนกรวด (Skeletal Soils) ตามระบบอนุกรมวิธานดิน กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา หมายถึง ดินซึ่งมีส่วนหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร และมีอนุภาคดินที่พอจะแทรกอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร จากคำนิยามของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน หมายถึง เศษส่วนหิน หรือ ก้อนกรวดลักษณะของดินลูกรัง จัดอยู่ใน Skeletal Soils ได้แก่ ดินที่มีเศษหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าอยู่ ในดินเป็นปริมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าโดยปริมาตรที่มีความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดินเป็นได้ทั้งดินทราย ดินร่วน และดินเหนียว ซึ่งเกิดได้ทุกสภาพพื้นที่โดยทั่วไปมักจะพบชนิดของหินลูกรังที่มีความลึกที่แน่นอนบางสภาพภูมิประเทศที่ ซึ่งชั้นหินหลวมเกิดโดยตรงจากชั้นหินดินด้านล่างซึ่งเป็นวัตถุตามธรรมชาติบางแห่งวัตถุต้นกำเนิดดินลูกรังจะพบในชั้นของหินลูกรังลักษณะของชั้นดินจะแปรผันไปตามลักษณะของภูมิประเทศชั้นของหิน

วิเศษ แจ้งจิตร (2552) ได้ทำการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับที่มาดินลูกรังว่าเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อนซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสามารถแข็งตัวได้เมื่อทิ้งไว้ในอากาศและมักมีสีแดงเพราะมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่คุณสมบัติของดินลูกรังขึ้นอยู่กับชนิดของหินต้นกำเนิดส่วนประกอบทางเคมีและสภาพภูมิอากาศดินลูกรังเมื่อนำมาบดอัดจะสามารถรับแรงเฉือนได้สูงขึ้นและมักนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานวิศวกรรมเช่นใช้เป็นวัสดุก่อสร้างงานทางเป็นดินถมคันทางดินถมงานเขื่อนและงานฐานราก

Buchanan F., (1807) ใช้คำว่า "laterite"เรียกดินที่พบในมาลาบาร์ประเทศอินเดียซึ่งหมายถึงดินที่มีสีเหลืองอ่อนเนื่องจากมีเหล็กผสมอยู่ในปริมาณสูงมีความพรุนไม่แบ่งชั้นมีความอ่อนตัวพอที่จะตัดเป็นแผ่นขนาดเท่าอิฐได้และเมื่อขุดพบจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศดังนั้นจึงนิยมมาทำเป็นอิฐเพื่อใช้ในงานก่อสร้าง

Mallet F.R., (1883) เป็นผู้ริเริ่มให้ความหมายดินลูกรัง (Lateritic Soils) ว่าหมายถึง ดินที่ตามธรรมชาติจะมีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจากนั้นได้ให้ความหมายของ

ดินลูกรังว่าหมายถึงวัสดุที่มีสารประกอบของซิลิก้า และปริมาณของอลูมิเนียมในรูปของไฮดรอกไซด์สูงเมื่อเทียบกับปริมาณของ Bauxite

Fermor LL., (1911) ได้พัฒนาการเรียกชื่อลูกรังตามธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของซิลิก้าธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังได้แก่เหล็กอลูมิเนียมไทเทเนียมและแมงกานีส

Lacroix A., (1913) Martin และ Doyne (1927) ได้จำแนกชนิดของลูกรังตามปริมาณของออกไซด์และอัตราส่วนของซิลิก้าต่ออลูมินาที่เป็นส่วนประกอบได้แก่

1. ดินลูกรังจริง (True Laterite) มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90 SiO_2/Al_2O_3 น้อยกว่า 1.33

2. ดินลูกรังทราย (Silicate Laterite) มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบกว่าร้อยละ 50-90 SiO_2/Al_2O_3 ระหว่าง 1.33-2.00

3. ดินลูกรังผสมดินเหนียว (Laterite Clay) มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบกว่าร้อยละ 10-50 SiO_2/Al_2O_3 มากกว่า 2.00

Alexander และCady (1962) ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาฟิสิกส์และเคมีที่เกี่ยวข้องกับลูกรังโดยให้ความหมายไว้ดังนี้

ดินลูกรัง (Laterite) หมายถึงดินที่เกิดจากกระบวนการทำลายในอัตราค่อนข้างสูงมี Secondary oxide ของเหล็กหรืออลูมิเนียมในปริมาณสูงโดยปราศจากความเป็นด่างและPrimary Silicate ในบางครั้งอาจมีแร่ควอทซ์และคาโอลิไนท์ในปริมาณสูงและมีคุณสมบัติที่แข็งตัวเมื่อกระทบอากาศ

ดินลูกรัง (Lateritic Soil) หมายถึงดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมผสมอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ Laterization มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เองและมีหินลูกรัง (Laterite Rock) หรือกรวดลูกรัง (Laterite Gravel) ผสมอยู่

หินลูกรัง (Laterite Rock) หมายถึงดินลูกรังที่เกิดการแข็งตัวเองอย่างสมบูรณ์มีความเหนียวและความแข็งจะแสดงคุณสมบัติของหินมากกว่าดินเช่นหินศิลาแลงเป็นต้น

Phinthite เป็นรูปแบบหนึ่งของหินลูกรังที่สามารถตัดด้วยเครื่องตัดโลหะได้ในขณะที่อยู่ใต้ดินเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดการแข็งที่ไม่คืนสู่สภาพเดิม

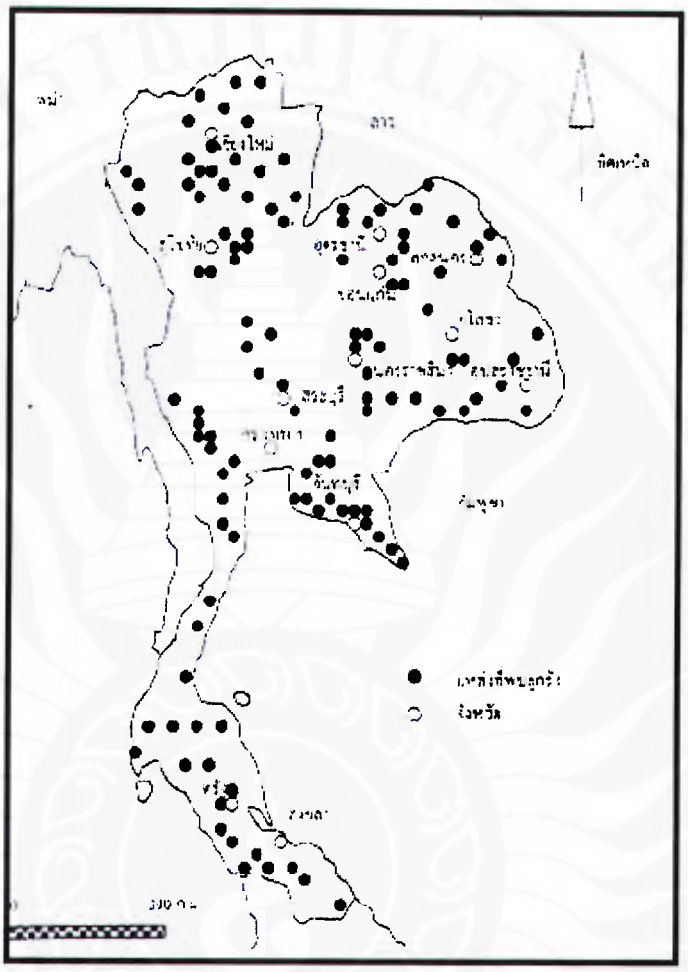
กรวดลูกรัง (Laterite Gravel) ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบซึ่งเป็นเม็ดเล็กๆมีความแข็งแตกต่างกันบางทีอาจจะยึดเกาะเป็นมวลก้อนใหญ่หรืออาจสึกกร่อนจนกลายเป็นทรายแป้ง (Silty) หรือดินลูกรังผสมดินเหนียว (Clayey Lateric Soil)

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นกล่าวคือมีฤดูร้อนและฤดูฝนสลับกันเป็นระยะเวลาค่อนข้างยาวนานสภาพภูมิอากาศเหมาะแก่การเกิดดินลูกรังจะพบดินลูกรังมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาคตะวันออกและภาคเหนือหินเดิมส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินบะซอลท์และหินดินดาน บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทยแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

Hongsnoi M., (1969) กล่าวว่าในประเทศไทยพบดินลูกรังซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามวิธีการเกิดดังนี้

Primary Lateritic Soils หมายถึงดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่และเกิดอยู่กับที่เหนือหินเดิมเหล็กที่เป็นส่วนประกอบได้จากธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆลงไปและเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากขึ้นในชั้นดินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในแต่ละฤดูน้ำฝนซึ่งมีออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่างๆละลายอยู่จะออกซิไดซ์ธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมในดินเป็นเหล็กออกไซด์ซึ่งมีสีแดงการเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักเกิดเป็นชั้นๆจากผิวดินจนถึงชั้นของหินเดิมดังนี้

1. ชั้นผิวดิน
2. ชั้นดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแห้งและแข็งเกิดจากการเกาะกันของเฮมาไทท์เป็นเม็ดเล็กๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย
3. ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเล็กและแข็งจำนวนมากและมีดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมจากการเริ่มแข็งตัวของลิโมไนท์
4. ดินเหนียวอ่อนชุ่มชื้นและมีเหล็กออกไซด์มีขนาดเม็ดต่างๆ
5. ชั้นดินเหนียวสีเทามีลิโมไนท์ปนหรือแทรกตามรอยแตก
6. ชั้นหินเดิมที่ผุพังเป็นพวกกรวดทรายและดินเหนียว
7. ชั้นหินเดิม



รูปที่ 2.2 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย

ที่มา: สุภาพร สนิทวงศ์ชัย, 2528

Secondary Lateritic Soils หมายถึงดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้ายมาจากหินเดิมน้ำใต้ดินที่ไหลผ่านจะทำให้ออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวขึ้นและออกไซด์เหล็กในบริเวณนั้นด้วยดินลูกรังประเภทนี้โดยทั่วไปจะไม่แบ่งชั้นเหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างๆกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมต่างๆและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินที่ทับถมเหล็กออกไซด์ในดินลูกรังประเภทนี้กระจัดกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกมักเกิดล้อมรอบกรวดหรือชิ้นส่วนของหินที่แตกหักทำให้ดินลูกรังประเภทนี้ขนาดเม็ดใหญ่มีความแข็งที่แตกต่างกันปรากฏชั้นของเฮมาไทต์ลิโมไนต์ และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรกนอกจากนี้จะปรากฏขึ้นระหว่างดินลูกรังกับหินเดิมค่อนข้างชัดเจน ขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กของดินลูกรังประเภทนี้มีค่าต่ำกว่าประเภทแรก

Morrison H.J., (1965) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทยโดยสรุปไว้ในตารางที่ 2.1 การศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังจากแหล่งต่างๆในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่าดินลูกรังส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-2 ตามการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งเป็นกรวดปนดินตะกอนหรือกรวดปนทรายแป้งและดินเหนียว (Silty or Clayey Gravel) ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนนและหากจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification จะได้เป็นประเภท GW/GP และ SW/SP ส่วนประกอบของดินลูกรังส่วนใหญ่จะประกอบด้วย เคโอลิไนต์ปริมาณมาก และอิลไลต์ปริมาณพอสมควรนอกจากนี้อาจพบ มอนต์โมริลโลไนต์ เวอร์มิคิวไลต์ คลอไรต์ เกอไทต์และควอร์ต ปนอยู่ด้วยปัญหาที่มักพบบ่อยสำหรับดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยคือดินมีค่าพิกัดความเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก(Plasticity Index) มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	0	66
Liquid Limit (%)	18	97
Plasticity Index (%)	NP	51
การจำแนกดินตามระบบ AASHTO	A-l-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118	144.50
ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด (%)	7	13.40
CBR (%)	7	60
การบวมตัว (%)	0.10	55

ที่มา: Morrison H.J., (1965)

นิโรจน์ เงินพรหม (2553) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันหล็ก เพื่อหาปริมาณส่วนผสมสำหรับใช้ปรับปรุงดินชั้นทางโดยที่ดินลูกรังเป็นส่วนผสมคงที่ 95 %โดยน้ำหนักและมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเหล็ก 5% โดยน้ำหนักซึ่งแบ่งเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อตะกรันเหล็กเท่ากับร้อยละ 5:0, 3.5:1.5, 2.5:2.5, 1.5: 3.5 และ 0:5 โดยน้ำหนักเป็นตัวแปรในการทดสอบ ผลจากการศึกษา

พบว่าปริมาณส่วนผสมที่ประกอบด้วยดินลูกรัง 95 % ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3.50% และเป็นตะกรันเหล็ก 1.50 % ได้ส่วนผสมที่เหมาะที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งมีผลทำให้มีค่าซีบีอาร์ที่สูงขึ้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของชั้นทางดินซีเมนต์ที่กำหนดโดยกรมทางหลวง เมื่อนำตะกรันเหล็กมาผสมซีเมนต์เพสต์ พบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมตะกรันเหล็กนั้นเพิ่มขึ้นตามมาตรฐานของกรมทางหลวงทดสอบคุณสมบัติต่างๆด้วยวิธี Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ถึง 2.5

ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบหาค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก

	ผลการทดสอบ
พิกัดความเหลว (L.L.)	28.80%
พิกัดพลาสติก (P.L.)	20.47%
ดัชนีความเหนียว (P.I.)	8.33%

ที่มา: นิโรจน์ เงินพรหม, 2553

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบการบดอัด

ปริมาณส่วนผสมระหว่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์และตะกรันเหล็ก (%)	**ความหนาแน่นแห้ง (g/cm^3)**	**ปริมาณความชื้น (%)**
100:0:0	1.84	13.90
95:5:0	1.96	10.40
95:0:5	1.96	10.37
95:1.5:3.5	1.91	11.52
95:2.5:2.5	1.87	11.76
95:3.5:1.5	1.95	10.49

ที่มา: นิโรจน์ เงินพรหม, 2553

ตารางที่ 2.4 ผลการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ของคุณภาพวัสดุของชั้นทาง

ปริมาณส่วนผสมระหว่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์และตะกรันเหล็ก (%)	CBR (%)
100:0:0	20.24
95:5:0	45.73
95:0:5	48.61
95:3.5:1.5	55.73

ที่มา: นิโรจน์ เงินพรหม, 2553

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานความสัมพันธ์ CBR และความเหมาะสมการใช้งาน

CBR (%)	เกณฑ์ระดับ	ความเหมาะสมการใช้งาน
0-3	ไม่ดี	วัสดุคันทาง
3-7	ไม่ดี-พอใช้	วัสดุคันทาง
7-20	พอใช้	วัสดุรองพื้นทาง
20-50	ดี	วัสดุพื้นทางและรองพื้นทาง
50-80	ดีมาก	วัสดุพื้นทาง
>80	ดีที่สุด	วัสดุพื้นทาง

ที่มา: นิโรจน์ เงินพรหม, 2553

วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2526) ได้ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังจากแหล่งต่างๆในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่าดินลูกรังส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-2 ตามระบบการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งเป็นกรวดปนดินตะกอนหรือกรวดปนทรายแป้งและดินเหนียว (Silty or Clayey Gravel) ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนนและจัดเป็นประเภท GW, GP และSW, SP ตามระบบการจำแนกดินแบบ Unified Soil Classification โดยส่วนประกอบของดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเคโอลิไนต์ปริมาณมาก และอิลไลต์ปริมาณพอสมควรนอกจากนี้อาจพบ มอนต์โมริลโลไนต์เวอร์ มิคิวไลต์ คลอไรต์ เกอไทต์ และควอร์ต ปนอยู่ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยสำหรับตัวอย่างดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยคือ มี

ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และดัชนีความเหลว (Liquidity Index) มากกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้

วรศักดิ์ ตันติวนิช และสมหวัง ช่างสุวรรณ (2538) ได้ดำเนินการศึกษาพบว่าดินลูกรังสามารถใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางไหล่ทางพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงปานกลางและสามารถใช้เป็นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยางเพราะเม็ดดินลูกรังจะไม่แตกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นในอากาศแหล่งดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมักพบชั้นดินลูกรังหนาประมาณ 1.40-2.00 เมตร ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และดัชนีความเหลว (Liquidity Index) ของดินลูกรังส่วนมากจะสูงกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวงและถ้านำดินลูกรังผสมกับซีเมนต์จะมีคุณสมบัติใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้เป็นอย่างดี

2.3 หินคลุกปูนซีเมนต์ และน้ำ

2.3.1 หินคลุก

ต้องเป็นวัสดุหินโม่มวลรวม (Crushed Rock Soil Aggregate Type) ที่มีเนื้อแข็ง เหนียว สะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงแล้ว วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของหินคลุกไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำหินคลุกผสมปูนซีเมนต์จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีค่าความสึกหรอเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

2. มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ของมวลรวมหยาบ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบแล้วไม่เกินร้อยละ 9 (หินคลุกจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวงที่จะใช้ผลการทดลอง)

3. ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติ เช่นเดียวกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate)

การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

4. มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ขนาดคละของวัสดุหินคลุกที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์

ขนาดตะแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล		
มิลลิเมตร	B	C	D
50.0 (2")	100	-	-
25.0 (1")	75-95	100	100
9.50 (3/8")	40-75	50-85	60-100
4.75 (เบอร์ 4)	30-60	35-65	50-85
2.00 (เบอร์ 10)	20-45	25-50	40-70
0.425 (เบอร์ 40)	15-30	15-30	25-45
0.075 (เบอร์ 200)	5-20	5-15	5-20

5. ส่วนรายละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรง 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)

6. มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 25

7. มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515 "วิธีการทดลองหารค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ 6

8. มีค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลอง ทล.-ท. 108/2517 "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ความหนาแน่นแห้งของการบดอัดร้อยละ 95 ของ ความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลอง ทล.-ท. 108/2517" วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

2.3.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจจะบรรจุอยู่ในไซโล หรือแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุงผู้รับจ้างจะต้องจัดทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้น

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดลองตามสัญญาต้องเป็นตราและประเภทเดียวกัน เว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน เว้นแต่จะได้มีการออกแบบส่วนผสมใหม่ และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว

2.3.3 น้ำ

น้ำที่จะนำมาผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ จะต้องสะอาดปราศจากสารต่างๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรียวัตถุ หรือสารอื่นใด ที่เป็นอันตรายแก่ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ทั้งนั้นจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสม หรือบ่ม ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์

บทที่ 3

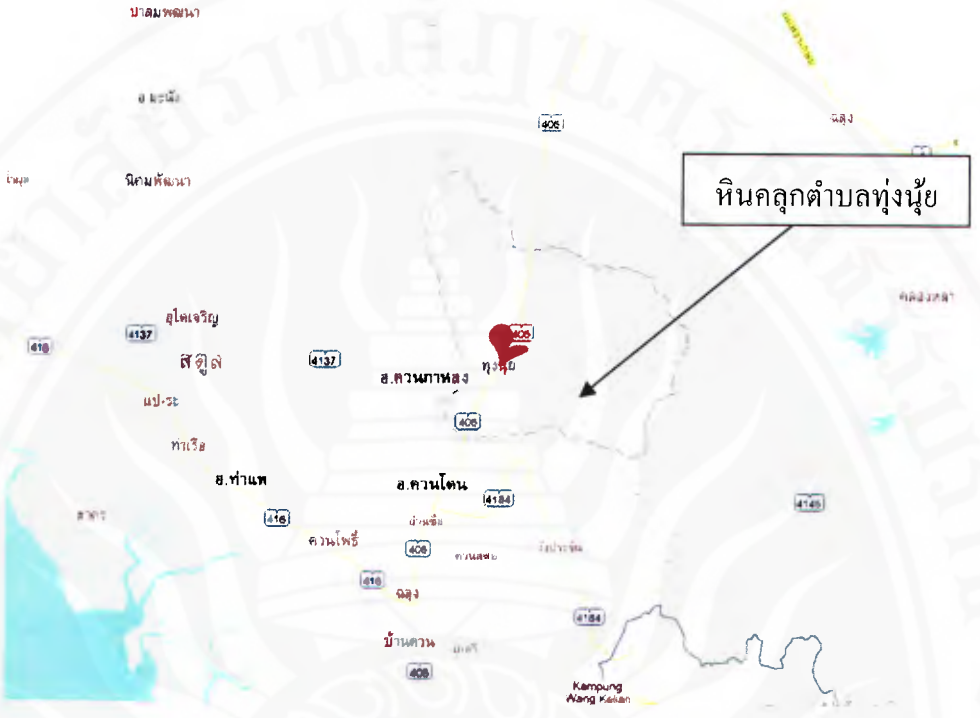
วิธีการศึกษาและทดสอบ

3.1 วิธีการทดสอบ

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง เพื่อให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าหินคลุกและสามารถนำไปใช้ทดแทนหินคลุกได้ เนื่องจากปัจจุบันหินคลุกเป็นทรัพยากรที่หายาก จึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง ซึ่งใช้เป็นวัสดุรองพื้นทางอยู่แล้วมาใช้ทดแทนหินคลุก จากการศึกษาโครงงานนี้ได้เลือกศึกษาดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอน อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างของชั้นทางและชั้นผิวทาง โดยการทดสอบจะยึดข้อกำหนดตามมาตรฐานทางหลวง กรมทางหลวง ประเทศไทย ที่ได้ระบุไว้ ในการทำการทดลองครั้งนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของดินลูกรัง

3.2 การเก็บตัวอย่าง

การทำวิจัยนี้เลือกใช้หินคลุกจากทุ่งนุ้ย ซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างของชั้นทางและชั้นผิวทาง โดยการทดสอบจะทำตามข้อกำหนดของมาตรฐานทางหลวง กรมทางหลวงประเทศไทยที่ได้ระบุไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



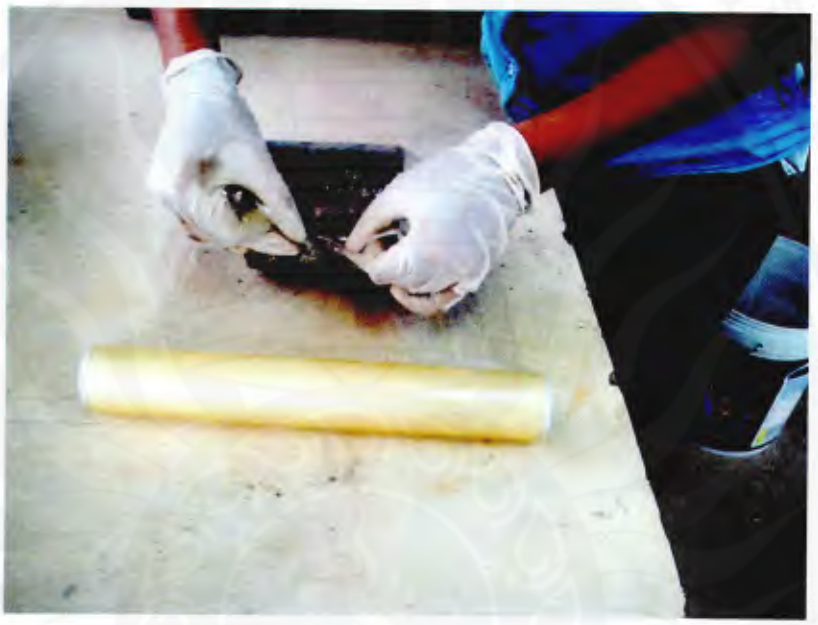
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างของหินคลุก ตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล

ที่มา: Google Earth

3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะเป็นการเตรียมตัวอย่างจากตัวอย่างดินที่ถูกเก็บมาแบบดินที่ถูกรบกวน (Disturbed Sample) แล้วนำมาบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ASTM D 1557) โดยใช้เป้า (Mold) บรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (30 ซม.) สูง 4 นิ้ว (10.00 ซม.) ใช้ค้อนหนัก 2.78 ปอนด์ (1262.10 กรัม) ระยะยก 12 นิ้ว (30 ซม.) โดยแบ่งจำนวนชั้นเป็น 5 ชั้น การกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง โดยมีพลังงานในการบดอัดเท่ากับ 274,636.5 กิโลกรัม-เมตร ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งการเตรียมตัวอย่างแบบนี้จะทำให้ตัวอย่างทุกตัวอย่างได้รับพลังงานในการบดอัดเท่าๆกัน ตัวอย่างที่ใช้จะประกอบไปด้วย ตัวอย่างหินคลุกที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และตัวอย่างดินที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์แล้ว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อัตราส่วนที่ใช้คือ ร้อยละ 3,5,7 และ 9 โดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง ในการผสมจะผสมแบบรวม (Total Mixing) โดยใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content, OMC) และตัวอย่างที่

เสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับถนอมอาหารเพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออก และเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้นบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ (แสดงในรูปที่ 3.2 ถึง 3.4)



รูปที่ 3.2 การห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออก

รูปที่ 3.3 การบ่มตัวอย่าง

3.4 การทดสอบ

3.4.1 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (มาตรฐาน ทล.-ท. 205 และ AASHTO T 27 – 70)

สำหรับหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กมีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆกับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบ

(1) การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

- นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนมาบีบให้แตกโดยใช้มือแล้วนำตัวอย่างไปอบในตู้อบเมื่ออบจนมวลคงที่ นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เทน้ำหรือน้ำยาลงไปในภาชนะจนท่วมตัวอย่างแช่ทิ้งไว้ประมาณ 3–4 ชั่วโมง แล้วเทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เบอร์ 10 (2.000 มิลลิเมตร) และเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ที่วางซ้อนไว้ข้างบน เพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200

- ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีกต่อไป เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้ง (Dry Weight of Fine Aggregate)

- นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาด 2 นิ้ว, 1 นิ้ว, 3/4 นิ้ว, 3/8 นิ้ว, เบอร์ 4, เบอร์ 10, เบอร์ 40 และเบอร์ 200 ที่วางซ้อน ใช้เวลาเขย่านานทั้งหมด 15 นาที

- เมื่อเขย่าเสร็จนำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 และ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4

3.4.2 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน (มาตรฐาน ทล.-ท. 103และAASHTO T 80) การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) (มาตรฐาน AASHTO T 9)

วัตถุประสงค์เพื่อค่า LL โดยการหาปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในตัวอย่างที่สามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง ณ จุดเปลี่ยนสถานภาพของตัวอย่างที่เปลี่ยนจากของเหลว (Liquid) มาเป็นพลาสติก (Plastic) และหาค่า PL เพื่อหาปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในตัวอย่างที่ทำให้มีสภาพความหนืด

มากขึ้น ณ จุดเปลี่ยนสถานภาพของตัวอย่างที่เปลี่ยนจากพลาสติก (Plastic) มาเป็นกึ่งของแข็ง (Semi Solid) โดยการนำมาคลึงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว)

ขั้นตอนการทดสอบ

(1) นำตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว นำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 300 กรัม และนำตัวอย่างหินผุและหินคุลกมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 โดยนำตะแกรงเบอร์ 4 วางซ้อนข้างบนเพื่อป้องกันตัวอย่างที่ก้อนโตค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ไปทำการทดสอบต่อไปส่วนที่ค้างให้ทิ้งไป

(2) ทำการตรวจสอบเครื่องมือทดลอง ต้องอยู่ในสภาพดีมีขนาดถูกต้อง สลักยึดต้องไม่สึกหรอจนถ้วยกระทะเอียง แนวปาดดินในกระทะต้องไม่สึกเป็นร่อง เครื่องมือปาดร่องต้องได้การตรวจสอบความสูงของถ้วยกระทะที่จะยกขึ้น ใช้แท่งโลหะซึ่งมีความสูง 10 มิลลิเมตร วัดระยะตกของถ้วยกระทะให้ได้ 10 มิลลิเมตร โดยปรับสกรูยึดถ้วยกระทะให้หลวมเสียก่อนปล่อยให้ถ้วยกระทะขยับวางลงบนที่วัด แล้วจึงขันสกรูยึดให้แน่นดังเดิม หมุนถ้วยกระทะเร็วๆ หลายๆ ครั้งจนได้ยินเสียง ‘‘แก๊ก’’

(3) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาเทบนแผ่นกระจกแล้วผสมน้ำประมาณ 15-20 มิลลิลิตรใช้ มีดปาดดิน คนผสมให้ทั่ว จนกระทั่งดินและน้ำผสมกันทั่วทั้งก้อนแล้วเพิ่มน้ำอีกครั้งละประมาณ 1–3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่ว โดยการผสมน้ำแต่ละครั้งใช้เวลาทั้งหมด 5-10 นาที

(4) นำตัวอย่างใส่ลงตรงกลางถ้วยกระทะใช้ มีดปาดกดและปาดดินโดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุด และไม่ให้มีฟองอากาศ ให้ดินตรงกลางถ้วยกระทะหนา 10 มิลลิเมตรแล้วจับถ้วยยึดให้แน่นใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดดินตรงกลางให้ได้ร่อง

(5) หมุนเคาะถ้วยกระทะด้วยอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินในร่องเคลื่อนที่สัมผัสกันระยะ 12.7 มิลลิเมตรระยะเวลาที่ใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ดินลงไปในถ้วยกระทะจนกระทั่งเคาะเสร็จ ใช้เวลาไม่ควรเกิน 3 นาที

(6) เมื่อเคาะจนดินเคลื่อนมาสัมผัสกันยาว 12.7 มิลลิเมตร ให้ใช้มีดปาดดินตักดินบริเวณตรงกลางถ้วยเพื่อนำไปชั่งหาน้ำหนักแล้วตักตัวอย่างดินที่เหลือออกจากกระทะเทลงบนกระจกแล้วเติมน้ำลงไปผสมใหม่ให้เข้ากันแล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ผ่านมา

(7) ตัวอย่างที่ใส่กระป๋องอบ หลังจากทำการชั่งหาน้ำหนักแล้วนำเข้าเตาอบ อบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่แล้วนำออกจากเตาอบทิ้งไว้จนเย็นแล้วชั่งน้ำหนักหามวลอบแห้ง เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำใต้ดิน

(8) ใช้ตัวอย่างมาประมาณ 8 กรัม คลุกเคล้าจนเข้ากันจนทั่วแล้วปั้นให้เป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape) คลึงดินด้วยนิ้วให้เป็นเส้นบนแผ่นกระจกโดยใช้น้ำหนักกดเพียงเบาๆไปตามแนวราบให้ได้เส้นโตสม่ำเสมอตลอดความยาว)

(9) เมื่อคลึงไปจนเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กประมาณ 3.2 มิลลิเมตร และเส้นแตกพอดี

(10) รวบรวมตัวอย่างที่แตกทั้งหมดใส่ลงในกระป๋องอบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และทำการอบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำออกมาจากเตาอบตั้งจนเย็นแล้วทำการชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักของน้ำที่หายไป

3.4.3 การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (มาตรฐาน ทล.-ท. 108 และ AASHTO T 180)

วัตถุประสงค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดเมื่อทำการบดอัดในแบบ (Mold) โดยใช้ค้อน (Hammer) หนัก 2.494 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) สำหรับแบบมาตรฐาน และใช้ค้อน (Hammer) หนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) สำหรับแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ขั้นตอนการทดสอบ

(1) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความสูงของแบบ เพื่อหาปริมาตรของดินในแบบจากนั้นประกอบแบบและ แท่งโลหะรอง พร้อมชั่งน้ำหนัก

(2) นำดินตัวอย่างไปอบแห้งในตู้อบ แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว

(3) การทดสอบแบบมาตรฐาน ชั่งตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ประมาณ 3,000 กรัม และการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน ชั่งตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ประมาณ 6,000 กรัม เพื่อทำการทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

(4) นำตัวอย่างมาคลุกเคล้าจนเข้ากันเติมปริมาณน้ำ โดยจะเริ่มต้นประมาณ 4 % ต่ำกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้มีความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) แล้วคลุกเคล้าด้วยมือจนเข้ากัน

(5) นำตัวอย่างใส่ลงไปในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดอัดแล้วมีความสูงประมาณ 1/3 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐาน และมีความสูงประมาณ 1/5 ของ 127 มิลลิเมตร(5 นิ้ว) สำหรับการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

(6) ทำการบดอัด โดยใช้ค้อน 25 ครั้งต่อชั้นสำหรับแบบ (Mold) ขนาดเล็ก และ 56 ครั้งสำหรับแบบ (Mold) ใหญ่ การบดอัดแบบมาตรฐานทำการบดอัดตัวอย่างเป็นชั้น ๆ จนครบ 3 ชั้น และการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานทำการบดอัดตัวอย่างเป็นชั้น ๆ จนครบ 5 ชั้น

(7) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบและใช้ค้อนทุบให้แน่นจนได้ระดับขอบบนของแบบนำตัวอย่างไปชั่งและจดบันทึกค่า แล้วนำตัวอย่างดินใส่กระป๋องอบดินแล้วนำไปชั่งและจดบันทึกค่า เพื่อหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

(8) การทำการทดสอบในอัตราส่วนต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความหนาแน่นลดลงจึงหยุดการทดลองหรือลดน้ำที่ผสม

(9) คำนวณหาค่าความหนาแน่นเปียก ความหนาแน่นแห้ง เพื่อต้องการทราบปริมาณน้ำในดิน (Moisture Content: *w*)

(10) เขียน Curve ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

3.4.4 การทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (มาตรฐาน ทล.-ท 105 และเทียบเท่า AASHTO T 208)

ขั้นตอนการทดสอบ

(1) นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

(2) เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติจะเริ่มต้นที่ประมาณ 4 % ซึ่งต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content: OMC)

(3) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

(4) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

(5) ทำการบดทับโดยค้อน

(6) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)

(7) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วให้ค้อนยางทุบให้แน่น

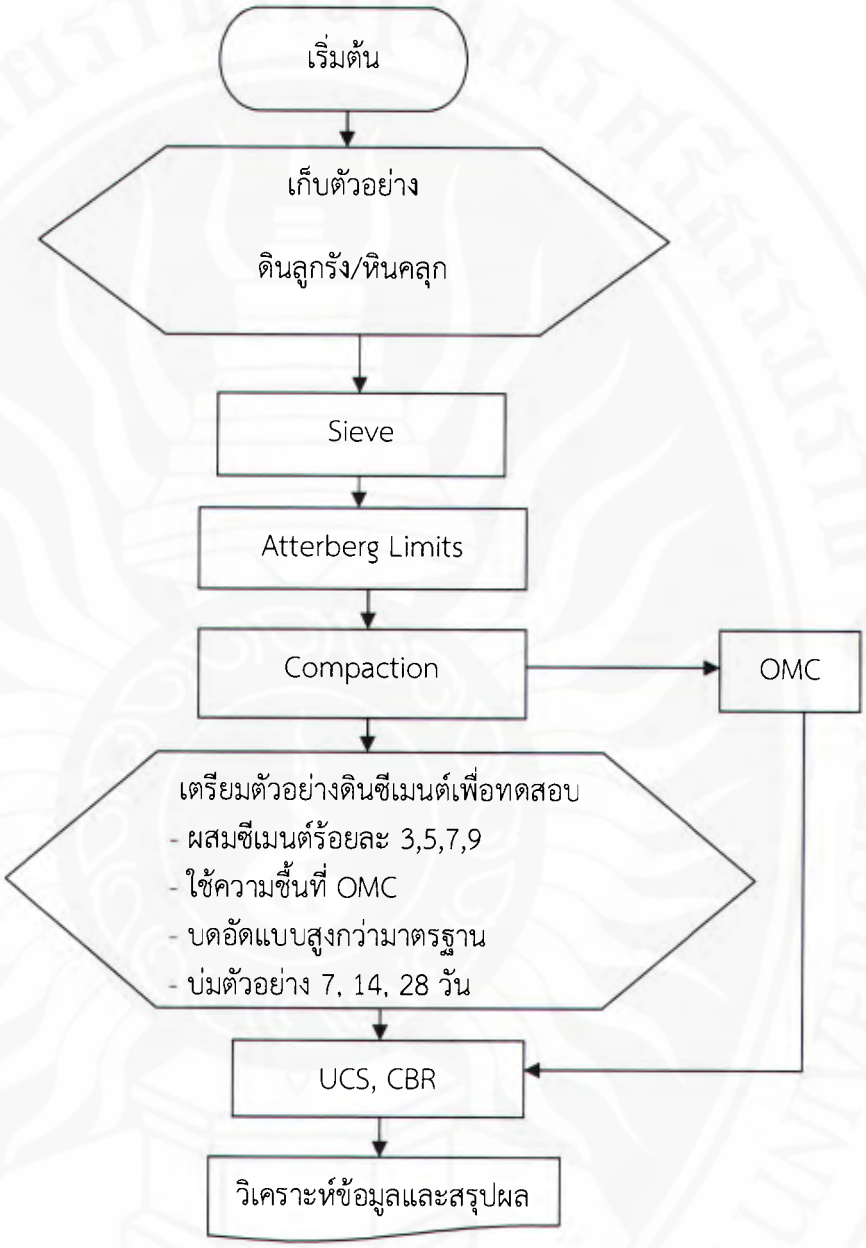
พอควร นำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบหักมวลของแบบออก ก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก

(8) นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ (7) มาเข้าเครื่องดันตัวอย่างดิน

(9) นำดินที่ขึ้นมาเป็นก้อนมาหุ้มพลาสติกและใส่ถุงพลาสติก แล้วนำไปบ่มตามวันและเวลาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

(10) วางแท่งตัวอย่างไว้กลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกลเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง แล้วเดินเครื่องกดแท่งตัวอย่างจนได้กำลังรับน้ำหนักสูงสุด

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังและหินคลุกโดยผสมซีเมนต์มีขั้นตอนการศึกษาและวิจัยตามแผนรูปที่ 3.4 ดังนี้



รูปที่ 3.4 แผนภูมิการทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

การศึกษาตัวอย่างดินและหินคลุกจะนำมาจากแหล่งดินลูกรัง จังหวัดสงขลา เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินทางด้านวิศวกรรมได้แก่ หาขนาดคละของวัสดุ (Sieve analysis) ค่า Liquid Limit (LL) และ ค่า Plastic Limit (PL)

2.ทำการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ค่ากำลังของวัสดุโดยวิธี Unconfined Compressive Strength (UCS) และ California Bearing Ratio (CBR)

สำหรับการทดสอบการบดอัดจะทดสอบ สำหรับดินลูกรังและหินคลุก รวม 2 การทดสอบ ส่วนรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างและทำการทดสอบ UCS และ CBR ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยทำการเตรียมและทดสอบ UCS จำนวน 90 ตัวอย่าง และ CBR จำนวน 10 ตัวอย่าง รวม 100 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมที่ต้องเตรียมสำหรับทดสอบดินลูกรังและหินคลุก

ชุดทดสอบที่ #	%Cement	เวลาบ่ม (วัน)	จำนวนตัวอย่าง	
			ทดสอบ UCS	ทดสอบ CBR
1	0	7	3	1
2	0	14	3	
3	0	28	3	
4	3	7	3	1
5	3	14	3	
6	3	28	3	
7	5	7	3	1
8	5	14	3	
9	5	28	3	
10	7	7	3	1
11	7	14	3	
12	7	28	3	
13	9	7	3	1
14	9	14	3	
15	9	28	3	
รวม			45	5

หมายเหตุ เตรียมและทดสอบดินลูกรัง 50 ตัวอย่าง, หินคลุก 50 ตัวอย่าง รวม 100 ตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

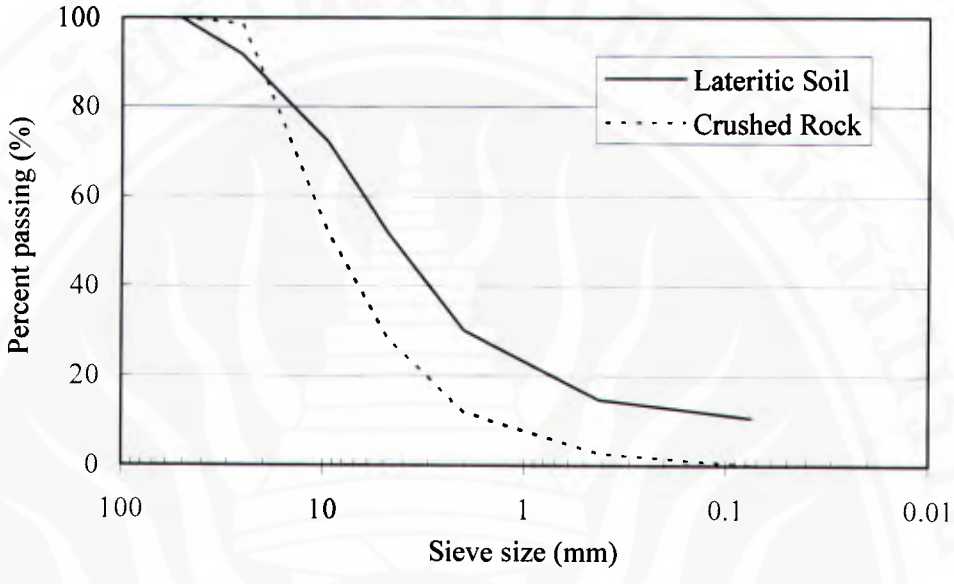
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดิน

ดินลูกรังและหินคลุกที่ใช้ในผลการทดสอบนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ดินลูกรังจัดเป็นดิน SCตามระบบ Unified Soil Classification System และจัดเป็นดิน A-2-7 ตามระบบ AASHTO มีลักษณะเป็นดินทราย เม็ดละเอียด จับตัวกันเป็นก้อน สำหรับหินคลุกจัดเป็น GC ตามระบบ Unified Soil Classification System และจัดเป็นดิน A-2-4ตามระบบ AASHTO มีลักษณะเป็นกรวดปนดินเหนียว

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบดินตัวอย่าง

การทดสอบ	ดินลูกรัง	หินคลุก
Liquid limit (L.L.)	50%	20.1%
Plastic limit (P.L.)	34.2%	13.2%
PI	15.8%	6.9%
Water content	26.72%	16.3%
Unit weight (ton/m^3)	2.076	2.170
Specific Gravity	2.69	2.8
AASHTO Classification	A-2-7	A-2-4
Unified Classification	SC	GC

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่า Unit Weight และค่า Specific Gravity ของหินคลุกมีค่าเท่ากับ 2.170 ton/m^3 และ 2.8 ซึ่งสูงกว่าดินลูกรัง ซึ่งค่าเท่ากับ 2.076 ton/m^3 และ 2.69 ตามลำดับ และจากการทดสอบ Liquid limit และ Plastic limit สำหรับดินลูกรังได้ค่า L.L. = 50%, P.L. = 34.2% และ PI = 15.8% สำหรับหินคลุกได้ค่า L.L. = 20.1%, P.L. = 13.2% และ PI = 6.9%



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของเม็ดดินลูกรังและหินคลุก

ตารางที่ 4.2 ค่า OMC และ MDD ของดินลูกรังที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

CC	OMC (%)	MDD (g/cc)
0	16.10	1.82
3	16.00	1.81
5	16.00	1.81
7	16.28	1.82
9	16.51	1.81

หมายเหตุ: CC = Cement Content

OMC = Optimum Moisture Content

MDD = Maximum Dry Density

4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของดินลูกรัง

ตารางที่ 4.3 การทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุก

Test	CC	T	W (kg)	Diameter (cm)			H (cm)	A (cm^2)	Load (kg)	UCS (ksc)
1	0	7	1.88	11.23	11.23	11.23	11.72	99.05	-	-
2	0	7	1.84	11.22	11.23	11.23	11.71	98.99	-	-
3	0	7	1.78	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	-	-
4	0	14	1.91	11.23	11.23	11.23	11.73	99.05	-	-
5	0	14	1.86	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
6	0	14	1.84	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	-	-
7	0	28	1.84	11.23	11.22	11.23	11.72	98.99	-	-
8	0	28	1.92	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
9	0	28	1.90	11.20	11.20	11.19	11.72	98.46	-	-
10	3	7	1.92	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	1518.86	15.35
11	3	7	1.92	11.20	11.20	11.21	11.70	98.58	1610.60	16.34
12	3	7	1.95	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	1549.44	15.66
13	3	14	1.83	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	1824.67	18.42
14	3	14	1.79	11.20	11.20	11.19	11.72	98.46	2110.09	21.43
15	3	14	1.82	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	1926.61	19.47
16	3	28	1.97	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	3190.62	32.23
17	3	28	1.92	11.20	11.20	11.19	11.70	98.46	2517.84	25.57
18	3	28	1.78	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	1773.70	17.93
19	5	7	1.94	11.20	11.20	11.20	11.70	98.52	2222.22	22.56
20	5	7	1.94	11.20	11.20	11.19	11.71	98.46	2303.77	23.40
21	5	7	1.90	11.22	11.22	11.22	11.72	98.87	2548.42	25.77
22	5	14	1.87	11.20	11.20	11.20	11.70	98.52	3547.40	36.01
23	5	14	1.87	11.20	11.20	11.20	11.71	98.52	3261.98	33.11
24	5	14	1.85	11.22	11.22	11.22	11.72	98.87	3639.14	36.81
25	5	28	1.79	11.20	11.20	11.20	11.70	98.52	3985.73	40.46

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Test	CC	T	W (kg)	Diameter (cm)			H (cm)	A (cm^2)	Load (kg)	UCS (ksc)
26	5	28	1.78	11.20	11.20	11.20	11.71	98.52	4638.12	47.08
27	5	28	1.76	11.22	11.22	11.22	11.72	98.87	4118.25	41.65
28	7	7	2.03	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	6116.21	61.75
29	7	7	1.95	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	5779.82	58.35
30	7	7	1.98	11.22	11.23	11.12	11.72	98.34	3659.53	37.21
31	7	14	1.87	11.23	11.22	11.23	11.71	98.99	6544.34	66.11
32	7	14	1.90	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	5331.29	53.82
33	7	14	1.84	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	6095.82	61.62
34	7	28	1.92	11.23	11.24	11.23	11.71	99.11	6687.05	67.47
35	7	28	1.95	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	6126.40	61.85
36	7	28	1.96	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	6901.12	69.76
37	9	7	2.03	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	5351.68	54.03
38	9	7	1.97	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	4362.90	44.05
39	9	7	1.99	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	6299.69	63.68
40	9	14	1.82	11.23	11.24	11.23	11.71	99.11	7777.78	78.48
41	9	14	1.93	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	6890.93	69.57
42	9	14	1.93	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	7370.03	74.45
43	9	28	1.97	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	7522.94	75.95
44	9	28	1.92	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	7706.42	77.80
45	9	28	1.96	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	8124.36	82.07

หมายเหตุ: CC = ปริมาณปูนซีเมนต์ (the cement content)

T = ระยะเวลาบ่ม (the curing time)

H = ความสูง (Height)

UCS = กำลังอัด (Unconfined Compressive Strength)

ตารางที่ 4.4 การทดสอบค่ากำลังอัดของดินลูกรังโดยเฉลี่ย

Test	CC	T	W (kg)	Diameter (cm)			H (cm)	A (cm^2)	Load (kg)	UCS (ksc)
1	0	7	1.83	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	-	-
2	0	14	1.87	11.23	11.23	11.23	11.72	99.01	-	-
3	0	28	1.88	11.22	11.22	11.22	11.72	98.83	-	-
4	3	7	1.93	11.21	11.21	11.22	11.72	98.81	1559.63	15.78
5	3	14	1.81	11.22	11.22	11.22	11.72	98.81	1953.79	19.78
6	3	28	1.89	11.21	11.22	11.22	11.72	98.79	2494.05	25.24
7	5	7	1.92	11.21	11.21	11.20	11.71	98.62	2358.14	23.91
8	5	14	1.86	11.21	11.21	11.21	11.71	98.64	3482.84	35.31
9	5	28	1.77	11.21	11.21	11.21	11.71	98.64	4247.37	43.06
10	7	7	1.99	11.23	11.23	11.19	11.71	98.81	5185.19	52.44
11	7	14	1.87	11.23	11.23	11.23	11.71	98.99	5990.49	60.52
12	7	28	1.94	11.23	11.23	11.23	11.71	99.03	6571.53	66.36
13	9	7	2.00	11.23	11.23	11.23	11.71	99.01	5338.09	53.92
14	9	14	1.89	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	7346.25	74.17
15	9	28	1.95	11.23	11.23	11.23	11.71	99.03	6731.23	78.61

หมายเหตุ: CC = ปริมาณปูนซีเมนต์ (the cement content)

T = ระยะเวลาบ่ม (the curing time)

H = ความสูง (Height)

UCS = กำลังอัด (Unconfined Compressive Strength)

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 เมื่อนำดินลูกรังมาทำการทดสอบหาค่ากำลังของวัสดุโดยวิธี Unconfined Compression Testเพื่อหาค่ากำลังอัด (UCS) พบว่า ค่ากำลังอัดขึ้นกับระยะเวลาการบ่มและปริมาณซีเมนต์ โดยที่ค่ากำลังอัดที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันและปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 9% มีค่าสูงสุดเท่ากับ 78.61 kscซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของปูนซีเมนต์มีผลโดยตรงต่อกำลังอัดของดินลูกรัง เมื่อผสมดินลูกรังด้วยปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้นจะทำให้กำลังอัดของดินลูกรังเพิ่มสูงขึ้น และค่าระยะการบ่มก็มีผลต่อกำลังอัดของดินลูกรัง เมื่อทำการบ่มวัสดุผสมดินลูกรังซีเมนต์ที่เวลานานขึ้นจะทำให้กำลังอัดของลูกรังเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตามที่มาตรฐานกรมทางหลวงที่กำหนดให้ค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์สำหรับงานชั้นพื้นทางที่อายุบ่ม 7 วันจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 21.50 ksc พบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 5% ได้กำลังอัดเท่ากับ 23.91 ksc มีค่ากำลังอัดสูงกว่าค่าที่กรมทางหลวงกำหนดไว้คือ 21.50 ksc

4.3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุก

ตารางที่ 4.5 การทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุก

Test	CC	T	W (kg)	Diameter (cm)			H (cm)	A (cm^2)	Load (kg)	UCS (ksc)
1	0	7	2.30	11.23	11.24	11.23	11.69	99.11	-	-
2	0	7	2.19	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
3	0	7	2.27	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	-	-
4	0	14	2.29	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
5	0	14	2.35	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
6	0	14	2.47	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	-	-
7	0	28	2.22	11.23	11.23	11.23	11.72	99.05	-	-
8	0	28	2.31	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
9	0	28	2.20	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	-	-
10	3	7	2.33	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	2568.81	25.97
11	3	7	2.35	11.20	11.20	11.19	11.70	98.46	2528.03	25.68
12	3	7	2.36	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	2293.58	23.18
13	3	14	2.26	11.23	11.23	11.23	11.73	99.05	3404.69	34.37
14	3	14	2.35	11.20	11.20	11.19	11.70	98.46	2782.87	28.26
15	3	14	2.29	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	2884.81	29.16
16	3	28	2.28	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	3527.01	35.61
17	3	28	2.31	11.20	11.20	11.19	11.70	98.46	3200.82	32.51
18	3	28	2.34	11.22	11.22	11.23	11.73	98.93	3690.11	37.30
19	5	7	2.14	11.20	11.20	11.20	11.70	98.52	5290.52	53.70
20	5	7	2.36	11.20	11.20	11.20	11.71	98.52	5107.03	51.84
21	5	7	2.33	11.22	11.22	11.22	11.72	98.87	5932.72	60.00
22	5	14	2.28	11.20	11.20	11.20	11.70	98.52	6075.43	61.67

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Test	CC	T	W (kg)	Diameter (cm)			H (cm)	A (cm^2)	Load (kg)	UCS (ksc)
23	5	14	2.37	11.20	11.20	11.20	11.71	98.52	6717.64	68.19
24	5	14	2.30	11.22	11.22	11.22	11.72	98.87	6411.82	64.85
25	5	28	2.36	11.20	11.20	11.20	11.70	98.52	6442.41	65.39
26	5	28	2.31	11.20	11.20	11.20	11.71	98.52	7390.42	75.01
27	5	28	2.34	11.22	11.22	11.22	11.72	98.87	7512.74	75.98
28	7	7	2.39	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	6901.12	69.67
29	7	7	2.31	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	7349.64	74.20
30	7	7	2.32	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	7064.22	71.36
31	7	14	2.31	11.23	11.24	11.23	11.71	99.11	10326.20	104.19
32	7	14	2.37	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	9174.31	92.62
33	7	14	2.33	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	11121.30	112.41
34	7	28	2.36	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	12793.07	129.16
35	7	28	2.32	11.23	11.23	11.23	11.72	99.05	12446.48	125.66
36	7	28	2.36	11.22	11.23	11.21	11.72	98.87	11376.15	115.06
37	9	7	2.35	11.23	11.22	11.23	11.71	98.99	7655.45	77.34
38	9	7	2.32	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	7522.94	75.95
39	9	7	2.36	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	8307.85	83.93
40	9	14	2.34	11.22	11.22	11.23	11.71	98.93	11457.70	115.81
41	9	14	2.36	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	10479.10	105.80
42	9	14	2.33	11.22	11.23	11.23	11.72	98.99	12048.93	121.72
43	9	28	2.33	11.23	11.24	11.23	11.71	99.11	13302.75	134.23
44	9	28	2.34	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	15310.91	154.58
45	9	28	2.31	11.22	11.23	11.22	11.72	98.93	14464.83	146.21

หมายเหตุ: CC = ปริมาณปูนซีเมนต์ (the cement content)

T = ระยะเวลาบ่ม (the curing time)

H = ความสูง (Height)

UCS = กำลังอัด (Unconfined Compressive Strength)

ตารางที่ 4.6 การทดสอบค่ากำลังอัดของหินคลุกโดยเฉลี่ย

Test	CC	T	W (kg)	Diameter (cm)			H (cm)	A (cm^2)	Load (kg)	UCS (ksc)
1	0	7	2.25	11.23	11.23	11.23	11.71	99.05	-	-
2	0	14	2.37	11.23	11.23	11.23	11.71	99.03	-	-
3	0	28	2.24	11.23	11.23	11.23	11.72	99.03	-	-
4	3	7	2.35	11.21	11.21	11.22	11.72	98.77	2463.47	24.94
5	3	14	2.30	11.22	11.22	11.22	11.72	98.81	3024.13	30.60
6	3	28	2.31	11.22	11.22	11.22	11.71	98.81	3472.65	35.14
7	5	7	2.28	11.21	11.21	11.21	11.71	98.64	5443.43	55.18
8	5	14	2.32	11.21	11.21	11.21	11.71	98.64	6401.63	64.90
9	5	28	2.33	11.21	11.21	11.21	11.71	98.64	7115.19	72.13
10	7	7	2.34	11.23	11.23	11.23	11.71	99.03	7104.99	71.75
11	7	14	2.34	11.23	11.23	11.23	11.71	99.03	10207.27	103.08
12	7	28	2.35	11.23	11.23	11.22	11.72	98.99	12205.23	123.29
13	9	7	2.35	11.23	11.23	11.23	11.71	99.01	7828.75	79.07
14	9	14	2.34	11.22	11.23	11.23	11.71	98.99	11328.58	114.44
15	9	28	2.33	11.23	11.23	11.23	11.71	99.03	14359.50	145.01

หมายเหตุ: CC = ปริมาณปูนซีเมนต์ (the cement content)

T = ระยะเวลาบ่ม (the curing time)

H = ความสูง (Height)

UCS = กำลังอัด (Unconfined Compressive Strength)

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 เมื่อนำหินคลุกมาทำการทดสอบหาค่ากำลังของวัสดุโดยวิธี Unconfined Compression Testเพื่อหาค่ากำลังอัด (UCS) พบว่า ค่ากำลังอัดขึ้นกับระยะเวลาการบ่มและปริมาณซีเมนต์ โดยที่ค่ากำลังอัดที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันและปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 9% มีค่าสูงสุดเท่ากับ 145.01 ksc สูงกว่ากรณีของดินลูกรังประมาณ 1.84 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของปูนซีเมนต์มีผลโดยตรงต่อกำลังอัดของหินคลุกเช่นเดียวกับกรณีของดินลูกรังและเมื่อผสมหินคลุกด้วยปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้นจะทำให้กำลังอัดของหินคลุกเพิ่มสูงขึ้นและค่าระยะการบ่มก็มี

ผลต่อกำลังอัดของหินคลุก เมื่อทำการบ่มวัสดุผสมหินคลุกซีเมนต์ที่เวลานานขึ้นจะทำให้กำลังอัดของหินคลุกเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตามที่มาตรฐานกรมทางหลวงที่กำหนดให้ค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์สำหรับงานชั้นพื้นทางที่อายุบ่ม 7 วันจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 21.50 ksc พบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 3% ได้กำลังอัดเท่ากับ 24.94 ksc มีค่ากำลังอัดสูงกว่าค่าที่กรมทางหลวงกำหนดไว้คือ 21.50 ksc

ตารางที่ 4.7 ค่า CBR ของดินลูกรังที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Test #	CC	T	CBR
C0T0	0	0	40
C3T7	3	7	53
C5T7	5	7	61
C7T7	7	7	82
C9T7	9	7	97

หมายเหตุ: CC = ปริมาณปูนซีเมนต์ (the cement content)
T = ระยะเวลาบ่ม (the curing time)
CBR = California Bearing Ratio (%)

ตารางที่ 4.8 ค่า CBR ของหินคลุกที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Test #	CC	T	CBR_2
C0T0	0	0	84
C3T7	3	7	98
C5T7	5	7	115
C7T7	7	7	134
C9T7	9	7	147

หมายเหตุ: CC = ปริมาณปูนซีเมนต์ (Cement Content)
T = ระยะเวลาบ่ม (the Curing Time)
CBR = California Bearing Ratio (%)

จากตารางที่ 2.9 มาตรฐานความสัมพันธ์ CBR และความเหมาะสมการใช้งานกำหนดไว้ว่า ค่า CBR ประมาณ 50% สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้ ซึ่งจากตารางที่ 4.7 พบว่า ดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่ 3% ที่เวลาบ่มประมาณ 7 วัน ได้ค่า CBR เท่ากับ 53% จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า ดินลูกรังผสมซีเมนต์จากแหล่งดินในจังหวัดสงขลาสามารถนำมาใช้แทนหินคลุกได้

บทที่ 5

การนำงานวิจัยไปใช้งาน

5.1 การก่อสร้างและปรับปรุงทางผิวทางโดยใช้ดินซีเมนต์ทดแทนหินคลุก

การวิจัยและพัฒนาการปรับปรุงดินลูกรังมาแทนที่หินคลุกมาใช้ในการก่อสร้างซ่อมแซมถนนหลังน้ำท่วม เป็นประเด็นที่ทีมวิจัยเห็นว่า มีความสำคัญ เนื่องจากในแต่ละปีมีถนนผิวทางลาดยางที่ได้รับความเสียหายหลังน้ำท่วมจำนวนมาก และใช้งบประมาณในการซ่อมแซมค่อนข้างสูง การก่อสร้างและซ่อมแซมถนนในรูปแบบเดิม มักจะใช้หินคลุกในชั้นพื้นทาง (Base) ดังแสดงในรูปที่ 5.1 การนำดินลูกรังมาใช้ทดแทนการใช้หินคลุกซึ่งกำลังขาดแคลนในหลายพื้นที่ เช่นเดียวกับ ในการก่อสร้างถนนทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จะประสบกับปัญหาการขาดแคลนวัสดุหินคลุกที่ใช้เป็นชั้นพื้นทาง บริเวณแถบนี้วัสดุตามท้องถิ่นที่หาได้ง่าย คือ ดินลูกรัง ดินปนทราย และกรวด การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังโดยใช้ปูนซีเมนต์มาผสมจึงถูกกำหนดให้นำมาใช้แทนหินคลุกในโครงสร้างของถนนผิวลาดยาง ดังนั้นกรมทางหลวงหรือสถาบันวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติและการนำไปใช้งานของถนนดินซีเมนต์เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการแก้ปัญหาการขาดแคลนวัสดุในระยะยาวเกี่ยวกับการนำดินลูกรังที่จะนำมาใช้แทนหินคลุกได้แสดงในรูป 5.2

รูปที่ 5.1 โครงสร้างถนนโดยทั่วไป

รูปที่ 5.2 โครงสร้างถนนโดยที่ใช้ดินซีเมนต์

จากการศึกษาและตรวจสอบสภาพถนนที่ได้ทำการก่อสร้างจริง โดยใช้พื้นทางเป็นดินซีเมนต์ เป็นแนวคิดคล้ายกับการใช้ โพลิเมอร์เคมโรด (Polymer Chemroad เป็นวัสดุวิทยาศาสตร์ปรับปรุงคุณภาพดิน มีส่วนผสมของโพลิเมอร์ลาเท็กส์และเซลลูโลส มีสีขาวคล้ายน้ำนม มีลักษณะข้นเหนียวและมีคุณสมบัติเป็นกลางไม่เป็นพิษ คิดค้นโดยนักเคมีวิทยาศาสตร์จากประเทศเยอรมัน) โดยศึกษาทั้งสภาพทางกายภาพของพื้นที่ที่ทำการก่อสร้าง การทดสอบในห้องทดลองและเก็บข้อมูลการจราจรของรถที่วิ่งผ่าน สามารถสรุปผลจากการใช้ ดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มความยืดหยุ่น ซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วมักจะมีความแข็งแต่เปราะและจะไม่มีความยืดหยุ่นในตัวเอง การใช้ดินซีเมนต์ที่ปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ช่วยลดปัญหาในเรื่องของความยืดหยุ่น เนื่องจากในการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์จำนวนมาก จะทำให้ลดความยืดหยุ่นของโครงสร้างถนน ถึงแม้ว่าไม่ทำให้กำลังของดินซีเมนต์ลดลง แต่จะทำให้เกิดความเสียหายของถนนเนื่องการเสียรูปอย่างถาวรและจะทำให้เกิดรอยร้าวได้ เนื่องจากการคืนรูปของถนน Polymer Chemroad เมื่อน้ำหนักรถวิ่งผ่านไปจะประสิทธิภาพดีขึ้น

2. การตัดปัญหาในการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ทำให้การก่อสร้างถนนที่มีความจำเป็นต้องให้กำลังสูงๆ สามารถทำได้โดยไม่เกิดปัญหาตามมาในภายหลัง ดินที่นำมาใช้เป็นวัสดุผสมสามารถที่จะใช้ได้หลากหลายขึ้น ทำให้สามารถใช้ดินในท้องถิ่นได้ไม่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินที่ตรงตามคุณภาพในระยะทางที่ไกล

3. การลดการซึมผ่านของน้ำ จะไปช่วยในการอุดช่องว่างที่เกิดขึ้น ภายในของดินซีเมนต์ ด้วยเหตุผลนี้ทำให้โอกาสที่จะเกิดความเสียหายของถนนเนื่องจากการทำลายของน้ำ จึงน้อยลง เนื่องจากน้ำจากด้านบนและด้านล่างไม่สามารถซึมผ่านชั้นพื้นทางได้ ความทนทานของถนนจึงมากขึ้น

5.1.1 ประโยชน์ของการนำดินซีเมนต์มาใช้เป็นชั้นพื้นทางแทนหินคลุก

จากผลการทดลองการนำดินซีเมนต์มาใช้เป็นชั้นพื้นทางแทนหินคลุก ซึ่งสามารถใช้เป็นประโยชน์ในด้านต่างๆดังนี้

1. ด้านความแข็งแรงและทนทานของโครงสร้าง

- รอยร่องล้อและหลุมบ่อ พื้นทางของดินซีเมนต์จะถ่ายแรงลงสู่ชั้นล่าง ได้เช่นเดียวกับพื้นทางหินคลุก เนื่องจากมันจะมีลักษณะกึ่งแข็ง (Semi Rigid) การถ่ายแรงลงไปในดินชั้นล่างมีพฤติกรรมคล้ายคอนกรีต หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชั้นดินเดิม (Subgrade)

จึงต่ำกว่าพื้นทางที่เป็นหินคลุกการทรุดตัวของชั้นดินเดิม เนื่องจากแรงตามแนวดิ่ง ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดรอยร่องล้อ และหลุมบ่อ

- การแตกของแอสฟัลท์คอนกรีต พื้นทางหินคลุกจะเกิดความเครียดจากแรงดึงตามแนวรัศมี (Redial Tensile Strain) ใต้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต เมื่อแอสฟัลท์คอนกรีตเกิดการล้าจนถึงจุดที่ไม่สามารถรับแรงได้ก็จะเกิดการแตกขึ้น ในขณะที่การใช้ดินซีเมนต์มาเป็นชั้นพื้นทางแทนหินคลุก Redial Tensile ที่เกิดขึ้น จะย้ายจากใต้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมาอยู่ใต้พื้นทางดินซีเมนต์ การแตกของแอสฟัลท์คอนกรีตจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ เกิดการลามของรอยแตกของดินซีเมนต์เนื่องจาก Radial Tensile Strain จากด้านล่างมาสู่ด้านบนการใช้ ดินซีเมนต์จึงยืดอายุของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตได้ดีกว่า
- น้ำใต้ดิน เมื่อน้ำใต้ดินมีระดับสูงจนถึงชั้นดินเดิมจะทำให้ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ซึ่งเป็นดินมีสภาพกลายเป็นพลาสติก ซึ่งจะทำให้เกิดการแทรกตัว โดยดินชั้นรองพื้นทาง จะแทรกตัวเข้าไป อยู่ในชั้นพื้นทางหินคลุก และหินคลุกก็จะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในชั้นรองพื้นทาง ลักษณะนี้จะมี ผลทำให้ผิวถนนเกิดการทรุดตัวตามการเคลื่อนตัวของพื้นทางหินคลุก เกิดแอ่งและหลุมบ่อทั้งขนาดเล็กและใหญ่ทั่วพื้นผิว เมื่อใช้พื้นทางเป็นดินซีเมนต์ดินชั้น รองพื้นทาง จะไม่สามารถแทรกตัวเข้ามาขังชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ก็จะไม่แทรกตัวเข้าไปยังชั้นรองพื้นทางเช่นกัน เนื่องจากการจับตัวกันเป็นแผ่น ดังนั้นจึงไม่เกิดแอ่งที่ผิวของถนน
- ฝน ถนนที่มีพื้นทางเป็นหินคลุกตามปกติแล้วมักจะเกิดแอ่งอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดน้ำขังได้ และน้ำที่ขังก็จะซึมลงไปทำลายโครงสร้างของชั้นทางทั้งหมด ตั้งแต่ผิวทาง ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง เรื่อยไปจนถึงชั้นดินเดิม การแก้ไขปัญหาโดยการใช้พื้นทางเป็นดินซีเมนต์จะไม่เกิดแอ่งโดยง่าย

2. ด้านค่าก่อสร้าง, การซ่อมแซมและบำรุงรักษา

- การขนส่งวัสดุหินคลุกในระยะไกล รถบรรทุกที่ใช้ขนส่งหินคลุกมักจะบรรทุกเกินพิกัด อันเป็นเหตุให้ถนนถูกทำลายลงมาก เนื่องจากรถบรรทุกที่น้ำหนักเกินพิกัด 2 เท่า จะมีค่าการทำลายถนนเป็น 16 เท่าของรถตามพิกัด ดังนั้นการขนส่งหินคลุกจากโรงโม่ไปยังโครงการที่อยู่ห่างไกลรถบรรทุกหินจะทำลายโครงสร้างถนนตลอดทางที่รถบรรทุกหินผ่าน ยิ่งระยะขนส่งไกลความยาวของถนนที่ถูกทำลายก็มากยิ่งขึ้น

การพิจารณาใช้พื้นทางดินซีเมนต์ก็เพื่อลดการทำลายถนนและส่งเสริมการใช้วัสดุท้องถิ่นในงานก่อสร้างให้มากยิ่งขึ้น

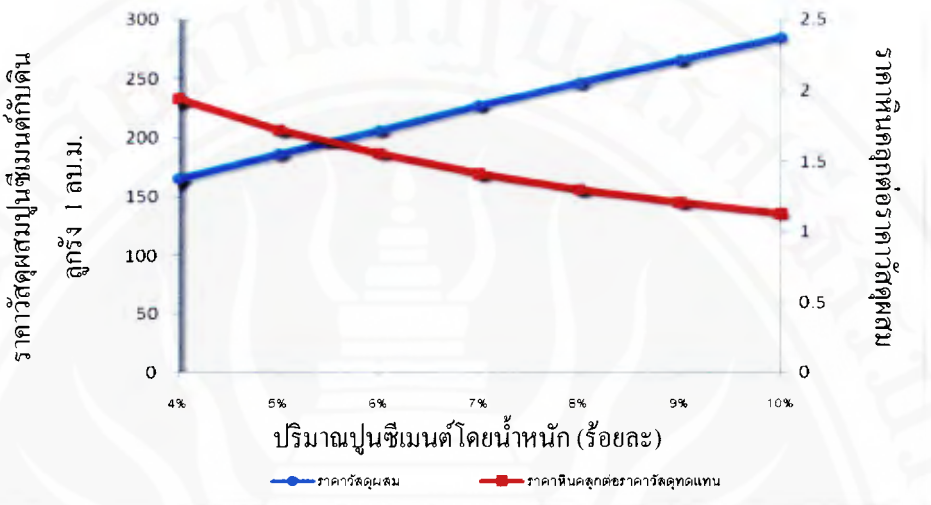
- การก่อสร้างถนนบนภูเขาหรือในหุบเขา การขนส่งหินคลุกเพื่อนำไปก่อสร้างพื้นทางของถนนที่สร้างบนภูเขา หรือในหุบเขาจะมีปัญหาเกี่ยวกับการขนส่งมาก เช่น กันรถบรรทุกจะไม่สามารถบรรทุกหินคุกได้ตามขีดความสามารถของรถบรรทุก เพราะไม่สามารถจะขึ้นภูเขาได้ การขนส่งหินคลุกขึ้นไปบนภูเขาทำให้หินมีราคาแพง หากพิจารณาใช้พื้นทางเป็นดินซีเมนต์โดยใช้ดินในพื้นที่นั้นเป็นวัสดุผสมจะเหมาะสมกว่ามาก

การนำดินลูกรังที่มีอยู่ในพื้นที่มาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อใช้แทนหินคลุกในชั้นพื้นทางเมื่อเปรียบเทียบราคาของดินลูกรังกับหินคลุกแล้วโดยเฉลี่ยหินคลุกมีราคาสูงกว่าดินลูกรังมากดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.3 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการผสมของดินลูกรังกับปูนซีเมนต์และต้นทุนการดำเนินงานแล้วพบว่ามีความเป็นไปได้

การนำดินลูกรังมาใช้แทนหินคลุกในชั้นพื้นทางของถนนควรกำหนดให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าไม่ต่ำกว่า 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินลูกรังไม่ควรน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักดินแห้ง

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบราคาของวัสดุทดแทนกับหินคลุก

ปริมาณปูน (%)	**น้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร** (กิโลกรัม)	**ราคาวัสดุผสมปูนซีเมนต์กับดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร** (บาท)	**ราคาหินคลุกต่อราคาวัสดุผสมปูนซีเมนต์กับดินลูกรัง**
4%	56 (1.12 ถุง)	165	1.94
5%	70 (1.40 ถุง)	186	1.72
6%	84 (1.68 ถุง)	206	1.56
7%	98 (1.96 ถุง)	227	1.41
8%	111 (2.22 ถุง)	246	1.30
9%	125 (2.50 ถุง)	265	1.21
10%	139 (2.78 ถุง)	284	1.13



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าร้อยละของปริมาณปูนซิเมนต์โดยน้ำหนักที่ผสมในดินลูกรัง กับราคาวัสดุผสม และราคาหินคลุกต่อราคาวัสดุผสม

ตารางที่ 5.1 ราคาดินลูกรังมีราคาเฉลี่ย 71 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่หินคลุกมีราคาเฉลี่ย 320 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือหินคลุกมีราคาประมาณ 4.5 เท่าของดินลูกรัง ราคาวัสดุดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ เทียบกับหินคลุก เมื่อนำราคามาเปรียบเทียบกันจะพบว่าหินคลุกมีราคาสูงกว่าดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์อยู่ในช่วง 1.94 ถึง 1.13 เท่าตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 4 ถึงร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าราคาของวัสดุผสมจะมีราคาสูงขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ และจะมีราคาใกล้เคียงกับหินคลุกเมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์ผสมในวัสดุทดแทนเกินกว่าร้อยละ 10 ขึ้นไป

5.1.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการก่อสร้างและปรับปรุงผิวทาง

จากผลการทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัดและการเปรียบเทียบราคาของดินลูกรังทดแทนหินคลุก ซึ่งสามารถใช้ทดแทนได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามในกรณีถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงและทางหลวงชนบท ซึ่งเป็นทางหลวงสายหลัก และสายรอง การก่อสร้างมีเกณฑ์มาตรที่สูงกว่าถนนในความรับผิดชอบของท้องถิ่น ดังนั้นการถ่ายทอดความรู้ในการซ่อมถนนภายหลังได้ประสบอุทกภัยจะมุ่งเน้นสำหรับหน่วยงานระดับท้องถิ่น เช่น เทศบาล องค์บริหารส่วนตำบล เป็นต้น โดยคำนึงถึงแหล่งวัสดุทดแทน และงบประมาณในการซ่อมแซม

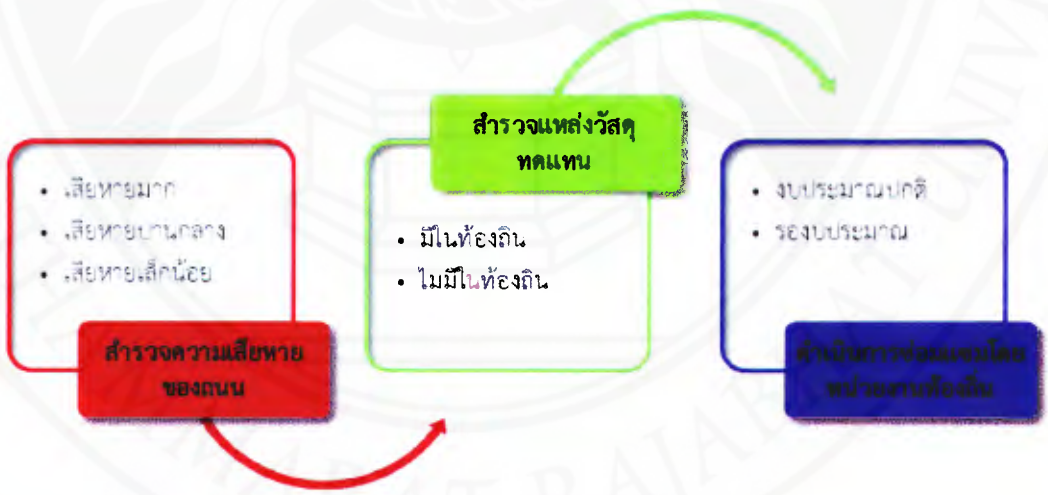
ขั้นตอนดำเนินการในการซ่อมแซมถนนในพื้นที่ชุมชนภายหลังประสบอุทกภัย สามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ (แสดงในรูปที่ 5.4)

1. หน่วยงานที่รับผิดชอบระดับชุมชน ทำการสำรวจและประเมินความเสียหายของสภาพถนนภายหลังประสบอุทกภัย โดยการประเมินด้วยสายตาและจำแนกลักษณะความเสียหายของถนนตามระดับความรุนแรงได้เป็น 3 ระดับ (คู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง กรมทางหลวง, 2550) ดังนี้
   - ระดับความเสียหายเล็กน้อย ผิวทางมีรอยแตกไม่มากนัก
   - ระดับความเสียหายปานกลาง ผิวทางมีรอยแตกร้าวมาก มีการเสียลึกลงจากผิวทาง
   - ระดับความเสียหายมาก ผิวทางมีรอยแตกร้าวมาก และลึกลงถึงโครงสร้างชั้นทาง
2. สำรวจแหล่งวัสดุทดแทน (แหล่งดินลูกรัง) ว่ามีอยู่ในพื้นที่หรือในเขตรับผิดชอบหรือบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงหรือไม่ ถ้าแหล่งวัสดุอยู่ไกลจากพื้นที่เสียหาย หน่วงงานที่รับผิดชอบต้องตรวจสอบว่าราคาค่าวัสดุลูกรังรวมค่าขนส่งมีราคาใกล้เคียงกับราคาหินคลุกหรือไม่ ถ้าราคาใกล้เคียงกันควรเลือกใช้หินคลุกเนื่องจากสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบส่วนผสม อย่างไรก็ตามในกรณีพื้นที่เสียหายมีแหล่งวัสดุอยู่ใกล้พื้นที่ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องนำวัสดุดินลูกรังไปทำการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับดินลูกรัง โดยมีขั้นตอนในการนำวัสดุทดแทนคือดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ซึ่งสัดส่วนปูนซีเมนต์ที่สูงที่สุดที่ใช้ผสมต้องไม่เกินร้อยละ 10 เนื่องจากราคาของหินคลุกจะมีราคาใกล้เคียงกับวัสดุลูกรังผสมปูนซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.2
3. การซ่อมแซมความเสียหายของผิวถนน ในกรณีที่ระดับความรุนแรงมีความเสียหากถึงระดับผิวทางและโครงสร้างรองรับผิวทาง การซ่อมแซมจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรและงบประมาณในการซ่อมแซม การเลือกใช้วัสดุทดแทนที่มีราคาถูกช่วยทำให้ประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมได้ โดยปกติในการซ่อมแซมถนนหน่วยงานท้องถิ่นสามารถดำเนินการได้เองหรือจัดจ้างผู้รับเหมาตามงบประมาณที่จัดสรรจากภาครัฐ

ตารางที่ 5.2 ขั้นตอนการนำวัสดุทดแทน (ดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์)
เพื่อทดสอบหาค่ากำลังอัดและสัดส่วนผสมที่เหมาะสม*

ขั้นตอน	รายละเอียด	หมายเหตุ
1. คัดเลือกดินลูกรังจากแหล่งในพื้นที่หรือพื้นที่ใกล้เคียง	ร่อนดินลูกรังผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว	-
2. นำดินลูกรังที่ร่อนผ่านตะแกรงผสมกับปูนซีเมนต์	ผสมกับปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก	-
3. บดอัดดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์	บดอัดเป็นชั้นๆ โดยวิธีการกดในแบบ เตรียมตัวอย่างจนได้ตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.14 ซ.ม.และสูง 11.73 ซ.ม.	บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 7 วันในห้องรักษาความชื้น
4. ทดสอบกำลังวัสดุทดแทน	ทดสอบกำลังรับแรงต้านทานแนวแกนแบบไม่มีแรงดันรอบด้านของตัวอย่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ให้ได้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	ค่ากำลังรับแรงอัด ≥ 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

หมายเหตุ: *ขั้นตอนและวิธีการทดสอบวัสดุทดแทนหินคลุกแสดงในภาคผนวก



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการดำเนินการในการซ่อมแซมถนนภายหลังประสบอุทกภัย

5.2 การลดมลพิษในเรื่องของฝุ่นหินและเสียงที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหมืองหิน

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกลูกรังจากบ่อดินลูกรังที่ได้รับการอนุญาตให้ดำเนินกิจการตามมาตรา 9 แห่งประมวลกฎหมายที่ดิน พ.ศ. 2543 ในพื้นที่ตำบลบ้านห้วยโอน อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ซึ่งการดำเนินการขุด การขนส่งดินลูกรัง จะต้องกระทำตามที่กฎหมายกำหนด มิเช่นนั้นผู้ประกอบการจะไม่สามารถต่อใบอนุญาตเพื่อขุดดินได้อีก และการขนส่งดินลูกรังมีการคลุมผ้าใบท้ายรถบรรทุกเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นดิน และดินลูกรังตกลงบนถนน จากการศึกษาดังกล่าว พบว่าสิ่งสำคัญที่ทำให้การใช้ดินลูกรังทดแทนการใช้หินคลุก เนื่องจากหินคลุกต้องทำการระเบิดจากภูเขาซึ่งจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป และมีผลกระทบด้านมลพิษในเรื่องของฝุ่นหินและเสียงที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหมืองหิน ปัญหาผลกระทบจากการทำเหมืองแร่หินสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สภาพของแหล่งวัสดุ หลายพื้นที่ที่เป็นแหล่งวัสดุหินคลุกมักจะเกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ความสวยงามของทิวทัศน์ ผลกระทบด้านเสียง และอื่นๆ เนื่องจากต้องมีการระเบิดภูเขาเพื่อนำหินคลุกมาใช้ เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุท้องถิ่นนำมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้ทดแทน หินคลุก
2. การก่อสร้างในพื้นที่วิกฤต การก่อสร้างตามแนวชายแดนบางแห่งพบว่ามีปัญหาด้านการรักษาความปลอดภัย และความมั่นคงของประเทศชาติ การใช้ดินระเบิด เพื่อระเบิดหิน และการโม่หินในพื้นที่ดังกล่าวอาจจะก่อให้เกิดความสับสนแก่เจ้าหน้าที่ทางฝ่ายรักษาความปลอดภัย โดยไม่แน่ใจว่าเสียงระเบิดที่ใช้ระเบิดหินจะมาจากการระเบิดหินจริงๆ หรือเปล่า การก่อสร้างทางในพื้นที่วิกฤตเหล่านี้แม้ว่าจะมีแหล่งวัสดุอยู่ก็ตามแต่ก็ไม่เหมาะสมที่จะเอามาใช้งาน เพราะการทำงานบางขั้นตอนของการผลิตหิน อาจจะมีผลกระทบต่อความมั่นคง และความปลอดภัยของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ ได้ ในกรณีดังกล่าวอาจจะต้องใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์แทนการใช้หินคลุก
3. ปัญหาผลกระทบด้านฝุ่นละออง เมื่อกล่าวถึงการประกอบการเหมืองหิน และโรงโม่หิน คนทั่วไปมักนึกถึงปัญหาผลกระทบด้านฝุ่นละอองเป็นลำดับต้นๆ เนื่องจากมีกรณีตัวอย่างของพื้นที่ประกอบการเหมืองหินและโรงโม่หินที่ประสบปัญหาฝุ่นละอองอย่างรุนแรงในพื้นที่แหล่งหินปูนบริเวณตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ซึ่งได้กลายเป็นจุดสนใจและกระตุ้นให้ประชาชนทั่วไปตระหนักถึงปัญหาผลกระทบจากฝุ่นละออง

ตัวอย่างการศึกษาหาสาเหตุของแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองจากการทำเหมืองหินและโรงโม่หิน บริเวณพื้นที่หน้าพระลาน พบว่า มาจากกระบวนการโม่บดและย่อยหินของโรงโม่หินประมาณร้อยละ 48 การตักและขนส่งลำเลียงหินทั้งภายในและภายนอกโรงโม่หินประมาณร้อยละ 50 และการระเบิดและกิจกรรมต่างๆ บริเวณหน้าเหมืองประมาณร้อยละ 2 (รัชฎาภรณ์ เจริญพร้อม, 2550) และจากข้อมูลของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7 พบว่า ฝุ่นละอองจากการทำเหมืองหินและโรงโม่หินเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การเจาะระเบิด การระเบิด การทุบย่อยที่บริเวณบดย่อย (Crusher) การลำเลียงโดยสายพานหรือรถบรรทุกเทท้าย ลานกองหิน การขนส่ง และกองมูลดิน และเศษดิน

จากข้อมูลของฝ่ายสารสนเทศอุตสาหกรรม ศูนย์สารสนเทศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2545 นั้นในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับฝุ่นหิน จำนวน 8,602 โรง ซึ่งในจำนวนนี้ตั้งอยู่ในเขตภาคกลาง (รวมกรุงเทพมหานคร) จำนวน 4,006 แห่ง (46.57 %) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 1,922 แห่ง (22.34 %) ภาคเหนือ 1,516 แห่ง (17.62%) และภาคใต้ จำนวน 1,158 แห่ง (13.46 %) มีคนงานทำงานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ทั้งหมด 234,010 คน ส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคกลาง (รวมกรุงเทพมหานคร จำนวน 160,018 คน (68.38 %) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 25, 980 คน (11.10%) ภาคเหนือ 30.154 คน (12.89%) ภาคใต้จำนวน 17,858 คน (7.63%) แต่เนื่องจากโรคปอดฝุ่นหินทรายนั้นวินิจฉัยได้ยาก จึงไม่มีตัวเลขผู้ป่วยแน่ชัด อย่างไรก็ตาม ในส่วนของสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมได้มีโครงการเฝ้าระวังโรคซิลิโคสิสมานับสิบปี และมีการประสานความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยและหน่วยงานในต่างประเทศ โดยมีการจัดการอบรมแพทย์อาชีว-เวชศาสตร์เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจำแนกและวินิจฉัยโรค รวมทั้งประสานความร่วมมือกับองค์การแรงงงานระหว่างประเทศ (ILO) ในการอบรมแพทย์เฉพาะทางในการอ่านฟิล์มเอ็กซเรย์ปอดด้วยเกณฑ์มาตรฐานขององค์การแรงงานระหว่างประเทศ (ILO) (Pneumoconiosis ILO Classification) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 เป็นต้นมา

กรณีของโรงโม่หินนั้นเป็นปัญหาสุขภาพของประชาชนในระดับพื้นที่และระดับประเทศ เนื่องจากมีฝุ่นฟุ้งกระจายออกจากสถานประกอบการและมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนรอบนอกด้วยนอกเหนือจากคนงานในสถานประกอบการนั้น ทำให้เพิ่มกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อโรคปอดฝุ่นหินทราย ดังกล่าว และจังหวัดสระบุรีนั้นได้มีกรณีร้องเรียนปัญหาดังกล่าวบ่อยครั้ง ได้มีหน่วยงานหลายหน่วยงานของภาครัฐที่พยายามจัดการแก้ไขปัญหามลพิษดังกล่าว เช่นกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขได้จัดอุตสาหกรรมประเภทโรงโม่บดย่อยหินนี้เป็นกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 เพื่อการดูแลสุขภาพประชาชนและอนามัย

สิ่งแวดล้อมในสถานประกอบการและชุมชน และกองอาชีวอนามัย กรมอนามัยยังได้การดำเนินงานเฝ้าระวังโรคซิลิโคสิสในสถานประกอบการประเภทโรงโม่ บดย่อยหินอย่างต่อเนื่องทุกปีอีกด้วย นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2542 กรมอนามัย โดยสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อมได้จัดให้มีการศึกษามลพิษจากโรงโม่หิน ซึ่งผลการศึกษานั้นพบว่าในเขตจังหวัดสระบุรีนั้นมีเปอร์เซ็นต์ซิลิก้าในสถานประกอบการมาก แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามกฎหมายความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีในสภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้ ส่วนคุณภาพอากาศของชุมชนโดยรอบนั้นพบทั้งฝุ่นละอองชนิด ฝุ่นรวม(TSP) และ PM10 ในระดับเกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้ ซึ่งได้มีการแนะนำให้มีการปรับปรุงแก้ไขสิ่งแวดล้อมในสถานประกอบการที่เป็นปัญหา นอกจากนี้กองอาชีวอนามัย กรมอนามัยยังได้มีแผนเฝ้าระวังสุขภาพผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการประเภทโรงโม่บด ย่อยหิน ดังกล่าวอีกด้วย

แม้ว่าจะมีการดำเนินการแก้ไขปัญหาอย่างต่อเนื่องก็ยังมีกรณีร้องเรียนเกี่ยวกับฝุ่นจากโรงโม่หินดังกล่าวเป็นระยะและพบว่ามีปัญหาสุขภาพปอดของผู้ประกอบอาชีพในสถานประกอบการดังกล่าวอีกด้วย ดังนั้นกรมอนามัยโดยกองอาชีวอนามัยจึงได้กำหนดแผนการกำจัดซิลิโคสิสระดับประเทศ ในช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2544-2553) โดยจัดตั้งโครงการควบคุมป้องกันโรคซิลิโคสิสในประเทศไทย (Silicosis Elimination Program in Thailand) เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2543 ซึ่งมีการลงนามพันธกิจระหว่าง 3 หน่วยงานหลัก ได้แก่ กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กรมทรัพยากรธรณี และกรมอนามัย แม้ในปัจจุบันนี้กองอาชีวอนามัยได้เปลี่ยนเป็นสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมในสังกัดกรมควบคุมโรคแล้วก็ยังมีการดำเนินการโครงการดังกล่าวอย่างต่อเนื่องเพื่อควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นหินทรายที่มีผลกระทบต่อสุขภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปี พ.ศ. 2547 ได้มีกรณีร้องเรียนเกี่ยวกับฝุ่นหินทรายที่บริเวณอำเภอหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ซึ่งหลายหน่วยงานประกอบด้วยกรมโรงงานอุตสากรรม กรมควบคุมมลพิษและกรมควบคุมโรคโดยสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมได้เข้าไปร่วมตรวจสอบและแก้ไขปัญหาโดยใช้วิธีการควบคุมทางวิศวกรรมความปลอดภัยและด้านอาชีวอนามัยให้มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นหินทรายน้อยลง

จากผลการศึกษาการพัฒนาดินลูกรังซึ่งมีราคาถูกและหาง่ายมาทดแทนการใช้หินคลุกสำหรับงานซ่อมแซมถนนหลังน้ำท่วม ทำให้ช่วยประหยัดงบประมาณแผ่นดิน การลดปัญหาการขาดแคลนหินคลุก และลดการใช้หินคลุก ซึ่งจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในเรื่องของมลภาวะทางเสียงและอากาศจากอุตสาหกรรมการผลิตหิน และจากผลการศึกษานี้สามารถนำวิธีการคัดเลือกวัสดุทดแทนหินคลุก โดยการกำหนดอัตราส่วนสำหรับการผสมระหว่างดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ที่

เหมาะสมเพื่อถ่ายถอดสู่หน่วยงานระดับชุมชน และใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติและทำให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมทางด้านกำลังรับแรงของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์

บทที่ 6

สรุปผลการทดสอบ

ปัจจุบันมีการก่อสร้างและปรับปรุงสาธารณูปโภคพื้นฐานต่างๆมากมายโดยเฉพาะการก่อสร้างถนนเพิ่มขึ้น การศึกษานี้จึงต้องการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้ซีเมนต์ โดยงานวิจัยนี้ได้นำดินลูกรังจากบ้านห้วยโอน อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ที่ใช้เป็นวัสดุในชั้นรองพื้นทาง (Subbase) มาปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมซีเมนต์ เนื่องจากในปัจจุบันพบว่า หินคลุกที่ใช้เป็นวัสดุในชั้นพื้นทาง (Base Course) เป็นวัสดุที่หายากและขาดแคลน จึงต้องการศึกษาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับหินคลุกเพื่อสามารถที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนกันได้ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้หินคลุกจาก ตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล

จากการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ว่าปูนซีเมนต์มีผลต่อกำลังอัดของดินลูกรังและหินคลุกซึ่งปริมาณเปอร์เซ็นต์และระยะเวลาการบ่มมีผลโดยตรงต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ ตามที่มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์สำหรับงานชั้นพื้นทางที่อายุบ่ม 7 วัน จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 21.50 ksc จากผลการทดสอบที่ได้ปริมาณซีเมนต์ที่ 9% จะได้กำลังอัดสูงสุด กรณีดินลูกรังพบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 5% ได้กำลังอัดเท่ากับ 23.91 ksc มีค่ามากกว่าที่กรมทางหลวงกำหนดไว้คือ 21.50 ksc ถือว่านำไปใช้งานได้ส่วนกรณีของหินคลุกพบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 3% ได้กำลังอัดเท่ากับ 24.94 ksc มีค่ากำลังอัดสูงกว่าค่าที่กรมทางหลวงกำหนดไว้คือ 21.50 ksc

หากพิจารณาตามมาตรฐานความสัมพันธ์ CBR และความเหมาะสมการใช้งาน ซึ่งกำหนดไว้ว่า ค่า CBR ประมาณ 50% สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้ พบว่า ดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่ 3% ที่เวลาบ่มประมาณ 7 วัน ได้ค่า CBR เท่ากับ 53% จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า ดินลูกรังผสมซีเมนต์จากแหล่งดินในจังหวัดสงขลาสามารถนำมาใช้แทนหินคลุกได้ โดยที่วัสดุหินคลุกโดยทั่งไปสามารถนำมาใช้เป็นชั้นพื้นทางได้โดยไม่ต้องทำการปรับปรุงก็มีค่าสูงกว่าข้อกำหนด

โดยทั่วไปในการทำการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ จะไม่ใช้ระยะบ่ม 28 วัน เพราะเป็นระยะเวลาในการบ่มมากเกินไป ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน จึงเลือกใช้งานตัวอย่างที่มีระยะบ่ม 7 วัน เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังของดินซีเมนต์เพื่อนำไปเป็นชั้นพื้นทาง โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ปรับปรุงข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินชั้นพื้นทางซึ่งหากได้นำไปใช้จริงจะต้องคำนึงถึง สภาพหน้างาน และการควบคุมคุณภาพการบดอัด งานวิจัยในอนาคตอาจนำเอาวัสดุเหลือใช้อื่นๆ มาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพเช่น ปูนขาว เถ้าไม้ยางพารา หรือวัสดุอื่นๆที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการศึกษาที่ได้จากการทดลองวัสดุทดแทนดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ สามารถถ่ายทอดวิธีการและขั้นตอนให้กับหน่วยงานในระดับท้องถิ่น เช่น เทศบาลตำบล องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น เป็นต้น โดยพิจารณาจากขั้นตอนดังนี้

1. หน่วยงานที่รับผิดชอบระดับชุมชน ทำการสำรวจและประเมินความเสียหายของสภาพถนนภายหลังประสบอุทกภัย โดยการประเมินด้วยสายตาและจำแนกลักษณะความเสียหายของถนนตามระดับความรุนแรงได้เป็น 3 ระดับ
2. สำรวจแหล่งวัสดุทดแทน (แหล่งดินลูกรัง) ว่ามีอยู่ในพื้นที่หรือในเขตรับผิดชอบหรือบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงหรือไม่
3. ดำเนินการซ่อมแซมตามความเสียหายของผิวถนน โดยใช้งบประมาณของหน่วยงาน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าการเลือกใช้วัสดุทดแทนดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ สามารถใช้ทดแทนหินคลุกได้ เนื่องจากดินลูกรังสามารถหาได้ง่ายกว่า และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยกว่าการทำเหมืองหิน แต่อย่างไรก็ตามการคัดเลือกบ่อดินต้องเป็นบ่อดินที่ได้รับอนุญาต และมีมาตรการป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นดินตามที่กฎหมายกำหนด

บรรณานุกรม

กรมทางหลวง. 2555. คำแนะนำการสำรวจและบำรุงรักษาถนน ภายหลังประสบอุทกภัย, เอกสารประกอบการสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2555, หน้า 293-330, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ.

กระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม. อนุภาคขนาดเล็กที่ต้องควบคุม. กลุ่มกำกับและเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2 สำนักบริหารสิ่งแวดล้อมฝุ่นละออง. http://www.most.g.th. สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2557.

กระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม. การควบคุมผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตหินปูนของเหมืองหิน.สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7. http://www.envi7.com/oldversion/data/ link _mine_process2.html#online7. สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2557.

จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2549. การออกแบบทาง. พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

ฐานเศรษฐกิจ. ทช.ระบุซ่อมถนนน้ำท่วมแล้วเสร็จ ต.ค.นี้. http://thanonline.com. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2555.

ไทยรัฐออนไลน์. คาดต้องใช้ 1.6 หมื่นล้านซ่อมถนนพังจากน้ำท่วม. http://www.thairath.co.th. สืบค้นเมื่อ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2554.

ผู้จัดการออนไลน์ (ASTV). 2554. ชาวสงขลาเฮ! ศาลสั่ง "พีรพลมายนิ่ง" ระเบิดหิน "เขาคูหา" ชดใช้ค่าเสียหายผู้เดือดร้อน, 2 สิงหาคม 2554

นพภาพร พานิช, 2547, ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ

นิโรจน์ เงินพรหม. 2553. การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรังปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก. งานวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

รัชฎาภรณ์ เจริญพร้อม, 2550, ความตระหนักของประชาชนเกี่ยวกับผลกระทบของฝุ่นละอองต่อระบบนิเวศน์ในเขตอุตสาหกรรมเหมืองหินปูน โรงโม่ บด และย่อยหิน กรณีศึกษาตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

วรศักดิ์ ตันติวนิช และสมหวังช่างสุวรรณ. 2538. ธรณีวิทยาแหล่งดินลูกรังบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย, รายงานฉบับที่วว. 134 กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง.

วิเศษ แจ้งจิตร, 2552. การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าก้นเตา, ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ. 2526. การศึกษาคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, กรุงเทพฯ.

สุภาพร สนิทวงศ์ชัย, 2528. อิทธิพลของพลังงานบดอัดที่มีต่อดินลูกรัง,ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สราวุธ จริตงาม. 2548. คู่มือทฤษฎีและปฏิบัติการทดสอบดิน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

อาทร ชูพลสัตย์, 2552. การศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขี้เถ้าแกลบเปลือกไม้ยูคาลิปตัส, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Alexander, L.T. and G. Cady, 1962. Genesis and Hardening of Laterite Soils. U.S.Dept Agri. Tech. Bull. No. 1282, New York

Baldovin, G., 1969. The shear strength of lateritic soils.Proc. Spec. Session Eng. Properties Lateritic Soils (1) : 129-142

Buchanan, F., 1807. A journey from Madras thorough the countries of Mysore, Canara and Malabor, 2d ed., East Indian Company, London.

CHEMROAD. 2014. Polymer for Soil Stabilizer. http://www.chemroad.com. Available on October 2oth, 2014.

Hongnoi, M., 1969. Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils.M.Eng. Asian Institute of Technology, Bangkok.

Lacroix, A., 1913. Les Laterites de la guinea et les products d' alte'ration qui leursontassocie's, pp. 255-356.In MD Gidigasu.Laterite soil engineering. Elsevier Sci. Pub.Co., New York.

Mallet, F.R., 1883. Laterite and other manganese are occurring at Gosolpur, Jabalpur distrct. Rec. Geol. Surv. 16: 103-118.

Martin, F.J. and H.C. Doyne., 1927. Laterite and lateritic soil in Sierra Leone. J. Agri.Sci. 17: 530-546.

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.

Newill, D., 1959. An investigation into the relation for Ghanian soils between organic matter content content and the strength of soil cement. Brit. Rd. Res. Lab. Note. No.3572.

T.Ruenkrairergsa and S. Apimeteetamrong, 2000. Comparative analysis of strains and displacements between crushed rock base and soil-cement base asphalt pavement, รายงานฉบับที่ วพ. 182 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมวัสดุ

วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (Crushed Rock Soil Aggregate Type Base)

วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก หมายถึง วัสดุซึ่งมีขนาดคละกันสม่ำเสมอจากใหญ่ไปหาเล็ก นำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นคันทาง

คุณสมบัติ

1.ปราศจากก้อนดินเหนียว วัสดุจำพวกเซล หรือวัชพืชอื่น ๆ

2.มีอัตราส่วนคละสม่ำเสมอประกอบด้วยส่วนหยาบและส่วนละเอียด

3.ส่วนหยาบต้องเป็นหินโม่หรือกรวดโม่

4.ส่วนละเอียดเป็นวัสดุชนิดเดียวกับส่วนหยาบ หากมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงชนบทก่อน

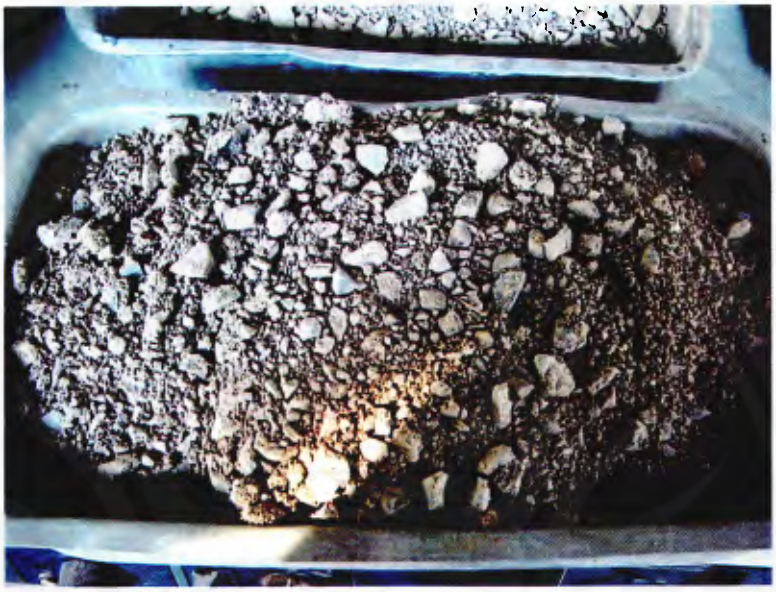
5.ค่าขีดเหลว ไม่มากกว่า 25

6.ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก ไม่มากกว่า 6

7.ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ ไม่มากกว่า 40

8.มีมวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางข้างล่างนี้

รูปที่ ก-1 หินคลุกจากตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล



รูปที่ ก-2 ลักษณะหินคลุกที่ใช้ในการก่อสร้าง

ปูนซีเมนต์ (CEMENT)

ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบอย่างหนึ่งมีลักษณะเป็นผงที่บดละเอียดซึ่งเมื่อได้ผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอดีแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะแข็งตัว โดยมนุษย์ในสมัยโบราณได้ค้นพบว่าเมื่อเอาหินบางชนิดมาทำการเผาจนสลายเป็นผงแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมน้ำทิ้งไว้ชั่วเวลาหนึ่ง ก็จะได้ผลผลิตที่แข็งเป็นก้อน เป็นรูปร่างตามต้องการปูนซีเมนต์ ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินั่ม หรือ ซิลิก้า ซึ่งได้แก่ ดินดำ ดินขาว หรือ ศิลาแลง ซึ่งมีธาตุเหล็กมาผสมเข้าด้วยกัน

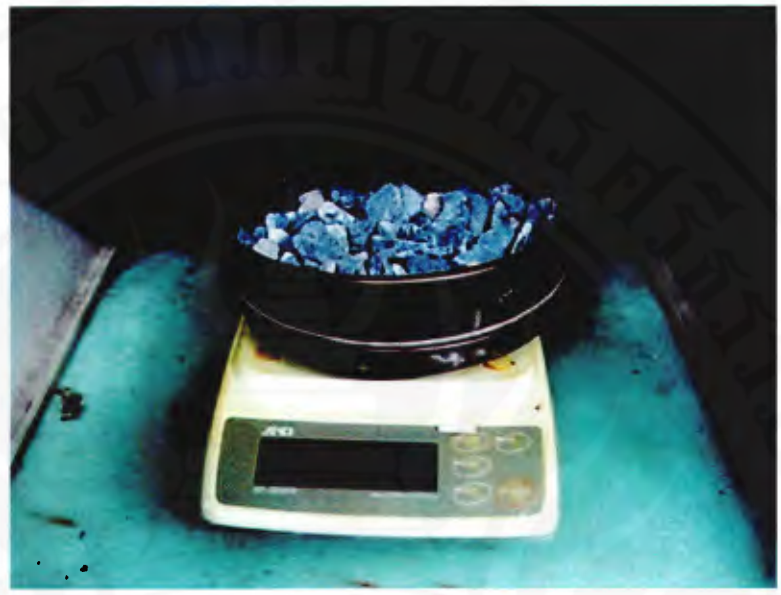
รูปที่ ก-3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

ภาคผนวก ข

การทดลองหินคลุก

รูปที่ ข-1 เปิดน้ำผ่านตะแกรง เพื่อให้ดินเม็ดเล็ก ผ่านตะแกรงลงมา

รูปที่ ข-2 ล้างหินในแต่ละชั้น



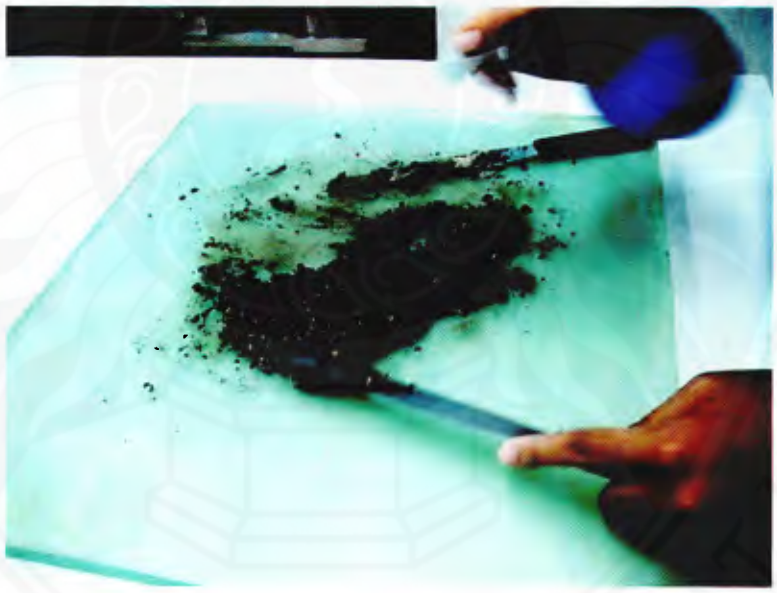
รูปที่ ข-3 ชั่งน้ำหนักของดินแต่ละตะแกรง แล้วนำไปอบ

รูปที่ ข-4 เขย่าด้วยเครื่องร่อน

รูปที่ ข-5 เครื่องมือทดสอบ Liquid Limits (LL)

รูปที่ ข-6 ร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40

รูปที่ ข-7 ดินตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40

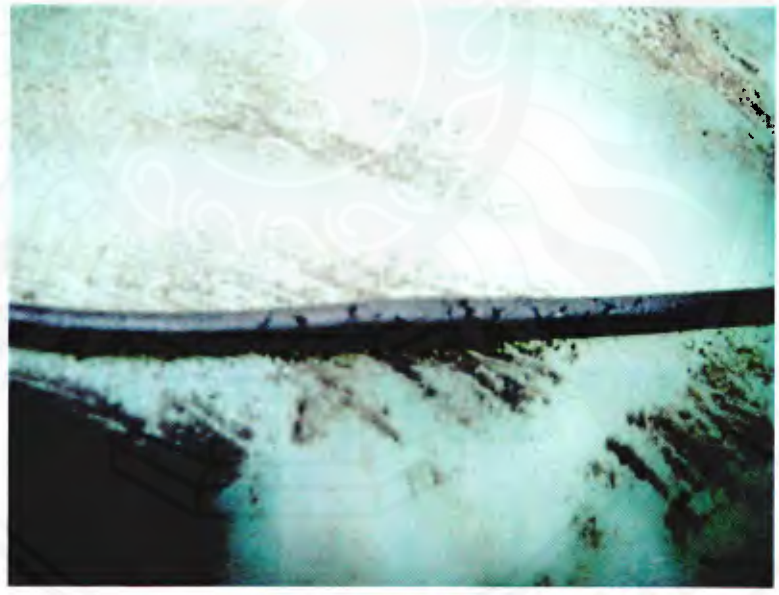


รูปที่ ข-8 ทำการผสมดินให้เข้ากันกับน้ำกลั่น

รูปที่ ข-9 นำดินใส่ถ้วยกระทะ หนา 10 มิลลิเมตร

รูปที่ ข-10 ใช้ที่ปาดร่องดินปาดดินให้เป็นร่องตรงกลาง

รูปที่ ข-11 หมุนให้ชนกัน 12.7 มิลลิเมตร



รูปที่ ข-12 ทดสอบหาค่า PL

รูปที่ ข-13 คลุกเคล้าจนเข้ากันดี

รูปที่ ข-14 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ ข-15 นำก้อนหินคลุกเข้าเครื่องดันดิน

รูปที่ ข-16 ดันก้อนหินคลุกออกจากเครื่องดันดิน

รูปที่ ข-17 นำก้อนหินคลุกที่ออกมาหุ้มด้วยพลาสติก และใส่ถุงบ่มตามวันที่กำหนด

รูปที่ ข-18 วางก้อนหินคลุกบนเครื่องกด และอ่านค่ากำลังจากเครื่องกด

ภาคผนวก ค

การทดลองดินลูกรัง

รูปที่ ค-1 แช่ตัวอย่างในน้ำประมาณ 1 ชั่วโมง

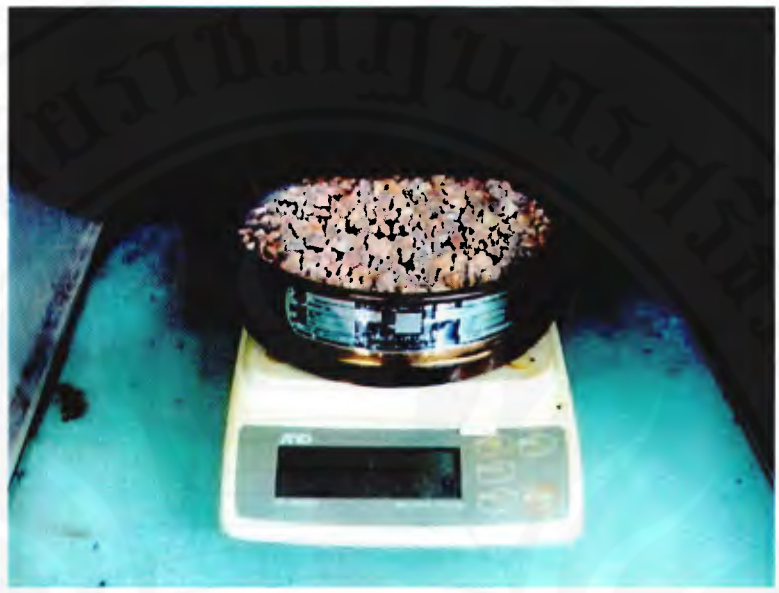
รูปที่ ค-2 ชุดตะแกรงสำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4

รูปที่ ค-3 ชุดตะแกรงสำหรับวัสดุที่มีเล็กกว่าเบอร์ 4

รูปที่ ค-4 เปิดน้ำผ่านตะแกรง

รูปที่ ค-5 เทดินที่อบแล้ว ใส่เครื่องเขย่า

รูปที่ ค-6 เปิดเครื่องสั่นประมาณ 10-15 นาที



รูปที่ ค-7 ชั่งน้ำหนักของดินแต่ละตะแกรง

รูปที่ ค-8 เครื่องมือทดสอบ Liquid Limits (LL)

รูปที่ ค-9 ร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40

รูปที่ ค-10 ดินตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40

รูปที่ ค-11 เครื่องมือทดสอบ Liquid Limits (LL)

รูปที่ ค-12 ทำการผสมดินให้เข้ากันกับน้ำกลั่น

รูปที่ ค-13 นำดินใส่ถ้วยกระทะ

รูปที่ ค-14 ใช้ที่ปาดร่องดินปาดดินให้เป็นร่องตรงกลาง

รูปที่ ค-15 ตัวอย่างดินที่ปาดเป็นร่องก่อนเคาะ

รูปที่ ค-16 หมุนเคาะถ้วยกระทะด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อนาที

รูปที่ ค-17 ตักดินที่ชนกัน 12.7 มิลลิเมตร ใส่ถ้วยแล้วนำไปอบ

รูปที่ ค-18 การชั่งน้ำหนักของกระป๋องอบดินพร้อมตัวอย่างดิน

รูปที่ ค-19 การนำตัวอย่างดินไปอบในเตาอบเพื่อหาปริมาณน้ำ

รูปที่ ค-20 นำดินที่ได้จากการทำ LL มาคลึงเป็นเส้น

รูปที่ ค-21 คลึงดินจนได้เส้นยาวที่มี D =3.2 mm และมีรอยแตก

รูปที่ ค-22 หักใส่ถ้วยแล้วนำไปอบ

รูปที่ ค-23 แบบ (Mold)

รูปที่ ค-24 อุปกรณ์ทดสอบการบดอัดดิน

รูปที่ ค-25 การนำตัวอย่างร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว

รูปที่ ค-26 การชั่งตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว

รูปที่ ค-27 คลุกเคล้าจนเข้ากันดี

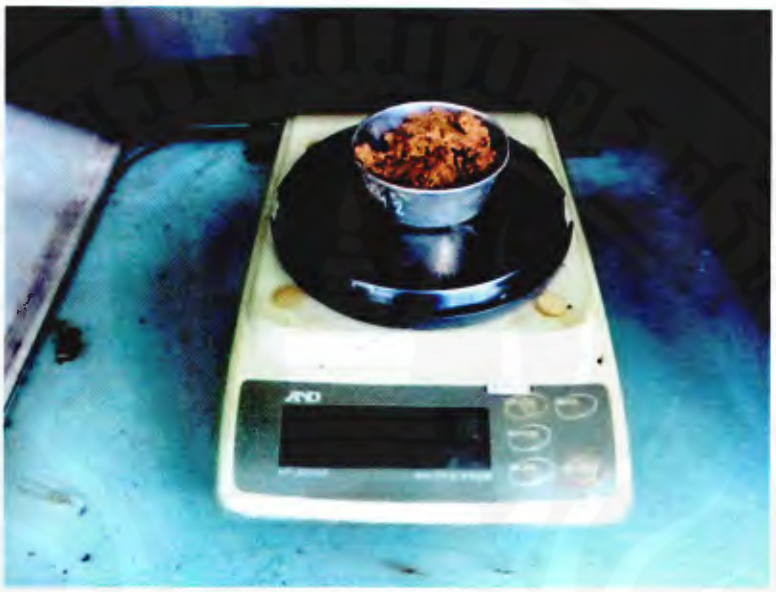
รูปที่ ค-28 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ ค-29 ปาดแต่งหน้า ตกแต่งให้เรียบ

รูปที่ ค-30 ใช้แปรงปัดดินออกจากแบบ

รูปที่ ค-31 ชั่งน้ำหนักดินพร้อมแบบ

รูปที่ ค-32 การเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำในดิน



รูปที่ ค-33 นำดินในแบบไปอบ หาค่าความชื้น

รูปที่ ค-34 นำตัวอย่างที่บดอัดแล้วเข้าเครื่องดันดิน

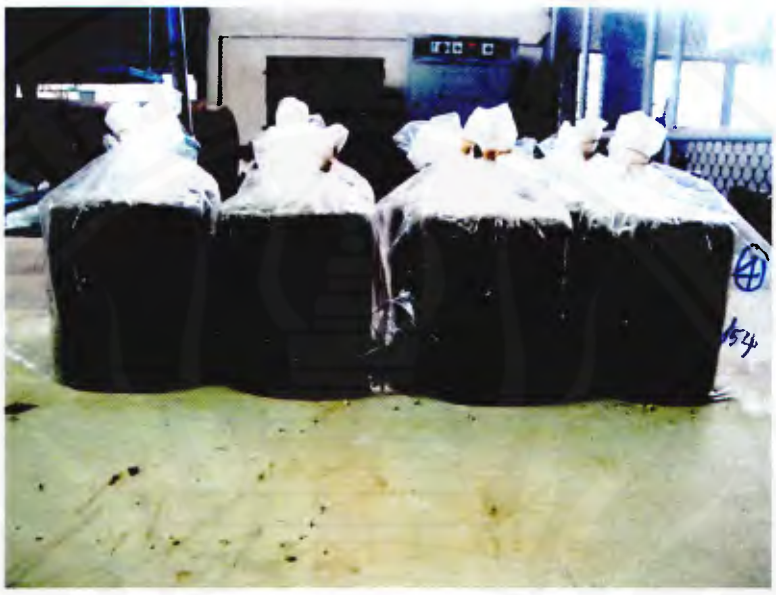
รูปที่ ค-35 ดันก้อนตัวอย่างออกจาก Mold

รูปที่ ค-36 ลักษณะก้อนตัวอย่างที่ดันออกจาก Mold

รูปที่ ค-37 นำก้อนตัวอย่างที่ออกมาหุ้มด้วยพลาสติก

รูปที่ ค-38 ก้อนตัวอย่างก่อนบ่มที่ 0 เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

รูปที่ ค-39 ก้อนตัวอย่างก่อนบ่มที่ 3 เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์



รูปที่ ค-40 ก้อนตัวอย่างก่อนบ่มที่ 5 เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

รูปที่ ค-41 ก้อนตัวอย่างก่อนบ่มที่ 7 เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

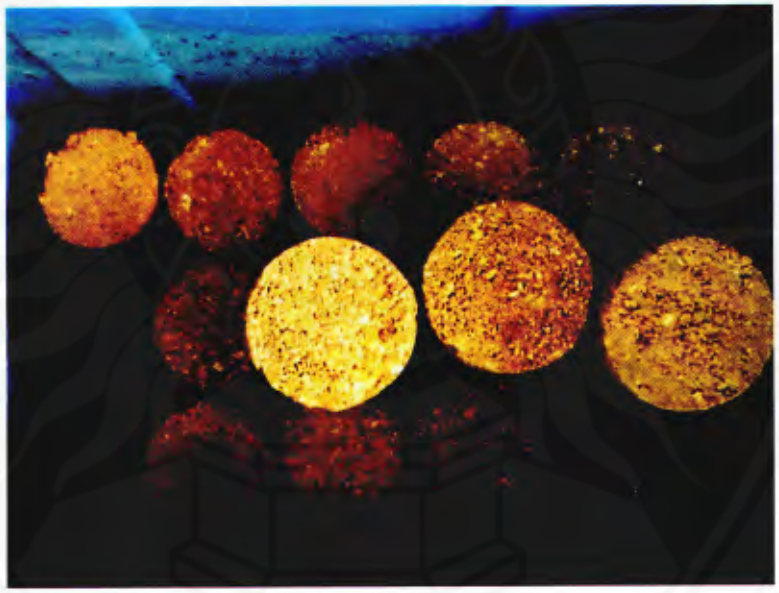
รูปที่ ค-42 ก้อนตัวอย่างก่อนบ่มที่ 9 เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์

รูปที่ ค-43 การบ่มก้อนตัวอย่าง

รูปที่ ค-44 วัดความกว้างของดิน เพื่อหาปริมาตร

รูปที่ ค-45 วัดความสูงของดิน เพื่อหาปริมาตร

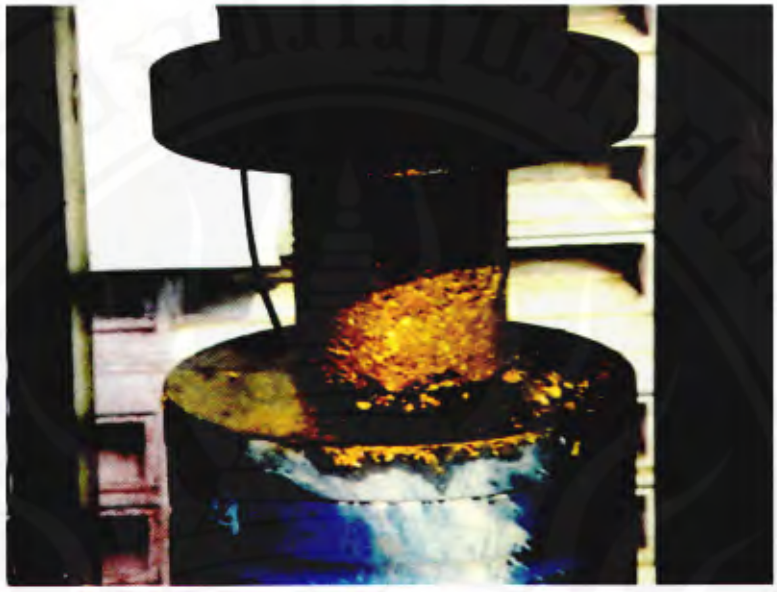
รูปที่ ค-46 แกะพลาสติกที่ห่อหุ้มก่อนนำไปแช่น้ำ



รูปที่ ค-47 ก้อนตัวอย่างก่อนแช่น้ำ

รูปที่ ค-48 แช่น้ำก้อนตัวอย่างประมาณ 2 ชั่วโมง

รูปที่ ค-49 ตากก้อนตัวอย่างให้สะเด็ดน้ำ



รูปที่ ค-50 ก้อนขณะขณะกด

รูปที่ ค-51 อ่านค่ากำลังอัดจากเครื่อง

รูปที่ ค-52 ลักษณะของก้อนตัวอย่างที่ผสม Cement เมื่อรับแรงกดแล้ว

รูปที่ ค-53 ลักษณะของก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสม Cement เมื่อรับแรงกด