



การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

โดย

นางสาวกาญจนา ปิ่นวิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

โดย

นางสาวกาญจนา ปิ่นวิเศษ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

THE DEVELOPMENT OF PARA SOIL CEMENT ROAD

BY

MISS KANCHANA PINWISET



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2017

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวกาญจนา ปิ่นวิเศษ

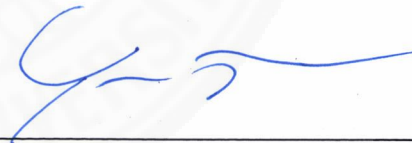
เรื่อง

การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

เมื่อ วันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญทรัพย์ วิชฌางกูร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



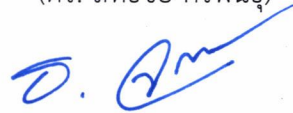
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัย รักสุนทร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร. สิทธิชัย ศิริพันธุ์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีร เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา
ชื่อผู้เขียน	นางสาวกาญจนา ปิ่นวิเศษ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัย รักสุนทร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ถ้ามี)	-
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางพารา
ขึ้นมาปรับปรุงคุณภาพถนนดินซีเมนต์ โดยการวิจัยเป็นการนำยางพาราชั้น ชนิด 60% HA มาผสมกับ
สารผสมเพิ่มและน้ำ จากนั้นจึงนำไปพรมบนถนนดินลูกรังซีเมนต์และทำการบดอัดตามมาตรฐาน
ถนนดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งวัสดุดินลูกรังที่นำมาทำการวิจัยได้นำมาจาก อำเภอ
ตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี จากการวิจัยพบว่าดินลูกรังจัดอยู่ในกลุ่มดินประเภทกรวดมีดิน
เหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียว ขนาดคละกันไม่ตีผสมกัน (สัญลักษณ์กลุ่ม คือ GC) จากการศึกษา
พบว่าดินลูกรังผ่านมาตรฐานการทำงานพื้นทางดินซีเมนต์ เมื่อนำมาทำการทดลองหาส่วนผสม
ระหว่าง ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ น้ำยางพาราชั้นร้อยละ 60 HA สารผสมเพิ่มและน้ำ พบว่าอัตราส่วนที่
เหมาะสมคือคือ ปูนซีเมนต์ร้อยละ 8 ของน้ำหนักดินลูกรัง น้ำยางพาราชั้นร้อยละ 5 ของน้ำหนัก
ปูนซีเมนต์ สารผสมเพิ่มร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำยางพาราชั้น และปริมาณน้ำสะอาดที่ทำให้ดินมี
ความชื้นที่เหมาะสมที่ร้อยละ 95 เมื่อทำการบ่มตัวอย่างที่ 7 วัน พบว่ากำลังอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำ
ยางพารามีกำลังอัดสูงสุด 21.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งผ่านมาตรฐานงานพื้นทางดินซีเมนต์
ของกรมทางหลวงชนบท (มทช. 244-2556)

คำสำคัญ: น้ำยางพาราชั้น, ถนนดินซีเมนต์, ถนนดินซีเมนต์ผสมยางพารา

Thesis Title	THE DEVELOPMENT OF PARA SOIL CEMENT ROAD
Author	Miss Kanchana Pinwiset
Degree	Master Degree of Engineering
Department//Faculty/University	Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Winai Raksuntorn
Thesis Co-Advisor (If any)	-
Academic Years	2017

ABSTRACT

This research applies natural rubber latex (NRL) to improve the quality of cement clay roads. In laboratory test, multiple specimens have been prepared. The research uses high ammonia latex concentrate (60% Dry Rubber Content (DRC)), mixed with surfactant and pure water. Then it was sprayed and mixed to the red dirt road that has been admixed with cement. The red dirt material used for the research was taken from Ubon Ratchathani province, northeastern of Thailand. The dirt soil is a mix of gravel, sand, and clay with poorly graded grain size distribution. The test uses varying amount of cement (4%, 6% and 8%), and NRL (0%, 5%, 8%, 10%). From the experiment, the best mixture ratio is to use NRL 5%, cement 8%, and surfactant 2%. With seven-day air-curing, the average compressive strength of the rubber latex soil cement specimens was 1.72 MPa.

Keywords: Natural Rubber Latex, Soil Cement Road, Natural Rubber Latex Soil Cement Road

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ของท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร และท่านอาจารย์ ดร. สิทธิชัย ศิริพันธ์ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ และให้ความช่วยเหลือ การชี้แนะที่เป็นประโยชน์พร้อมทั้งคำแนะนำในทุกด้าน และแนะแนวทางแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอดของการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ นายสุวัฒน์ พาหุสุวัฒน์ ผู้อำนวยการส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม และ นางกัญญา อินทร์เกลี้ยง วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ แก้ไข และให้แนวคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ติดตามความหน้าในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดามารดา ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนอบรมมา และขอบคุณเพื่อนนักศึกษา ตลอดจนผู้ได้บังคับบัญชาที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

นางสาวกาญจนา ปิ่นวิเศษ

(4)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 คุณค่าของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ยางพารา	3
2.1.1 สถานการณ์ในประเทศไทย	3
2.1.2 คุณสมบัติของน้ำยางพารา	3
2.1.3 น้ำยางพาราชั้น	4
2.2 ดินลูกรัง	7
2.2.1 ชั้นของดินลูกรัง	9

	(5)
2.2.2 การจำแนกดินลูกรัง	9
2.2.3 สีของดินลูกรัง	14
2.2.4 ดินลูกรังในประเทศไทย	14
2.3 ดินซีเมนต์	15
2.3.1 ประเภทของดินซีเมนต์	16
2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถนนดินซีเมนต์	17
2.4 ปูนซีเมนต์	19
2.4.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต	19
2.4.2 ประเภทของปูนซีเมนต์	20
2.4.3 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์	21
2.4.4 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก	22
2.5 มาตรฐานการทดสอบ	23
2.5.1 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.1-2545	24
2.5.2 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.2-2545	24
2.5.3 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.3-2545	24
2.5.4 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.5-2545	24
2.5.5 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.6-2545	24
2.5.6 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.7-2545	25
2.5.7 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.8-2545	25
2.5.8 การทดสอบที่ มทช.(ท) 501.9-2545	25
2.5.9 มาตรฐาน มทช. 244 – 2556	26
2.6 การทดสอบความฝืดของถนน	26
2.7 การประยุกต์ใช้ยางพาราในงานถนน	30
2.7.1 การใช้ยางพาราผสมยางแอสฟัลต์ทำถนนผิวจราจรแอสฟัลต์ผสมยางพารา	30
2.7.2 การใช้ยางพาราผสมดินซีเมนต์ทำถนนดินซีเมนต์ผสมยางพารา	31
 บทที่ 3 วิธีการวิจัย	 34
3.1 วิธีการดำเนินงาน	34
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ดินลูกรัง	34

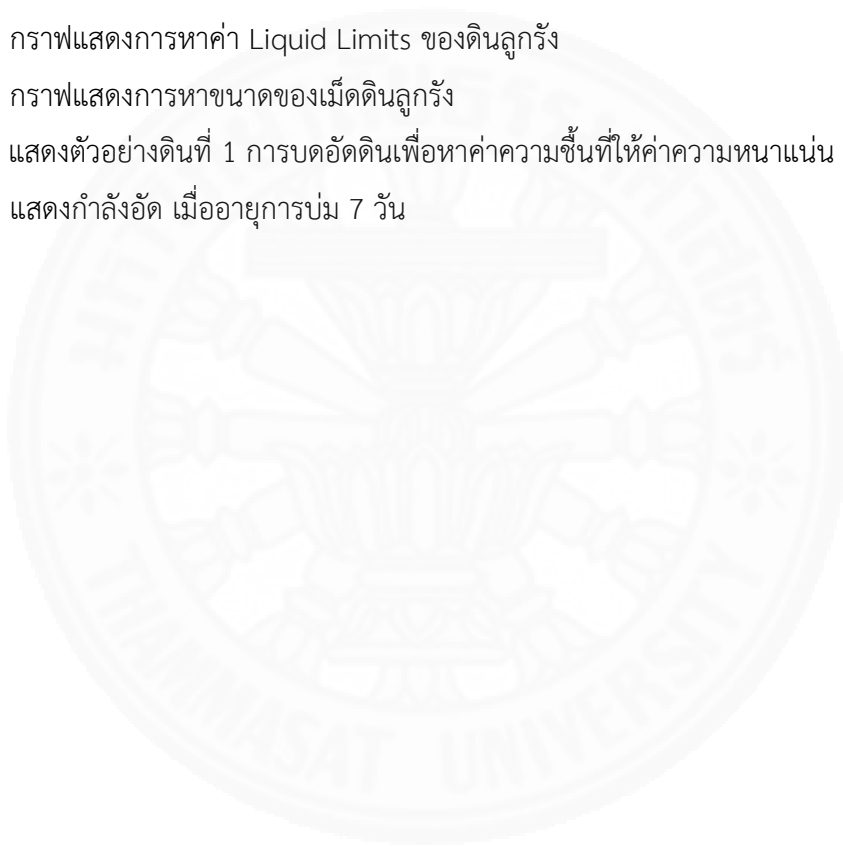
	(6)
3.3 ออกแบบส่วนผสม	35
3.4 ทดสอบคุณสมบัติดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา	36
3.5 ทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction)	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง	38
4.1.1 ผลการศึกษาหาค่าความชื้นในดิน	38
4.1.2 ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน	39
4.1.3 การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate)	41
4.1.4 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) ของดินลูกรัง	42
4.2 ผลการทดสอบดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้น	44
4.3 ผลการทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction)	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุป	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
รายการอ้างอิง	49
ภาคผนวก	52
ประวัติผู้เขียน	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง	4
2.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี	6
2.3 การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification system	12
2.4 รายละเอียดการจำแนกดินระบบ AASHO Classification	13
2.5 คุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทย	14
2.6 สมบัติเชิงวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	15
2.7 องค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	21
2.8 ตารางสรุปค่าความเสียดทานของประเทศอื่นๆ	29
3.1 การออกแบบส่วนผสม	35
4.1 ผลการทดสอบหาค่าขีดเหลว ค่าขีดพลาสติก และค่าดรรชนีความเหนียว ของดินลูกรัง	38
4.2 ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินลูกรังโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)	40
4.3 ผลการทดสอบหาความสึกห่อของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate)	42
4.4 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งและค่าความชื้นของดินลูกรัง	42
4.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติดินซีเมนต์เปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา	44
4.6 ผลการทดสอบหาค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์ และดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา	45
4.7 ผลการทดสอบค่าความเสียดทาน	47

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการกำเนิดดิน	10
2.2 การพัฒนากำลั้งอัดของ C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF	23
2.3 เครื่องมือ British Pendulum Tester	26
3.1 แผนภาพขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง	37
4.1 กราฟแสดงการหาค่า Liquid Limits ของดินลูกรัง	39
4.2 กราฟแสดงการหาขนาดของเม็ดดินลูกรัง	40
4.3 แสดงตัวอย่างดินที่ 1 การบดอัดดินเพื่อหาค่าความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่น	43
4.4 แสดงกำลั้งอัด เมื่ออายุการบ่ม 7 วัน	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกยางพารา เป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศอินโดนีเซีย แต่มีปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติ เป็นอันดับหนึ่งของโลกโดยในปี 2559 มีการส่งออกประมาณ 3.77 ล้านตัน จากการศึกษารายงานสถิติยางของประเทศไทยพบว่า แนวโน้มการผลิตยางในแต่ละประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ทำให้เกิดการแข่งขันทางด้านราคา เมื่อคิดเป็นจำนวนเงินจะพบว่า มูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มลดต่ำลง สืบเนื่องมาจากราคารายางที่ต่ำลง ซึ่งในปี 2557 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 193,749 ล้านบาท และในปี 2558 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 170,418 ล้านบาท ราคาส่งออกต่างประเทศของน้ำยางชั้น ในปี 2557 อยู่ที่ประมาณ 45.07 บาท ปี 2558 ราคาอยู่ที่ 35.68 บาท และในปี 2559 ราคาอยู่ที่ประมาณ 37.59 บาท (การยางแห่งประเทศไทย, 2560)

ซึ่งจากสถิติจะพบว่าราคารายางมีแนวโน้มตกต่ำลง ทำให้เกษตรกรผู้ปลูกยางพาราได้รับความเดือดร้อน ทางรัฐบาลมีนโยบายการนำยางพารามาใช้งานเพื่อช่วยเหลือเกษตรกร ปัจจุบันมีการนำยางพารามาทำการวิจัยและพัฒนาในรูปแบบต่างๆ เช่น ถนนแอสฟัลท์ผสมยางพารา ซึ่งการทำถนนชนิดนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องผสมโดยเฉพาะและผ่านกระบวนการที่ยากต่อการใช้งาน จำนวนยางพาราที่นำมาใช้มีปริมาณน้อย ข้อดีของการนำยางพารามาผสมแอสฟัลท์ทำให้ถนนมีการใช้งานยาวนานขึ้นลดจำนวนการซ่อมบำรุง จากโครงการนี้จึงมีการนำมาปรับปรุงพัฒนาต่อยอดโดยมีแนวคิดที่จะนำยางพารามาใช้กับถนนประเภทอื่น จากการศึกษาพบว่าถนนในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามวัสดุที่ใช้คือ ถนนลาดยาง ถนนคอนกรีต และถนนลูกรัง งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดทำการศึกษาค่าใช้จ่ายยางพารามาผสมดินลูกรัง เนื่องจากถนนดินลูกรังมีจำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณตามชนบทที่มีการสัญจรน้อยอีกทั้งยังเป็นถนนสายหลักในการขนส่งพืชผลทางการเกษตร และอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร จากการศึกษาพบว่าบริเวณผิวทางไม่เรียบมีการกัดกร่อนเป็นหลุมเป็นบ่อ ในฤดูแล้งมีฝุ่นเป็นจำนวนมากมีการพังทลายของหน้าดิน เกิดรอยแตกร้าวและการทรุดตัวของถนนโดยเฉพาะถนนบริเวณถนนเลียบบคลองชลประทาน วิธีการบำรุงรักษาคือจำเป็นต้องมีการบดอัดใหม่และต้องซ่อมบำรุงทุกๆ ปี จึงทำให้เปลืองงบประมาณในซ่อมบำรุงจำนวนมาก จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาค่าใช้จ่ายเพื่อหาแนวทางการใช้ถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา โดยทำการศึกษาค่าคุณสมบัติของยางพาราเมื่อนำมาผสมกับดินลูกรังผสมซีเมนต์ อัตราส่วนของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่เหมาะสม ความแข็งแรงของถนน และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การแตกร้าว

ปริมาณฝุ่น การรับกำลังอัด และความเสียหายของพื้นผิวถนน งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยร่วมกับ
สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่เหมาะสมสำหรับถนนดิน
ซีเมนต์

1.2.3 เพื่อทดสอบคุณสมบัติการนำดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับผิวทาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัสดุที่ใช้ทำการวิจัย

- ดินลูกรัง อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type 1
- น้ำยางพาราชั้น DRC ร้อยละ 60 ชนิด HA
- น้ำสะอาด
- สารผสมเพิ่ม

1.3.2 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุโดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ของกรมทางหลวงชนบท
งานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) มทช. 244 – 2556

1.4 คุณค่าของวิทยานิพนธ์

ได้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดินซีเมนต์และน้ำยางพาราชั้น เพื่อเป็นแนวทาง
และต้นแบบในการทำผิวทางถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางพารา

2.1.1 สถานการณ์ในประเทศ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกยางพารา เป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศอินโดนีเซีย แต่มีปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติ เป็นอันดับหนึ่งของโลกโดยในปี 2559 มีการส่งออกประมาณ 3.77 ล้านตัน ประเทศอินโดนีเซีย มีการส่งออกอยู่ที่ประมาณ 2.67 ล้านตัน จากการศึกษารายงานสถิติยางของประเทศไทยพบว่า แนวโน้มการผลิตยางในแต่ละประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ทำให้เกิดการแข่งขันทางด้านราคา เมื่อคิดเป็นจำนวนเงินจะพบว่า มูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มลดต่ำลง สืบเนื่องมาจากราคารายางที่ต่ำลงซึ่งในปี 2557 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 193,749 ล้านบาท และในปี 2558 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 170,418 ล้านบาท ราคาน้ำยางชั้นส่งออกต่างประเทศในปี 2557 อยู่ที่ประมาณ 45.07 บาท ปี 2558 ราคาอยู่ที่ 35.68 บาท และในปี 2559 ราคาอยู่ที่ประมาณ 37.59 บาท (การยางแห่งประเทศไทย, 2560)

2.1.2 คุณสมบัติของน้ำยางพารา

น้ำยางที่กรี๊ดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด (Field Latex) น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ (Emulsion) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางร้อยละ 35 และส่วนที่ไม่ใช่ยางร้อยละ 65 น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยาง จะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางขณะกรี๊ดยางจะลงไปปนน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรี๊ดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลง ดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จากน้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นเซรุ่ม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเอง

ตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปใต้น้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ โพร์มาลดีไฮด์ เป็นต้นเพื่อที่รักษาน้ำยางไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ (เสาวณีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547)

น้ำยาง เป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลือง ชุ่นข้น อยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกัน อยู่ในส่วนเปลือกของต้นยางพารา การที่จะเอาน้ำยางออกจากต้นยาง จะต้องใช้มีดกรีดยางเพื่อตัดท่อน้ำยางให้ขาดออกจากกัน ในน้ำยาง จะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (เนื้อยางแห้ง) และส่วนที่ไม่ใช่ยาง เนื้อยางแห้ง หมายถึง ปริมาณของเนื้อยางที่อยู่ในน้ำยาง ตามปกติ ในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-45 เนื้อยางแห้งนี้เองที่เป็นวัสดุผสมหัตถกรรม ที่มนุษย์นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีพ จนกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน ของสังคมมนุษย์ ในปัจจุบัน น้ำยางมีความหนาแน่น 0.98 มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 6.8 เมื่อตรวจดูในห้องปฏิบัติการจะพบว่า มีอนุภาคขนาดต่างๆ กันแขวนอยู่ในของเหลว อนุภาคเหล่านี้จะมีประจุเป็นลบ ผลักกันอยู่ตลอดเวลา ทำให้อนุภาคเหล่านั้นแขวนลอยและคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้จนกว่าจะมีสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ มารบกวน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ให้น้ำยางเสียเสถียรภาพและจับตัวกันเป็นก้อน ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางสด

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

ส่วนประกอบ	คิดเป็นร้อยละ
ปริมาณเนื้อยางแห้ง	25-45
สารจำพวกโปรตีน	1.5
สารพวกเรซิน	2.0
คาร์โบไฮเดรต	1.0
สารอินทรีย์	0.5

ที่มา : contact.doae.go.th

2.1.3 น้ำยางพาราชั้น

น้ำยางชั้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 น้ำยางชั้นประมาณร้อยละ 40 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมยางยืด รองลงมาคืออุตสาหกรรมถุงมือยาง

กระบวนการผลิต

1. รวบรวมน้ำยางสดเข้าสู่โรงงาน โดยรักษาสภาพน้ำยางด้วยสารละลาย แอมโมเนีย หรือร่วมด้วยสารเคมีประเภทอื่น เช่น ZnO/TMTD

2. ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำยางสดให้ได้ตามมาตรฐานที่โรงงาน กำหนด

3. ปั่นแยกน้ำยางสด โดยใช้เครื่องปั่นน้ำยางชั้น (เซนตริฟิวจ์)

4. น้ำยางชั้นที่ได้ จะมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 60 ปรับคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำยางชั้นให้ได้ตามมาตรฐาน และรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย หรือ Secondary Preservative

5. น้ำยางชั้นที่ได้คือ HA Latex (High Ammonia Latex) และ MA (Medium Latex)

น้ำยางชั้นแบ่งเป็น 5 ชนิดคือ

(1) ชนิด HA เป็นน้ำยางชั้นจากการหมุนเหวียง ซึ่งรักษาสภาพด้วย แอมโมเนียแต่เพียงอย่างเดียว และมีค่าความเป็นด่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น

(2) ชนิด LA เป็นน้ำยางชั้นจากการหมุนเหวียง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างไม่เกินร้อยละ 0.29 โดยน้ำหนัก น้ำยางชั้น

(3) ชนิด MA เป็นน้ำยางชั้นจากการหมุนเหวียง ซึ่งรักษาสภาพด้วย แอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างร้อยละ 0.30 ถึง ร้อยละ 0.59 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น

(4) ชนิด HA ครีม เป็นน้ำยางชั้นจากการแยกครีม ซึ่งรักษาสภาพด้วย แอมโมเนียแต่เพียงอย่างเดียว และมีค่าความเป็นด่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.55 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น

(5) ชนิด LA ครีม เป็นน้ำยางชั้นจากการแยกครีม ซึ่งรักษาสภาพด้วย แอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างไม่เกินร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนัก น้ำยางชั้นมีคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีให้เป็นไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีการทดสอบตาม	
	HA	LA	MA ³⁾	HA ครีม	LA ครีม		
ของแข็งทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	61 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย			65.0	65.0	65.0	ISO 124
เนื้อยางแห้ง ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	60.0	60.0	60.0	64.0	64.0	64.0	ISO 126
ของแข็งที่ไม่ใช่ยาง ¹⁾ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	-
ความเป็นต่าง (คำนวณเป็น NH ₃) ร้อยละโดยน้ำยางชั้น	(ไม่น้อยกว่า)0.60	(ไม่เกิน)0.29	0.30-0.59	ไม่น้อยกว่า 0.55	ไม่เกิน 0.35	0.35	ISO 125
เสถียรภาพต่อการปั่น ²⁾ (mechanical stability) วินาทีไม่น้อยกว่า	650	650	650	650	650	650	ISO 35
ยางจับก้อน (coagulum) ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	ISO 706
ทองแดง มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	8	8	8	8	8	8	ISO 8053
แมงกานีส มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	8	8	8	8	8	8	ISO 7780
แมกนีเซียม มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	40 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ข้อที่ 8.3	
ตะกอน (sludge) ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	ISO 2005
ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number) ไม่เกิน	0.06 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ISO 506	
ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number) ไม่เกิน	0.7 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ISO 127	

หมายเหตุ ¹⁾ คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้ง

²⁾ เสถียรภาพต่อการปั่น เป็นค่าที่วัดภายหลัง 21 วันนับจากวันที่ทำ

³⁾ "MA" หรือ "XA" หมายถึง Medium Ammonia Latex

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำยางชั้นธรรมชาติ มอก.980-2552

การบรรจุและการจัดเก็บ

1. ให้บรรจุน้ำอย่างชั้นในภาชนะที่เหมาะสม สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท ในกรณีที่ภาชนะบรรจุทำด้วยโลหะควรเคลือบผนังด้านในเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้ทำ ภาชนะบรรจุ เช่น เคลือบด้วยปิพูเมนหรืออีพ็อกซีเรซิน

2. น้ำหนักสุทธิของน้ำอย่างชั้นในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุที่

ฉลาก

2.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง (Lateritic Soil) จัดอยู่ในกลุ่มดิน Skeletal Soil หรือดินต้นเป็นดินที่มีชั้นศิลา แล่ง (Lateritic) โดยทั่วไปดินลูกรังแยกได้เป็น 2 ชนิด ที่พบในชั้นของดิน ที่สามารถแยกได้ชัดเจน คือ ประเภทดินลูกรังร่วน หรือ เป็นก้อนเกาะเป็นแผ่นแน่นทึบ ลูกรังร่วนโดยปกติแล้วจะมีขนาดแตกต่างกันมากตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 4-5 เซนติเมตร รายละเอียดของทั้ง 2 แบบ สามารถแยกได้ดังนี้ คือ แบบแรก เมื่อใช้มือบิออกจะเห็นลักษณะ Concentric Lamination Characteristic แต่แบบที่ 2 จะไม่เห็น โดยทางปฏิบัติแบบแรกเรียกว่า True Laterite หรือ Ground Water Laterite ส่วนแบบหลัง เรียกว่า Pseudo Laterite โดยทั่วไปจะพบ Laterite ทั้ง 2 แบบปะปนในชั้นดินเสมอ แต่จะมีชนิดหนึ่งชนิดใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะและ/หรือบริเวณที่อยู่ในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

Mallet (1883) เป็นผู้ให้ความหมายดินลูกรัง (Lateritic Soil) ว่าหมายถึงดินที่ตามธรรมชาติจะมีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม จากนั้น Bauer (1898) ได้ให้ความหมายของดินลูกรังว่าหมายถึงวัสดุที่มีสารประกอบของซิลิกาและปริมาณของอลูมิเนียมในรูปของไฮดรอกไซด์สูงเมื่อเทียบกับปริมาณของ Bauxite จากนั้น Femor (1911) ได้พัฒนาการเรียกชื่อ ลูกรังตามธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของซิลิกาธาตุพื้นฐานที่ประกอบ ในลูกรังได้แก่ เหล็ก, อลูมิเนียม, โทเทเนียม และแมงกานีส ในเวลาต่อมา Lacroix (1913) ได้จำแนก ชนิดของลูกรังตามปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบได้แก่

1. True Laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90
2. Silicate Laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 50-90
3. Laterite Clay มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 10-50

ต่อมา Matin & Doyné (1927,1930) ได้จำแนก Laterite ออกเป็น 3 ประเภท ตามอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมิเนียม ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) ดังนี้ True Laterite มีอัตรา ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) น้อยกว่า 1.33 Silicate Laterite มีอัตรา ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) ระหว่าง 1.33-2.00 และ Non-Lateritic Soil มีอัตรา ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) มากกว่า 2.00

Joachim & Kandiah (1941) ได้ใช้อัตราส่วนซิลิกาต่อเซสควิวออกไซด์ ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) ในการจำแนกดินลูกรังโดยใช้ค่าขีดจำกัดอัตราส่วน

Alexander & Cady (1962) ได้ศึกษาผลงานวิจัยต่างๆ ที่ทำมาก่อนและให้ความหมายของเทอมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับดินลูกรังดังนี้

1. Laterite หรือศิลาแลง หมายถึง หินที่เกิดจากการสลายตัว ตามธรรมชาติอย่างมากและเกิดมี Secondary Oxides ของเหล็ก และหรือ อะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ โดยที่ปริมาณของ Base และ Primary Silicate มีน้อยมาก แต่ในบางครั้งก็อาจมีควอทซ์ (Quartz) และเคลโอลินไนต์ (Kaolinite) เป็นส่วนประกอบใน ปริมาณสูง ลักษณะสำคัญของ Laterite คือมีสมบัติที่แข็งตัวได้เมื่อสัมผัสอากาศ

2. Laterite Soil หรือดินลูกรัง หมายถึง ดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมในปริมาณสูงเป็นผลมาจากการเกิดกระบวนการ Laterization ดินดังกล่าวมีสมบัติที่แข็งตัวได้เอง (Self-Hardening) มีเม็ดลูกรังและเม็ดกรวดประเภท Laterite Rock หรือ Laterite Gravel ผสมปนอยู่

3. Tropical Red Soil (Latosols) หมายถึง ดินสีแดงที่ไม่มีสมบัติในการแข็งตัวได้เองและไม่มี Laterite Soil ผสมปนอยู่

4. Laterite Rock หมายถึง ลูกรังที่เกิดแข็งตัวเองอย่างสมบูรณ์แสดงสมบัติเป็นหินมากกว่า เช่น ศิลาแลง

5. Laterite Gravel หมายถึง ลูกรังที่มีลักษณะคล้าย Laterite Rock แต่เป็นเม็ดแข็งขนาดเม็ดหยาบ ไม่ได้มีการรวมตัวกันเป็นก้อนอย่าง Laterite Rock

6. Self – Hardening Property หมายถึง สมบัติในการแข็งตัวได้เอง เมื่อสูญเสียความชื้นในตัวเองและสมบัตินี้ไม่คืนกลับสู่สภาพเดิมภายหลังได้รับความชื้นเพิ่มเติมกลับเข้ามาใหม่

7. Sesquioxides หมายถึง Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ SiO_2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของลูกรัง

ความหมายของเทอมต่างๆ ที่ Alexander & Cady (1962) ได้กำหนดไว้ได้รับความเห็นชอบและการยอมรับจากนักวิจัยในรุ่นต่อมา ซึ่งยึดเอาความหมายตามที่ Alexander และ Cady ให้ไว้เป็นส่วนใหญ่ (Vallerga, et al., 1969, Krinizsky, et al., 1976)

2.2.1 ชั้นของดินลูกรัง

Krinitzsky, et al. (1976) ได้แบ่งชั้นดินลูกรังตามกระบวนการก่อเกิดของชั้นดิน ชั้น “A” เป็นชั้นที่บางที่สุดประกอบด้วยชั้นของ Silty หรือ Sandy Soil มีซากพืชซากสัตว์น้อย

ชั้น “B” หรือชั้นดินลูกรัง มีความหนาตั้งแต่ 0.30–0.60 เมตร ประกอบด้วยชั้นของ Sandy หรือ Gravelly Soils ในชั้นนี้จะเป็ชั้นที่มีการสะสมของเศษควิออกไซด์มาก และอาจจะไม่มีกาปรากฏอยู่บ้าง

ชั้น “C” หรือ Mottled Zone ชั้นนี้มีความหนามากกว่าชั้น “B” หลายเท่าและมีการชะล้างเอาเหล็กและซิลิกาออกไปบางส่วน โดยปกติมีหลายสีในชั้นนี้อาจมีเคโลนิไนต์และควอตซ์อยู่ใต้ชั้น “C” ลงไปอาจมีชั้นดินเหนียวสีขาวเรียกว่า “Pallid Zone” ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิกาอยู่เนื่องจากถูกชะล้างไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ดินชั้นนี้อาจปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้

ชั้น “D” เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในประเทศไทยนั้นพบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30-1.80 เมตร แต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 เมตร

2.2.2 การจำแนกดินลูกรัง

การจำแนกดินทางวิศวกรรมตามมาตรฐาน (ASTM D 2487-69) ดินเป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยสิ่งต่าง ๆ หลากอย่าง เช่น กรวด, ทราย, ดินเหนียว, อินทรีย์สาร เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ หินต้นกำเนิด, การกัดกร่อนผุพัง, การพัดพา และการตกตะกอนทับถม เพื่อที่จะจัดหมวดหมู่ของดินที่มีคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกันเข้าอยู่ในพวกเดียวกัน ตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน การจำแนกประเภทของดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง



ภาพที่ 2.1 แสดงการกำเนิดดิน

เนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องกับดินอยู่หลายสาขาด้วยกัน การจำแนกประเภทดินจึงแตกต่างกันออกไปแล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานในแต่ละสาขา เช่น ทางด้านเกษตรศาสตร์ จะจำแนกดินตามความอุดมสมบูรณ์ของธาตุสารที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ ทางด้านธรณีวิทยาอาศัยลักษณะหินต้นกำเนิด และการกัดกร่อนผุพัง เป็นปัจจัยในการจำแนก สำหรับทางวิศวกรรมโยธา พิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และกลศาสตร์ของดินเป็นหลัก เช่น ขนาดของเม็ดดิน, แรงยึดเกาะของมวลดิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับประโยชน์ใช้สอยทางวิศวกรรมแต่ละหมวดหมู่ของดินที่จัดเข้าไว้ จะมีอักษรย่อเฉพาะซึ่งจะเป็นที่เข้าใจได้โดยง่ายในหมู่วิศวกร หรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง ในวงการวิศวกรรมโยธา การจำแนกดินมีหลายระบบ ขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ใช้สอย เช่น งานด้านถนนใช้ระบบ AASHO Classification ซึ่งจัดแบ่งดินตามความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนน และระบบ Unified Soil Classification ซึ่งใช้กับงานวิศวกรรมทั่วไป และนิยมแพร่หลายกว่าระบบอื่นๆ การจำแนกดินเพียง 2 ระบบ คือ

1. ระบบ Unified Soil Classification
2. ระบบ AASHO Classification

ทั้ง 2 ระบบ อาศัยข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกคล้ายๆ กัน คือ การกระจายและขนาดของเม็ดดิน, ค่า Atterberg's Limits (LL, PL, PI), สีกลี้น และการจับตัวของเม็ดดิน รวมทั้งอินทรียสารที่เจือปน

1. การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification

ใช้อักษรย่อ 2 ตัว ทำให้จดจำง่าย และมีความหมายในตัวเอง เช่น G = Gravel (กรวด), S = Sand (ทราย), M = Silt (ดินทราย), C = Clay (ดินเหนียว), W = Well Graded (เม็ดคละ), P = Poorly Grade (เม็ดไม่คละ), H = High Liquid Limit (LL มีค่าสูง), L = Low Liquid Limit (LL มีค่าต่ำ) หรือ O = Organic (ดินมีอินทรียสารปนมาก) ดังแสดงตารางที่ 2.3

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1) แบ่งตามลักษณะขนาดเม็ดดิน เป็นพวกเม็ดหยาบได้แก่ กรวด (Gravel) และทราย (Sand) และพวกเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินเหนียว (Clay) และดินทราย (Silt)

2) แบ่งย่อยตามลักษณะการกระจายของเม็ดดิน สำหรับพวกเม็ดหยาบเป็นพวกที่เม็ดคละหลายขนาด (Well Graded) และเม็ดไม่คละ เนื่องจากมีเม็ดขนาดเดียวกันมากหรือขนาดเม็ดขาดช่วง (Poorly Grade)

3) แบ่งย่อยตามค่า Atterberg's Limits สำหรับพวกเม็ดละเอียด เรียกว่า Plasticity เช่น พวกมีค่า LL และ PI สูง เรียกว่า High Liquid Limit เป็นต้น

เมื่อถึงขั้นสุดท้าย จะมีอักษรย่อแทน 2 ตัว (ในกรณีถ้าจะใช้ 4 ตัว) เช่น CH, GW, SP หรือ GM-GC, ML-CL

ตารางที่ 2.3 การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification System

ชั้นตอนและเกณฑ์การตรวจสอบในสนาม						สัญลักษณ์	ชื่อกลุ่มดิน		
(การดูจำนวนที่มากกว่าอัตราค้ำยันหนักโดยประมาณเป็นเกณฑ์ แต่ไม่รวมเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 75 มม.)									
ดินพวกเม็ดหยาบ	ใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่างดิน (ตะแกรงเบอร์ 200 คือขนาดเม็ดดินที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า)	กรวด	ใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่าง	ของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ	กรวดสะอาด (ไม่มีตะลอะเอียดปนอยู่บ้างหรือไม่มีเลย)	การกระจายตัวของเม็ดดินดี มีขนาดต่างๆ คละกันอย่างเหมาะสม	GW	กรวดมีขนาดคละกันดี กรวดผสมทราย มีเม็ดลอะเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	
						การกระจายตัวของเม็ดดินไม่ดี มีขนาดเดียวเป็นส่วนใหญ่หรือขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไป	GP	กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี กรวดผสมทราย มีเม็ดลอะเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	
						กรวดสกปรก (มีเม็ดลอะเอียดปนอยู่มาก)	เม็ดลอะเอียดที่ปนมีคุณสมบัติเหนียว (วิธีการตรวจสอบ ดูจากการตรวจสอบตะกอนทราย)	GM	กรวดมีตะกอนทรายปน กรวด-ทราย-ตะกอนทราย ขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน
							เม็ดลอะเอียดที่ปนมีคุณสมบัติเหนียว (วิธีการตรวจสอบ ดูจากการตรวจสอบดินเหนียว)	GC	กรวดมีดินเหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียว ขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน
						ทรายสะอาด (มีเม็ดลอะเอียดปนอยู่บ้างหรือไม่มีเลย)	การกระจายตัวของเม็ดดินดี มีขนาดต่างๆ คละกันอย่างเหมาะสม	SW	ทรายมีขนาดคละกันดี ทรายเป็นกรวด มีเม็ดลอะเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย
							การกระจายตัวของเม็ดดินไม่ดี มีขนาดเดียวเป็นส่วนใหญ่หรือขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไป	SP	ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี ทรายเป็นกรวด มีเม็ดลอะเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย
ทรายเป็นสกปรก (มีเม็ดลอะเอียดปนอยู่มาก)	เม็ดลอะเอียดที่ปนมีคุณสมบัติไม่เหนียว (วิธีการตรวจสอบ ดูจากการตรวจสอบตะกอนทราย)	SM	ทรายมีตะกอนทรายเป็น ทราย-ตะกอนทราย ขนาดคละกันไม่ดี ผสมกัน						
	เม็ดลอะเอียดที่ปน มีคุณสมบัติเหนียว (วิธีการตรวจสอบ ดูจากการตรวจสอบดินเหนียว)	SC	ทรายมีดินเหนียวปน ทราย-ดินเหนียว ขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน						
ดินพวกเม็ดลอะเอียด	ใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่างดิน (ตะแกรงเบอร์ 200 คือขนาดเม็ดดินที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า)	ตะกอนทรายและดินเหนียว Liquid Limit ต่ำ Plasticity ต่ำ	ตรวจสอบจากส่วนของดินที่มีขนาดเล็กกว่า						
			ตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.)						
			Dry strength	Dilatancy	Toughness				
			(ความต้านทานต่อแรงบีบ)	(ปฏิกริยาต่อการเขย่า)	(สถานะภาพไถลจุด P.L.)				
	ตะกอนทรายและดินเหนียว Liquid Limit ต่ำ Plasticity ต่ำ	ไม่มีถึงน้อยมาก	เร็วถึงช้า	ไม่มี	ML	ตะกอนทรายนินทรีย์ และทรายลอะเอียดมาก หินฝุ่น ทรายลอะเอียดปน ตะกอนทรายหรือดินเหนียว มีความเหนียวเล็กน้อย			
		ปานกลางถึงสูง	ไม่มีถึงข้ามมาก	ปานกลาง	CL	ดินเหนียวอนินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ ถึงปานกลาง ดินเหนียวปนกรวด ดินเหนียวปนตะกอนทราย ดินเหนียวล้วน			
		น้อยมากถึงปานกลาง	ช้า	น้อยมาก	OL	ตะกอนทรายนินทรีย์และดินเหนียวปน ตะกอนทรายนินทรีย์มีความเหนียวต่ำ			
	ตะกอนทรายและดินเหนียว Liquid Limit ต่ำ Plasticity ต่ำ	น้อยมากถึงปานกลาง	ช้าถึงไม่มี	น้อยมากถึงปานกลาง	MH	ตะกอนทรายนินทรีย์ ทรายลอะเอียดหรือตะกอน ทรายเป็นไมก้า หรือดินเบา ตะกอนทรายมีความยึดหยุ่น			
		สูงถึงสูงมาก	ไม่มี	สูง	CH	ดินเหนียวอนินทรีย์มีความเหนียวสูง ดินเหนียวมีความหนืดสูง			
		ปานกลางถึงสูง	ไม่มีถึงข้ามมาก	น้อยมากถึงปานกลาง	OH	ดินเหนียวอนินทรีย์ มีความเหนียวปานกลางถึงสูง			
ดินพวกสารอินทรีย์สูง			ตรวจสอบดู สี กลิ่น ลักษณะเนื้อดิน	Pt	พีต โคลนสีต่ำ และอินทรีย์สูงอื่นๆ				

ที่มา : มณเฑียร กังคศิเทียม (2543: 72-73)

2. การจำแนกโดยระบบ AASHO Classification

ใช้อักษรย่อจาก A-1 ถึง A-7 โดยที่เรียงลำดับจากความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางคือ A-1 ถึง A-3 เหมาะสมมาก ส่วน A-4 ถึง A-7 พอใช้ถึงใช้ไม่ได้ นอกจากนั้นยังมีการแบ่งย่อยลงไปอีกสำหรับกรุป A-1, A-2, A-7 เช่น A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-7, A-7-5 เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

- 1) แบ่งตามการกระจายของเม็ดดิน
- 2) แบ่งตามค่า Atterberg's Limits
- 3) แบ่งตามค่า Group Index (G.I.)

เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้าย จะมีอักษรต่อ 2 หรือ 3 และมีวงเล็บต่อท้ายด้วยค่า Group Index เช่น A-1-a(0), A-3(0), A-7-b(12)

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดการจำแนกดินระบบ AASHO Classification

การจำแนกประเภท ทั่วไป	วัสดุเม็ดหยาบ							วัสดุเม็ดละเอียด			
	ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 35 %							ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 35 %			
การจำแนกประเภท แบบกลุ่ม	A-1		A3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
ร่อนด้วยตะแกรง เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง											
เบอร์ 10	50 max										
เบอร์ 40	30 max	50 max	51 min								
เบอร์ 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
คุณลักษณะของส่วน ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40											
มีค่า											
L.L.	-		-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
P.I.	6 max		N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min*
ดรชนิของกลุ่ม	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
ชนิดของวัสดุ	หิน กรวดและ ทราย		ทราย ละเอียด	กรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือ ดินเหนียว				ตะกอนทราย		ดินเหนียว	
ความเหมาะสม ต่อการ ใช้เป็นดินคันทาง	ดีเยี่ยมถึงดี						พอใช้ถึงเลว				

ที่มา : มณฑิยร กังคศิเทียม (2543: 50)

2.2.3 สีของดินลูกรัง

ดินลูกรังส่วนใหญ่จะมีสีแดง และจะมีสีแดงเข้มแดงอ่อนขึ้นกับปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของออกไซด์ของเหล็ก อลูมิเนียม ทิตาเนียม และแมงกานีส โดยทั่วไปสีของดินลูกรังเกิดจาก

1. สารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีน้ำตาล และสีเทา
2. แร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของดิน
 - แร่เหล็ก ดินจะมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง และสีเขียว
 - แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโปตัสเซียม ดินจะมีขาว
 - อลูมิเนียม ดินจะมีสีขาว
 - แมงกานีส ดินจะมีสีดำและสีน้ำตาล

2.2.4 ดินลูกรังในประเทศไทย

ดินลูกรัง เป็นดินที่มีปัญหาชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีไม่เหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรม เป็นดินต้น มีกรวด ลูกรังหรือเศษหินปะปน พื้นที่ส่วนใหญ่ของดินชนิดนี้อยู่ทางตอนเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลางของภาคเหนือและภาคตะวันออก และสามารถพบเล็กน้อยในภาคกลางและภาคใต้ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนี้มีพื้นที่ถึงร้อยละ 42 ของพื้นที่ดินลูกรังทั่วประเทศ (ประเทือง, 2532; Pramojane, et al.,1984)

Pendelton และ Sharasuvans (1946) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในพื้นที่ต่างๆ โดยสรุปไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทย

Area	SiO (%)	FeO (%)	AlO (%)	SiO/RO
Sandy Soils	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 materials	37.9	40.0	11.9	2.1

ที่มา : (Pendelton and Sharasuvans, 1946)

จากการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่า สามารถใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางได้อย่างดี โดยสามารถจำแนกตามมาตรฐาน AASHTO แล้วอยู่ในกลุ่ม A-2 (กรวดปนดินเหนียว หรือ กรวดปนทรายแป้ง) และเมื่อจำแนกชนิดของดินตามมาตรฐาน USCS แล้วจัดอยู่ในกลุ่มดินประเภทกรวดและทราย ซึ่งประกอบด้วยแร่ดินเหนียวประเภทคาโอลิไนท์ (Kaolinite) ปริมาณมาก และประกอบด้วยแร่อิลไลต์ (Illite) พอสมควร เมื่อทดสอบคุณสมบัติพิกัดแอตเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limit) พบว่า มีขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) และ ดัชนีความเหนียว (Plastic Index) มากกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สมบัติเชิงวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย

สมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ร้อยละ)	0	66
ขีดพิกัดเหลว (ร้อยละ)	18	97
ดัชนีพลาสติก (ร้อยละ)	NP	51
กลุ่มดินจำแนกด้วยวิธี AASHTO	A-I-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118.0	114.5
ซี.พี.อาร์. (ร้อยละ)	7.0	60.0
การบวมตัว (ร้อยละ)	0.1	55.0
Percentage of water %	20.0	60.0

ที่มา : (Morrison, 1965)

2.3 ดินซีเมนต์

ดินซีเมนต์ คือ ดินธรรมชาติที่ผ่านการคัดเลือก โดยการทดสอบคุณสมบัติทั้งเอกภาพและเคมี เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผสมปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม และผ่านกรรมวิธีการผลิตได้เป็นวัสดุที่สามารถรับกำลังได้และใช้เป็นประโยชน์ในงานก่อสร้างและนั่นหมายถึงการนำวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน Sub-Standard Material ทำให้เป็นวัสดุที่ได้มาตรฐาน Standard Material

2.3.1 ประเภทของดินซีเมนต์

ดินซีเมนต์ได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากการทดสอบเป็นหลัก ซึ่งอาศัยวัสดุคือดินเป็นตัวกำหนดที่จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งให้ดีขึ้น ก่อนที่จะนำดินมาทำการทดลองจำเป็นต้องนำดินมาทดสอบทางกลศาสตร์ เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของดินจากการทดสอบประเภทต่างๆ ด้วยวิธีการจำแนกดินทางวิศวกรรมและการทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติกของดินขีดจำกัดเหลว ขีดพลาสติก และการหาขนาดของเม็ดดิน เพื่อจำแนกประเภทของดินลูกรังตามโครงสร้างของดินได้มีการจำแนกชนิดของดินซีเมนต์ตามส่วนประกอบหลักออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะในการใช้งานดังนี้

1) Cement-Modified Soils (CMS) ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินประเภทนี้จะน้อยมาก จุดประสงค์ของการปรับปรุงก็เพื่อแก้ไขคุณสมบัติที่ไม่พึงปรารถนาของดินที่มีปัญหา หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐาน ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมเพียงพอสำหรับการก่อสร้าง ไม่ได้ต้องการให้ดินซีเมนต์แข็งขึ้น โดยดินที่ถูกปรับปรุงคุณภาพแล้วจะก่อตัวเป็นก้อนหรือแข็งขึ้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามจะยังมีคุณสมบัติหลักเหมือนดินอยู่ ระดับของการปรับปรุงคุณภาพขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้และชนิดของดิน คุณสมบัติของดินที่ได้รับการปรับปรุงสามารถสรุปได้ดังนี้

ก. ปริมาณอนุภาคขนาด Silt และ Clay ลดลง

ข. เพิ่ม CBR (California Bearing Ratio)

ค. เพิ่มกำลังรับแรงเฉือน

ง. Cement - Modified Soils แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามขนาดของวัสดุ

ดังนี้

- Cement - Modified Silt - Clay Soils เป็นดินที่มีปริมาณของวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือ 0.075 มิลลิเมตรมากกว่าร้อยละ 35 วัตถุประสงค์ทั่วไปในการปรับปรุงดินเพื่อจะลดคุณสมบัติด้านความเหนียว กับคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงปริมาตร เพิ่มกำลังแบกทานหรือเพื่อทำชั้น Working platform ให้มั่นคงพอที่จะก่อสร้างชั้นโครงสร้างทางด้านบนต่อไปได้

- Cement - Modified Granular Soils เป็นดินที่มีปริมาณวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือ 0.075 มิลลิเมตรน้อยกว่าร้อยละ 35 โดยปกติวัตถุประสงค์คือเปลี่ยนแปลงวัสดุที่มีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐาน ให้มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะเป็นชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทาง

2) Cement-Treated Base (CTB) ดินซีเมนต์ประเภทนี้จะต้องออกแบบส่วนผสมให้มีกำลังรับแรงอัดหรือความแข็งแรงทนทาน ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินจะต้องมากพอที่จะทำให้ได้กำลังรับแรงอัดหรือกำลังแบกทานได้ตามที่กำหนด จะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับชั้นพื้นทาง โดยทำการผสมวัสดุมวลรวมหรือดินกับซีเมนต์และน้ำตามปริมาณที่ออกแบบไว้ แล้วทำการบด

อัดให้ได้ความแน่นสูงสุดและจะต้องมีระยะเวลาการบ่มที่เพียงพอให้ปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่แข็งแรงขึ้น ก่อนที่จะปูผิวทางแอสฟัลต์หรือผิวทางคอนกรีตทับด้านบน ปัจจัยพื้นฐานที่จะควบคุมคุณภาพมีดังนี้

- ก. สัดส่วนปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสม
- ข. ปริมาณความชื้นที่เพียงพอ
- ค. การผสมให้ทั่วถึง
- ง. การบดอัดที่เพียงพอ

3) Full-Depth Reclamation (FDR) การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ (Pavement Recycling) โดยนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์และพื้นทางข้างใต้ผิวทางเก่าที่เสียหาย มาทำให้แข็งแรงขึ้นด้วยการผสมกับซีเมนต์ เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมจะใช้เป็นพื้นทางสำหรับถนนใหม่ กระบวนการนี้จะใช้กับถนนลาดยาง โดยผิวทางแอสฟัลต์เก่าและวัสดุพื้นทางจะถูกขุดรื้อและย่อยก่อนที่จะถูกผสมด้วยซีเมนต์และน้ำ แล้วทำการบดอัดให้แน่นเพื่อใช้เป็นพื้นทางสำหรับรองรับผิวทางแอสฟัลต์ใหม่หรือผิวทางคอนกรีต

Full-Depth Reclamation จะใช้ผิวทางแอสฟัลต์เก่าและวัสดุพื้นทางมาก่อสร้างเป็นถนนใหม่ จึงไม่ต้องการขนวัสดุผิวทางเก่าไปกำจัดและไม่ต้องการขนวัสดุใหม่มาเพิ่ม เป็นการลดปริมาณจราจรของรถบรรทุกในการขนส่งวัสดุและลดการสูญเสียทรัพยากรช่วยประหยัดเงินและทรัพยากรธรรมชาติ พื้นทางที่ได้รับการปรับปรุงจะแข็งแรงขึ้นมากกว่าเดิม และเพิ่มการต้านทานต่อความชื้นมากกว่าเดิม ผลที่ได้จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของถนน ลดการซ่อมบำรุง และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือราคาในการทำ Recycling จะถูกกว่าการขุดรื้อถนนเก่าและแทนที่ด้วยถนนใหม่ประมาณร้อยละ 25 - 50 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ จะมีขั้นตอนกระบวนการเหมือนกับการก่อสร้างชั้นทางดินซีเมนต์ปกติ ปัจจัยที่จะทำให้ได้ชั้นพื้นทางใหม่ที่แข็งแรงนั้นขึ้นอยู่กับ

- ก. สัดส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม
- ข. ความแน่นของการบดอัดที่เพียงพอ
- ค. มีระยะเวลาการบ่มที่เพียงพอ

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถนนดินซีเมนต์

ในต่างประเทศได้มีการพัฒนาวิธีการผสมซีเมนต์เข้ากับดินลูกรังเพื่อใช้ทำถนนตั้งแต่ปี ค.ศ.1915 โดยการขุดเอาดินจากอ่าวในรัฐฟลอริดา มาผสมกับทรายและซีเมนต์แล้วทำการบดอัดเพื่อใช้ทดแทนถนนคอนกรีต จากนั้นจึงได้มีการเริ่มงานวิจัยเกี่ยวกับดินซีเมนต์เพื่อใช้ในการถนนจนกระทั่งปี ค.ศ.1941-1944 ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีถนนดินซีเมนต์มาใช้ในสงครามโลกครั้งที่ 2 ในการก่อสร้างสนามบิน การใช้ถนนดินซีเมนต์จึงเริ่มแพร่หลายมากขึ้น

Massachusetts Institute of Technology (1954) ได้ทำการทดสอบการนำซีเมนต์ประเภทที่ 3 และประเภทที่ 1 มาผสมตัวอย่างดินซีเมนต์ พบว่า ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ผสมด้วยซีเมนต์ประเภทที่ 3 ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 ถึง 1.5 เท่า สำหรับตัวอย่างดินซีเมนต์ตะกอนปนทราย และ 1.3 เท่า สำหรับตัวอย่างดินซีเมนต์ทรายแป้งปนดินเหนียว ที่เวลาในการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน

Norling & Peckard (1958) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ โดยใช้ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน พบว่า ดินซีเมนต์จะมีกำลังอัดลดลงเมื่อมีปริมาณมวลรวมหยาบเกินกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

Davidson et al. (1962) ทำการทดสอบอิทธิพลของปริมาณดินเหนียวที่ผลต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ พบว่ากำลังอัดของดินซีเมนต์จะลดลงเมื่อมีปริมาณดินเหนียวมากกว่าร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และยังพบอีกว่าแร่ดินเหนียวประเภทมอนต์มอลโอไนท์มีแนวโน้มให้กำลังอัดสูงกว่าแร่ดินเหนียวประเภทอื่น ๆ

The Siam Cement Company Ltd. (1965) ได้ทำการทดลองใช้ดินซีเมนต์เป็นชั้นพื้นทางที่ถนนสาย วารินชำราบ-เดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นถนนดินซีเมนต์สายแรกในประเทศไทย โดยมีความยาว 5 กิโลเมตร มีค่า CBR ไม่ต่ำกว่า 120 และมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 852 กิโลปาสคาล

Moh, et al. (1967) พบว่า ดินลูกรังในประเทศไทยมีค่าดัชนีความเหนียวประมาณ 11-19 เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์แล้วพบว่ามีกำลังอัดมากกว่า 852 กิโลปาสคาล (8.68 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และยังพบว่า หากร้อยละของการบดอัดลดลงจะส่งผลต่อค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์ค่อนข้างมาก

Ruenkraitersa (1982) พบว่า ปริมาณซีเมนต์ส่งผลถึงกำลังอัดของดินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ชนิดของดินก็มีผลต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ด้วยเช่นกัน โดยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและแรงเชื่อมแน่นของเม็ดดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ทรงพล บุญมาดี (2529) ได้ทำการทดสอบกำลังอัดของดินซีเมนต์ พบว่า กำลังอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 7 วันแรกทำการบ่ม และอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดจะลดลงตามระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้น

Horpibulsuk, et al. (2001) พบว่า ปริมาณน้ำและซีเมนต์สามารถรวมไว้เป็นหนึ่งตัวแปรได้ โดยเรียกว่า Clay-water/Cement Ratio (Wc/C) โดยนิยามว่า เป็นปริมาณอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินต่อปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนักฝั่งแห้ง

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2544) ได้ทำการทดสอบ ดินลูกรัง และ ดินทรายปน ตะกอน มาผสมซีเมนต์ แล้วพบว่า พลังงานในการบดอัดมีผลต่อกำลังของดินซีเมนต์ โดยมีความสัมพันธ์แบบลอการิทึม (Logarithm Model) โดยที่แรงอัดแกนเดียวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อให้พลังงานในการบดอัดต่ำ และ จะเพิ่มขึ้นช้าลงเมื่อได้รับพลังงานบดอัดสูงขึ้น

2.4 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ ปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่งที่ยอมรับใช้แพร่หลายทั่วโลกในงานก่อสร้างปัจจุบัน เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีต ปูนมอร์ตาร์ และปูนสูตรพิเศษประเภทต่างๆ มีส่วนผสมหลัก คือ หินปูน หินดินดาน ดินลูกรัง และทราย รวมถึงการเพิ่มสารอื่นๆ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของปูนซีเมนต์ เช่น ยิปซัม สารปอซโซลาน สารลดน้ำ เป็นต้น การผลิตเริ่มต้นด้วยการบดวัตถุดิบให้เป็นผงละเอียด และนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงจนได้เม็ดปูนซีเมนต์ซึ่งจะถูกนำไปบดเป็นปูนซีเมนต์ผง เพื่อบรรจุในถุงหรือขนส่งทางยานพาหนะต่อไป

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1. วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของปูนขาว (Line Component) เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate, CaCO_3) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 85 – 95 ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ตามธรรมชาติ ได้แก่ หินปูน (Limestone) ชอล์ก (Chalk) และดินขาว (Marl)
2. วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของดินดำ (Clay) เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางเคมีของซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO_2) อะลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide, Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe_2O_3) ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ตามธรรมชาติ ได้แก่ ดินดำ (Clay) และดินดาน (Shale)
3. วัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ (Corrective Materials) เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติมสารประกอบบางตัว ซึ่งมีไม่เพียงพอในดินดำ หรือดินดาน วัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ ทราย (ในกรณีที่ต้องการซิลิคอนไดออกไซด์) แร่เหล็กหรือดินลูกรัง (ในกรณีที่ต้องการเฟอร์ริกออกไซด์) และดินอะลูมินา (ในกรณีที่ต้องการอะลูมินัมออกไซด์) เป็นต้น

2.4.2 ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถูกคิดค้นและผลิตโดยชาวอังกฤษชื่อ Joseph Aspdin โดยชื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีที่มาจากสีของปูนซีเมนต์ที่ได้เหมือนกับสีของหินปูนบนเกาะปอร์ตแลนด์ ทั้งนี้ มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของไทย คือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ มอก.15 เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ ซึ่งทั้งหมดได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

(1) ประเภท 1 (Type 1) : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา
(Ordinary Portland Cement)

เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่ จะนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น ทำผิวถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อสารที่เป็นด่าง จึงไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องสัมผัสกับด่าง จากดินหรือน้ำ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี

(2) ประเภท 2 (Type 2) : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง
(Modified Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เมื่อผสมกับน้ำจะคายความร้อนออกมาน้อยกว่าประเภทธรรมดา และมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะ สำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิเช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพง กันดินในบริเวณที่ถูกน้ำเค็มเป็นครั้งคราว

(3) ประเภท 3 (Type 3) : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว
(High Early Strength Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ มีความละเอียดมากกว่า เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องแข่งกับเวลาหรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ

(4) ประเภท 4 (Type 4) : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ
(Low Heat Portland Cement)

เหมาะกับการงานที่ต้องการควบคุมทั้งปริมาณ และอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ ซึ่งถ้ามีความร้อนอย่างร้ายแรงต่อตัวเขื่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้

(5) ประเภท 5 (Type 5) : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง
(Sulfate Resistance Portland Cement)

มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารที่เป็นต่างได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่ต้องสัมผัสกับต่าง เช่น ในบริเวณที่ดินมีความเป็นต่างสูง หรือน้ำทะเล ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะช้ากว่าประเภท อื่นๆ

2.4.3 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์เป็นสิ่งสำคัญที่ควรศึกษาเพื่อให้สามารถเข้าใจถึงคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์และเลือกใช้ปูนได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับงาน

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	สัญลักษณ์	ร้อยละ โดยน้ำหนัก
CaO	C	60-67
SiO ₂	S	17-25
Al ₂ O ₃	A	8-Mar
Fe ₂ O ₃	F	0.5-6.0
MgO	M	0.1-4.0
Na ₂ O	N	0.1-1.8
K ₂ O	k	0.1-1.8
SO ₃	S ⁻	0.5-3.0
สารประกอบอื่น ๆ	-	0.5-3.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition)	Loi	0.1-3.0
การที่ไม่ละลายในกรดและต่าง (insoluble residue)	-	0.20-0.75

ที่มา: <http://raungrut.tunjai.com>

จากตารางที่ 2.7 แสดงถึงองค์ประกอบและสัญลักษณ์ของออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งออกไซด์หลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกา อลูมินาและเฟอร์ริกออกไซด์ ออกไซด์

ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง ซึ่งได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ ออกไซด์ของอัลคาไล และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ และฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมและส่วนประกอบอื่น ซึ่งจะจัดรวมอยู่ในรูปของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาและกากที่ไม่ละลายในกรดและต่าง ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาและรวมตัวกันอยู่ในรูปของการประกอบ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 อย่างคือ

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต องค์ประกอบทางเคมีคือ 3CaO , SiO_2 และย่อว่า C_3S
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต องค์ประกอบทางเคมีคือ 2CaO , SiO_2 และย่อว่า C_2S
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต องค์ประกอบทางเคมี คือ 3CaO , Al_2O_3 และย่อว่า C_3A
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ องค์ประกอบทางเคมี 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3

และย่อว่า C_4AF

2.4.4 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือ C_3S และ C_2S C_3S C_4AF เนื่องจากมีปริมาณ มากถึงกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์

(1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต

C_3S มีอยู่มากที่สุดในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 45 ถึง 55 มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม สีเทาแก่ที่อุณหภูมิในเตาเผา 1250 องศาเซลเซียส สามารถสลายตัวได้ซึ่งการสลายตัวนี้ค่อนข้างช้า และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส จะมีเสถียรภาพและจะไม่เปลี่ยนแปลงสภาพเมื่อ ผสมกับน้ำจะเกิดการก่อตัวและแข็งตัวและให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก ปฏิกิริยา ระหว่าง C_3S กับน้ำทำให้เกิดความร้อนปานกลางประมาณ 500 จูล/กรัม ความร้อนที่คายออกมา เรียกว่าความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน

(2) ไดแคลเซียมซิลิเกต

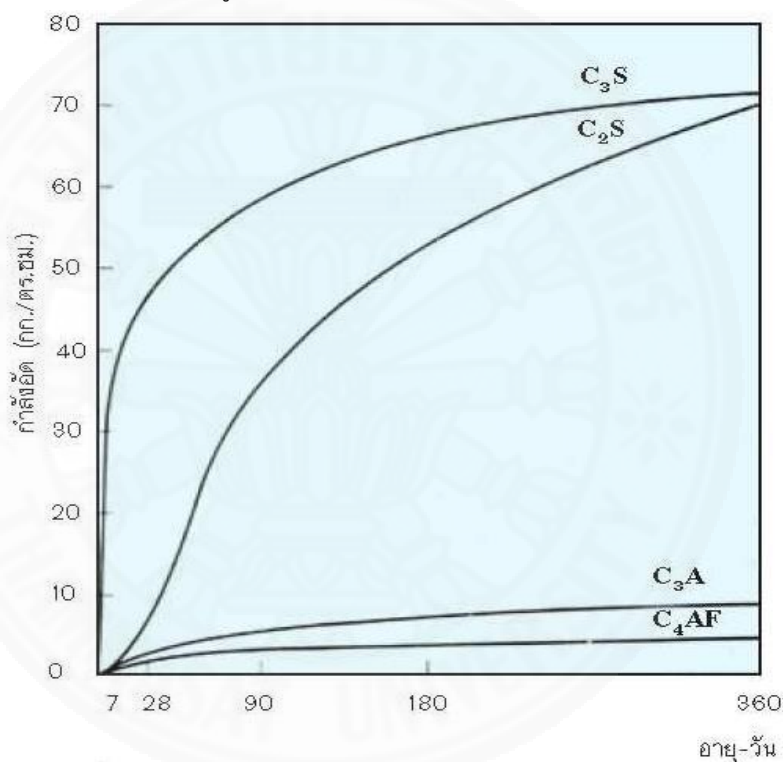
มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 15 ถึง 35 C_2S บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบคือ C_2S ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลงจะแปรสภาพเป็น C_2S ซึ่งเปลี่ยนเป็น เบต้า C_2S ที่อุณหภูมิต่ำลงและแปรสภาพเป็นที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจากในปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์อยู่ในสภาพที่ไม่บริสุทธิ์ สารแปลกปลอมอื่นและอัตราการลดลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการ แปรสภาพ เมื่อผสมกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาความร้อนขึ้น มีการพัฒนากำลังค่อนข้างช้าและช้ากว่า มาก คือ เริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์ขึ้นไปแสดงในภาพที่ 2.2

(3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต

มีอยู่ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 7 ถึง 15 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมีสีเทาอ่อน ปฏิกริยากับน้ำมีความรุนแรงมากทำให้เพสต์ก่อตัวทันที ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมากคือ กว่า 880 จูล/กรัม การพัฒนากำลังของจะมากคือสามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำมาก

(4) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์

มีอยู่ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 และอยู่ในสภาพของสารละลายแข็ง เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาและทำให้เพสต์เกิดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าปานกลางประมาณ 420 จูล/กรัม



ภาพที่ 2.2 การพัฒนากำลังอัดของ C₃S , C₂S , C₃A , C₄AF

2.5 มาตรฐานการทดสอบ

เกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกรมทางหลวงชนบท (มทช.) การทดสอบต่าง ๆ ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการทดลองให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวงชนบท (มทช.) ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการควบคุมคุณภาพและการทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างถนนตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มีดังนี้

2.5.1 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.1-2545

วิธีการทดสอบความแน่น แบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยตุ้มเหล็กหนัก 2.5 กิโลกรัม. (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยตุ้มตกกระทบสูง 305 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)

2.5.2 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.2-2545

วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยตุ้มเหล็กหนัก 4.54 กิโลกรัม. (10 ปอนด์) ระยะปล่อยตุ้มตกกระทบสูง 457 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

2.5.3 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.3-2545

วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.) วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนัก (Bearing Value) กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (Soil Aggregate) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใด เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (Mold) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห่งสูงสุด (Optimum Moisture Content) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ การทดสอบ ซี.บี.อาร์. อาจทำได้ 2 วิธี คือ

วิธี ก. การทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked)

วิธี ข. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้วิธี ก.

2.5.4 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.5-2545

วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : LL) วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดเหลวของดิน ซึ่งขีดเหลวของดิน คือ ปริมาณน้ำเป็นร้อยละที่ผสมอยู่ในดิน ซึ่งพอเหมาะที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะพลาสติก (Plastic) มาเป็นภาวะเหลว (Liquid) โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อดินนั้นเมื่ออบแห้ง

2.5.5 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.6-2545

วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : PL) วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดพลาสติกของดิน

(1) ชีตพลาสติกของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำจำนวนน้อยที่สุด ที่วัดโดยกรรมวิธีทดสอบที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งยังคงทำให้ดินมีสภาพเป็นพลาสติก โดยมีค่าเป็นร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักดินอบแห้ง

(2) ค่าดัชนี ความเป็นพลาสติก (Plasticity Index : PI) ของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำในดินช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่างระหว่างค่าขีดเหลว และชีตพลาสติกของดินนั้น

2.5.6 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.7-2545

วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว (Shrinkage factors) วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ครอบคลุมถึงการหาคคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ดังนี้

- (1) ค่าขีดหดตัว (Shrinkage Limit)
- (2) ค่าอัตราส่วนการหดตัว (Shrinkage Ratio)
- (3) ค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (Volumetric Change)
- (4) ค่าการหดตัวเชิงเส้น (Linear Shrinkage)

2.5.7 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.8-2545

วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Particle Size Distribution) ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึงการที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่างๆ กัน เช่น ตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มิลลิเมตร ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน

การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึม (Logarithm) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Grainsize Distribution Curve)

2.5.8 การทดสอบที่ มทข.(ท) 501.9-2545

วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregates) โดยใช้เครื่องมือทดสอบหาความสึกหรอ (Los Angeles Abrasion) วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาค่าความสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวด วัสดุลูกรัง หรือมวลรวมดิน (Soil Aggregates) และวัสดุชนิดเม็ดหยาบ

2.5.9 มาตรฐาน มทช. 244 – 2556

งานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) หมายถึง การนำดินมาผสมกับปูนซีเมนต์ด้วยโรงผสมเพื่อนำไปก่อสร้างเป็นชั้นพื้นทาง โดยให้มีคุณภาพตามรูปแบบและข้อกำหนด

2.6 การทดสอบความฝืดของถนน

ความเสียดทานของผิวทาง (Friction) คือ แรงต้านทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง หรือแรงต้านไม่ให้ล้อลื่นไถลไปบนผิวทาง ซึ่งเป็นองค์ประกอบจำเป็นในด้านความปลอดภัยทางถนนโดยช่วยในการควบคุมตัวรถ และช่วยลดระยะหยุดปลอดภัยในสถานการณ์เบรกกระทันหัน ในการดูแลรักษาผิวทางให้มีความปลอดภัยต่อรถยนต์ที่วิ่งสัญจรผ่านไปมา จึงควรทำการศึกษาเพื่อกำหนดค่าความเสียดทานของผิวทางที่เหมาะสมสำหรับผิวทางดินซีเมนต์ผสมน้ำอย่างพารา

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าได้มีการใช้ค่า Friction Number (FN) หรือค่า Skid Number (SN) หรือค่า British Pendulum Number (BPN) เป็นตัวชี้วัดค่าความเสียดทานของผิวทาง ในการศึกษาข้างต้นผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่า British Pendulum Number (BPN) เป็นตัวชี้วัดค่าความเสียดทาน โดยค่า BPN สามารถหาได้จากการทดสอบหาค่าความเสียดทานด้วยเครื่องมือ British Pendulum Tester โดยอ้างอิงถึงมาตรฐาน AASHTO T279-96 หรือ Standard Test Method for Accelerated Polishing of Aggregates Using the British Wheel ในการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เครื่องมือ British Pendulum Tester

เมื่อพิจารณาปัญหาทางด้านความปลอดภัยทางถนน ความเสียหายของผิวทางเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและลดจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น จากการรวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง พบว่าในต่างประเทศมีการกำหนดค่ามาตรฐานหรือค่าแนะนำของค่าความเสียหายที่เหมาะสมสำหรับถนนประเภทต่างๆ และถนนที่มีการใช้ความเร็วในระดับต่างกัน

ในปี 1999 หน่วยงาน Office of Pavement Technology ในประเทศฟินแลนด์ ได้กำหนดระดับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ยอมรับได้ โดยเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ Finnish Standards ระดับความเร็วต่างๆ

ในประเทศสวีเดน หน่วยงาน Swedish National Road & Transport Research Institute (2001) ได้ระบุในข้อกำหนดการก่อสร้างสำหรับถนนที่ทำการก่อสร้างใหม่ ควรมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องมือชนิด Fixed Slip (Skiddometer BV-11) บนผิวทางเปียกไม่น้อยกว่า 0.5

WSDOT Pavement Guide (2004) ได้แนะนำค่า Skid Number (SN) ที่ได้จากการวัดค่าความฝืดด้วยเครื่องมือชนิด Skid Trailer โดยแนะนำค่า SN สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อยควรมีค่ามากกว่า 30 สำหรับถนนที่ควรมีการตรวจวัดบ่อยครั้ง ควรมีค่า SN อยู่ในช่วง 31 ถึง 34 และค่า SN สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรมากควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 35

สำหรับประเทศอังกฤษได้มีการพัฒนานโยบายเพื่อกำหนดระดับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ยอมรับได้โดยได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Side Force Coefficient Road Inventory Machine (SCRIM) สำหรับประเภทถนนและรูปแบบการรองรับปริมาณจราจรต่างๆ

หน่วยงาน VicRoads ของรัฐ Victoria ประเทศออสเตรเลีย ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงกระทำด้านข้าง (Sideway Force Co-efficient, SFC) ที่ได้จากการใช้เครื่องมือ Side Force Coefficient Road Inventory Machine (SCRIM) สำหรับตำแหน่งทดสอบบนสายทางแบบต่างๆ ที่ระดับความเร็ว 20 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เช่นเดียวกับมาตรฐาน Transit New Zealand Technical Standard (TNZ) ของประเทศนิวซีแลนด์กำหนดระดับค่า SFC สำหรับสายทางประเภทต่างๆ และหน่วยงาน Main Road Queenslandของรัฐ Queensland ในประเทศออสเตรเลีย ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่วัดได้จากเครื่องทดสอบชนิด Norsometer friction (ROAR) โดยทดสอบที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อีกทั้งหน่วยงาน Transport South Australia ของประเทศออสเตรเลีย ได้แนะนำค่า Grip Number ที่ได้จากการทดสอบความฝืดของผิวทางโดยใช้เครื่องมือชนิด Griptester ที่ระดับความเร็วของสายทางชนิดต่างๆ

เมื่อพิจารณาในด้านความปลอดภัยทางถนน ความฝืดของผิวทางเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและลดจำนวนการชนกันของรถ จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Giles, et al.

(1962) พบว่ามีความเสี่ยงเล็กน้อยในการเกิดการชนกันที่มีค่าความผิดเป็นปัจจัยเกี่ยวข้อง เมื่อ FN มีค่ามากกว่า 60 แต่จะมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ FN มีค่าต่ำกว่า 50

Mccullough & Hankins (1966) ได้แนะนำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต่ำที่สุดที่ทำให้้อตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดอุบัติเหตุลดลงเท่ากับ 0.4 (FN เท่ากับ 40) โดยทดสอบที่ความเร็วคงที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จาก 571 ตำแหน่งทดสอบในรัฐ Texas ประเทศสหรัฐอเมริกา

หน่วยงาน The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) ได้พัฒนาโครงการศึกษาระดับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับทางหลวงชนบท โดยใช้เครื่องมือทดสอบชนิด Ribbed Test Tire ที่ระดับความเร็วจราจรเฉลี่ย (Mean Traffic Speed) ต่างๆ และที่ความเร็วคงที่ขณะทดสอบเท่ากับ 40 ไมล์ต่อชั่วโมง

นอกจากนี้ในรัฐต่างๆ ของ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีงานวิจัยเพื่อกำหนดค่า SN เช่น Rizenbergs (1976) ได้ทำการศึกษาในรัฐ Kentucky พบว่าถ้าถนนที่มีค่า SN70R (ทดสอบที่ความเร็ว 70 ไมล์ต่อชั่วโมง และใช้เครื่องทดสอบล้อชนิด Ribbed) ต่ำกว่า 27 จะมี้อตราการเกิดอุบัติเหตุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญบนผิวทางเปียก และงานวิจัยของ (Runkle & Marhone, 1977) ได้เสนอค่า SN64R (ทดสอบที่ความเร็ว 64 ไมล์ต่อชั่วโมง และใช้เครื่องทดสอบล้อชนิด Ribbed) ที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสมสำหรับทางหลวงระหว่างรัฐ ที่ความเร็วของรัฐต่างๆ ในประเทศอเมริกา เช่น Tennessee, Texas, Arizona, Virginia และ Kentucky

ในปี 1991 ได้มีงานศึกษาของหน่วยงาน Isaeli Public Works Department (Craus et al., 1991) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดของผิวทางที่วัดได้จาก Mu-Meter และจำนวนอุบัติเหตุบนทางหลวงพบว่า ถ้าค่าความผิดที่อ่านได้จาก Mu-Meter สูงกว่า 37 สามารถลดจำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุลง 7.5 เปอร์เซ็นต์

จากรายงานผลการวิจัยในประเทศฝรั่งเศสในปี 1996 พบว่า้อตราการเกิดอุบัติเหตุจะเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า บนถนน Bordeaux Ring Road เมื่อค่า Side-Force Coefficient (SFC) ลดลงจากมากกว่า 0.6 เหลือน้อยกว่า 0.5

นักวิจัยของหน่วยงาน Pennsylvania Transportation Institute ได้พัฒนาแบบจำลอง Fuzzy Logic เพื่อทำนายการเกิดอุบัติเหตุขณะผิวทางเปียก โดยพิจารณาพารามิเตอร์ได้แก่ SN, ความเร็วที่กำหนด, ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน, ช่วงเวลาขณะผิวทางเปียก, ความยากง่ายในการขับขี ผลการศึกษาพบว่าถ้า SN เพิ่มขึ้นจาก 33.4 ไปเป็น 48 สามารถลดการเกิดอุบัติเหตุขณะผิวทางเปียกได้ถึงร้อยละ 60

Henry (2000) ได้รวบรวมค่า FN ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการปรับปรุงผิวทางใหม่ (Surface Restoration) ในรัฐต่างๆ ได้แก่ Maine, Washington, Wisconsin and Minnesota

จากผลการศึกษาของ Norwegian Road Grip Project ในประเทศนอร์เวย์ ได้แสดงอัตราการเกิดการชนกันที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่างๆ

Smith, et al. (2006) ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบค่า FN ที่ได้จากเครื่องมือทดสอบชนิด Locked Wheel Skid Trailer ล้อยางชนิด Ribbed Tires ในโครงการ Maryland State Highway Administration (MDSHA) Pavement Management System (PMS) ระยะทางประมาณ 15,000 lanemiles ซึ่งประกอบไปด้วยผิวทางแอสฟัลท์ร้อยละ 61, ผิวทางคอนกรีตร้อยละ 2 และผิวทางแบบผสมร้อยละ 37 พบว่าค่า FN เฉลี่ยของถนนในชนบท เท่ากับ 48.5 และถนนในเมือง เท่ากับ 42 นอกจากนี้พบว่า 1 ปีหลังจากการปูผิวทางใหม่ (Resurfacing) ค่า FN ลดลง 0.22 และ 0.26 ต่อปีรายละเอียดค่าความเสียดทานของผิวทางที่แนะนำในการศึกษางานวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตารางสรุปค่าความเสียดทานของประเทศอื่นๆ

ประเทศ	ทางด่วน/ Motorway	ทางสายหลัก	ทางสายรอง	ถนนท้องถิ่น
เดนมาร์ค	ความเร็ว<80 กม.ต่อชม., $\mu =0.4$; ความเร็ว>80 กม.ต่อชม., $\mu =0.5$			
ฮังการี	SCRIM> 0.50	SCRIM> 0.40	SCRIM> 0.33	
ญี่ปุ่น	Friction>0.25			
เนเธอร์แลนด์	DWW > 38	DWW > 38		
รัฐนิวเซาท์เวลส์ ออสเตรเลีย	SCRIM > 0.30-0.55			
นิวซีแลนด์	SCRIM > 0.30-0.56			
แคนาดา	SCRIM > ร้อยละ 70	SCRIM > ร้อยละ 70	SCRIM > ร้อยละ 55	SCRIM > ร้อยละ 40
รัฐเซาธ์ออสเตรเลีย ออสเตรเลีย	BPN > 45	BPN > 45	BPN > 45	BPN > 40
สวีตเซอร์แลนด์	BPN > 65			
รัฐวิกตอเรีย ออสเตรเลีย	SCRIM > 0.35-0.55			

ที่มา : กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์ (2553: 18)

2.7 การประยุกต์ใช้ยางพาราในงานถนน

2.7.1 การใช้ยางพาราผสมยางแอสฟัลต์ทำถนนผิวจราจรแอสฟัลต์ผสมยางพารา

กรมทางหลวงได้มีการศึกษาเรื่องการใช้ยางพาราผสมยางแอสฟัลต์เพื่อใช้ทำผิวทางแอสฟัลต์ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม รวมทั้งติดตามผลการใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์ที่ผ่านมา พบว่าการนำยางธรรมชาติผสมกับยางแอสฟัลต์ ทำได้ 2 แบบ คือการนำยางธรรมชาติผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60 – 70 กับการนำยางธรรมชาติผสมกับแอสฟัลต์อิมัลชัน ขณะนี้ยางพาราที่ผสมสามารถใช้ยางธรรมชาติชนิดน้ำยางข้น (Latex) ได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น วิธีการ คือ ใช้น้ำยางข้นประมาณร้อยละ 5 ผสมกับยางแอสฟัลต์ร้อยละ 95 เหตุผลที่ต้องใช้น้ำยางข้นร้อยละ 5 เพราะจากการศึกษาพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ยางพาราประมาณนี้ สามารถทำได้ง่าย เพียงพอต่อการปรับปรุงคุณภาพของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 และผ่านมาตรฐานของแอสฟัลต์ตามข้อกำหนด มอก. 851-2532 การผสมน้ำยางข้นต้องผ่านการต้มในเตาต้มก่อน โดยค่อยๆ เติมน้ำยางข้นพร้อมกวนส่วนผสมทั้งสองอย่างเพื่อให้เข้าซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำยางหายไป จนได้อัตราส่วนร้อยละ 5 ของยางแอสฟัลต์ ซึ่งการผสมจำนวนน้อยๆ ในห้องทดลองจะทำได้ง่าย ในขณะที่การผสมปริมาณมากเพื่อใช้ในงานถนนจริงๆ ทำได้ยากต้องใช้เทคโนโลยีทางด้านการผลิต และยังไม่มีบริษัทผู้ผลิตทำการผลิตในเชิงพาณิชย์ Asphalt Cement ผสมยางธรรมชาติเรียกว่า Para Asphalt Cement และผิวทาง Asphalt Concrete ที่ใช้ Para Asphalt Cement เรียกว่า Para Asphalt Concrete

ส่วนผสมน้ำยางข้นกับแอสฟัลต์อิมัลชันไม่สามารถผสมกันได้โดยตรง จะต้องใช้เทคโนโลยีและความรู้ด้านเคมีเทคนิคในการผลิต ซึ่งขณะนี้บริษัทผู้ผลิตสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้แล้ว และสามารถผลิตได้อย่างมีคุณภาพตามข้อกำหนดของทางกรมทางหลวงที่ ทล. ก 405/2538 "Specification for Elastomeric Modified Asphalt Emulsion" ได้โดยแอสฟัลต์อิมัลชันชนิดผสมยางพารา เรียกว่า Para Asphalt Emulsion และแอสฟัลต์อิมัลชันชนิดผสมน้ำยางพาราใช้ทำผิวทางในลักษณะของงาน Slurry Seal เรียกว่า Para Slurry Seal มีคุณสมบัติเหมือน หรือใกล้เคียงกับผิวทางชนิดไมโครซีล (Microseal) ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ม. 412/2535 และยังสามารถใช้ทำผิวทางของงานแคพซีล (Cape Seal) ซึ่งเรียกว่า Para Slurry Seal โดยผิวทางชั้นแรกจะต้องใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด AC. หรือ CRS.-2 แล้วจึงฉาบผิวชั้นที่ 2 ด้วย Para Slurry Seal ซึ่งเป็นผิวทางชนิดที่ใช้ตัวประสานเป็นแอสฟัลต์อิมัลชันผสมยางพาราต่อไป และแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางข้นทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถนำไปทำส่วนผสมผิวทางโดยผสมกับวัสดุมวลรวม คือ หิน ทราย ให้คุณภาพในการช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวทางได้เหมือนกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลดี - ผลเสีย ของการใช้แอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติกับยางแอสฟัลต์แล้ว พบว่าแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติทำให้ผิวทางมีความแข็งแรงขึ้น อายุยาวนานขึ้นลดค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา และช่วยเพิ่มมูลค่าทางพาธาให้มีราคาสูงขึ้น เพิ่มการบริโภคภายในประเทศ อีกทั้งเป็นแนวทางในการนำยางธรรมชาติในประเทศมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบอื่นๆ ที่ใช้ในงานก่อสร้างทาง เช่น วัสดุรองต่อ, แผ่นยางรองพื้นหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ

2.7.2 การใช้ยางพาราผสมดินซีเมนต์ทำถนนดินซีเมนต์ผสมยางพารา

เนื่องจากยางพารามีคุณสมบัติยืดหยุ่น ทึบน้ำและคงทน จึงมีแนวความคิดในการใช้ยางพาราผสมดินซีเมนต์ทำถนนดินซีเมนต์ผสมยางพารา เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของถนนดินซีเมนต์ให้ดีขึ้น เช่น แรงอัด แรงดัด แรงดึง และการดูดซึมน้ำลดลง โดยน้ำยางพาราจะทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวประสานและสามารถป้องกันการร้าวซึมได้ดี เพราะถนนดินซีเมนต์เมื่อก่อสร้างเสร็จจะพบปัญหาการแตกร้าว (Crack) และเกิดฝุ่นละอองทำให้ประสิทธิภาพของถนนลดลง

จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบูลย์ และคณะ (2553) ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยาโพลีเมอร์เคมีโรด โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ร้อยละ 0 และเคมีโรดร้อยละ 0, ซีเมนต์ร้อยละ 5 และเคมีโรดร้อยละ 0, ซีเมนต์ร้อยละ 5 และเคมีโรดร้อยละ 5 ตามลำดับที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ในห้องปฏิบัติการซึ่งทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังแต่ละวิธีการปรับปรุงดิน จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ร้อยละ 5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับน้ำยาโพลีเมอร์เคมีโรดที่ร้อยละ 5 จะมีค่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพอยู่ไม่ต่ำกว่า 1,200 และ 1,300 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ร้อยละ 5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับน้ำยาโพลีเมอร์เคมีโรดที่ร้อยละ 5 จะมีค่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพอยู่ 3,000 และ 4,900 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยาโพลีเมอร์เคมีโรดจะให้ค่าที่สูงที่สุด จึงสรุปได้ว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ร้อยละ 5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับน้ำยาโพลีเมอร์เคมีโรดที่ร้อยละ 5 จะมีค่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ และนำผลการศึกษาดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการทำถนน

ธดิพิงศ์ หล่อพิศาลชัย และคณะ (2556) การศึกษาคุณสมบัติทางกลของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยางพาราโดยทำการทดสอบกับตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุง

ด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และ น้ำยางพารา จำนวน 3 อัตราส่วน ประกอบด้วย ดินลูกรัง : ปูนซีเมนต์ : น้ำ (1) 6 : 1 : 0.7, (2) 5.5 : 1.5 : 0.7 และ (3) 5 : 2 : 0.7 โดยใช้ปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5, 7.5, 10 และ 12.5 ของปริมาณน้ำโดยปริมาตร ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน และทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดกำลัง แรงดัด กำลังรับแรงดึง ตามลำดับ บ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ และการทดสอบการดูดซึมน้ำของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา เท่ากับ 5 : 2 : 0.7 และ ปริมาณน้ำยางร้อยละ 5 ให้ค่าที่ดีที่สุด ที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งได้กำลังรับแรงอัด 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงดัด 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงดึง 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6 ตามลำดับ ดังนั้นการปรับปรุงดินซีเมนต์และน้ำยางพารา เท่ากับ 5 : 2 : 0.7 และปริมาณน้ำยางร้อยละ 5 จะให้ค่าที่สูงที่สุด

พีรวัฒน์ ปลาเงิน (2557) การประยุกต์ใช้น้ำยางพาราผสมดินซีเมนต์พัฒนาสะพานข้ามลำน้ำด้านท้ายแก่ง การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้น้ำยางพาราผสมดินซีเมนต์พัฒนาสะพานข้ามลำน้ำด้านท้ายแก่ง โดยมีการศึกษาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานและทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมน้ำยางพารา (พรีวัลคาไนซ์) โดยใช้อัตราส่วนของดินลูกรัง : ปูนซีเมนต์ : น้ำและน้ำยางเท่ากับ 5 : 2 : 1 และใช้ปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5, 7.5, 10 และ 12.5 ของปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินซีเมนต์ ทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด แรงดัด และแรงดึงของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ที่ระยะการบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ และการทดสอบการดูดซึมน้ำของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา เท่ากับ 5 : 2 : 1 และปริมาณน้ำยางร้อยละ 7.5 ของปริมาณน้ำ พบว่าให้ค่าที่ดีที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ประกอบด้วย ค่ากำลังรับแรงอัด 86 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงดึง 19 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงดัด 8.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.23 ตามลำดับ ดังนั้นการปรับปรุงดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ในอัตราส่วน 5 : 2 : 1 และปริมาณน้ำยางร้อยละ 7.5 จึงถูกนำไปใช้งานภาคสนามโดยการก่อสร้างสะพาน จำนวน 2 บ่อ ประกอบด้วย สระน้ำดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา และสระน้ำคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่และหลังจากก่อสร้างสระน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์จากสระน้ำในช่วงฤดูแล้งได้

ระพีพันธ์ แดงตันกี (2559) ถนนยางพาราดินซีเมนต์ งานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มปริมาณการใช้น้ำยางพาราในงานถนน ซึ่งเรียกว่า “พาราบิเบอร์ชอยซีเมนต์” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกับการทำพื้นสนามบินในหลายประเทศ โดยการบดอัดถนนให้แน่นแล้วเกลี่ยหน้าดินให้หลวมนำซีเมนต์มาโรยแล้วไถคราดเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้า (การผสมแห้ง) ด้วยแทรกเตอร์โรตารีแบบง่าย แล้วใช้สเปรย์ที่ผสมน้ำยางพารากับหัวเชื้อโพลีเมอร์ซึ่งเป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์ตัวหนึ่งทำหน้าที่ยึดโครงสร้าง

ทั้งหมดไม่ให้น้ำซึม โดย นำมาพ่นบนถนนแล้วใช้รถบดทับดินให้แน่น บดอัดเป็นชั้นๆ จนได้ความหนาที่ต้องการเพื่อให้ตัวน้ำยางเข้าไปทุกอณูของดิน โดยความหนาของถนนจะอยู่ที่ประมาณ 15-20 เซนติเมตร น้ำยางพาราเป็นตัวช่วยสนับสนุนแรง ความยืดหยุ่น ความเหนียว และไม่มีฝุ่น จึงสามารถใช้เป็นผิวถนนได้เลยไม่ต้องจำเป็นต้องเทยางมะตอยมีอายุถึง 10 ปี ไม่มีปัญหาเรื่องการขบขี้ และการยึดเกาะถนน เหมาะกับถนนตามต่างจังหวัด ใช้เวลาในการทำ 1-2 วัน เมื่อเทียบด้านค่าใช้จ่ายต่อถนน 1 ตารางเมตร พบว่า ถนนยางพาราใช้งบประมาณ 200-300 บาท ถนนยางมะตอยใช้งบประมาณ 350-400 บาท และถนนคอนกรีตที่ใช้งบประมาณ 750-800 บาท แต่อายุงานเท่ากัน และที่สำคัญคือใน 1 ตารางเมตร สามารถนำน้ำยางพาราไปใช้ได้ถึง 3 ลิตร ดังนั้นถ้าถนนมีความยาว 1 กิโลเมตร สามารถใช้น้ำยางได้ถึง 18 ตัน หรือ 18,000 ลิตร สามารถช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางได้เป็นจำนวนมาก นอกจากใช้ทำถนนแล้ว ตัวยางแผ่นหรือยางแห้งยังสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงถนนคันดินถมได้อีกด้วย โดยการนำมาขึ้นรูปเป็นลักษณะรังผึ้งลึก 10-15 ซม. เรียกว่า “จีโอเซลล์” ใช้งานลักษณะเดียวกับ “จีโอเท็กไทล์” ในงานถนน กล่าวคือ ปูระหว่างชั้นพื้นทางกับชั้นรองพื้นทาง เพื่อช่วยเพิ่มความเสียดทานระหว่างพื้นผิวมีความยืดหยุ่น และ ช่วยกระจายหน่วยแรงลงไปยังชั้นดินเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มกำลังแบกทานของคันดินถม เมื่อเทียบกับถนนปกติ จีโอเซลล์จากยางพาราทำให้มีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 50-70 ของอายุการใช้งานเดิม ช่วยยืดอายุการใช้งานของถนนได้ดียิ่งขึ้น โดยพื้นที่หนึ่งตารางเมตรจะใช้ยางพาราแห้งประมาณ 10 กิโลกรัม ดังนั้น ถนนเส้นความยาว 1 กิโลเมตร หรือ 6,000 ตารางเมตร จะใช้ยางพารา 60,000 กิโลกรัม ซึ่งเป็นยางจำนวนมากศาล ดังนั้นในพื้นที่ที่มีน้ำยางพารามากจึงเหมาะกับการทำถนนโดยใช้วิธี “พารารับเบอร์ชอยซีเมนต์” ส่วนในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำยางพาราสดจึงเหมาะกับการใช้ “จีโอเซลล์” มากกว่า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายการขนส่งน้ำยางพารา

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยการพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา โดยจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวัสดุดินลูกรัง ดินลูกรังผสมซีเมนต์และยางพาราเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับก่อสร้างถนน ซึ่งมีวิธีดำเนินการดังนี้

3.1 วิธีการดำเนินงาน

3.1 ทบทวนงานวิจัยและมาตรฐานดินลูกรังของกรมชลประทานและกรมทางหลวงชนบท

3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางพารามาเป็นส่วนหนึ่งของดินลูกรังซีเมนต์เพื่อพัฒนาการทำถนนผิวทาง

3.3 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ดินลูกรัง โดยการทดสอบตามมาตรฐาน อ้างอิงกรมทางหลวงชนบท งานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) มทช. 244 – 2556

3.4 ทำการออกแบบส่วนผสม ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

3.5 ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 303-2545

3.6 ทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction) อ้างอิงมาตรฐาน AASHTO T279-96 โดยใช้เครื่องมือแบบ Portable Skid Resistance Tester เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ British Pendulum Tester (BPT)

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ดินลูกรัง

คุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม ดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบดังนี้ ตามมาตรฐานงานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) มทช. 244 – 2556

3.2.1 การทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : LL) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.5-2545

3.2.2 การทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : PL) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.6-2545

3.2.3 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.8-2545

3.2.4 การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregates) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.9-2545

3.2.5 การทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.2-2545

3.3 ออกแบบส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ในการทดลองเพื่อหาค่ารับแรงอัดสูงสุด (Unconfined Compressive Strength) ของวัสดุดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์และน้ำยางพารา โดยกำหนดให้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักดินลูกรัง น้ำยางพาราชั้นร้อยละ 5, 8 และ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และสารผสมเพิ่ม (Additive) ร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำยางพาราชั้น และน้ำสะอาดที่ทำให้ดินมีความชื้นที่เหมาะสมร้อยละ 95 การออกแบบการทดลองบางออกเป็นทั้งหมด 12 กรณี ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การออกแบบส่วนผสม

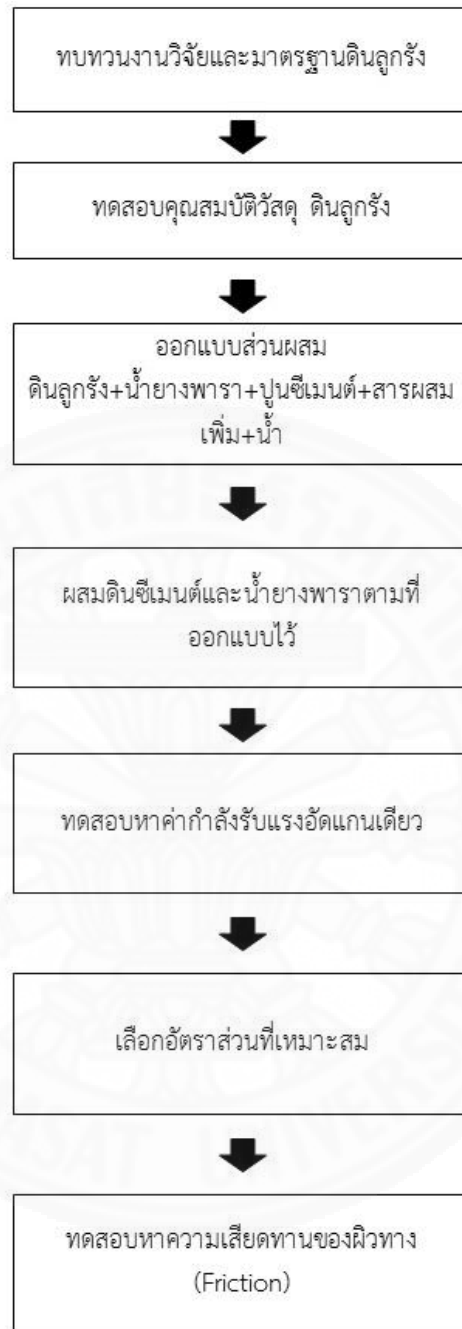
การทดลองที่	ร้อยละของปูนซีเมนต์	ร้อยละของยางพารา	สารผสมเพิ่ม (ร้อยละ)
1	4	0	2
2		5	
3		8	
4		10	
5	6	0	
6		5	
7		8	
8		10	
9	8	0	
10		5	
11		8	
12		10	

3.4 ทดสอบคุณสมบัติดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 303-2545 ซึ่งแบ่งตัวอย่างการทดสอบจะถูกบดอัดในแบบวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 501.2-2545”วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วันแล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมียค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว ไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.5 ทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction)

ทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction) อ้างอิงมาตรฐาน AASHTO T279-96 โดยใช้เครื่องมือแบบ Portable Skid Resistance Tester เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ British Pendulum Tester (BPT) การทดสอบโดยการนำดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราหล่อในแบบจำลองขนาด 30x30x10 เซนติเมตร ทดสอบด้านละ 5 ครั้ง บนพื้นผิวเปียก



ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

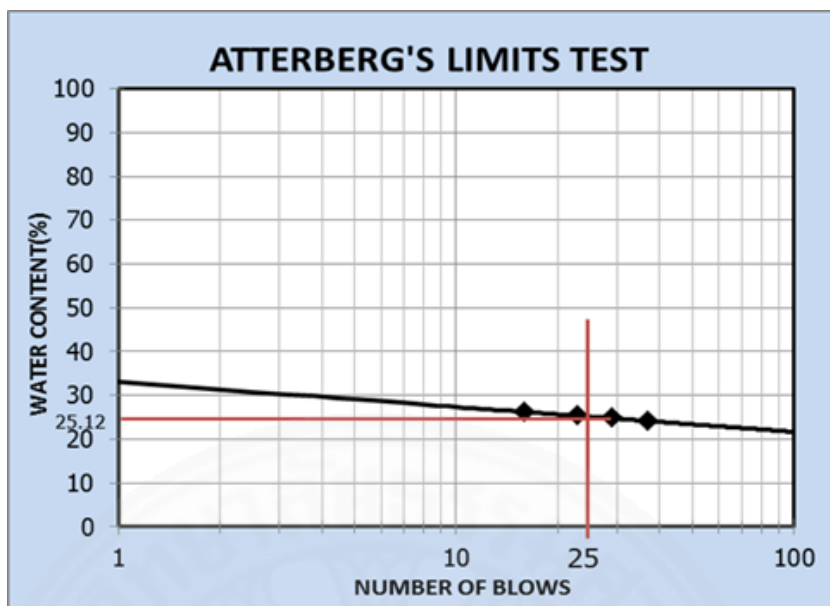
ผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง สำหรับนำไปเป็นวัสดุก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้น มีดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาหาค่าความชื้นในดิน

ผลการศึกษาหาค่าความชื้นของดินสามารถหาได้จากการทดสอบหาค่าขีดเหลว (Liquid Limits) ค่าขีดพลาสติก (Plastic Limits) และค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index) ของดินลูกรัง ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และกราฟภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าขีดเหลว ค่าขีดพลาสติก และค่าดัชนีความเหนียว ของดินลูกรัง

การทดลอง	ค่าขีดเหลว ร้อยละ	ค่าขีดพลาสติก ร้อยละ	ค่าดัชนีความเหนียว ร้อยละ	หมายเหตุ
1	25.12	14.79	10.33	
2	24.72	14.91	9.81	
3	24.82	14.75	10.07	
ค่าเฉลี่ย	24.89	14.82	10.07	



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการหาค่าขีดเหลว ของดินลูกรัง

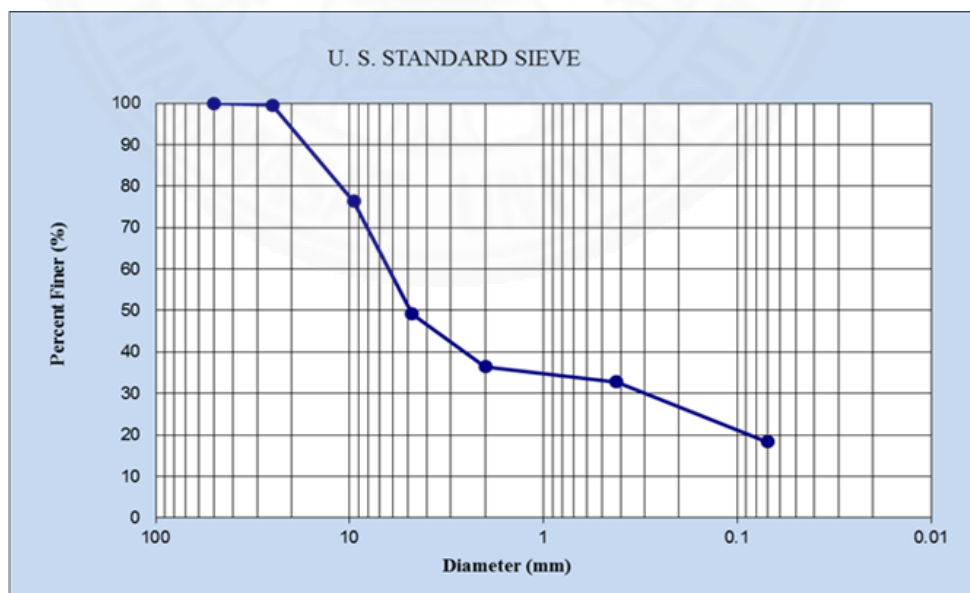
จากผลการทดสอบหาค่าขีดเหลว (Liquid Limits, LL) ค่าขีดพลาสติก (Plastic Limits, PL) และค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index, PI) ของดินลูกรังทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง ดังนี้ค่าขีดเหลว (LL) เท่ากับร้อยละ 24.89, ค่าขีดพลาสติก (PL) เท่ากับร้อยละ 14.82 และค่าดัชนีความเหนียว (PI) เท่ากับร้อยละ 10.07 ซึ่งตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทกำหนดให้ค่าขีดเหลว (LL) ไม่เกินร้อยละ 35 และค่าดัชนีความเหนียว (PI) ไม่เกินร้อยละ 11 และจากผลการทดสอบได้ค่าขีดเหลว (LL) ร้อยละ 24.89 และค่าดัชนีความเหนียว (PI) ร้อยละ 10.07 ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทกำหนดไว้

4.1.2 ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน

จากการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ของดินลูกรัง ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และกราฟภาพ ที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินลูกรังโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)

ชนิดหิน	ขนาด ตะแกรง	ขนาดช่อง ของตะแกรง มาตรฐาน (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย ร้อยละ
			น้ำหนักผ่าน ตะแกรงเป็น ร้อยละ	น้ำหนักผ่าน ตะแกรงเป็น ร้อยละ	น้ำหนักผ่าน ตะแกรงเป็น ร้อยละ	
ลูกรัง	2 นิ้ว	50.00	100	100	100	100
	1 นิ้ว	25.00	100	95.42	99.53	98.32
	3/8 นิ้ว	9.53	80.16	70.41	76.37	75.65
	เบอร์ 4	4.76	54.91	45.66	49.19	49.92
	เบอร์ 10	2.00	42.35	34.55	36.41	37.77
	เบอร์ 40	0.42	37.46	30.69	32.76	33.64
	เบอร์ 200	0.07	20.50	16.57	18.34	18.47



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการหาขนาดของเม็ดดินลูกรัง

ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท งานพื้นทางดินซีเมนต์กำหนดให้คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังชนิดใช้ทำพื้นทางดินซีเมนต์ผิวจราจรต้องมีขนาดคละที่ดี เมื่อทดสอบตาม มทช. (ท) 501.8 : วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และส่วนที่ผ่าน ตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25 จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหา ขนาดของเม็ดดินลูกรังที่ศึกษาเทียบกับมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทมีค่าขนาดเม็ดโตสุด 1 นิ้ว หรือ เท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร (ไม่เกิน 50 มิลลิเมตร) มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ร้อยละ 37.77 (ไม่เกินร้อยละ 70) และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ร้อยละ 18.47 (ไม่เกินร้อยละ 25) ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานกรมทางหลวงชนบทกำหนดไว้

การจำแนกประเภทของดินโดยระบบของ Unified เมื่อนำผลการทดสอบหา ขนาดของเม็ดดินจากตารางที่ 4.2 โดยพิจารณาจากแผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดิน โดยระบบของ Unified (กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม หน้า 56-57) เมื่อพิจารณาตัวอย่างดิน พบว่า ผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ร้อยละ 18.47 น้อยกว่าร้อยละ 50 เป็นดินประเภทดินเม็ดหยาบ และค่าัง ตะแกรง เบอร์ 4 ร้อยละ 50.08 มากกว่าหรือเท่ากับครึ่งของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ ดังนั้นดินลูกรังเป็น พวกรวด (G) เมื่อพิจารณาค่าขีดเหลว (LL) เท่ากับร้อยละ 24.89 และค่าดรรชนีความเหนียว (PI) เท่ากับร้อยละ 10.07 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผนภูมิมาเขียนจุดบนแผนภูมิความเหนียว Unified (กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม หน้า 42) พบว่า อยู่เหนือ A-Line และ Hatched โซนในแผนภูมิ ความเหนียว ดังนั้นดินลูกรังอยู่ในกลุ่มดิน GC คือ เป็นกรวดมีดินเหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียว ขนาดคละกันไม่ตีผสมกัน และจากภาพที่ 4.2 พบว่า ขนาดของเม็ดดินมีตั้งแต่ 0.03 – 25.4 มิลลิเมตร

4.1.3 การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate)

การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุโดยใช้ Los Angeles Abrasion ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate)

ชนิดดิน	ตัวอย่างดิน	น้ำหนักตัวอย่างดินแห้ง		การสึกหรอ ร้อยละ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละ
		น้ำหนักเริ่มต้น	น้ำหนักคงเหลือ		
ลูกรัง	1	5000	3356.6	32.87	34.1
	2	5000	3247.9	35.04	
	3	5000	3281.2	34.38	

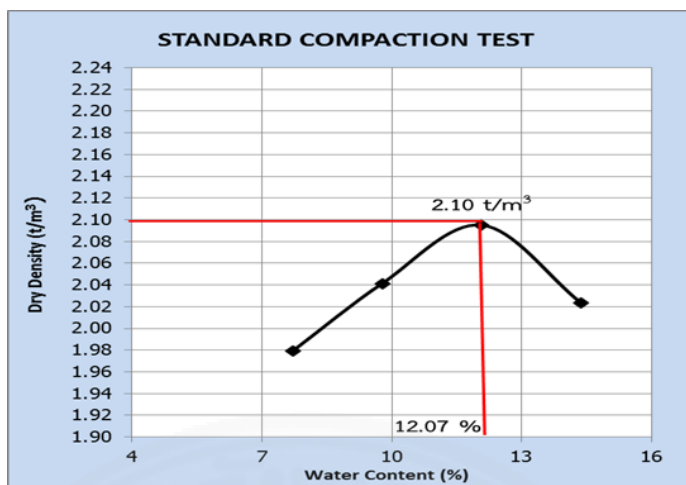
ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทกำหนดให้วัสดุมีค่าความสึกหรอ เมื่อทดสอบตาม มทข. (ท) 501.9 : วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยใช้ Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 60 ซึ่งค่าที่ได้ คือ ร้อยละ 34.10 ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทกำหนดไว้

4.1.4 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) ของดินลูกรัง

จากการทดสอบการบดอัด (Compaction Test) ของดินลูกรัง ได้ค่าความหนาแน่นแห้ง (Maximum Dry Density) และค่าความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Water Content, OMC) ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และกราฟแสดงเส้นโค้งการบดอัดดินเพื่อหาค่าความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งและค่าความชื้นของดินลูกรัง

ชนิดดิน	ตัวอย่างดิน	ผลการบดอัด			
		ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	ค่าเฉลี่ย (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	ความชื้นสูงสุด ร้อยละ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละ
ลูกรัง	1	2.10	2.12	12.07	11.08
	2	2.08		11.7	
	3	2.19		9.47	



ภาพที่ 4.3 แสดงตัวอย่างดินที่ 1 การบดอัดดินเพื่อหาค่าความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด

จากภาพที่ 4.3 การทดสอบตัวอย่างดินลูกรังตัวอย่างที่ 1 จะได้ค่าความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด คือร้อยละ 12.07 ของน้ำหนักดินแห้งและมีค่าความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 2.10 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งการศึกษานี้ทำการทดลอง 3 ตัวอย่าง เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 2.12 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด คือร้อยละ 11.08 ของน้ำหนักดินแห้ง

จากการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังที่จะนำมาก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา นำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติพื้นฐานลูกรังชนิดใช้ทำพื้นทางดินซีเมนต์และข้อกำหนดพิเศษดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ข้อกำหนดพิเศษที่ สว.พิเศษ 1/2560 ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติดินซีเมนต์เปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมน้ำยารักษา

การทดสอบ	ผลการทดสอบ	เกณฑ์กรมทางหลวงชนบท มทข.244-2556	ข้อกำหนดพิเศษที่สว.พิเศษ 1/2560 กรมทางหลวง	หมายเหตุ
ค่าขีดเหลว	ร้อยละ 24.89	< ร้อยละ 35	< ร้อยละ 40	ผ่าน
ค่าขีดพลาสติก	ร้อยละ 10.07	< ร้อยละ 11	< ร้อยละ 15	ผ่าน
ขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงร่อน				
- ขนาดเม็ดโตสุด	25.4 มม.	50 มม.	50 มม.	ผ่าน
- ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์10)	ร้อยละ 37.77	< ร้อยละ 70	< ร้อยละ 70	ผ่าน
- ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์200)	ร้อยละ 18.47	< ร้อยละ 25	< ร้อยละ 25	ผ่าน
ค่าความสึกหรอ	ร้อยละ 34.10	< ร้อยละ 60	< ร้อยละ 60	ผ่าน
ค่าความชื้น	ร้อยละ 11.08	-	-	
ความหนาแน่นแห้ง	2.12 ตันต่อลบ.ม.	-	-	

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบพบว่า ดินลูกรังที่จะนำมาก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยารักษา มีคุณสมบัติพื้นฐานผ่านเกณฑ์ดินลูกรังชนิดใช้ทำพื้นทางดินซีเมนต์ และข้อกำหนดพิเศษที่ สว.พิเศษ 1/2560 ของกรมทางหลวง สำหรับงานดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

4.2 ผลการทดสอบดินซีเมนต์ผสมน้ำยารักษาชั้น

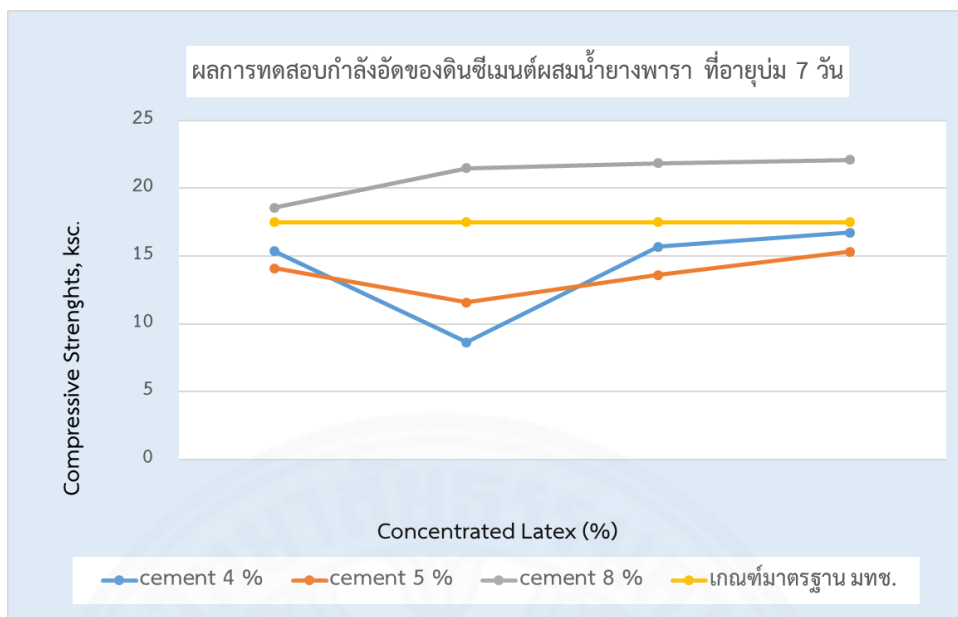
จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินซีเมนต์ผสมน้ำยารักษา โดยใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักดินแห้ง น้ำยารักษาชั้นร้อยละ 5, 8 และ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และสารผสมเพิ่มร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำยารักษาชั้น ที่ทำให้กำลังอัดมากกว่า

17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อายุการบ่ม 7 วัน (มทช. ถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์ และดินซีเมนต์ผสมน้ำยาฟารา

การทดลองที่	ปูนซีเมนต์ร้อยละ	ยางพาราชั้นร้อยละ	ความหนาแน่นแห้ง (ตันต่อลบ.ม.)	ค่ากำลังรับแรงอัด (อายุ 7 วัน) (กก.ต่อตร.ซม.)
1	4	0	2.22	15.35
2		5	2.21	8.65
3		8	2.26	15.68
4		10	2.28	16.74
5	6	0	2.21	14.08
6		5	2.23	11.59
7		8	2.23	13.61
8		10	2.24	15.32
9	*8	0	2.28	18.58
10		*5	*2.24	*21.49
11		8	2.22	21.84
12		10	2.22	22.08

หมายเหตุ *อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และมีค่ากำลังรับแรงอัด ไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 4.4 แสดงกำลังอัด เมื่ออายุการบ่ม 7 วัน

จากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4 พบว่า ดินลูกรังผสมซีเมนต์ร้อยละ 8 ของน้ำหนักดินแห้งและน้ำยางพาราชั้นร้อยละ 5, 8 และ 10 ที่อายุการบ่ม 7 วัน พบว่าการทดลองทั้ง 3 การทดลองมีค่ากำลังอัดมากกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (มทช.-244-2556 มาตรฐานงานพื้นทางดินซีเมนต์) และอัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นร้อยละ 5 ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก มีกำลังอัด คือ 21.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท ตามมาตรฐานงานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) มทช. 244 – 2556

4.3 ผลการทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction)

จากการทดสอบหาความเสียดทานของผิวทาง (Friction) อ้างอิงมาตรฐาน AASHTO T279-96 โดยใช้เครื่องมือแบบ Portable Skid Resistance Tester เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ British Pendulum Tester (BPT) มาตรฐานการทดสอบ ASTM E 303 โดยทำการทดสอบ ทั้งหมด 4 ทิศ และทำการทดสอบทิศละ 5 ครั้ง ค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าความเสียดทาน

ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	จุด	ค่า BPN	ค่าเฉลี่ย BPN
ทิศเหนือ	1	75	76.2
	2	76	
	3	78	
	4	79	
	5	73	
ทิศใต้	1	70	74.6
	2	75	
	3	75	
	4	75	
	5	78	
ทิศตะวันออก	1	68	72
	2	70	
	3	76	
	4	69	
	5	77	
ทิศตะวันตก	1	70	70
	2	71	
	3	68	
	4	71	
	5	70	

จากการทดสอบหาค่าความเสียดทาน สภาพผิวทางถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา พบว่ามีความเสียดทานอยู่ที่ค่า BPN 70-77 ซึ่งพบว่ามีค่าที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเสียดทานมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้สำหรับถนนประเภทเดียวกัน โดยผู้วิจัยอ้างอิงจากรัฐเซาส์ออสเตรเลีย ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งกำหนดไว้ว่า ค่า BPN ต้องมีค่ามากกว่า 40 และประเทศสวีตเซอร์แลนด์ กำหนดไว้ว่าค่า BPN ต้องมีค่ามากกว่า 65 เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบพบว่า ค่าเสียดทานที่ได้มีค่าความเสียดทานสูงกว่ามาตรฐาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ผลการศึกษาการพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ซึ่งจากการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า

5.1.1. วัสดุดินลูกรังที่นำมาทำการวิจัยจาก อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี จากการวิจัยพบว่าดินลูกรังจัดอยู่ในกลุ่มดินประเภทกรวดมีดินเหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียว ขนาดคละกันไม่ตีผสมกัน (สัญลักษณ์กลุ่ม คือ GC) มีคุณสมบัติพื้นฐานผ่านเกณฑ์ดินลูกรังสำหรับงานพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งสามารถนำมาก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราได้

5.1.2 การทดสอบกำลังอัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 8 และ น้ำยางพาราชั้นร้อยละ 5 มีกำลังอัด คือ 21.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าที่กรมทางหลวงชนบทได้กำหนดไว้คือที่มากกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (มทช.-244-2556)

5.1.3 การทดสอบความเสียดทานผิวทาง พบว่าค่า BPN ที่ได้อยู่ในช่วง 70-77 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน รัฐเซาส์ออสเตรเลีย ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งกำหนดไว้ว่า ค่า BPN ต้องมีค่ามากกว่า 40 และประเทศสวีตเซอร์แลนด์ กำหนดไว้ว่าค่า BPN ต้องมีค่ามากกว่า 65

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ขั้นตอนในการผสม ต้องผสมน้ำกับสารผสมเพิ่มให้เข้ากันดี จากนั้นจึงนำมาผสมน้ำยางพาราชั้น เพราะน้ำยางพาราชั้นเมื่อผสมกับน้ำโดยตรงจะทำให้จับตัวเป็นก้อนทันที

5.2.2 ในการนำไปใช้งาน ผู้ที่นำไปใช้ต้องทำการทดสอบค่า CBR ทั้งก่อนและหลังทุกครั้ง ตามข้อกำหนดพิเศษที่ สว.พิเศษ 1/2560 กรมทางหลวง

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความ

- กรมทางหลวง. (2560). ข้อกำหนดพิเศษที่ สว.พิเศษ 1/2560 สำหรับงานดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพ ด้วยยางธรรมชาติ. กรมทางหลวง.
- กรมทางหลวงชนบท. (2550) มาตรฐานการทดสอบวัสดุงานทาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม.
- คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน. (2547). การจัดการดินลูกรัง. กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ประชุม คำพุ่ม และคณะ. (2551). การใช้น้ำอย่างพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของ คอนกรีตบล็อก. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- มณเฑียร กังคศิเทียม. (2543). กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 9. นนทบุรี: วิทยาลัยการชลประทาน.
- สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พิทักษ์ บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ, และ อนุรักษ์ กำเนิดว่า. (2547). การใช้น้ำยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบุลย์, เดนนิส ที เบอร์ก้าโต, และธนวิทย์ กฤตภัครพงษ์. "การเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และ น้ำยาโพลิเมอร์เคมีโรด." บทความทางวิชาการวิศวกรรมโยธา. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2559, จาก <http://www.chemroad.com/th>

รายงานการวิจัย

- กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์. (2553) โครงการศึกษาค่าความเสียหายของผิวทางที่มีผลต่อความปลอดภัยทางถนน กรณีศึกษา : ผลกระทบของน้ำเมื่อกลาบบนถนนพระราม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.), ศูนย์วิชาการเพื่อความปลอดภัยทางถนน (ศวปถ.) มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ.
- พีรวัฒน์ ปลาเงิน. (2557). การประยุกต์ใช้น้ำยางพาราและดินซีเมนต์พัฒนาสระน้ำต้านภัยแล้ง. มหาวิทยาลัยสยาม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย.

ระพีพันธ์ แดงตันกี. (2559). ถนนต้นแบบยางพาราตินซีเมนต์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
พระนครเหนือ,
ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. (2544). กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน. รายงาน
วิจัยฉบับที่ วพ. 188 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทางกรรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม.

วิทยานิพนธ์

ปิติ จันทร์ไทย. (2558.) การศึกษาและสำรวจแหล่งวัสดุดินลูกรังเพื่อการวางแผนใช้
ทรัพยากรธรรมชาติอย่างเหมาะสมและยั่งยืน: กรณีศึกษาจังหวัดนครศรีธรรมราชและ
สงขลา. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
นิโรจน์ เงินพรหม. (2555). พัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซีเมนต์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, คณะวิศวกรรมศาสตร์.
สุลีส อินควรรชุม และคณะ. (2547). ดินลูกรังซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, ภาควิชาครุศาสตร์โยธา.
ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย และคณะ. (2556). การศึกษาคุณสมบัติทางด้านกำลังของดินซีเมนต์ผสมน้ำ
ยางพารา. มหาวิทยาลัยสยาม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.
ทรงพล บุญมาดี. (2529). ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ
Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมซีเมนต์. สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.

ประกาศกระทรวง

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4033. (2552). เรื่องยกเลิกและกำหนดมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นธรรมชาติ หน้าที่ 16 เล่มที่ 121 ตอนพิเศษ 150 ง

Book

DAVIDSON D.T., PITRE, G.L., MATOES, M. AND KALANKAMARY, P.G. (1962). Moisture-
Density, Moisture-Strength and Compaction Characteristics of Cement Treated
Soil Mixtures. Highway Research Board. Bulletin. 353. 42-63.

- HORPIBULSUK, S. AND MIURA, N. (2001). A new approach for studying behavior of cement stabilized Clays Proceeding of 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, (1954). Soil Stabilization for Highways. Massachusetts. Massachusetts Department of Public Works and Joint Highway Research Project. 81. Turkey. 3: 1759-1762.
- MOH, Z.C., CHIN, Y.P., AND NG, S.C. (1967). Cement stabilization of lateritic soil. Proceeding 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 42-46
- NORLING, L.T. AND PACKARD, R.G. (1958). Expanded Short-Cut Test Method for Determining Cement Factors for Sandy Soil. Highway Research Board Bulletin 198. 20-31
- RUENKRAIRERGSA T. (1982). Principle of Soil Stabilization. Bangkok. Highways Department 17-27.
- THE SIAM CEMENT COMPANY LTD. (1965). Demonstration Road Using Local Soil with Cement Stabilization. Bangkok Thailand Siam Cement 25-26

ภาคผนวก



ภาพแสดงทดสอบงานวิจัย



ภาพที่ 1 แสดงวัสดุดินลูกรัง จาก อำเภอดงระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี



ภาพที่ 2 การทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (LIQUID LIMIT : LL) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท)

501.5-2545



ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic limit : PL) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.6-2545



ภาพที่ 4 แสดงอุปกรณ์การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve analysis) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.8-2545



ภาพที่ 5 แสดงอุปกรณ์การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse aggregates) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.9-2545



ภาพที่ 6 การทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (MODIFIED COMPACTION TEST) ตามมาตรฐานการทดลองที่ มทช.(ท) 501.2-2545



ภาพที่ 7 แสดงส่วนผสมดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา



ภาพที่ 8 แสดงส่วนผสมที่คลุกเคล้า



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างแท่งบดอัดสำหรับการทดสอบการรับแรงอัดแกนเดียว



ภาพที่ 10 แสดงการบ่มก้อนตัวอย่าง



ภาพที่ 11 การทดสอบการรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined compression test, q_u)



ภาพที่ 12 แสดงการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบความเสียดทานของผิวทาง



ภาพที่ 13 แสดงการทดสอบความเสียดทานผิวทางแบบผิวแห้ง



ภาพที่ 14 แสดงการทดสอบความเสียดทานผิวทางแบบผิวเปียก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวกาญจนา ปิ่นวิเศษ
วันเดือนปีเกิด	24 ธันวาคม พ.ศ.2532
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2555: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่ง	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ กรมชลประทาน
ประสบการณ์ทำงาน	2560 – ปัจจุบัน วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน 2558 - 2560 วิศวกรโยธา บริษัทบวิคไทย

