

การประเมินค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของถนนไว้ผิวทางผสมสารผสมเพิ่ม



นายสิริชัย เพชรรุ่ง

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 2 7 0 6 4 3 6 2 1

EVALUATION OF RUTTING RESISTANCE OF ADDITIVE ADDED UNPAVED ROAD



Mr.Sirichai Pethrung

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของถนน
ไร้ผิวทางผสมสารผสมเพิ่ม

โดย

นายสิริชัย เพชรรุ่ง

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

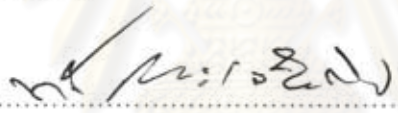
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

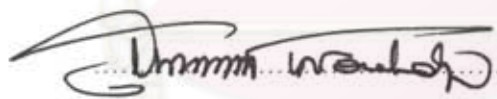
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล

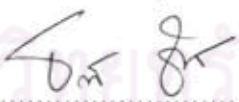
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักศึกษานี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธีระเจริญกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ธนกร ชมภูรัตน์)

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิริชัย เพชรรุ่ง : การประเมินค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของถนนไร้ผิวทางผสม
 สารผสมเพิ่ม.(EVALUATION OF RUTTING RESISTANCE OF ADDITIVE
 ADDED UNPAVED ROAD) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.สุพจน์ เดชวรสิน
 สกุล, 64 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มในการลดการเกิด
 ร่องล้อของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่น โดยใช้เครื่องมือการทดสอบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อจำลอง
 การเกิดร่องล้อของผิวถนน ภายใต้สภาวะน้ำหนักบรรทุก ความชื้น การหลุดร่อนของพื้นผิวดิน
 สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการศึกษาวิจัยคือ ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) โมโนแซคคาไรด์
 (Monosaccharide) แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) และไฮเดรตไลม์
 (Hydrated Lime) สำหรับการเตรียมตัวอย่างการทดสอบจะจำแนกการเตรียมตัวอย่างเป็น
 สองรูปแบบคือ รูปแบบแรกเป็นการใช้สารราดลงบนพื้นผิวหลังจากบดอัดดินลูกรังจนได้ความ
 แน่นตามที่กำหนด รูปแบบที่สองเป็นการนำสารผสมเพิ่มผสมกับดินลูกรังก่อนการบดอัดจน
 ได้ความแน่นที่เท่ากัน เก็บตัวอย่างความชื้นที่ผิวดินที่เวลาต่างๆ วัดค่าความลึกของร่องล้อ
 และปริมาณดินที่หลุดร่อนทุก 2,000 รอบ การทดสอบจนถึงสิ้นสุดการทดสอบที่ 12,000 รอบ
 โดยสังเกตค่าความลึกของร่องล้อ ปริมาณการหลุดร่อนและการเปลี่ยนแปลงของความชื้น
 เปรียบเทียบกับผลของการใช้น้ำผสมดินลูกรังบดอัด จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความ
 ต้านทานการเกิดร่องล้ออันเนื่องมาจากการหลุดร่อนและน้ำหนักบรรทุกเมื่อเปรียบเทียบกับ
 การบดอัดดินลูกรังแบบไม่ปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม ผลของไฮเดรตไลม์ผสมกับดินลูกรัง
 ช่วยลดการเกิดร่องล้อ 53.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าการใช้อยางธรรมชาติ โมโนแซคคาไรด์และ
 แมกนีเซียมคลอไรด์ แสดงให้เห็นว่าสารผสมเพิ่มชนิดทำปฏิกิริยาช่วยสร้างแรงยึดเหนี่ยว
 ระหว่างอนุภาคของเม็ดดินมากกว่าสารเคลือบผิว

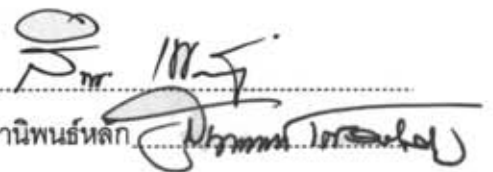
ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553.....



527 06436 21: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : RUTTING / UNPAVE ROAD / LATERITIC SOIL

SIRICHAJ PETHRUNG: EVALUATION OF RUTTING RESISTANCE OF ADDITIVE ADDED UNPAVED ROAD. THESIS ADVISOR: ASSOC PROF. SUPOT TEACHAVORASINSKUN, Ph.D., 64 pp.

The present study aims to explore the effectiveness of some available anti-dust agents in controlling the rutting of unpaved road surface through the experimental instrument developed to simulate the process of rutting development on the field under the influences of moisture content, wheel contact load and method of additive application on the rutting resistance. This anti-dust agents used were the hydrated lime and other organic anti-dust agents, i.e. natural rubber, monosaccharide, and magnesium chloride. The experiment is divided into 2 main parts. The first part concern the mixing the agents with lateritic soil after compacting it as required while in second part, the same agents are mixed with the soil before it is evenly compacted. Included in this experiment are the measurement of moisture of the soil surface, the measurement of the depths of the ruts, and the amount of the soil dropping from the wheel every 2,000 rounds. At the end of 12,000th round, through the observation of the depths of the ruts, the amount of the soil dropping and the changes in moisture, in comparison with the result of mixing water with the compacted lateritic soil, the experiment reveals that the soil mixed with hydrated lime is the most effective organic anti-dust agent in reducing the rutting development than the others, as it can curb the rutting by 53.7 %. Therefore, this comes to prove that reactive additives can increase the cohesion between the soil elements better than the coating substances do.

Department : Civil Engineering

Field of Study : Civil Engineering

Academic Year : 2010

Student's Signature

Advisor's Signature

S. Pethrung
S. Pethrung

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การประเมินค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของถนนไร้ผิวทางผสมสารผสมเพิ่ม" ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำทุกสิ่งทุกอย่างในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ณะกิจเจริญ ประธานกรรมการ ดร.ธนากร ชมภูรัตน์ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์นี้จนสมบูรณ์ และอาจารย์สาขาวิศวกรรมธรณีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนตลอดมา

นายกสิติษ สินโน สำหรับคำชี้แนะแนวทางพร้อมอุปการณ์ในการทำงานและข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอีกมากมาย คุณยุทธกาล คุณกฤษฎา คุณพงษ์ คุณอัลด เจ้าหน้าทีและบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอระลึกถึงพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว สำหรับร่างกาย แรงใจ และทุนทรัพย์จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
1 บทนำ.....	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ดินลูกรังในงานวิศวกรรม.....	4
2.3 การบดอัดดิน.....	5
2.4 ผลของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน.....	8
2.5 การเสียวสภาพของถนนที่ไม่ได้ปูผิวทาง.....	9
2.6 การลดการหลุดร่อนด้วยวิธีต่าง ๆ.....	11
2.6.1 การควบคุมปริมาณการจราจร.....	11
2.6.2 การใช้วัสดุปูผิวทาง.....	11
2.6.3 การปรับสภาพพื้นผิวดิน.....	12
2.7 สารผสมเพิ่ม.....	13
2.7.1 ปูนขาว.....	13
2.7.2 ยางธรรมชาติ.....	15
2.7.3 โม่โนแซคคาไรด์.....	16

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
2.7.4 แมกนีเซียมคลอไรด์.....	18
2.8 เสถียรภาพของวัสดุและสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อการเกิดร่องล้อ.....	19
3 วิธีการและขั้นตอนการทดสอบ	
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดิน.....	23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัย.....	23
3.2.1 เครื่องจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อของถนน.....	23
3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัย.....	25
3.3 การหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น.....	28
3.4 วิธีการเตรียมตัวอย่างดินในเครื่องทดสอบหาค่าความต้านทาน การเกิดร่องล้อในภายใต้สภาวะการจำลอง.....	28
3.5 การทดสอบการเกิดร่องล้อด้วยเครื่องทดสอบแบบจำลอง.....	30
3.6 การวัดค่าการเสียหายของของผิวทางจำลอง.....	30
3.7 แผนการศึกษาวิจัย.....	32
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการวิเคราะห์.....	33
4.1.1 การหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรม เบื้องต้นของดินลูกรัง.....	33
4.1.2 การศึกษาการเกิดร่องล้อภายใต้สภาวะจำลองในการใช้งานจริง.....	34
4.1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินลูกรัง บดอัดภายหลังการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม.....	44
4.1.4 การศึกษาการผลของการหลุดร่อนอันก่อให้เกิดร่องล้อภายใต้ สภาวะจำลองในการใช้งานจริง.....	50

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....	55
รายการอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก.....	58
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	64



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	สรุปวิธีการลดการเกิดร่องล้อของถนนด้วยวิธีต่างๆ (นภดล, 2001).....	12
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสภาพของปูนสุก (Quick lime) เป็นปูนขาวไฮเดรต(Hydrated lime) ด้วยวิธีต่างๆ (Hausmaun,1990).....	13
ตารางที่ 3.1	การทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินลูกรัง.....	28
ตารางที่ 3.2	แผนการทดสอบการศึกษาการลดการเกิดร่องล้อภายใต้สภาวะจำลองการใช้งานจริง.....	29
ตารางที่ 3.3	อัตราการเพิ่มน้ำหนักสำหรับการทดสอบ.....	30
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น.....	33
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น (ต่อ).....	34
ตารางที่ 4.2	ความลึกของร่องล้อเมื่อล้อวิ่งผ่านขณะทำการทดสอบ.....	34
ตารางที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงความชื้นหลังการปรับสภาพดินลูกรังบดอัดด้วยสารผสมเพิ่ม.....	46
ตารางที่ 4.4	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่เหลืออยู่หลังการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม.....	47
ตารางที่ 4.5	ปริมาณดินหลุดร่อนสะสมหลังล้อวิ่งผ่าน.....	51
ตารางที่ 4.6	ประสิทธิภาพของการลดการหลุดร่อนของดินลูกรังบดอัดปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม.....	52
ตารางที่ 4.7	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวถนนดินลูกรังบดอัดด้วยสารผสมเพิ่ม.....	59
ตารางที่ ก-1	มาตรฐานค่าใช้จ่ายเครื่องจักรกลกรมทางหลวงชนบท.....	63

สารบัญรูปรภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ดินลูกรัง Lateritic soil (กรมพัฒนาที่ดิน, 2005).....	4
ภาพที่ 2.2 ผลของการบดอัดดิน (Das, 1994)	6
ภาพที่ 2.3 เส้นโค้งการบดอัด (R.R.Procter,1933).....	6
ภาพที่ 2.4 ช่วงของปริมาณความชื้นของการบดอัด (Hogentogler,1936).....	7
ภาพที่ 2.5 ผลของการบดอัดต่อโครงสร้างดิน (Lambe,1958).....	8
ภาพที่ 2.6 การเกิดร่องล้อเนื่องจากบดอัดไม่แน่น.....	9
ภาพที่ 2.7 การเกิดร่องล้อจากแยกตัววัสดุผิวทาง.....	10
ภาพที่ 2.8 การหลุดร่อนแบบหลุมบนพื้นถนน.....	11
ภาพที่ 2.9 การใช้ยางมะตอยผสมกับยางธรรมชาติปูผิวทาง (วิจิต, 2008).....	15
ภาพที่ 2.10 ถนนในเมืองแรมรอดด้วยน้ำกากสำหรือโมโนแซคคาไรด์ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, 2550).....	15
ภาพที่ 2.11 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล (สุจินต์, 2525).....	17
ภาพที่ 2.12 แมกนีเซียมคลอไรด์ในภาพของผลึกใส.....	18
ภาพที่ 2.13 แมกนีเซียมคลอไรด์ในภาพของของเหลว.....	18
ภาพที่ 2.14 เครื่องทดสอบหาค่าการหลุดร่อนของผิวทาง แบบจำลอง (Zakaria M.และ Leest G., 1995).....	20
ภาพที่ 2.15 แสดงค่าความลึกของการหลุดร่อนของอิฐ(Brick) (a)กับหินควอทซ์ (Quartzite) (b)ในสภาวะเปียกและแห้ง (Zakaria M.และ Leest G.,1995).....	21
ภาพที่ 2.16 แสดงหน้าตัดของชั้นทาง (a) ค่าความลึกของการหลุดร่อนหลังการทดสอบ (b) และ ค่าความลึกเฉลี่ยของการหลุดร่อนของชั้นพื้นทาง Base layer (Zhong Wu et al.,2009)	22
ภาพที่ 3.1 ดินลูกรังสำหรับการทดสอบ.....	23
ภาพที่ 3.12 เครื่องจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อของถนน.....	24
ภาพที่ 3.3a Hydrated Lime	25
ภาพที่ 3.3b ยางธรรมชาติ (Natural Rubber).....	25
ภาพที่ 3.3c โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide).....	26

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.3d แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride).....	26
ภาพที่ 3.4 เครื่องดูดฝุ่นขนาด 1600 วัตต์.....	26
ภาพที่ 3.5 เครื่องชั่งค่าความละเอียด 0.01	27
ภาพที่ 3.6 เวอร์เนียคาลิเปอร์.....	27
ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างดินบดอัดราดด้วยยางธรรมชาติ.....	29
ภาพที่ 3.8 ตำแหน่งการวัดและลักษณะการเสียภาพของผิวถนนจากการเกิดร่องล้อ.....	31
ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของ ยางธรรมชาติ.....	37
ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของ โมโนแซคคาไรต์.....	38
ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของ แมกนีเซียมคลอไรต์.....	38
ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของ ของไฮเดรตไลม์.....	39
ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของยางธรรมชาติแบบผสม.....	49
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของยางธรรมชาติแบบราด.....	40
ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของโมโนแซคคาไรต์แบบผสม.....	40
ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของโมโนแซคคาไรต์แบบราด.....	41
ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของแมกนีเซียมคลอไรต์แบบผสม.....	41

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของแมกนีเซียมคลอไรด์แบบรวด.....	42
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของของไฮเดรตไลม์(ผสม).....	42
ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบ ที่ล้อวิ่งผ่านของของไฮเดรตไลม์(รวด).....	43
ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวดินของยางธรรมชาติกับเวลา.....	48
ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวดินของโมโนแซคคาไรด์กับเวลา.....	48
ภาพที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวดินของแมกนีเซียมคลอไรด์กับเวลา.....	48
ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวดินของไฮเดรตไลม์กับเวลา.....	49
ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพในการลดการเกิดร่องล้อของสารผสมเพิ่มแต่ละชนิด.....	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเสียหายของถนนอันเนื่องมาจากการเกิดร่องล้อ (Rutting) ของผิวถนนที่ไม่ได้ปูผิวทางหรือถนนพื้นผิวลูกรังบดอัดแน่นนั้น นับว่าเป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่ออายุการใช้งานของถนนเป็นอย่างยิ่ง แม้ว่าปัจจุบันถนนเหล่านี้บางส่วนได้รับการพัฒนาให้เป็นถนนที่มีพื้นผิวที่มั่นคงถาวรแล้วก็ตาม แต่ในปัจจุบันยังพบว่ายังมีถนนพื้นผิวถนนที่ยังไม่ได้ปูผิวทางยังมีประมาณความยาวถึง 20,000 กิโลเมตร ด้วยวัตถุประสงค์ของการออกแบบให้ใช้งานในระยะเวลาสั้น ๆ อาจจะเป็นเวลา 1-2 ปี หรือเป็นการชั่วคราว ทำให้ถนนเหล่านี้มีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วซึ่งสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพอันส่งผลต่อการเกิดร่องล้อของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่น เกิดจากน้ำหนักของยานพาหนะ และการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติ สาเหตุดังกล่าวทำให้ถนนพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดมีอายุการใช้งานที่สั้นลง ต้องเสียค่างบประมาณในการบำรุงรักษาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่นด้วยสารผสมเพิ่มจึงเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดินให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินให้มากขึ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะเป็นกระบวนการหนึ่งที่ช่วยต้านทานการเกิดร่องล้อของถนนได้ และยังเป็นผลให้ถนนมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

งานวิจัยฉบับนี้จะศึกษาพฤติกรรมการเกิดร่องล้อของพื้นผิวลูกรังบดอัดแน่นที่ได้รับการปรับปรุงสภาพด้วยสารผสมเพิ่มโดยใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อ ซึ่งคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดสอบจะช่วยลดการหลุดร่อนตามคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้น ผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการลดการเกิดร่องล้อของผิวทางในสภาพงานจริงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มในด้านต่าง ๆ คือ การลดการเกิดร่องล้อ, การควบคุมความชื้น ของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่น เปรียบเทียบกับผลของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแบบไม่ปรับสภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาค่าความต้านทานการลดการเกิดร่องล้อเนื่องจากน้ำหนักรรทุกของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่นปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินลูกรัง

1.3.2 ศึกษากลไกการเกิดร่องล้อของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดผสมสารผสมเพิ่ม โดยใช้เครื่องมือจำลองการเกิดร่องล้อภายใต้สภาวะการใช้งานจริง ในห้องปฏิบัติการ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สารผสมเพิ่มและการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลดการเกิดร่องล้อ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานในสภาพจริงต่อไป

1.4.2 ช่วยลดความถี่ในการซ่อมแซมบำรุงรักษา ยืดอายุการใช้งานถนน ซึ่งเป็นการลดงบประมาณค่าจ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษา ก่อนที่จะได้รับการพัฒนาให้เป็นถนนที่ปูผิวทาง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การเกิดร่องล้อ (Rutting) บนพื้นผิวถนนที่ไม่ปูผิวทางหรือพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่นนั้น โดยทั่วไปใช้น้ำเพื่อเป็นตัวหล่อลื่นเพื่อการบดอัดทำให้ การยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเม็ดดินเป็นเพียงชั่วคราว อนุภาคของเม็ดดินหลังการบดอัดอยู่ด้วยการประสานกันระหว่างอนุภาค (Interlocking) เท่านั้นไม่มีตัวยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Unbound Layer) เมื่อมีน้ำหนักรกระทำกับพื้นถนนจึงเป็นสาเหตุก่อให้เกิดการเกิดร่องล้อ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปทำให้ผิวถนนเกิดการเสียหายพื้นผิวการจราจรเกิดหลุมบ่อและเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเดินทาง ยวดยานพาหนะเกิดการเสื่อมสภาพก่อนถึงเวลาอันเหมาะสม นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุสำคัญทำให้สูญเสียงบประมาณในการบำรุงรักษาถนนเป็นจำนวนมาก ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการหลุดร่อนของผิวถนนมี 4 ปัจจัยคือ คุณภาพของวัสดุผสมรวม การเปลี่ยนแปลงความชื้น น้ำหนักที่กระทำ และคุณภาพของการบดอัด ดังนั้นการศึกษาผลของ 4 ปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นกลไกสำคัญอย่างยิ่งต่อแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของถนนพื้นผิวดินลูกรังบดอัด เพื่อให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด

เป็นที่ทราบกันดีว่าการเกิดร่องล้อของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดนั้น มีตัวแปรสำคัญ 4 ประการซึ่งส่งผลต่อการเกิดร่องล้อของผิวถนนดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยสารผสมเพิ่ม เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Bound Layer) วิธีการดังกล่าวจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานถนนพื้นผิวลูกรังบดอัดให้มีความคงทน ผลของการหลุดร่อนของถนนพื้นผิวลูกรังบดอัดแน่นลดลงทำให้สามารถเพิ่มอายุการใช้งานถนนให้ยาวนานขึ้น

2.2 ดินลูกรังในงานวิศวกรรม

ดินลูกรัง(Lateritic soil) เป็นดินที่นิยมนำมาใช้ในงานในงานก่อสร้างทางวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานก่อสร้างถนนและงานถมพื้นที่เพื่อก่อสร้างอาคาร ดินลูกรังเป็นดินที่มีไลเลกุลของน้ำแทรกอยู่ระหว่างชั้น (halloysite) เมื่ออบอัดจะมีค่าความแน่นสูง การยุบตัว และมีกำลังการรับแรงเฉือนสูง ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพอากาศร้อนหรือร้อนชื้น (Holland,1930) กล่าวว่าการผุพังหลายของหินในสภาวะของอุณหภูมิและความชื้นสูง จะเกิดกระบวนการการกัดเซาะทางเคมีขึ้น เป็นระบบการสะสมและการแยกตัวของเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ ภายใต้สภาพปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน สำหรับดินลูกรังในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่มักพบในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีต้นกำเนิดจากการเสื่อมสลายของหินดินดาน หินบะซอลท์ และหินทราย จากการศึกษาของ Hongsnoi(1969) พบว่า ต้นกำเนิดของดินลูกรังในประเทศไทย เกิดจากหินที่มีการเสื่อมสภาพผุพังในที่ และหินที่เกิดการเคลื่อนย้ายของหินเดิม การเกิดดินลูกรังที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของหินเดิมจะเกิดจากการผุพังของหินที่อยู่เหนือหินเดิม ดินลูกรังประเภทนี้จะมีส่วนประกอบของเหล็ก ส่วนใหญ่เป็นแร่เฟอร์โรแมกนีเซียม(ferro - magnesium) ซึ่งอยู่ในหินชั้นล่างเกิดการเคลื่อนย้ายมาสะสมในชั้นหินเป็นชั้น ๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนของน้ำทำให้เกิดเป็นดินลูกรังที่มีลักษณะเป็นสีแดง ดินประเภทนี้จะมีค่าขีดความความชื้นเหลวตามค่าความลึกของดิน ส่วนดินลูกรังที่เกิดจากที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายของหินเดิมเป็นดินที่เกิดกับหินเดิมซึ่งเกิดการเคลื่อนย้ายจากสภาพดินฟ้าอากาศทำให้เกิดการเสื่อมสลายผุพัง เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนน้ำทำให้หินเกิดการแข็งตัว กลายเป็นดินที่มีลักษณะเป็นสีแดง มักอยู่กระจัดกระจายไม่เป็นที่ ดินลูกรังชนิดนี้จะมีค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวมากกว่าดินลูกรังที่เกิดจากการผุพังของหินเดิม



ภาพที่ 2.1 ดินลูกรัง Lateritic soil (กรมพัฒนาที่ดิน, 2005)

2.3 การบดอัดดิน

การบดอัดดินเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อให้ดินมีคุณสมบัติสามารถนำใช้ในงานวิศวกรรมได้ ถนนลูกรังบดอัดแน่นก็เป็นงานก่อสร้างหนึ่งซึ่งนิยมนำดินลูกรังมาทำการก่อสร้าง ทั้งนี้ดินลูกรังเมื่อผ่านกระบวนการบดอัดแล้วจะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีค่ากำลังแบกทาน (Strength) ของดินสูงขึ้น การซึมน้ำ (Permeability) ลดลง ค่าการทรุดตัว (Settlement) ลดลง การบดอัดดินเป็นการทำให้ดินที่อยู่ในสภาพหลวมมีความแน่นมากขึ้น ด้วยวิธีการไล่อากาศในช่องว่างระหว่างเม็ดดินออกด้วยพลังงานกล การบดอัดดินจะเติมน้ำลงไป ในดินเพื่อเป็นตัวหล่อลื่นเม็ดดินให้เม็ดดินเกิดการเรียงตัวอยู่ในสภาพที่แน่นขึ้น ค่าของดินบดอัดจะอยู่ในภาพของหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry unit weight) ค่าของหน่วยน้ำหนักแห้งของการบดอัดจะเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2.2 ดินที่มีค่าความชื้น (moisture content $w=0$) ค่าความหนาแน่นเปียก (Moist unit weight, γ) เท่ากับ ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry unit weight, γ_d)

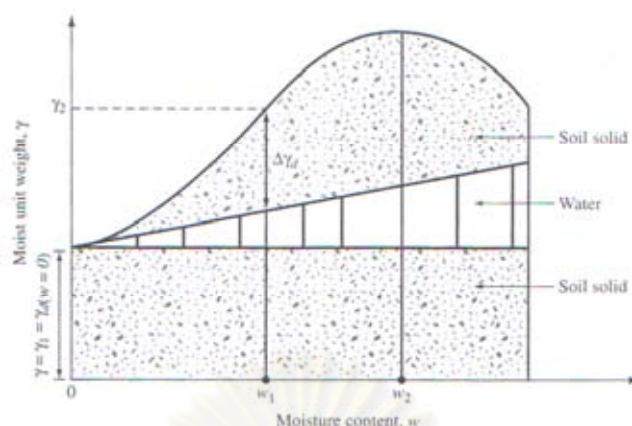
$$\gamma = \gamma_{d(w=0)} = \gamma_d$$

เมื่อค่าความชื้นในการบดอัดดินเพิ่มขึ้นและพลังงานการบดอัดที่ใช้ยังคงเดิมหน่วยน้ำหนักแห้งของดินหลังการบดอัดจะเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นของดิน ดังภาพที่ 2.2 ค่าความชื้นในการบดอัด $w=w_1$, ค่าความหนาแน่นเปียก (γ) จะมีค่าเท่ากับ

$$\gamma = \gamma_2$$

ดังนั้นค่าความหนาแน่นแห้งที่มีความชื้น (Dry unit weight, γ_d) เพิ่มขึ้น สามารถหาได้จาก

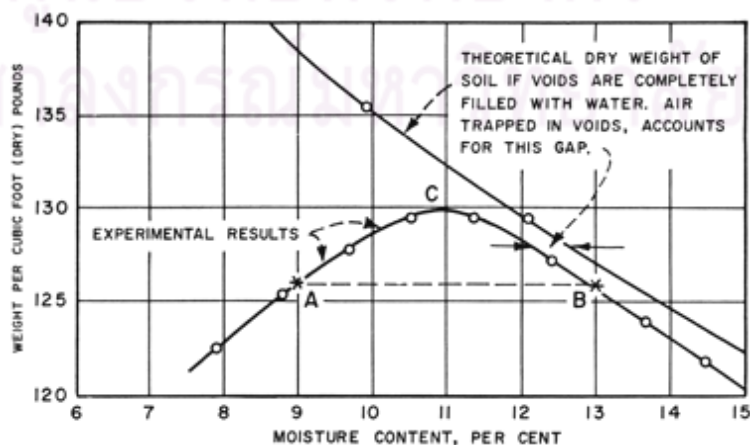
$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta\gamma_d; \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$



ภาพที่ 2.2 ผลของการบดอัดดิน (Das, 1994)

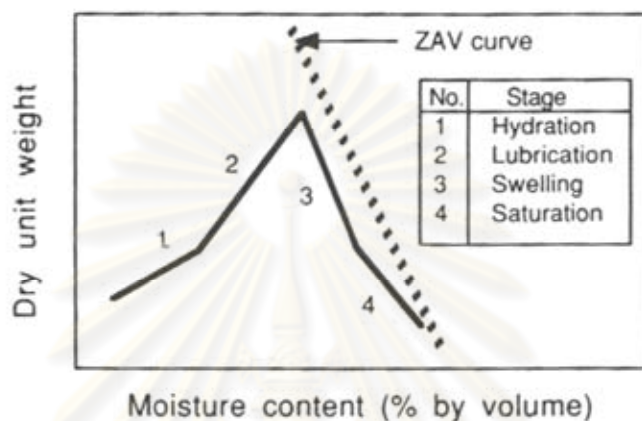
การเพิ่มความชื้นให้กับดินที่บดอัดที่ทำให้ดินมีค่าความแน่นสูงสุด (Optimum moisture content) ปริมาณความชื้น ($w=w_2$) การเพิ่มปริมาณความชื้นให้มากกว่านี้ จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งของดินมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เพราะน้ำจะเข้าไปแทนที่อนุภาคของเม็ดดินทำให้เม็ดดินอยู่ห่างกันมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นของดินลดลง

R.R.Procter (1933) ได้ทำการทดลองเพื่อหาวิธีการควบคุมการบดอัดดินในการก่อสร้างเขื่อนดินในแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการบดอัดดินโดยการผสมน้ำกับดินด้วยปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน ด้วยวิธีการบดอัดเดียวกัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (Dry density) กับความชื้น (Water content) เป็นกราฟเส้นโค้ง ดังภาพ 2.3 เส้นโค้งนี้เรียกว่าเส้นโค้งการบดอัด (Compaction curve) และเรียกความชื้นที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) ว่าปริมาณความชื้นสูงสุด (Optimum moisture content)



ภาพที่ 2.3 เส้นโค้งการบดอัด (R.R.Procter,1933)

Hogentogler (1936) กล่าวว่าพฤติกรรมความชื้นของดินในระยะแรก เมื่อดินมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นดินจะมีความแน่นแข็งสูงสุด หลังจากนั้นดินค่าความหนาแน่นแข็งลดลงแม้จะมีความชื้นเพิ่มขึ้น Hogentogler ได้แบ่งเส้นโค้งการบดอัดดินเป็น 4 ช่วง ดังภาพที่ 2.4 ดังนี้



ภาพที่ 2.4 ช่วงของปริมาณความชื้นของการบดอัด (Hogentogler, 1936)

Hydration stage เป็นช่วงแรกที่ดินมีค่าความชื้นต่ำ น้ำจะเคลือบเม็ดดินเป็นฟิล์มบางๆ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินยังมีค่าสูง ค่าความหนาแน่นของดินที่บดอัดในช่วงนี้จึงยังแน่นตัวขึ้นไม่มาก

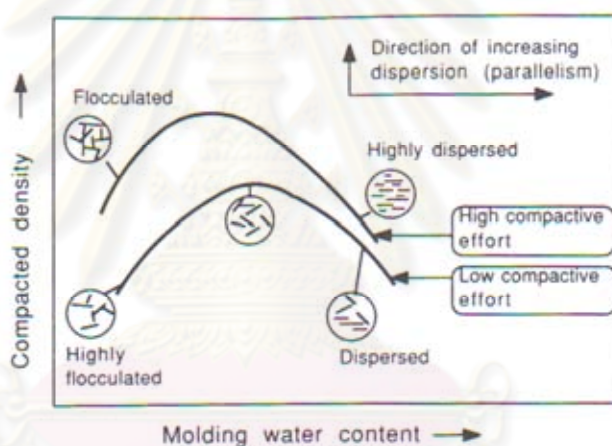
Lubrication stage เป็นช่วงที่ดินมีค่าความชื้นสูงขึ้น ปริมาณความชื้นของดินมีความเหมาะสม น้ำที่เคลือบเม็ดดินจะเป็นตัวหล่อลื่น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินลดลงเมื่อทำการบดอัด ดินจะเกิดการเรียงตัวให้อยู่ในสภาพที่แน่นขึ้น

Swelling stage เป็นช่วงที่ดินมีค่าความชื้นสูงกว่าช่วง Lubrication stage ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะแทรกระหว่างเม็ดดินโดยปริมาณช่องว่างยังคงที่ ผลของสภาวะดังกล่าวทำให้การจัดเรียงตัวของเม็ดดินมีความห่างกันมากขึ้น ดินเกิดการบวมตัว ค่าความแน่นของการบดอัดลดลง

Saturation stage เป็นช่วงที่ดินมีค่าความชื้นสูงมาก น้ำจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างทำให้ดินอยู่ในสภาพชุ่มน้ำ สภาวะดังกล่าวทำให้ดินมีความแน่นน้อยที่สุด

2.4 ผลของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน

การพิจารณาการจัดเรียงตัวของโครงสร้างของเม็ดดิน Lambe (1958) เสนอ ลักษณะ การจัดเรียงตัวของอนุภาคของเม็ดดินที่มีความชื้นต่ำหรือความชื้นทางด้าน (Dry side) โครงสร้างการจัดเรียงตัวของเม็ดดินจะจัดเรียงตัวแบบระเกะระกะ (Flocculated structure) ส่วน การให้ค่าความชื้นที่สูงกว่าหรืออยู่ทางด้านเปียก (Wet side) จะมีผลต่อการจัดเรียงต่อการขยายตัวของในเม็ดดินซึ่งถูกดูดยุติภายใต้สนามไฟฟ้ารอบอนุภาคของเม็ดดิน (double layer) ของอนุภาคของ ดินทำให้ดินมีแรงผลักร (repulsive force) สูงขึ้น ดินจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการจัดเรียงตัวอย่างเป็น ระเบียบมากขึ้น (Dispersed structure) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ผลของการบดอัดต่อโครงสร้างดิน (Lambe, 1958)

นอกจากนี้การพิจารณาค่าความแตกต่างของพลังงานสำหรับการบดอัดยังพบว่า เมื่อเพิ่มพลังงานการบดอัดจะทำให้ดินมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น โดยเฉพาะดินที่อยู่ ทางด้านแห้ง พลังงานการบดอัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ดินเกิดการเรียงตัวขนานกันมากขึ้น

2.5 การเสียรูปของถนนที่ไม่ได้ปูผิวทาง (Unpaved roads deformation)

การเสียรูปของถนนที่ไม่ได้ปูผิวทาง (Unpaved roads deformation) เนื่องจากการเกิดร่องล้อจะเกิดขึ้นเร็วกว่าถนนที่มีผิวทางแบบถาวร ซึ่งสาเหตุของการการเกิดร่องล้อที่สำคัญจะเกิดจากคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างงานถนน การบดอัด น้ำหนักบรรทุกและปริมาณการจราจรที่มากกว่าปกติ การหลุดร่อนของผิวถนนที่ไม่ได้ปูผิวทาง (Unpave roads) จำแนกได้ 4 ชนิดดังนี้

1. การเกิดร่องล้อเนื่องจากบดอัดไม่แน่น (Rutting by densification)

การเกิดร่องล้อจากการบดอัดไม่แน่นเป็นลักษณะของการหลุดร่อนที่เกิดจากคุณภาพของการบดอัดที่ไม่ได้คุณภาพระหว่างก่อสร้าง ค่าของความหนาแน่นที่ได้จากการบดอัดต่ำกว่ามาตรฐานการออกแบบการหลุดร่อนซึ่งเกิดจากความแน่น เมื่อมีน้ำหนักของล้อรถมากระทำกับพื้นผิวถนนทำให้ดินที่ได้รับบดอัดซึ่งมีสภาพหลวมเกิดการยุบตัว การหลุดร่อนจากความแน่นของผิวถนนมักจะเกิดขึ้นในแนวร่องล้อทางด้านยาว (Longitudinal ruts)



ภาพที่ 2.6 การเกิดร่องล้อเนื่องจากบดอัดไม่แน่น

2. การแยกตัววัสดุผิวทาง (Raveling)

การหลุดร่อนจากการแยกตัวของวัสดุผิวทาง เป็นการหลุดร่อนโดยการแยกตัวของวัสดุจะเกิดขึ้นกับถนนพื้นผิวดินลูกรังบดอัดแน่นในลักษณะของเส้นทางที่มีความลาด หรือแนวขอบทางเข้ามา การเกิดการหลุดร่อนในลักษณะนี้เมื่อดินซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อถูกน้ำหนักกระทำจะเกิดการหลุดร่อนไปก่อน หลังจากนั้นเมื่อดินซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจะถูกบีบอัดจนแตกทำให้เกิดการหลุดร่อนในลักษณะต่อเนื่อง ลักษณะดังกล่าวจะทำให้พื้นผิวถนนเกิดการหลุดร่อนจนในที่สุดเกิดเป็นหลุมบ่อในระยะเวลาอันรวดเร็ว



ภาพที่ 2.7 การเกิดร่องล้อจากแยกตัววัสดุผิวทาง

3. การเกิดหลุมบนผิวทาง (Potholes)

การหลุดร่อนแบบ Potholes เป็นการหลุดร่อนซึ่งก่อให้เกิดหลุมลึกจากพื้นผิวทาง ในระยะเริ่มแรกลักษณะการหลุดร่อนจะเหมือนกับการหลุดร่อนจากการแยกตัววัสดุผิวทาง (Rutting by raveling) เมื่อสัมผัสกับสภาพอากาศ อาทิเช่น ฝนตกทำให้เกิดน้ำท่วมขัง ส่งผลของปรากฏการดังกล่าวทำให้เกิดการหลุดร่อนอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การหลุดร่อนแบบหลุมบนพื้นถนน

2.6 การลดการหลุดร่อนด้วยวิธีต่าง ๆ

การลดการหลุดร่อนของผิวถนนมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และความสำคัญของการใช้งาน โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ 3 วิธี ได้แก่ การควบคุมปริมาณจราจร การใช้วัสดุผิวทาง และการปรับสภาพพื้นผิวดิน กล่าวคือ

2.6.1 การควบคุมปริมาณการจราจร

การควบคุมปริมาณการจราจรเป็นวิธีการควบคุมปริมาณการจราจร เพื่อช่วยลดการหลุดร่อนของผิวทาง วิธีการนี้จะทำได้ในพื้นที่ที่มีขอบเขตจำกัดสามารถควบคุมความเร็วและจำนวนรถเข้า-ออกได้ เช่น ถนนโรงงานอุตสาหกรรม ถนนในสถานศึกษา หรือพื้นที่ส่วนบุคคล วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้กับสภาพการจราจรในสภาพจริงได้ยาก

2.6.2 การใช้วัสดุผิวทาง

วิธีการลดการหลุดร่อนของพื้นผิวถนนด้วยการใช้วัสดุผิวทาง เป็นวิธีที่ช่วยลดการหลุดร่อนในระยะยาวโดยคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่มีความคงทนสูง มี

ความสามารถในการรับกำลังได้ดีและมีค่าความยืดหยุ่น วัสดุซึ่งมีคุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่ แอสฟัลต์ คอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งวิธีการที่กล่าวมาเป็นวิธีที่ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างที่สูง เหมาะสมต่อถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ถนนเหล่านี้จะมีปัญหาของการหลุดร่อนน้อย การซ่อมแซมบำรุงรักษาเป็นเพียงครั้งคราวหรือเฉพาะจุดเท่านั้น

2.6.3 การปรับสภาพพื้นผิวถนน

การปรับสภาพพื้นผิวถนนเป็นวิธีการลดการหลุดร่อนวิธีหนึ่งซึ่งใช้น้ำหรือสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินทำให้ดินที่คุณสมบัติทางวิศวกรรมดีขึ้น ได้แก่ ค่าความคงทน ค่าการรับกำลังและลดการซึมน้ำ สารเคมีช่วยให้อนุภาคของเม็ดดินจากสภาพเดิมที่อยู่ด้วยการประสานกันหลังการบดอัดกลายเป็นสภาพที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคระหว่างเม็ดดินเพิ่มขึ้น ลดช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดดิน การใช้สารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการหลุดร่อนของผิวถนนได้ขึ้น ทั้งนี้การใช้สารผสมเพิ่มขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและวิธีการใช้งานของสารเคมี

ตารางที่ 2.1 สรุปวิธีการลดการเกิดร่องล้อของถนนโดยการควบคุมด้วยวิธีต่างๆ (นภดล, 2001)

วิธีการควบคุม	ลักษณะการควบคุม
1. การควบคุมปริมาณการจราจร	- ควบคุมระยะเวลาในการใช้งาน - ควบคุมปริมาณและชนิดของยานพาหนะ - ควบคุมความเร็ว
2. การใช้วัสดุปูผิวทาง	- ใช้วัสดุปูผิวทาง เช่น ยางมะตอยหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก - ใช้วัสดุที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่ำ
3 การปรับสภาพพื้นผิวถนน	- ใช้วัสดุผสมรวมผสมกับสารเคมี เช่น ปูนซีเมนต์ หรือสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติในการสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน

2.7 สารผสมเพิ่ม (Admixtures)

2.7.1 ปูนขาว (Lime)

ปูนขาวสำหรับงานปรับปรุงคุณภาพของดินอยู่ในภาพของ แคลเซียมออกไซด์ (Quick lime-CaO) หรือปูนขาวไฮเดรต (Hydrated lime- Ca (OH)₂ ส่วนปูนขาวชนิด แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในการเกษตรเท่านั้น จิรพัฒน์ (2003) กล่าวว่า การใช้ปูนขาวสำหรับปรับปรุงคุณภาพของดินเหมาะสำหรับประเทศเขตร้อน โดยเฉพาะบริเวณที่มีปัญหา เช่น ดินถมบริเวณไหล่เขาหรือฐานของดินคันทาง ซึ่งการบดอัดกระทำได้ยาก และมีการทุดตัว เป็นต้น การผลิตปูนขาวนั้นได้จากกระบวนการเผาหินปูน (Lime stone) ซึ่งมีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจะได้ปูนสุก (Quick lime) เป็นก้อนสีขาว เมื่อนำไปบดจนละเอียดนำมาผสมกับน้ำจะได้สารประกอบที่เรียกว่าน้ำปูนขาว (Hydrated lime- Ca (OH)₂)

Quick lime



Hydrated lime



ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสภาพของปูนสุก (Quick lime) เป็นปูนขาวไฮเดรต (Hydrated lime) (Hausmaun,1990)

คุณสมบัติ	ปูนสุก (Quick lime)	น้ำ (Water)	ปูนขาวไฮเดรต (Hydrated lime)
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)	56	18	78
ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	3.3	1	2.2
น้ำหนักสัมพัทธ์ (Relative weight)	1	0.32	1.32
ปริมาตรสัมพัทธ์ (Volume weight)	1	-	1.99

1. ปฏิริยาของดินผสมปูนขาว

ปฏิริยาของดินเมื่อผสมกับปูนขาวชนิดปูนสุก (Quick lime) หรือปูนขาวไฮเดรต (Hydrated lime) จะประกอบด้วยปฏิริยาทางเคมีในช่วงเริ่มต้น (Short-term) ซึ่งปฏิริยาดังกล่าว ได้แก่ปฏิริยาไฮเดรชัน (Hydration) และฟลอคคูเลชัน (Flocculation) สำหรับปฏิริยาซีเมนต์เตชัน (Cementation) และคาร์บอนเนชัน (Carbonation) จะเป็นปฏิริยาที่เกิดขึ้นในระยะยาว (Long-term) มีรายละเอียดดังนี้

ไฮเดรชัน (Hydration) ปูนสุก (Quick lime) หรือปูนขาวไฮเดรต (Hydrated lime) จะทำปฏิริยาทันทีเมื่อผสมกับน้ำ จะเกิดปฏิริยาความร้อนของเม็ดดินแห้งขึ้น การกระจายความร้อนของปฏิริยาไฮเดรชันจะมีผลต่อการหดตัวของดิน

ฟลอคคูเลชัน (Flocculation) เมื่อผสมปูนสุกหรือปูนขาวไฮเดรตกับดินเหนียวหรือดินลูกรัง โซเดียมไอออนหรือไอออนบวกอื่นๆ จะเกิดการรวมตัวกับแคลเซียมไอออน ปฏิริยาดังกล่าวทำให้โครงสร้างของอนุภาคดินเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดการรวมตัวของอนุภาคของเม็ดดินเป็นกลุ่มก้อน ปฏิริยาฟลอคคูเลชันทำให้ดินมีกำลังเพิ่มขึ้น ดินมีค่าพลาสติซิตี (Plasticity) ต่ำลง

ซีเมนต์เตชัน (Cementation) เป็นปฏิริยาที่ทำให้ค่ากำลังและเสถียรภาพของเม็ดดินเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าจะมากกว่าปฏิริยาของไฮเดรชันและฟลอคคูเลชัน โดยกระบวนการของซีเมนต์เตชันจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแทนที่ผลึกโครงสร้างของดิน เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างอนุภาคของเม็ดดินมากขึ้น ผลดังกล่าวทำให้ดินมีค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการนำปูนขาวมาใช้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับดินประเภทรวดและทราย นอกจากนี้การใช้น้ำปูนขาวปริมาณมากๆ จะไม่ทำให้ค่ากำลังการรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้นอีก เพราะว่าการใช้น้ำปูนขาวในปริมาณมาก จะถูกจำกัดด้วยปริมาณของซิลิกาที่มีอยู่ในดินนั้น ๆ ค่ากำลังของดินจะมีค่าสูงสุดเพียงค่าหนึ่งตามปริมาณการใช้ที่เหมาะสม

คาร์บอนเนชัน (Carbonation) เป็นปฏิริยาของปูนขาวกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ หรือในช่องว่างของดินจากปฏิริยา Cementation ซึ่งผลของปฏิริยานี้ทำให้ดินอ่อนตัว

2.7.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติหรือยางพารา ได้มาจากต้นยาง (Hevea Brazilliensis) น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ยางเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่น โดยเฉพาะสมบัติความยืดหยุ่น (elasticity) เมื่อให้แรงดึงยางจะสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิม และเมื่อปล่อยแรงออกยางก็จะกลับคืนสู่สภาพว่างและความยาวเดิม นอกจากนี้ยางยังมีสมบัติเด่นอื่นๆ อีก เช่น มีความเหนียว (toughness) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ มีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นดี ยางจึงเป็นวัสดุที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ในงานวิศวกรรมงานทางด้านวัสดุ (วิจิต, 2008) สำหรับการพัฒนาวัสดุผิวทางด้วยยางธรรมชาติ ถูกนำมาใช้ในประเนเธอร์แลนด์ เป็นประเทศแรก โดยการผสมยางผสมลงในยางมะตอยลาดถนน เมื่อปี พ.ศ. 2492 จากผลของการนำมาใช้พบว่า ผิวถนนไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอากาศ ทั้งทนทานต่อการสึกกร่อนอายุของถนนการใช้งานนานขึ้นผิวถนนปราศจากฝุ่นและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาถนน



ภาพที่ 2.9 การใช้ยางมะตอยผสมกับยางธรรมชาติปูผิวทาง (วิจิต, 2008)

ชิต ทศนกุล(2500) ได้ทำการทดลองใช้ยางมะตอยผสมกับยางธรรมชาติ โดยใช้ อัตราส่วนผสมร้อยละ 5 ภาคนนสายหัดใหญ่-สงขลา ช่วงระหว่าง กิโลเมตรที่ 16.000 -16.100 เป็นระยะทางยาว 100 เมตร เปรียบเทียบกับการราดถนนด้วยยางมะตอยธรรมดา 100 เมตร ผล จากการทดสอบพบว่าในช่วงระยะเวลา 10 ปี ถนนที่ราดด้วยยางพาราผสมร้อยละ 5 ยังอยู่ใน สภาพดีไม่ต้องซ่อมแซมแต่อย่างใด ขณะที่ถนนที่สร้างไว้เปรียบเทียบต้องมีการซ่อมแซม

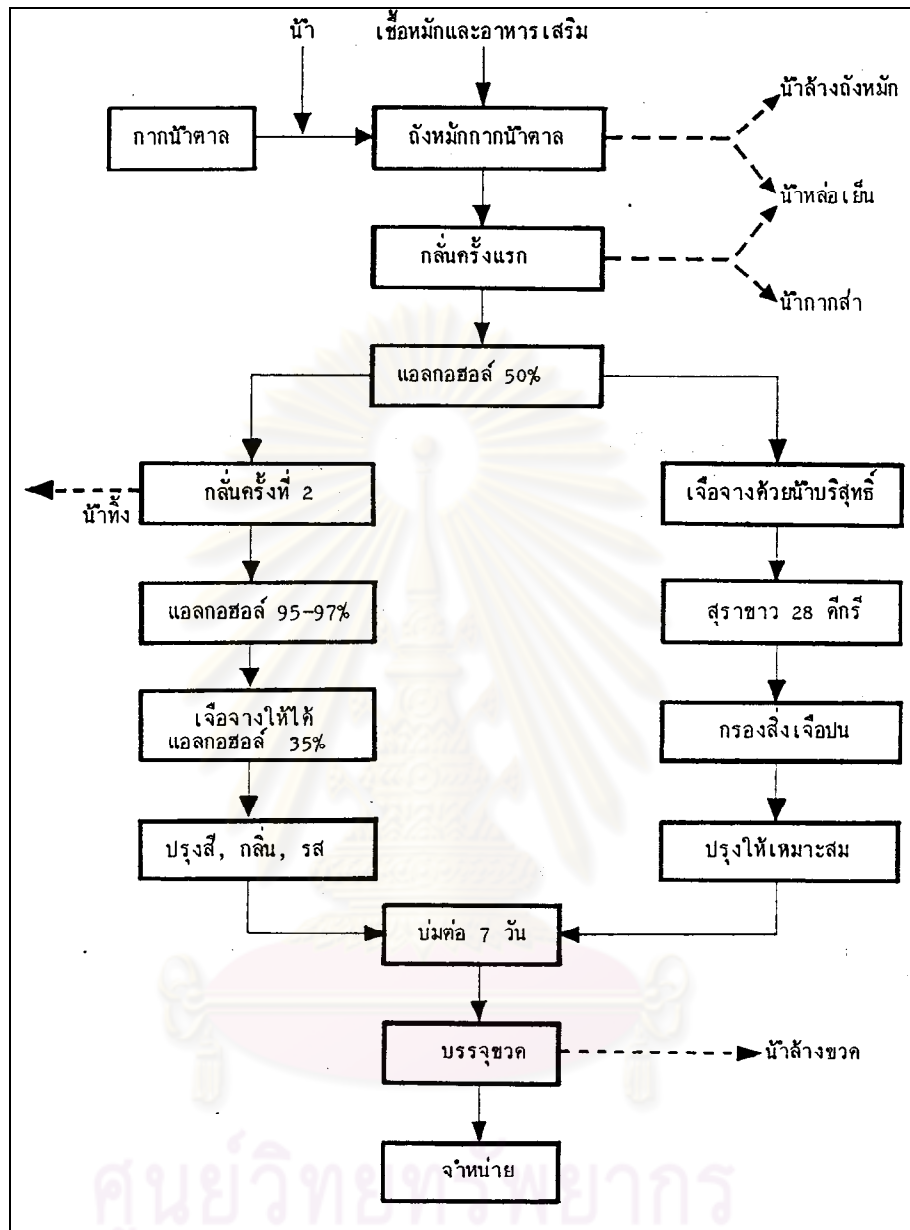
2.7.3 โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide)

โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) เป็นสารผสมเพิ่มได้จากน้ำกากส่าจัดเป็น ของเสียหรือของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแอลกอฮอล์โดยผ่านกระบวนการผลิต ดังภาพที่ 2.11 ด้วยคุณสมบัติของน้ำกากส่าที่ช่วยสร้างอนุภาคของเม็ดดิน ทำให้มีการนำมาให้ปรับปรุงผิวทางซึ่ง มีการจราจรต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นผิวถนนลูกรัง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมถนนได้เป็น อย่างดี

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2550) ได้ทำการทดสอบโดยใช้น้ำกากส่าหรือ โมโนแซคคาไรด์ราดลงบนถนนในเหมืองแร่ดังภาพที่ 2.10 จากการศึกษาทดลองพบว่า น้ำกากส่ามี ความสามารถในการยึดเกาะกับอนุภาคของเม็ดดินทำให้ผิวถนนเป็นผลึกแข็งแรงหนาเป็นชั้นประมาณ 1.5 เซนติเมตร สามารถลดการหลุดร่อนของพื้นผิวถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.10 ถนนในเหมืองแร่ราดด้วยน้ำกากส่าหรือโมโนแซคคาไรด์ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, 2550)



ภาพที่ 2.11 กระบวนการผลิตสุรจากากากน้ำตาล (สุจินต์, 2525)

2.7.4 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride)

แมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride) ลักษณะเป็นผลึกคล้ายเกลือสกัดได้จากน้ำทะเล ดังภาพที่ 2.12 สำหรับการนำแมกนีเซียมคลอไรด์มาใช้งานโดยทั่วไปจะอยู่ในภาพของสารละลายดังภาพที่ 2.13 ด้วยคุณสมบัติของแมกนีเซียมคลอไรด์ซึ่งมีดูดซับความชื้นจากอากาศได้ดี จึงมีการนำไปใช้ในงานถนนที่ไม่มีผิวทางทั้งนี้เพื่อลดการหลุดร่อนและการเกิดร่องล้อของถนนและยืดอายุการใช้งานของถนนให้ยาวนานขึ้น



ภาพที่ 2.12 แมกนีเซียมคลอไรด์ในภาพของผลึกใส



ภาพที่ 2.13 แมกนีเซียมคลอไรด์ในภาพของของเหลว

2.8 เสถียรภาพของวัสดุและสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อการเกิดร่องล้อ

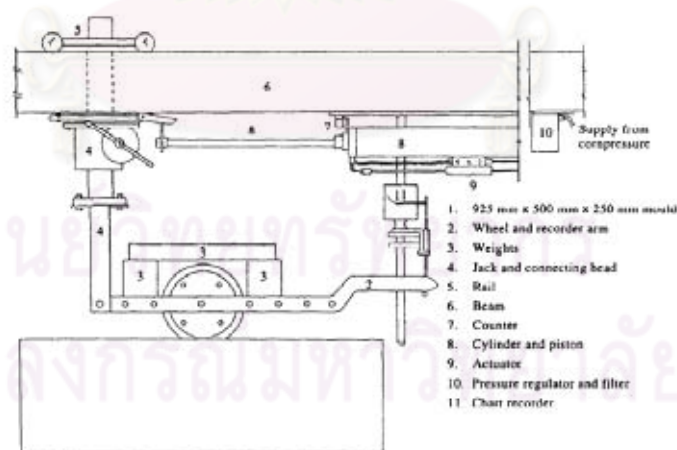
การปรับปรุงคุณภาพของดินเพื่อให้ดินมีเสถียรภาพในการใช้งานทางวิศวกรรมได้ สามารถทำได้โดยวิธีการปรับปรุงโดยอาศัยวิธีการทางกลศาสตร์ (Mechanical Stabilization) และวิธีการทางเคมี (Chemical Stabilization) (จิรพัฒน์, 2007) การใช้วิธีการทางกลศาสตร์ กล่าวคือ การพัฒนาคุณภาพของดินโดยเลือกวัสดุที่มีความคงทน มีการคละของวัสดุรวมรวมที่ดี วิธีการนี้จะอาศัยคุณสมบัติทางด้านกำลังของวัสดุเฉพาะตัวเพื่อให้เกิดการประสานกันระหว่างอนุภาคทำให้ดินมีเสถียรภาพในการใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีวิธีการทางเคมี วิธีการนี้เป็นวิธีการใช้สารเคมีเพื่อเป็นตัวเสริมกำลัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดคุณสมบัติของสารเคมีที่เลือกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน

นพดล (2001) ได้ทำการทดสอบการลดการหลุดร่อนของพื้นผิวลูกรังบดอัดแน่นด้วยสารเคมี โดยใช้เครื่องทดสอบจำลองการเกิดร่องล้อ ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulalongkorn University) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของสารเคมี ได้แก่ น้ำ, โซเดียมคลอไรด์, แคลเซียมคลอไรด์, โพลีอิมัลชัน และ แอสฟัลต์อิมัลชัน โดยพิจารณาการลดการหลุดร่อนของผิวถนนลูกรังบดอัดแน่น กำลังการรับน้ำหนักของดินโดยการทดสอบแคลิฟอร์เนียเบริงเรโซ (California Bearing Ratio, CBR) หลังการปรับสภาพด้วยสารเคมี ผลการทดสอบพบว่า สารเคมีที่นำมาทดสอบทั้งหมดช่วยเพิ่มค่ากำลังการรับแรงเฉือนได้มากกว่าการบดอัดดินด้วยน้ำ การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการปรับสภาพดินมีแนวโน้มในการรับกำลังได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษาปริมาณความชื้นของสารเคมีแต่ละชนิดจะเริ่มคงที่หลังจาก 14 วันหลังเริ่มการทดสอบ ผู้ทดสอบกล่าวว่าสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น สามารถเก็บรักษาความชื้นไว้ได้ดีกว่า สารเคมีที่มีลักษณะเป็นฟิล์มเคลือบผิวดิน สารจำพวกโซเดียมคลอไรด์เป็นสารที่เก็บรักษาความชื้นได้ดีที่สุด ส่วนในการทดสอบหาค่าการหลุดร่อนโดยวัดจากปริมาณการหลุดร่อนพบว่า โซเดียมคลอไรด์ช่วยลดการหลุดร่อนได้ดีที่สุด

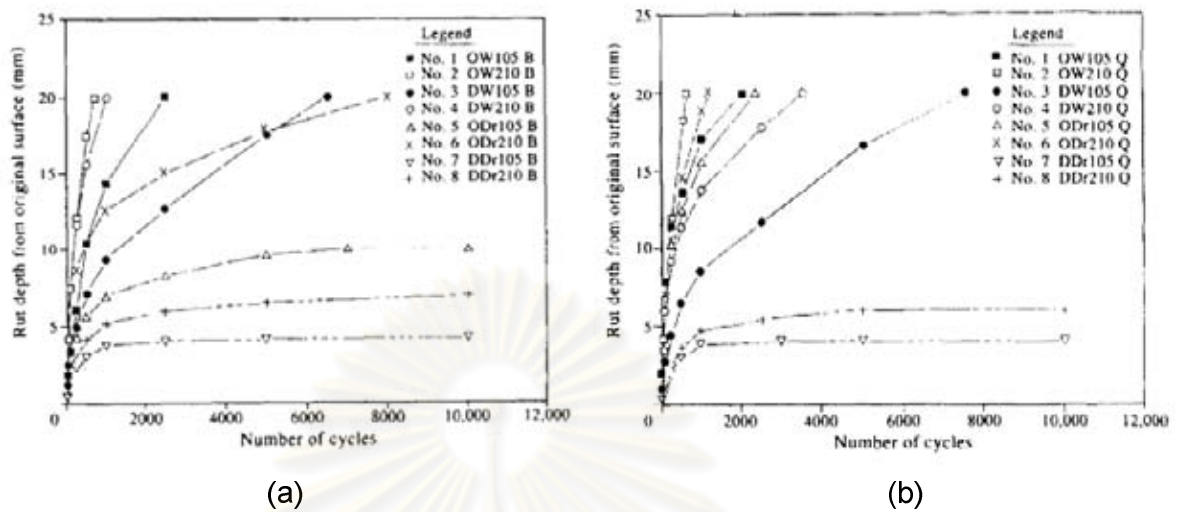
ศิริศักดิ์(2007) ได้ทำการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินในสภาพแช่้ำด้วยการใช้ปูนซีเมนต์และปูนขาว ณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังลักษณะการบวมตัวหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และปูนขาว

ผลจากการทดสอบพบว่า การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยปูนซีเมนต์และปูนขาวทำมีกำลังเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาระหว่างดินกับดินกับปูนซีเมนต์และปูนขาวช่วยสร้างแรงยึดเหนี่ยวมากขึ้น ความปริมาณ ความเหมาะสมในการใช้งานของปูนซีเมนต์และปูนขาวมีค่าประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์

Zakaria M. และ Leest G.(1995) ได้ทำการทดสอบหาค่าการหลุดร่อนของชั้นมวลรวม (aggregate Layer) ณ มหาวิทยาลัยเบอร์มิงแฮม (University of Birmingham, United Kingdom) โดยใช้เครื่องทดสอบที่ถูกพัฒนาเพื่อจำลองการเกิดร่องล้อ แสดงดังภาพที่ 2.14 เครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าการการเสียภาพของผิวทาง(Deformation) ในภาพแบบของการจำลองซึ่งสมมติฐานของผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะใช้วัสดุซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ อิฐ (Brick) และหินควอตซ์ (Quartzite) โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการเกิดร่องล้อของผิวทางภายใต้น้ำหนักของล้อรถที่กระทำกับถนน จากรายงานการวิจัยในอดีตพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการหลุดร่อนของผิวทางคือ ร่องล้อเกิดจากคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการบดอัด (aggregate quality) การคละขนาดของวัสดุ (gradation) ปริมาณความชื้น (water content) และน้ำหนักของล้อที่กระทำ (wheel content pressure) ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลสำคัญต่อการหลุดร่อนซึ่งก่อให้เกิดการเสียภาพของผิวทาง



ภาพที่ 2.14 เครื่องทดสอบหาค่าการหลุดร่อนของผิวทางแบบจำลอง(Zakaria M.และ Leest G., 1995)



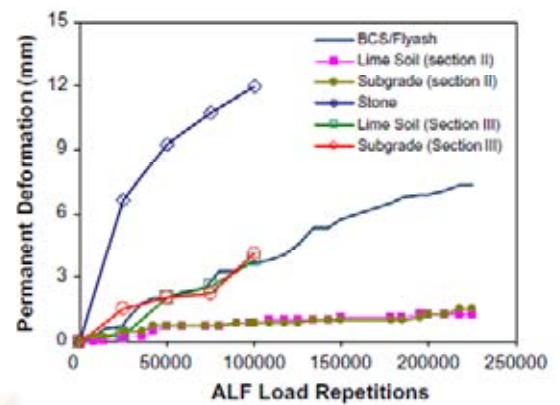
ภาพที่ 2.15 แสดงค่าความลึกของการหลุดร่อนของอิฐ (Brick) (a) กับหินควอทซ์ (Quartzite) (b) ในสภาวะเปียกและแห้ง (Zakaria M. และ Leest G., 1995)

ผลของการศึกษาพบว่า การหลุดร่อนของชั้นมวลรวม (Aggregate) เกิดการหลุดร่อนในลักษณะของไม่เชื่อมแน่น ซึ่งจะเกิดการเสียหายเนื่องจากความแน่นเฉพาะที่ (Densification deformation) และการเสียหายในลักษณะของการเฉือน (Shear Deformation) พบว่าปัจจัยการจัดเรียงตัวของวัสดุมวลรวมมีอิทธิพลสูงสุดต่อการหลุดร่อนมากที่สุด และชนิดของวัสดุวัสดุมวลรวมมีอิทธิพลต่อการหลุดร่อนน้อยที่สุด สภาพความชื้นแบบแห้งก่อให้เกิดการหลุดร่อนน้อยที่สุด

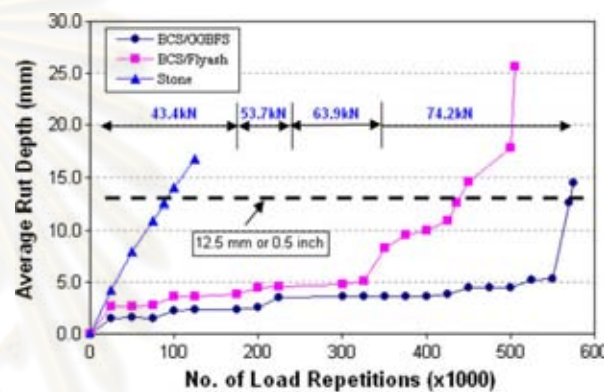
Zhong Wu *et al.* (2009) ได้ทำการทดสอบหาเสถียรภาพด้านกำลังและการเสียหายของชั้นพื้นทาง (Base Layer) ณ สถาบันอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งเวอร์เซสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Worcester Polytechnic Institute, Worcester USA.) ผู้ทดสอบได้ทำการทดสอบหาเสถียรภาพของแคลเซียมคลอไรด์ผสมกับกากตะกอนเตาหลอมในภาพที่ 2.16 (Section I) แคลเซียมคลอไรด์ผสมกับเถ้าลอยในภาพที่ 2.16 (Section II) และชั้นพื้นทางที่เป็นเพียงหินอย่างเดียวที่มีผลต่อการหลุดร่อนภายใต้สภาวะน้ำหนักล้อ และทำการวัดค่าการหลุดร่อน



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 2.16 แสดงหน้าตัดของชั้นทาง (a) ค่าความลึกของการหลุดร่อนหลังการทดสอบ (b) และค่าความลึกเฉลี่ยของการหลุดร่อนของชั้นพื้นทาง Base layer (Zhong Wu et al., 2009)

จากผลการทดสอบพบว่าความชื้นมีผลระยะยาวในการพัฒนากำลังของวัสดุแคลเซียมคลอไรด์ผสมกับกากตะกัณฑ์เตาหลอม (BCS/GGBFS) ดูดซับความชื้นได้สูงสุด ส่วนของแคลเซียมคลอไรด์ผสมกับเถ้าลอย(BCS/Flyash) และหินจะมีการสูญเสียความชื้นมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ปัจจัยของผลของกำลังจะเป็นตัวบ่งชี้ค่าความลึกของร่องล้อแสดงดังภาพที่ 2.16 (b) เห็นได้ชัดเจนว่าการนำหินมาทำเป็นชั้นพื้นทางจากการทดสอบในสนาม ผลของการทดลองในชั้นพื้นทางจะเกิดการเสียหายขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนในชั้นพื้นทางแคลเซียมคลอไรด์ผสมกับกากตะกัณฑ์เตาหลอมเกิดการหลุดร่อนการเสียหายเกิดขึ้นน้อยที่สุดดังภาพที่ 2.16 (c) กล่าวได้ว่าผลของความชื้นและความไวในการเกิดปฏิกิริยามีผลต่อการพัฒนากำลัง และการเกิดร่องล้อของผิวทาง

บทที่ 3

วิธีการและขั้นตอนการทดสอบ

3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดิน

สถานที่เก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้คือ ดินลูกรังนำมาจากแหล่งดินลูกรังที่ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก ดินมีสีน้ำตาลแดง ภาวว่างเหลี่ยมมน ค่าความชื้นตามธรรมชาติ 2.3-4.5



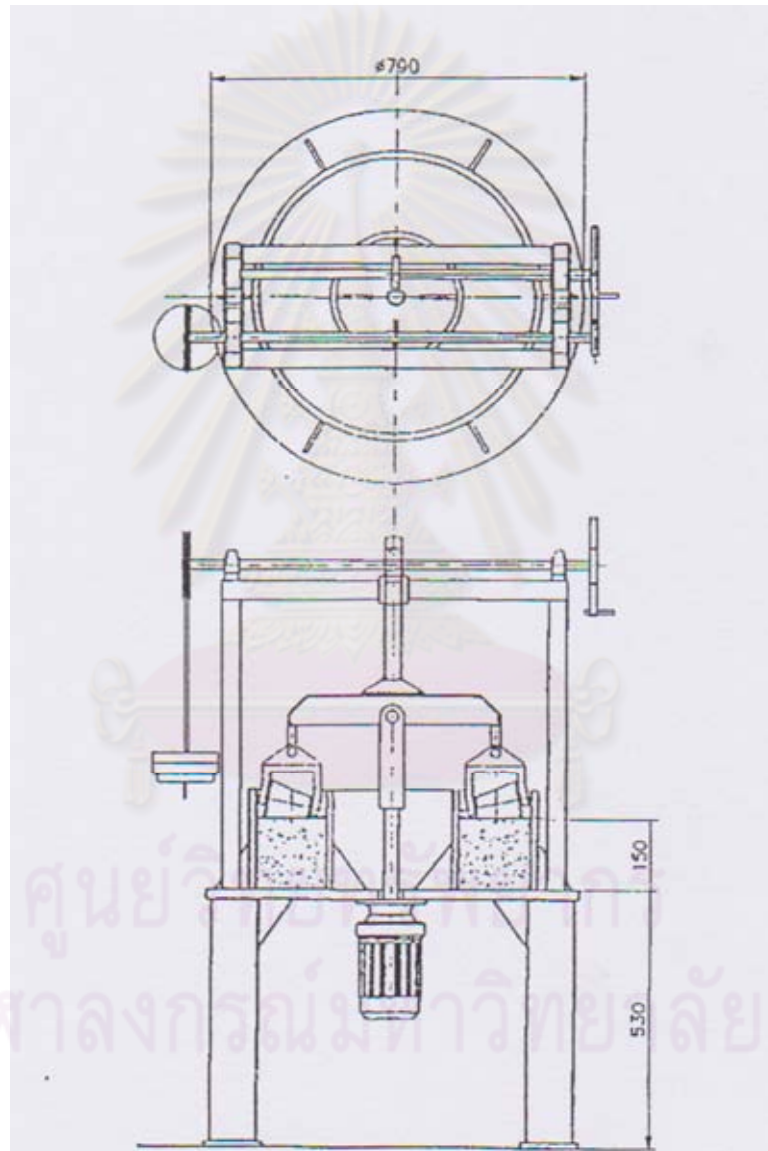
ภาพที่ 3.1 ดินลูกรังสำหรับการทดสอบ

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัย

3.2.1 เครื่องจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อของถนน

เครื่องจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อของถนน เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยสุพจน์ เตชวรสินสกุล(2544) เครื่องมือการทดสอบนี้พัฒนาขึ้น โดยใช้หลักการจำลองลักษณะของการหลุดร่อนของผิวถนนที่ไม่ได้ลาดยาง เครื่องทดสอบนี้มีรูปร่างเป็นกระบะรูปวงแหวน มีรัศมีด้านนอก

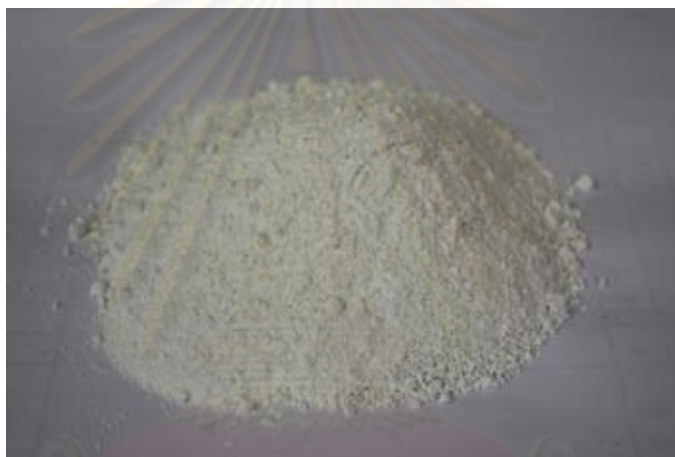
30 เซนติเมตร รัศมีด้านใน 15 เซนติเมตร และลึก 20 เซนติเมตร มีล้อ 2 ล้อติดอยู่กับปลายแกนทั้งสองด้าน กึ่งกลางของแกนทั้งสองด้านติดกับเพลลา อัตราการหมุนของมอเตอร์ 24 รอบต่อวินาที ด้านข้างออกแบบให้ใส่ตุ้มน้ำหนักตามการออกแบบดังแสดงในภาพ 3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อของถนน

3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัย

1. สารผสมเพิ่มสำหรับงานทดสอบ 4 ชนิด ได้แก่ชนิด a) ไฮเดรตไลม์ b)ยางธรรมชาติ c)โมโนแซคคาไรด์ d)แมกนีเซียมคลอไรด์ ดังภาพที่ 3.3a, 3.3b 3.3c และ 3.3d ตามลำดับ
2. เครื่องดูดฝุ่นขนาด 1600 วัตต์สำหรับดูดดินที่เกิดการหลุดร่อน ดังภาพที่ 3.4
3. เครื่องชั่งสำหรับชั่งดินที่เกิดการหลุดร่อนค่าความละเอียด 0.1 ดังภาพที่ 3.5
4. เวอร์เนียคาลิเปอร์ สำหรับวัดค่าความลึกการหลุดร่อน ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.3a Hydrated Lime



ภาพที่ 3.3b ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)



ภาพที่ 3.3c โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide)



ภาพที่ 3.3d แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride)



ภาพที่ 3.4 เครื่องดูดฝุ่นขนาด 1600 วัตต์



ภาพที่ 3.5 เครื่องชั่งค่าความละเอียด 0.01



ภาพที่ 3.6 เวอร์เนียคาลิเปอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินลูกรัง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างดินลูกรัง ซึ่งการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินลูกรัง

การทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ
1. การทดสอบขีดแอดเตอร์เบอร์ก (Atterberg's Limits)	ASTM D423-66, ASTM D 424-59, ASTM D427-61
2. การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตระแกรงร่อน (Sieve analysis)	ASTM D422-63
3. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity)	ASTM D854-00
4. การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction)	ASTM 1557
5. การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์ (California Bearing Ratio)	ASTM D1883-67

3.4 วิธีการเตรียมตัวอย่างดินในเครื่องทดสอบหาค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อในภายใต้สภาวะการจำลอง

การเตรียมตัวอย่างดินลูกรังสำหรับการทดสอบเพื่อประเมินค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อแบ่งเป็นสองวิธี คือวิธีแรกเป็นวิธีการผสมโดยนำตัวอย่างดินลูกรัง ไปทำการบดอัดในเครื่องทดสอบหาค่าการเกิดร่องล้อของผิวทาง ซึ่งมีลักษณะเป็นภาพวงแหวนมีรัศมีรอบนอก 30 เซนติเมตร รัศมีวงใน 15 เซนติเมตร ทำการบดอัดโดยการควบคุมปริมาณความหนาของชั้นดินประมาณ 12 เซนติเมตร ค่าความหนาแน่นแห้งที่ใช้ในการบดอัดแต่ละครั้ง 1.7 ตัน/ลบม. ทั้งตัวอย่างดินบดอัดไว้ในสภาพอากาศปกติเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ผิวทางมีความแห้งพอเหมาะก่อนการทดสอบ วิธีการสองเป็นการเตรียมตัวอย่างการทดสอบโดยวิธีการรดหลังการบดอัดเรียบร้อยแล้ว ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการบดอัดเท่ากับปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด สำหรับงานวิจัยนี้ค่าความชื้นที่เหมาะสมของการบดอัดเท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

ดิน เมื่อทำการราดสารผสมเพิ่มเรียบร้อยแล้วทิ้งตัวอย่างดินบดอัดไว้ในสภาพอากาศปกติเป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อให้ผิวทางมีความแห้งพอเหมาะก่อนการทดสอบ โดยค่าความเข้มข้น อัตราการใช้ และปริมาณสารผสมเพิ่ม แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการทดสอบการศึกษารีดการเกิดร่องล้อภายใต้สภาวะจำลองการใช้งานจริง

สารผสมเพิ่ม	วิธีการใช้งาน	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการใช้งาน	ปริมาณสาร (กก/ตร.ม.)
น้ำ*	ผสม	12.5	12.5% (By weight)	-
ไฮเดรตไลม์	ผสม	12.5	12.5% (By weight)	2.65
ยางธรรมชาติ	ผสม	12.5	12.5% (By weight)	2.65
โมโนแซคคาไรด์	ผสม	12.5	12.5% (By weight)	2.65
แมกนีเซียมคลอไรด์	ผสม	12.5	12.5% (By weight)	2.65
ไฮเดรตไลม์	ราด	12.5	5 ลิตร/ตร.ม.	0.625
ยางธรรมชาติ	ราด	12.5	5 ลิตร/ตร.ม.	0.625
โมโนแซคคาไรด์	ราด	12.5	5 ลิตร/ตร.ม.	0.625
แมกนีเซียมคลอไรด์	ราด	12.5	5 ลิตร/ตร.ม.	0.625

หมายเหตุ * ใช้เป็นมาตรฐานการเปรียบเทียบ



ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างดินบดอัดราดด้วยยางธรรมชาติ

3.5 การทดสอบการเกิดร่องล้อด้วยเครื่องทดสอบแบบจำลอง

3.5.1 ทำการเดินเครื่อง โดยให้ล้อวิ่งบนผิวทางจำลองด้วยอัตราหมุน 24 รอบ ต่อนาที กำหนดให้ใช้น้ำหนักสำหรับการทดสอบดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราการเพิ่มน้ำหนักสำหรับการทดสอบ

รอบการทดสอบ (รอบ)	ตุน้ำหนัก (กก.)	น้ำหนักที่กระทำต่อล้อ (กก.)
0-2,000	2.50	1.25
2,000-4,000	5.00	2.50
4,000-6,000	7.50	3.75
6,000-8,000	10.00	5.00
8,000-10,000	12.50	6.25
10,000-12,000	15.00	7.50

3.5.2 เก็บตัวอย่างดินที่หลุดร่อนด้วยการดูดด้วยเครื่องดูดฝุ่นจากผิวทางจำลอง ภายหลังจากการเดินเครื่องไป 2,000, 4,000, 6000, 8,000, 10,000 และ 12,000 รอบการทดลอง เพื่อนำไปหาปริมาณการหลุดร่อน

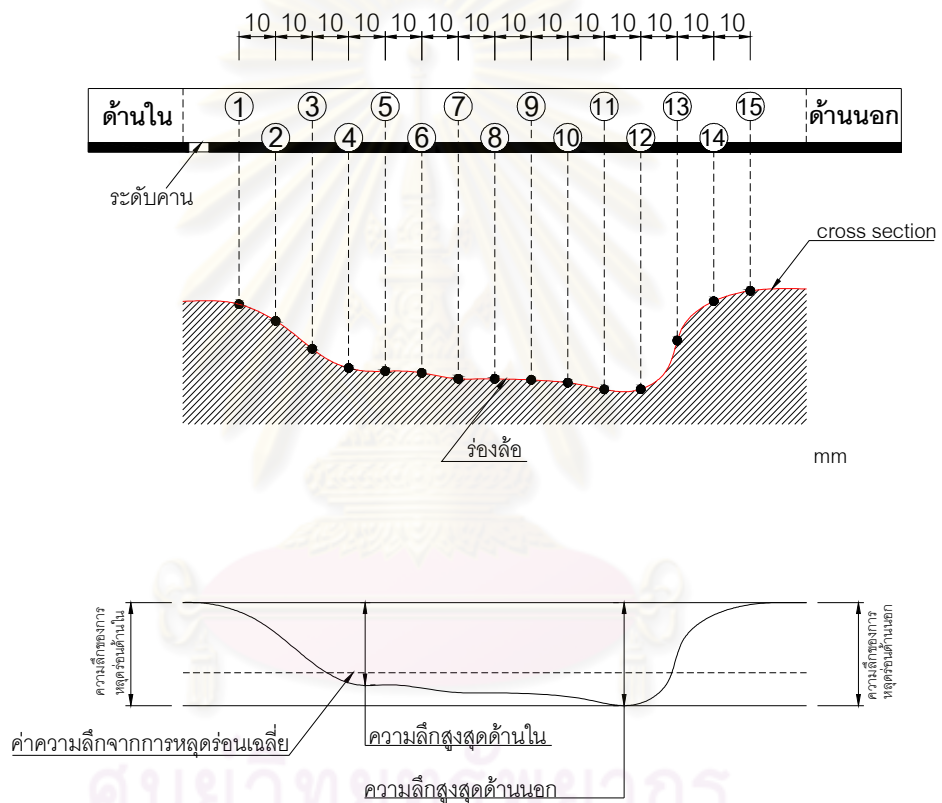
3.5.3 เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้นที่ลดลงโดยทำการชั่งตัวอย่างดินทุก 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

3.6 การวัดค่าการเสียหายของของผิวทางจำลอง

3.6.1 การวัดลักษณะการเสียหายของผิวทางจำลอง วัดจากคานด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ตามระยะที่กำหนดในแนวดิ่งดังภาพที่ 3.8

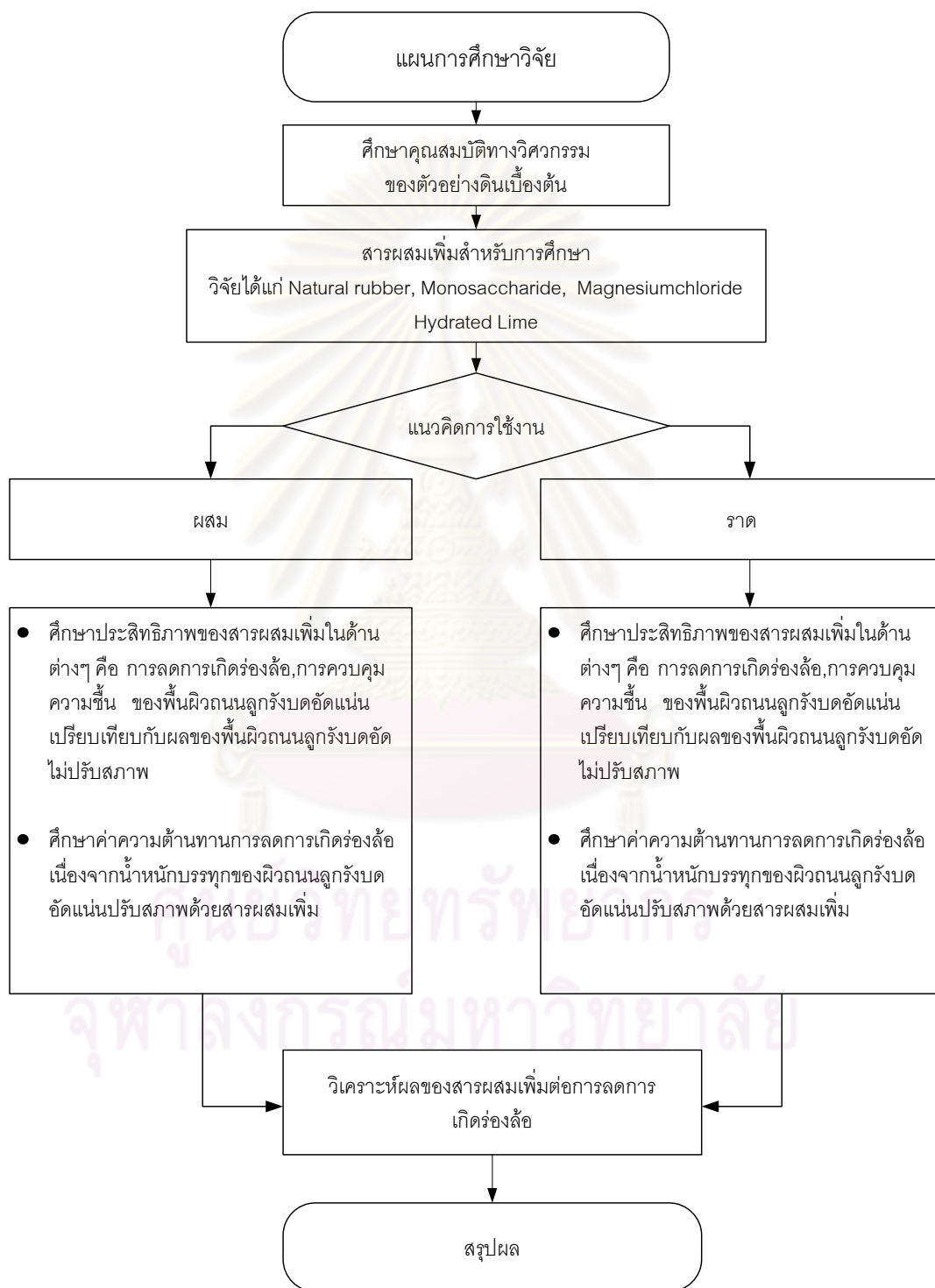
3.6.2 นำค่าความลึกของแต่ละตำแหน่งที่ได้จากการวัด หาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าความลึกจากร่องล้อ

3.6.2 ทำการบันทึกข้อมูลการความลึกของร่องล้อและการหลุดร่อนของผิวทางทุก 2,000, 4,000, 6,000, 8,000, 10,000 และ 12,000 รอบการทดสอบ



ภาพที่ 3.8 ตำแหน่งการวัดและลักษณะการเสียหายของผิวถนนจากการเกิดร่องล้อ

3.7 แผนการศึกษาวิจัย



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

4.1.1 การหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น
ของดินลูกรัง

ตัวอย่างดินลูกรังก่อนนำมาทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางด้านกายภาพและ
คุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินลูกรัง ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดถูกรวบรวมและแสดงไว้ใน
ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Natural Water Content	2.34	%
Specific Gravity	2.71	-
Atterberg's Limit		
Liquid Limit, LL	29.78	%
Plastic Limit, PL	19.14	%
Plasticity index, PI	10.64	%
Grain Size Distribution		
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 1	100	%
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4	100	%
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8	85.39	%
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 4	31.03	%
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10	9.97	%
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 40	5.63	%
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	1.96	%

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น (ต่อ)

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	หน่วย
Modified Compaction	2.06	(t/m ³)
CBR	29.3	%
การจำแนกดินระบบ AASHTO	A-2-4 (Silty or clayey gravel and sand)	-
General subgrade rating (AASHTO,1945)	Excellent to good	-
ภาพร่างตัวอย่างดิน	เหนียวมน	-

4.1.2 การศึกษาการเกิดร่องล้อภายใต้สภาวะจำลองในการใช้งานจริง

การศึกษาการเกิดร่องล้อภายใต้สภาวะจำลองในการใช้งานจริง โดยใช้เครื่องจำลองลักษณะการเกิดร่องล้อของถนน จำแนกลักษณะการใช้งานเป็นสองรูปแบบคือ รูปแบบแรกเป็นวิธีการทดสอบโดยวิธีการผสมสารผสมเพิ่มเข้ากับดินลูกรัง รูปแบบที่สองเป็นวิธีการทดสอบโดยการรูดลงบนผิวทางจำลองที่ทำการบดอัดเรียบร้อยแล้ว เปรียบเทียบกับผลของของดินลูกรังซึ่งบดอัดด้วยน้ำ ด้วยน้ำหนักที่กระทำ 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 กิโลกรัม ทุก 2000 รอบการทดสอบ โดยผลการศึกษาการเกิดร่องล้อ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความลึกของร่องล้อเมื่อล้อวิ่งผ่านขณะทำการทดสอบ

ชนิดของสารผสมเพิ่ม	อัตราการ ภาค ลิตร/ตร.ม.	ความลึก (มม.) หลังจากล้อวิ่งผ่าน						
		จำนวนที่ล้อวิ่งผ่าน x10 ³ (รอบ)						
		0	2	4	6	8	10	12
น้ำ (ผสม)	**	0.00	2.62	8.82	16.21	22.00	30.55	35.35
ยางธรรมชาติ (ภาค)	5	0.00	0.66	1.51	6.57	12.70	20.80	27.53
โมโนแซคคาไรด์ (ภาค)	5	0.00	4.19	8.63	11.88	18.00	22.02	24.93
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ภาค)	5	0.00	0.73	4.31	8.41	12.04	14.09	18.03
Hydrated Lime (ภาค)	5	0.00	3.22	5.94	10.47	17.62	22.51	29.76

ยางธรรมชาติ (ผสม)	**	0.00	3.38	5.61	8.29	14.18	19.66	31.73
โมโนแซคคาไรด์ (ผสม)	**	0.00	4.25	12.78	17.87	23.31	27.19	30.88
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ผสม)	**	0.00	2.80	6.36	9.63	14.88	21.94	26.31
Hydrated Lime (ผสม)	**	0.00	1.59	4.12	5.03	8.77	12.16	15.55

หมายเหตุ

** ทำการบดอัดโดยใช้สารผสมเพิ่มความเข้มข้น 12.5 % ผสมคลุกเคล้าเข้ากับดิน ปริมาณสารละลายที่ใช้เท่ากับ ปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการบดอัด

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1-4.4 จะเห็นได้ว่าการบดอัดดินด้วยน้ำที่ปริมาณความชื้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ช่วยลดการเกิดร่องล้อเท่าใดนัก เมื่อเปรียบเทียบกับ การบดอัดดินโดยใช้สารผสมเพิ่มทั้งรูปแบบการใช้งานแบบราดและแบบผสม ค่าความลึกร่องล้อเฉลี่ยเท่ากับ 35.35 มิลลิเมตร เมื่อล้อวิ่งผ่าน 12,000 รอบ ผลจากของความลึกของร่องล้อของผิวทางแบบจำลอง อันเนื่องจากการเงื่อนไขของล้อและน้ำหนักที่กระทำดังภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า การหลุดร่อนเนื่องจากการบดอัดด้วยน้ำเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ น้ำเป็นเพียงตัวช่วยในการหล่อลื่นสำหรับการบดอัด เพื่อให้ดินมีความแน่น ไม่ได้เป็นตัวสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) จากการทดสอบหาค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของยางธรรมชาติ โดยวิธีการรูดพบว่า ยางธรรมชาติช่วยป้องกันการเกิดร่องล้อได้ดีในช่วง 0-4,000 รอบของการทดสอบ หลังจากนั้นแนวโน้มของความลึกของร่องล้อเพิ่มขึ้น และที่ 12,000 รอบความลึกของร่องล้อเท่ากับ 27.53 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าผลของการใช้น้ำผสมในการบดอัดเพียงอย่างเดียว 7.87 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพซึ่งช่วยลดการเกิดร่องล้อ 41.49 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะยางธรรมชาติซึ่งมีคุณสมบัติเป็นยางธรรมชาติ เมื่อทำการรูดลงบนผิวถนนที่บดอัดแล้ว ยางธรรมชาติจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินที่ผิวเท่านั้นแสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.5 นอกจากนี้ยังพบว่าการนำยางธรรมชาติผสมกับดินลูกรัง ในช่วงของการทดสอบที่ 0-9,000 รอบ ค่าการเกิดร่องล้อความลึกที่เกิดขึ้นมากกว่าวิธีการรูด แต่ยังน้อยกว่าวิธีการบดอัดด้วยน้ำ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการใช้งานโดยวิธีการรูดดีกว่าวิธีการผสม ประสิทธิภาพความสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อเท่ากับ 31.29 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะการผสมยางธรรมชาติกับดินลูกรังเป็นการสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของเม็ดดินเท่านั้น เมื่อถูกน้ำหนักล้อมากระทำแรงยึดเหนี่ยว

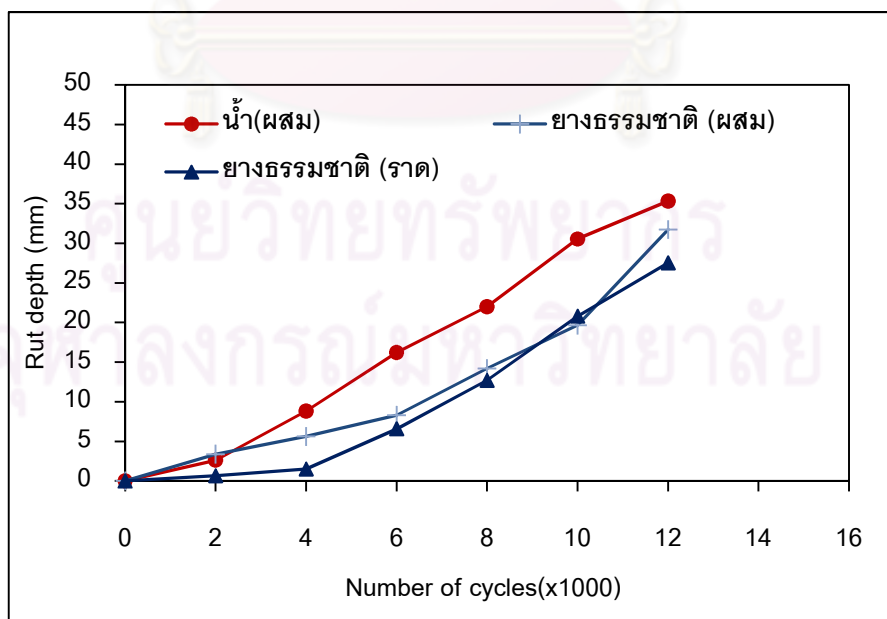
ระหว่างเม็ดดินถูกทำลายลง ความลึกของร่องล้อจึงเกิดขึ้นมากกว่าการไ้ใช้งานโดยวิธีการราด แสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.6

โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) พบว่าการใช้สารผสมเพิ่มโดยวิธีการราดสารลงบนผิวดินลูกรังบดอัด ช่วงของการทดสอบ 0-4,000 รอบ ค่าความลึกการเกิดร่องล้อที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับค่าความลึกของร่องล้อจากการไ้ใช้น้ำในการบดอัด ความลึกของร่องล้อสูงสุดที่ 12,000 รอบการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 24.93 มิลลิเมตร ต่ำกว่าการบดอัดด้วยน้ำ 4.47 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพการต้านทานการเกิดร่องล้อ 29.88 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมดินลูกรังกับโมโนแซคคาไรด์ ณ รอบของล้อรถที่วิ่งผ่าน 0-8,500 รอบ ค่าความลึกของร่องล้อที่เกิดขึ้นมากกว่าการไ้ใช้น้ำในการบดอัด ส่วนของรอบของล้อรถที่วิ่งผ่าน 8,501 รอบมีแนวโน้มต่ำลง ประสิทธิภาพการต้านทานการเกิดร่องล้อเท่ากับ 9.83 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 4.2, 4.7 และ 4.8 ซึ่งบ่งชี้ว่าการนำไปใช้งานทั้งวิธีการราดลงบนผิวลูกรังบดอัดและการผสม ช่วยลดการเกิดร่องล้อไม่มากนัก นั่นเพราะ โมโนแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นกาบน้ำตาล มีความหนืด จะช่วยเป็นตัวเคลือบเม็ดดินเพียงอย่างเดียว

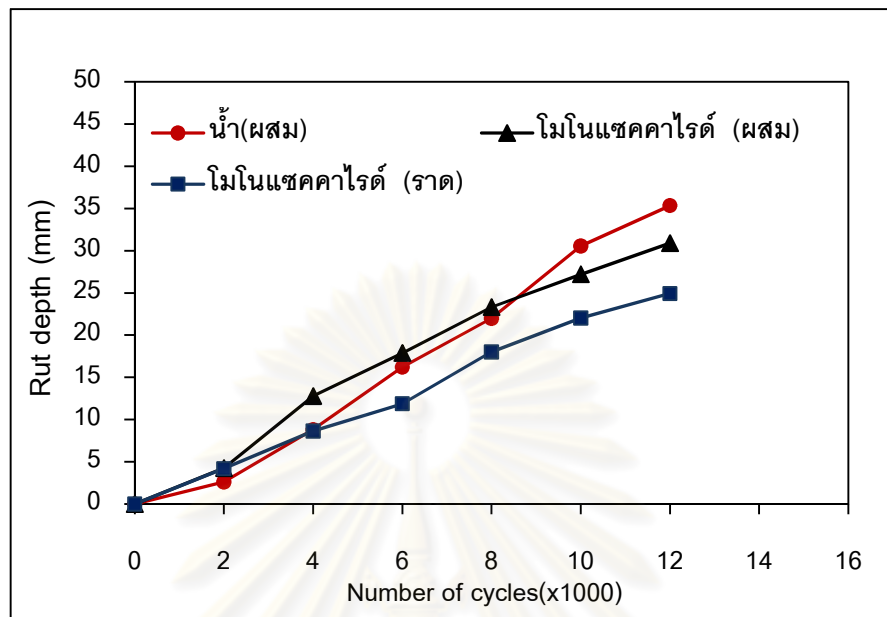
แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) จากการทดสอบพบว่าการใช้สารผสมเพิ่มโดยวิธีการราดลงบนพื้นผิวลูกรังที่บดอัดแล้ว ค่าความลึกของร่องล้อสูงสุดที่ 12,000 รอบการทดสอบเท่ากับ 18.30 มิลลิเมตร ความลึกของร่องล้อต่ำกว่าการไ้ใช้น้ำบดอัด 17.32 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มในการต้านทานการเกิดร่องล้อ 49.01 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการผสมดินลูกรังกับสารผสมเพิ่มโดยใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มเท่ากับปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการบดอัด ค่าความลึกสูงสุดที่ 12,000 รอบการทดสอบ เท่ากับ 24.31 มิลลิเมตร ต่ำกว่าการบดอัดดินลูกรังด้วยน้ำเพียง อย่างเดียว 9.04 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อเท่ากับ 35.14 เปอร์เซ็นต์ นั่นเพราะแมกนีเซียมคลอไรด์เป็นสารผสมเพิ่มช่วยเคลือบเม็ดดินเพียงอย่างเดียวเช่นเดียวกับโมโนแซคคาไรด์ แสดงดังภาพที่ 4.3, 4.9 และ 4.10

ไฮเดรตไลม์ (Hydrated Lime) จากผลที่ได้จากการทดสอบหาค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของไฮเดรตไลม์โดยวิธีการราดลงบนผิวดินลูกรังบดอัด ด้วยอัตราความเข้มข้นของสาร 12.5 เปอร์เซ็นต์ อัตราการราด 5 ลิตรต่อตารางเมตร คิดเป็นปริมาณสาร 0.625 กิโลกรัมต่อตารางเมตร พบว่าช่วงของการทดสอบ 0-2,000 รอบ ค่าการหลุดร่อนซึ่งก่อให้เกิดร่องล้อเกิดขึ้น

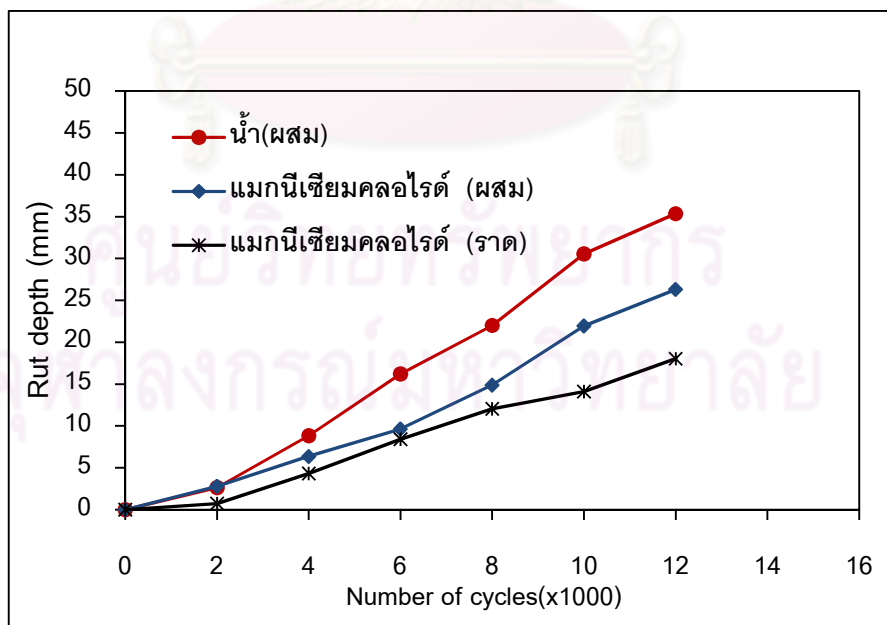
เพียง 3.22 มิลลิเมตร หลังจาก 2,000 รอบการทดสอบ ความลึกของร่องล้อที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ความลึกของร่องล้อสูงสุดที่ 12,000 รอบ เท่ากับ 29.76 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพในการช่วยลดการเกิดร่องล้อ 25.59 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการใช้สารละลาย Hydrated lime ราคาลงบนผิวดินลูกรังบดอัด อนุภาคของเม็ดดินซึ่งมีความแน่น ทำให้ค่าความสามารถในการซึมลดน้อยลง ผลดังกล่าวก่อให้เกิดการแยกตัวของสารละลายระหว่าง Hydrated Lime กับน้ำ การทำปฏิกิริยาระหว่างดินลูกรังบดอัดจึงเกิดขึ้นที่ผิวหน้าดิน แสดงดังภาพที่ 4.4 และ 4.12 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบแบบวิธีผสมกับดินลูกรังก่อนการบดอัดที่อัตราความเข้มข้นของสารผสมเพิ่ม 12.5 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นปริมาณสาร 2.65 กิโลกรัมต่อตารางเมตร พบว่าความลึกของร่องล้อที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการหลุดร่อนและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของล้อที่กระทำเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ความลึกของร่องล้อสูงสุดที่ 12,000 รอบการทดสอบ เท่ากับ 15.55 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าวิธีการผสมก่อนการบดอัดช่วยลดการเกิดร่องล้อได้ดีกว่าวิธีการราดหลังการบดอัด การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารผสมเพิ่มกับอนุภาคของเม็ดดินช่วยสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน ทำให้ค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อที่เกิดขึ้นเท่ากับ 53.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเป็นตัวหล่อลื่นสำหรับการบดอัด แสดงดังภาพที่ 4.4 และ 4.1



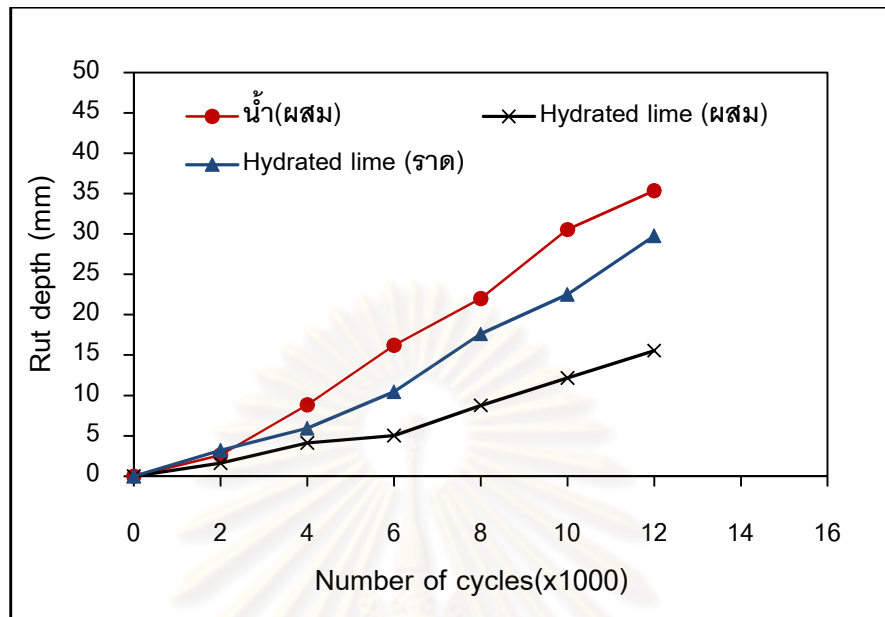
ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของยางธรรมชาติ



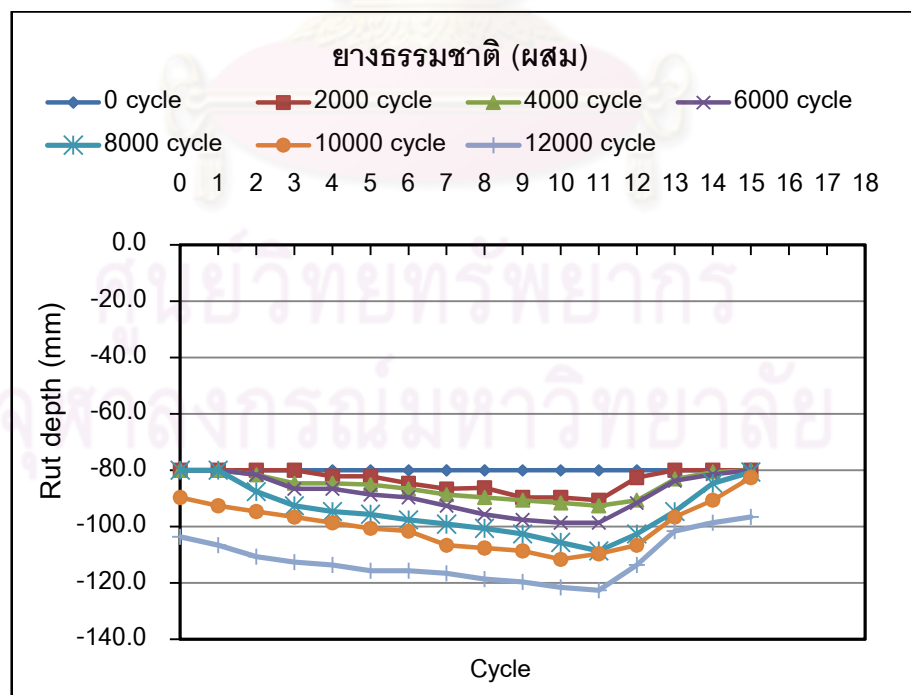
ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของโพลีเอทิลีนไกลคอล



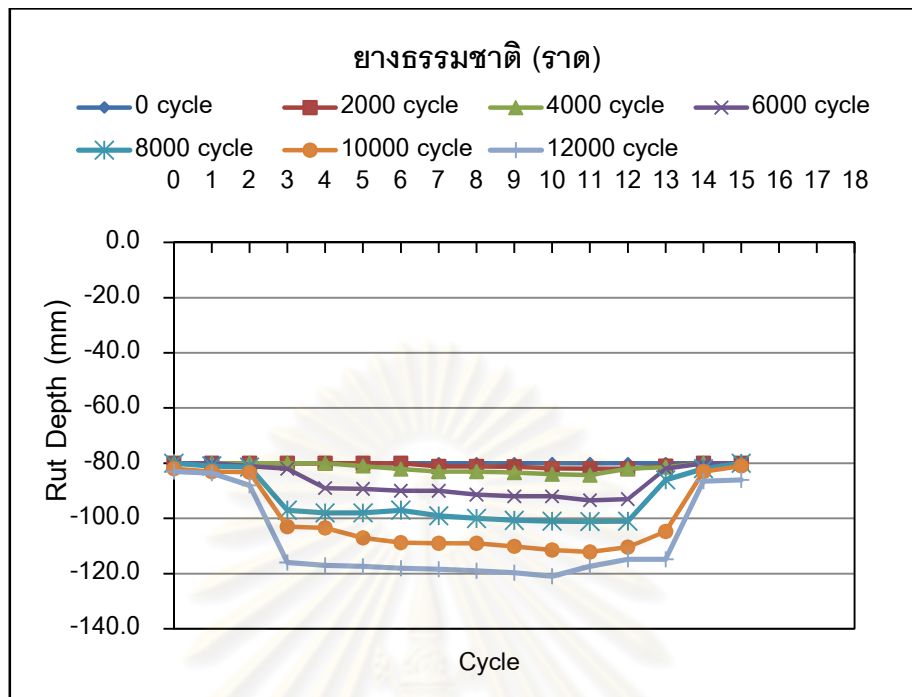
ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของแมกนีเซียมคลอไรด์



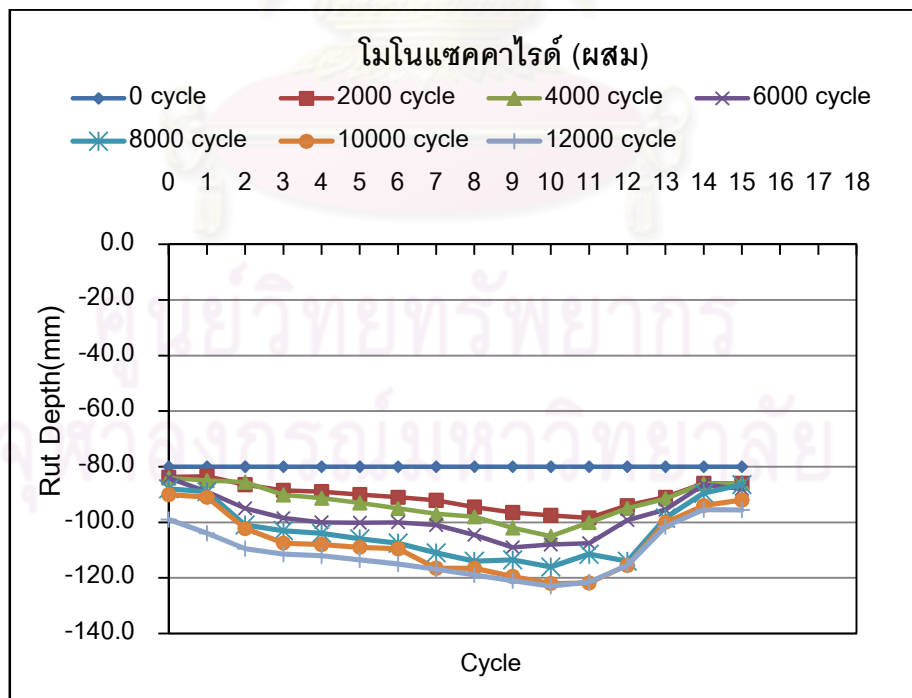
ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของไฮเดรตไลม์



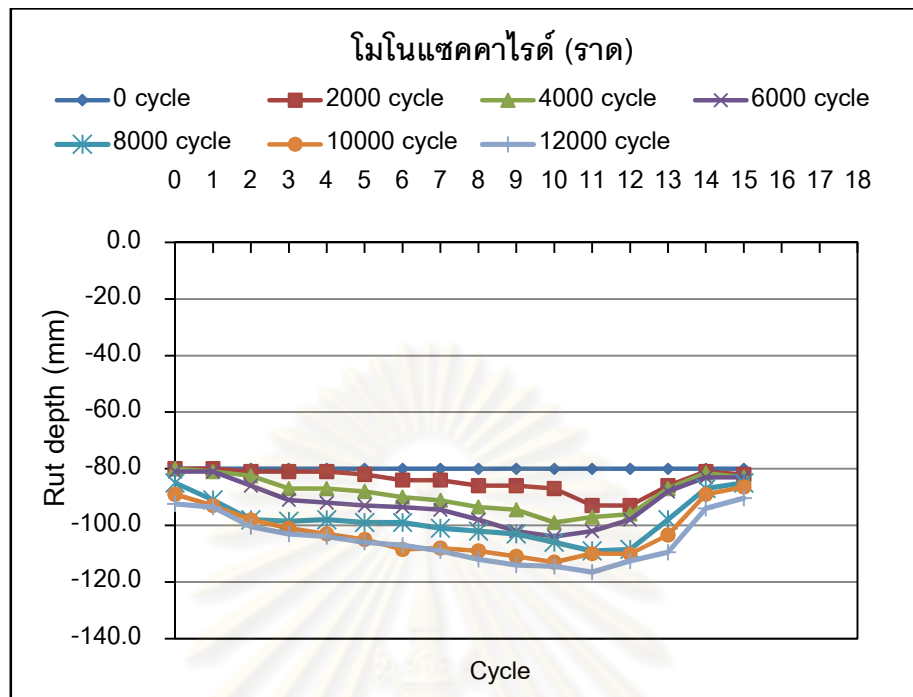
ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของยางธรรมชาติ แบบผสม



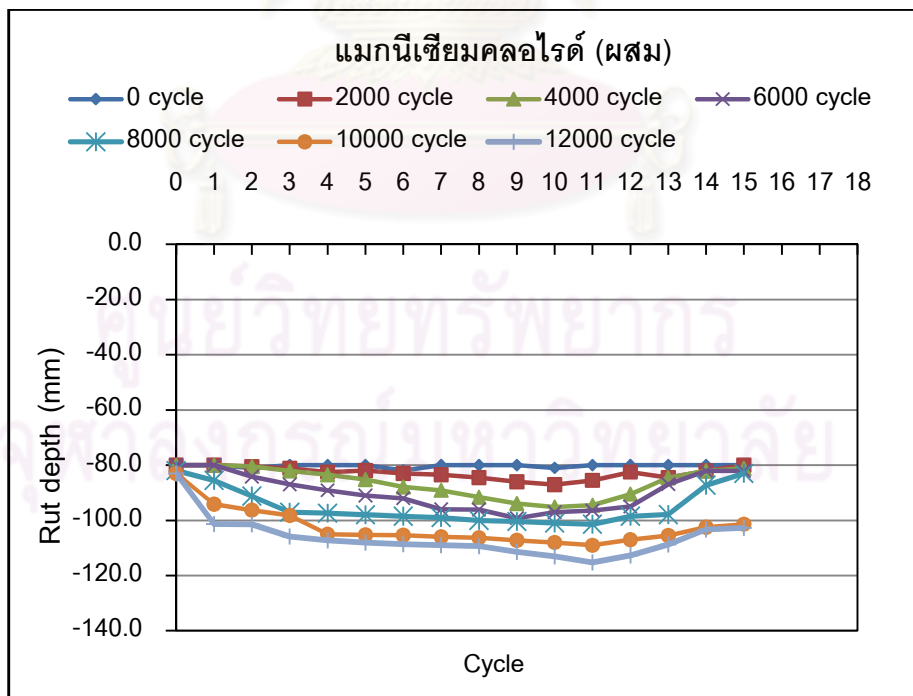
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของยางธรรมชาติ แบบลาด



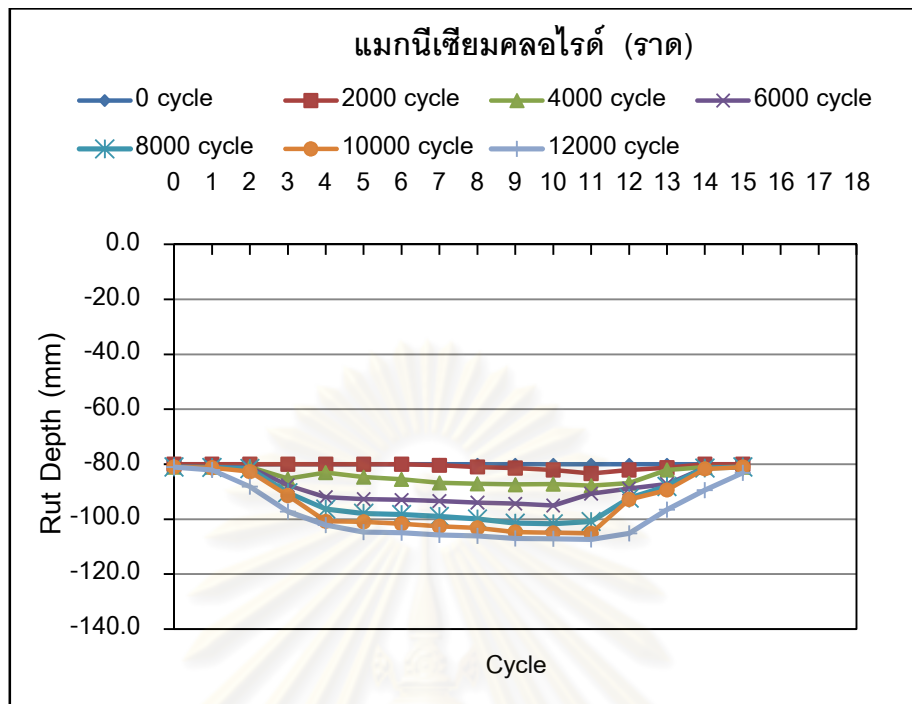
ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของโมโนแซคคาไรด์ แบบผสม



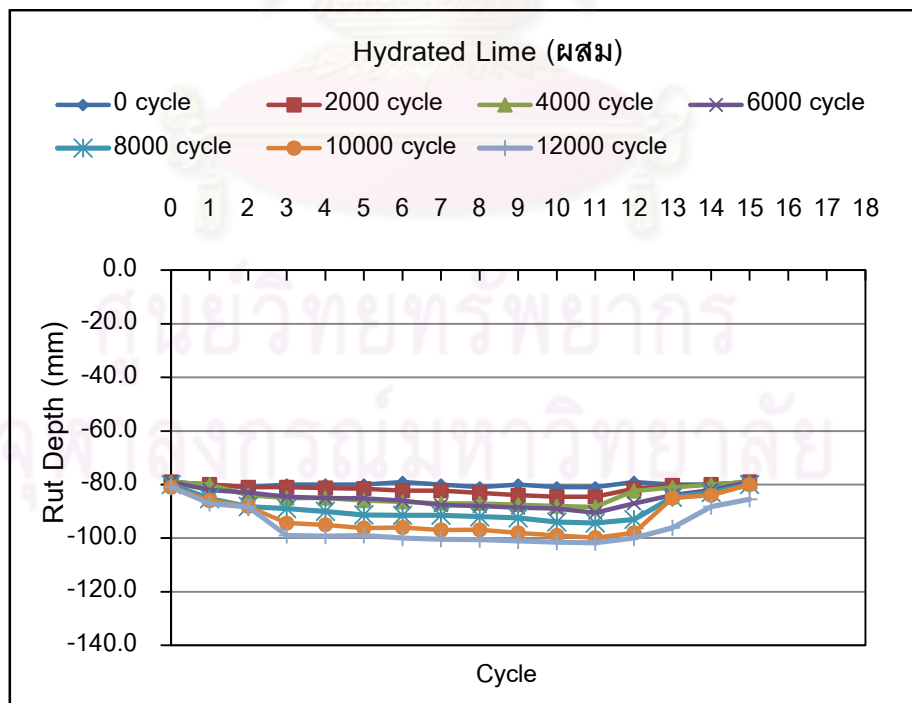
ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของโมโนแซคคาไรด์ แบบราด



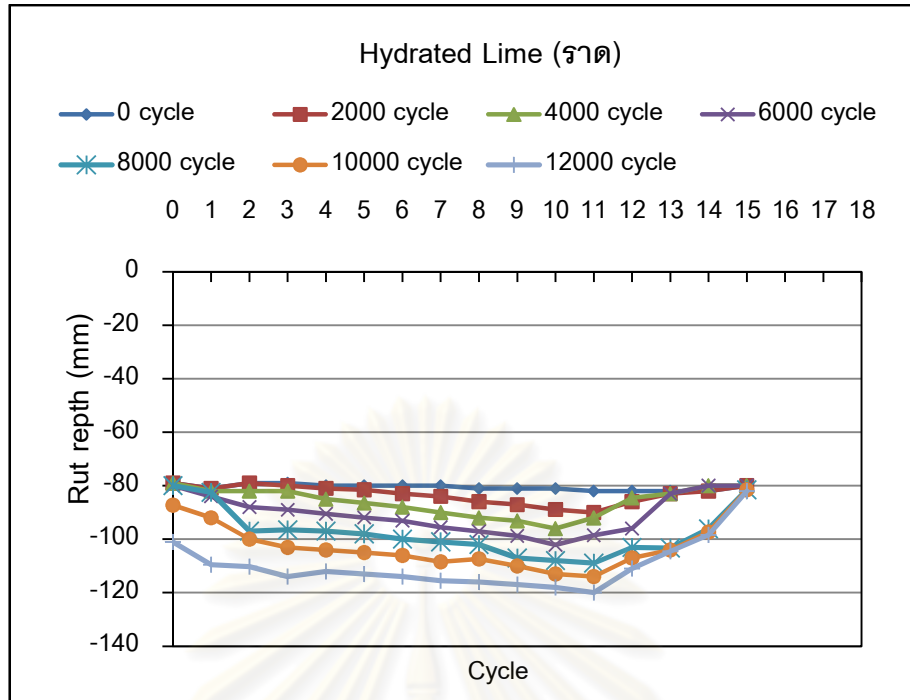
ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของแมกนีเซียมคลอไรด์ แบบผสม



ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของแมกนีเซียมคลอไรด์ แบบราด



ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของไฮเดรตไลม์ (ผสม)



ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของหน้าตัดร่องล้อกับจำนวนรอบที่ล้อวิ่งผ่านของไฮเดรตไลม์ (ราด)

4.1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินลูกรังบดอัดภายหลังการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม

ดังที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพื้นผิวดินลูกรังโดยวิธีการเตรียมตัวอย่างทั้งแบบวิธีการราดสารหลังจากบดอัดดินลูกรังและวิธีการนำสารไปผสมกับดินลูกรัง ปริมาณสารที่ใช้เท่ากับปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการบดอัด ความเข้มข้นของสารร้อยละ 12.5 โดยมีมวลต่อปริมาตร อัตราการราดลงบนพื้นผิวดินลูกรังบดอัด 5 ลิตรต่อตารางเมตร เปรียบเทียบกับการใช้น้ำผสมสำหรับบดอัดดังตารางที่ 4.3-4.4 โดยทำการเก็บค่าความชื้นที่ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน จะได้ว่า ผลของการใช้น้ำจากการทดสอบพบว่า การใช้น้ำเป็นตัวผสมสำหรับการบดอัด โดยอัตราการใช้น้ำเท่ากับปริมาณความชื้นสำหรับการบดอัดที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าในช่วงเวลา 0-14 วัน สภาพความชื้นของดินลูกรังบดอัดด้วยน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นปริมาณความชื้นมีแนวโน้มคงสภาพ ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ที่ผิวดิน 29.57 เปอร์เซ็นต์ ณ เวลา 28 วัน หลังการทดสอบ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ผลจากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นด้วยวิธีการราดที่อัตราความเข้มข้นของสารร้อยละ 12.5 โดยมีมวลต่อปริมาตร อัตราการราดลงบนพื้นผิวดินลูกรังบดอัด 5 ลิตรต่อตารางเมตร คิดเป็นปริมาณสารต่อพื้นที่ 0.625 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถเก็บรักษาความชื้นได้ดีกว่าการใช้น้ำ ผลของความชื้นหลังจาก 14 วัน หลังการทดสอบมีแนวโน้มคงที่ ณ เวลา 28 วันหลังการทดสอบปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ 31.16 เปอร์เซ็นต์ การกักเก็บความชื้นดีกว่า การใช้น้ำบดอัด 1.59 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ยางธรรมชาติ ด้วยวิธีการผสมการลดลงของปริมาณความชื้นมีแนวโน้มคงที่ หลังจาก 14 วันหลังการทดสอบ เช่นเดียวกับวิธีการราดลงบนพื้นผิวลูกรังบดอัด ความชื้นที่เหลืออยู่ที่ผิวดินเท่ากับ 33.44 เปอร์เซ็นต์ ณ เวลา 28 วันหลังการทดสอบ สูงกว่าการการบดอัดด้วยน้ำ 3.87 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของวิธีการใช้งาน ไม่ส่งผลต่อการคงสภาพความชื้นเท่าใดนัก

โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) ผลจากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นด้วยวิธีการราดที่อัตราการราดและอัตราความเข้มข้นเดียวกับยางธรรมชาติ พบว่าที่ 28 วัน หลังการทดสอบความชื้นที่ผิวดินเริ่มคงที่ความชื้นที่คงเหลืออยู่มากกว่าการใช้น้ำผสมบดอัดดินลูกรัง 11.09 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวิธีการนำสารมาผสมกับดินลูกรังปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่

ณ 28 วัน หลังการทดสอบเท่ากับ 28.40 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียความชื้นมากกว่าการใช้น้ำ 1.17 เปอร์เซ็นต์ นั่นอาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นที่มากกว่าน้ำ ดังภาพที่ 4.14

แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) การเปลี่ยนแปลงความชื้นของสารชนิดนี้โดยวิธีการรดที่อัตราการรดและอัตราความเข้มข้นเดียวกับยางธรรมชาติและสารลดฝุ่นชนิดที่พบที่ 28 วัน หลังการทดสอบความชื้นที่เหลืออยู่ที่ผิวดินเท่ากับ 29.92 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการใช้น้ำผสมบดอัดเพียงอย่างเดียว 0.35 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าวิธีการนำสารลดฝุ่นชนิดที่ผสมกับดินลูกรังที่โดยอัตราความเข้มข้นที่เท่ากัน อัตราการผสมเท่ากับปริมาณน้ำเหมาะสมสำหรับการบดอัดที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่คงเหลืออยู่ที่ผิวดินเท่ากับ 32.19 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการใช้น้ำผสมบดอัด 2.62 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 4.15

ไฮเดรตไลม์ (Hydrated Lime) จากผลที่ได้พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของสารด้วยวิธีการรดในช่วง 0-14 วัน ที่อัตราการรดและความเข้มข้นเท่ากับยางธรรมชาติ ดีและ อี การลดลงของความชื้นใกล้เคียงกับการบดอัดดินลูกรังด้วยน้ำ หลังจากนั้นแนวโน้มของความชื้นคงที่ นั่นเพราะการรดลงบนผิวดินลูกรังบดอัด การซึมผ่านของสารผ่านอนุภาคของเม็ดดินไม่ดีมากนัก เกิดการแยกตัวของไฮเดรตไลม์กับน้ำ การทำปฏิกิริยาของไฮเดรตไลม์กับดินลูกรังจึงเกิดที่ผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ที่ 28 วันหลังการทดสอบ ค่าความชื้นผิวดินที่เหลืออยู่เท่ากับ 33.00 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสูงกว่าการใช้น้ำบดอัด 3.43 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารละลายไฮเดรตไลม์ผสมกับดินลูกรังที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียความชื้นมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวผสมสำหรับการบดอัด แสดงดังภาพที่ 4.16 ทั้งนี้เป็นเพราะการผสมดินลูกรังกับสารทำให้การเข้าถึงอนุภาคของเม็ดดินเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นที่มากกว่าการใช้น้ำผสมบดอัดดินลูกรังเพียงอย่างเดียว

สรุปได้ว่าการใช้ ยางธรรมชาติ โมโนแซคคาไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ทั้งวิธีการรดและวิธีการผสม สามารถกักเก็บรักษาความชื้นสูงกว่าการใช้น้ำผสมในการบดอัด นั่นเพราะสารทั้ง 3 ชนิดเป็นสารเคลือบอนุภาคของเม็ดดิน ความแตกต่างของการรักษาความชื้นไม่ต่างกันมากนัก ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การลดลงของความชื้นของสารทุกชนิดในช่วง 0-14 วัน เป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มเริ่มคงตัว 14 วันหลังการทดสอบ ด้วยคุณสมบัติการรักษาความชื้นที่ดีกว่ายางธรรมชาติ และอี โมโนแซคคาไรด์ โดยวิธีการรดสามารถรักษาความชื้นได้สูง

ที่สุด สำหรับไฮเดรตไลม์พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นแตกต่างจากสารทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากคุณสมบัติของไฮเดรตไลม์เมื่อผสมกับดินจะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับอนุภาคของเม็ดดิน ความร้อนจากการทำปฏิกิริยาทำให้ความชื้นที่สูญเสียไปมากกว่าการใช้น้ำผสมดินลูกรังบดอัด

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นหลังการปรับสภาพดินลูกรังบดอัดด้วยสารผสมเพิ่ม

ชนิดของสารผสมเพิ่ม	วิธีการใช้งาน	ค่าปริมาณความชื้นของดิน (%) หลังจากการราดสารเคมีเวลาผ่านไป (วัน)					
		0	1	3	7	14	28
น้ำ (ผสม)	A	11.06	7.03	6.10	4.11	3.34	3.27
ยางธรรมชาติ	A	12.86	10.78	8.42	6.18	4.77	4.3
โมโนแซคคาไรด์	A	10.97	8.79	7.45	4.93	3.76	3.12
แมกนีเซียมคลอไรด์	A	11.96	10.21	7.26	5.07	4.41	3.85
Hydrated Lime	A	13.22	8.47	6.74	4.88	3.59	3.42
ยางธรรมชาติ	B	13.19	10.48	7.54	5.44	4.57	4.11
โมโนแซคคาไรด์	B	13.87	11.06	9.71	7.45	5.78	5.64
แมกนีเซียมคลอไรด์	B	11.63	8.40	6.52	4.37	3.54	3.48
Hydrated Lime	B	12.77	10.8	9.05	6.94	4.36	4.22

หมายเหตุ

^A ผสมกับดินลูกรังปริมาณการใส่เท่ากับปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการบดอัด ความเข้มข้นของสารร้อยละ 12.5 โดยมวลต่อปริมาตร

^B ราดลงบนพื้นผิวดินลูกรังที่บดอัดเรียบร้อยแล้วด้วยอัตราการราด 5 ลิตรต่อตารางเมตร ความเข้มข้นของสารเท่ากับวิธีการ A

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่เหลืออยู่หลังการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม

ชนิดของสารผสมเพิ่ม	วิธีการใช้งาน	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน * หลังจากการราดสารเคมีเวลาผ่านไป (วัน)						เปอร์เซ็นต์ความชื้นคง สภาพเปรียบเทียบกับ การใช้น้ำผสม ^c
		0	1	3	7	14	28	
น้ำ(ผสม)	A	100.00	63.56	55.15	37.16	30.20	29.57	0.00
ยางธรรมชาติ (ผสม)	A	100.00	83.83	65.47	48.06	37.09	33.44	3.87
โมโนแซคคาไรด์ (ผสม)	A	100.00	80.10	67.90	44.90	34.30	28.40	-1.17
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ผสม)	A	100.00	85.37	60.70	42.39	36.87	32.19	2.62
Hydrated Lime (ผสม)	A	100.00	64.07	50.98	36.91	27.16	25.87	-3.70
ยางธรรมชาติ (ราด)	B	100.00	79.45	57.16	41.24	34.65	31.16	1.59
โมโนแซคคาไรด์ (ราด)	B	100.00	79.74	70.01	53.71	41.67	40.66	11.09
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ราด)	B	100.00	72.23	56.06	37.58	30.44	29.92	0.35
Hydrated Lime (ราด)	B	100.00	84.60	70.90	54.30	34.10	33.00	3.43

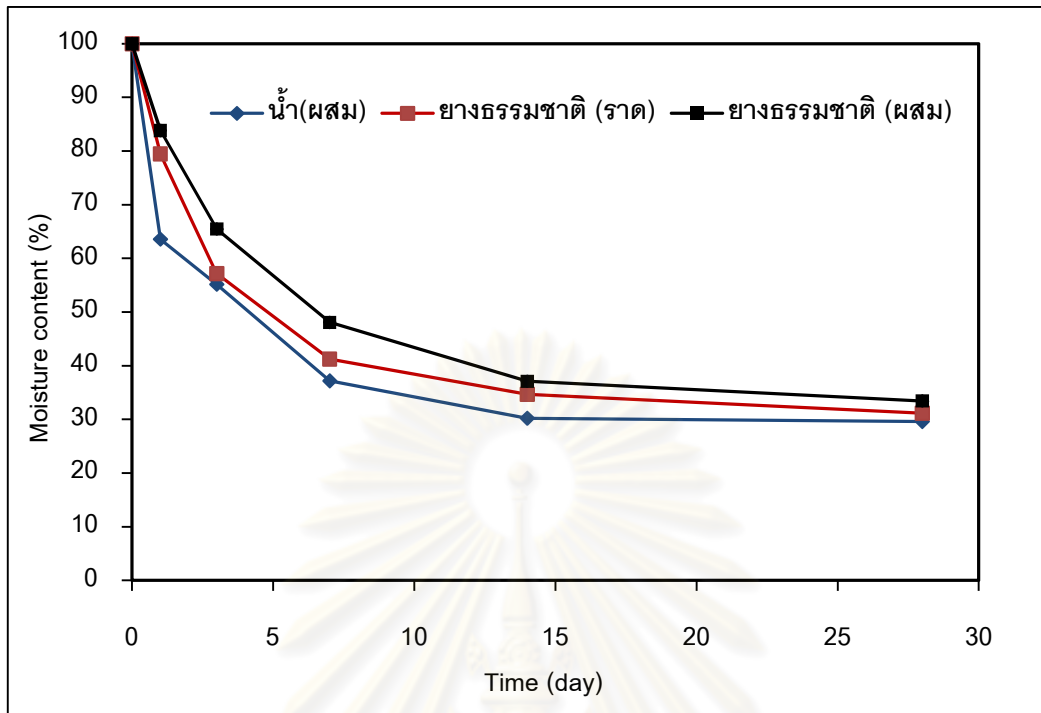
หมายเหตุ

^A ผสมกับดินลูกรังปริมาณการใช้เท่ากับปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการบดอัด ความชื้นชั้นของสารร้อยละ 12.5 โดยมวลต่อปริมาตร

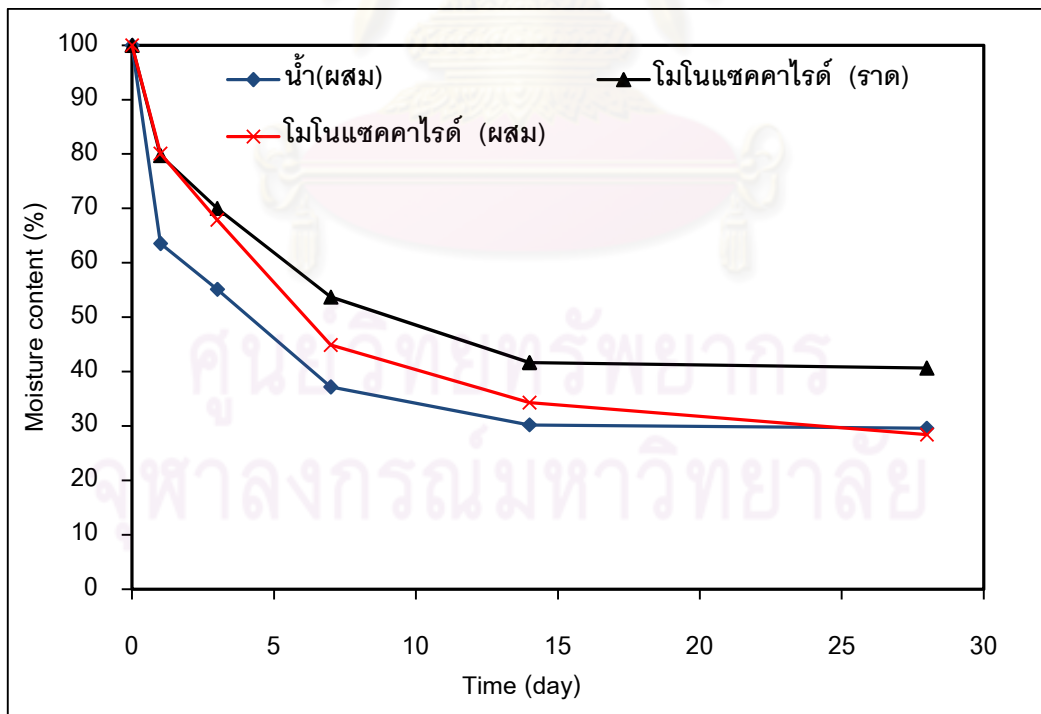
^B ราดลงบนพื้นผิวดินลูกรังที่บดอัดเรียบร้อยแล้วด้วยอัตราการราด 5 ลิตรต่อตารางเมตร ความชื้นชั้นของสารเท่ากับวิธีการ A

^C (%) ความชื้นคงสภาพเปรียบเทียบกับการใช้น้ำผสม = ปริมาณความชื้นของดินหลังการปรับสภาพด้วยสารที่ 28 วัน (%) - ปริมาณความชื้นของดินบดอัดด้วยน้ำที่ 28 วัน

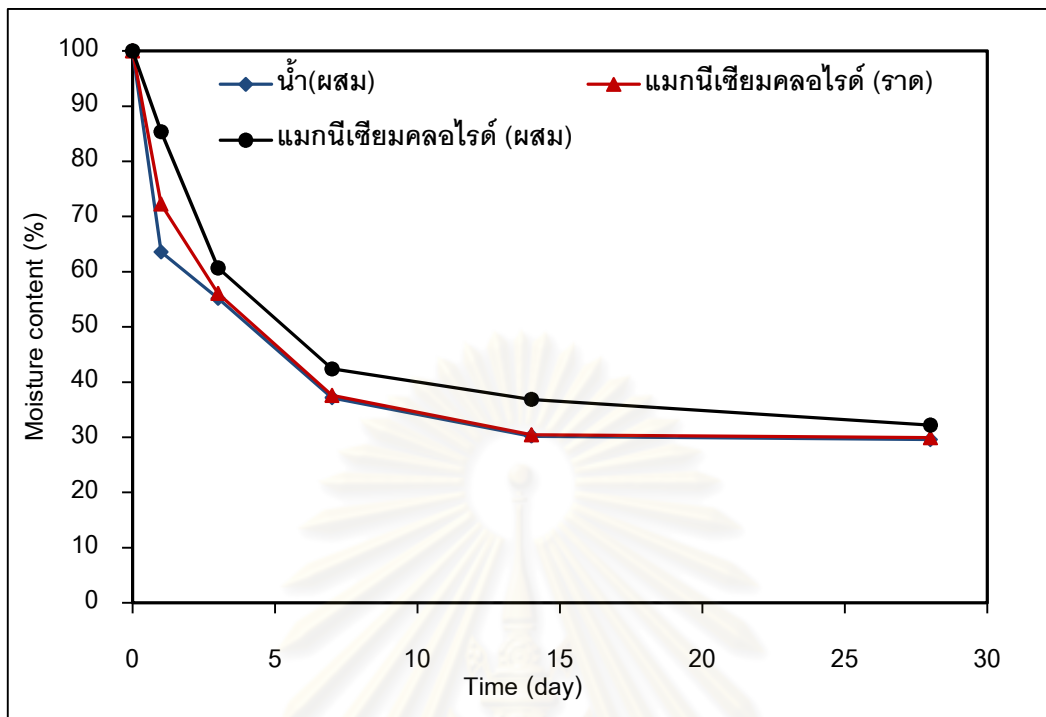
$$* \text{ สัดส่วนความชื้นที่คงเหลือ (\%)} = \left(\frac{\text{ปริมาณความชื้นของดิน ณ วันที่ใด ๆ}}{\text{ปริมาณความชื้นของดินวันที่ 0}} \right) \times 100$$



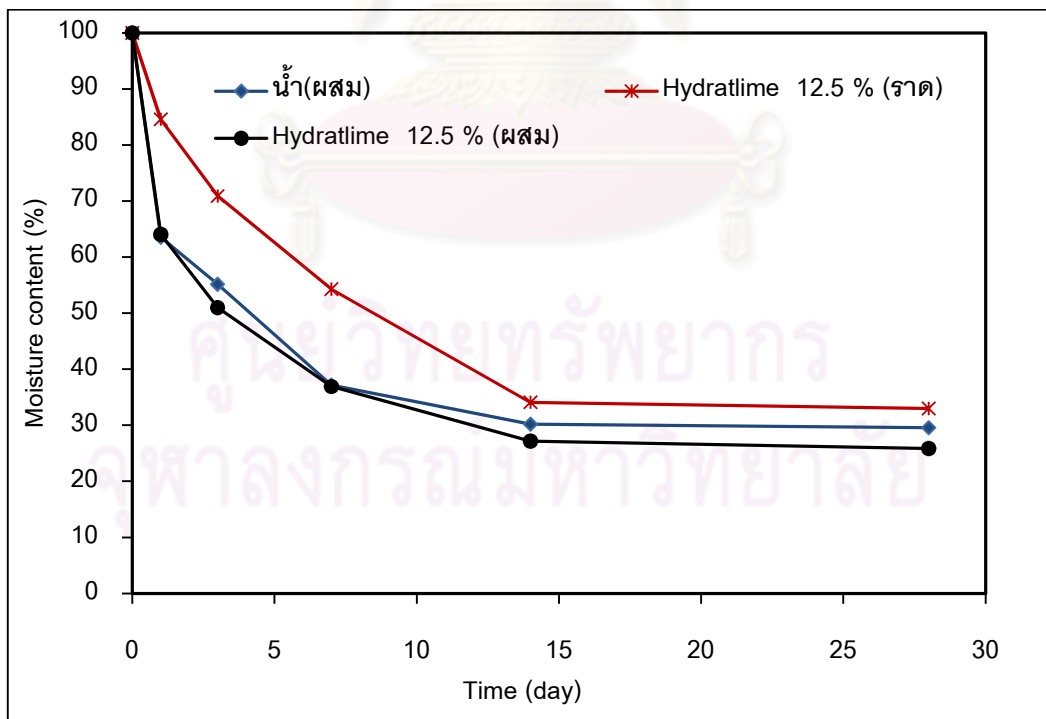
ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวดินของยางธรรมชาติกับเวลา



ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวดินของโมโนแซคคาไรด์ กับเวลา



ภาพที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวหนังของแมกนีเซียมคลอไรด์กับเวลา



ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผิวหนังของไฮเดรตไลม์กับเวลา

4.1.4 การศึกษาการผลของการหลุดร่อนอันก่อให้เกิดร่องล้อภายใต้สภาวะจำลองในการใช้งานจริง

การศึกษาผลของการหลุดร่อนของดินลูกรังหลังการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่มซึ่งมีผลต่อการเกิดร่องล้อ โดยใช้ค่าความเข้มข้น อัตราการใช้ และปริมาณสารผสมเพิ่ม ตามตารางที่ 3.2 ทำการการเก็บปริมาณดินลูกรังที่เกิดการหลุดร่อนด้วยเครื่องดูดฝุ่น ณ รอบการทดสอบ ตามตารางที่ 3.3 เพื่อหาน้ำหนักดินหลุดร่อนสะสมและประสิทธิภาพการลดปริมาณการหลุดร่อนของดินลูกรังหลังการปรับสภาพที่ทดสอบ 12,000 รอบ พบว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพในการต้านทานการหลุดร่อนขึ้นอยู่กับวิธีการและความเหมาะสมในการใช้งาน นั้นเพราะคุณสมบัติเฉพาะของสารที่ต่างต่างกัน โดยผลการศึกษาที่ได้สรุปดังตารางที่ 4.5 และ 4.6



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณดินหลุตร่อนสะสมหลังล้อยิ่งผ่าน

ชนิดของสารผสมเพิ่ม	วิธีการใช้งาน	อัตราการใช้งาน	ปริมาณดินหลุตร่อนสะสม (กรัม)						
			หลังล้อยิ่งผ่าน $\times 10^3$ (รอบ)						
			0	2	4	6	8	10	12
น้ำ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	0.00	1238.03	4158.23	7638.92	10366.01	14393.06	16653.90
ยางธรรมชาติ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	0.00	204.91	823.48	1512.82	4388.77	8330.45	11443.22
โมโนแซคคาไรด์ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	0.00	1516.62	2793.74	5931.37	9299.02	11602.21	15016.96
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	0.00	1293.00	2830.00	4078.00	6199.00	8669.00	10801.00
Hydrated Lime (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	0.00	748.89	1940.52	2369.13	4130.67	6114.44	7711.13
ยางธรรมชาติ (ลาด)	ลาด	5 ลิตร/ตรม.	0.00	905.60	2003.62	3345.15	5503.22	7687.82	9744.62
โมโนแซคคาไรด์ (ลาด)	ลาด	5 ลิตร/ตรม.	0.00	1524.00	3270.56	5356.77	7575.37	10090.57	11678.17
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ลาด)	ลาด	5 ลิตร/ตรม.	0.00	343.83	2030.01	3961.11	5670.84	6636.39	8492.13
Hydrated Lime (ลาด)	ลาด	5 ลิตร/ตรม.	0.00	1318.80	2995.56	4535.73	7008.48	10333.74	12392.01

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพของการลดการหลุดร่อนของดินลูกรังบดอัดปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม

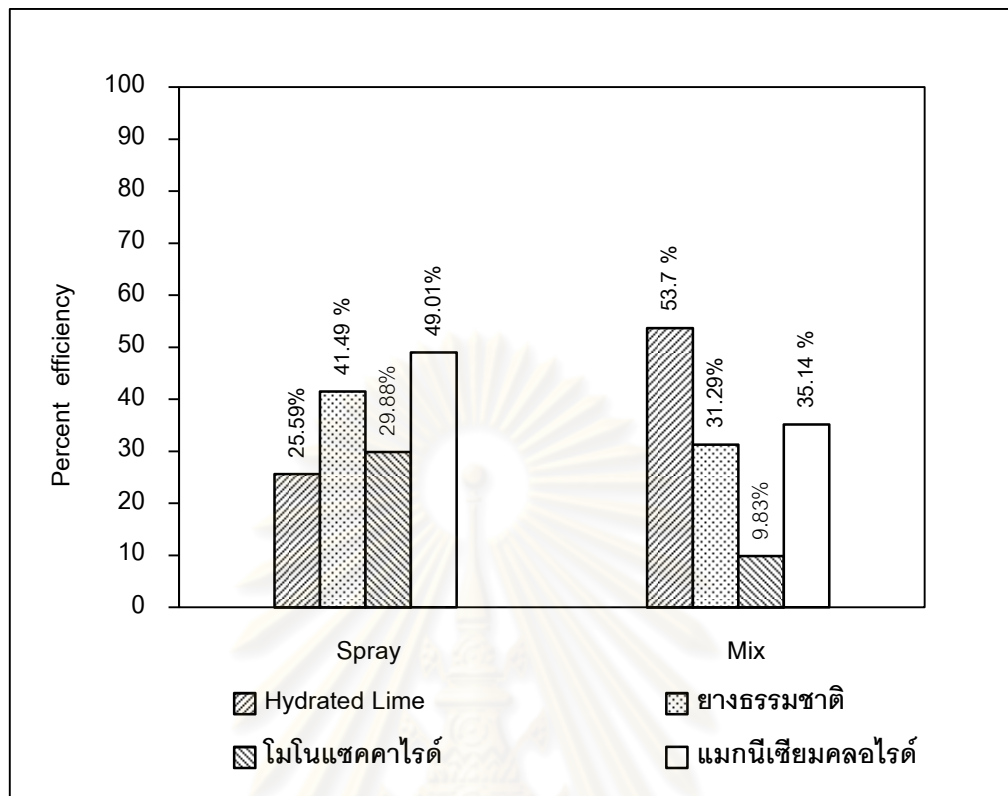
ชนิดของสารผสมเพิ่ม	วิธีการใช้งาน	อัตราการใช้งาน	(%) ประสิทธิภาพการลดปริมาณการหลุดร่อนของดิน ณ เวลาการทดสอบ 12000 รอบ หลังการทดสอบ
น้ำ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	0.00
ยางธรรมชาติ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	31.29
โมโนแซคคาไรด์ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	9.83
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	35.14
Hydrated Lime (ผสม)	ผสม	12.5 % by weight	53.70
ยางธรรมชาติ (ราด)	ราด	5 ลิตร/ตรม.	41.49
โมโนแซคคาไรด์ (ราด)	ราด	5 ลิตร/ตรม.	29.88
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ราด)	ราด	5 ลิตร/ตรม.	49.01
Hydrated Lime (ราด)	ราด	5 ลิตร/ตรม.	25.59

หมายเหตุ

(%)ประสิทธิภาพการลดการหลุดร่อน =

$$\left(1 - \frac{\text{ปริมาณดินหลุดร่อนสะสมจากผิวทางหลังการปรับสภาพด้วยสารที่ 12,000 รอบการทดสอบ}}{\text{ปริมาณดินหลุดร่อนสะสมจากผิวทางที่ใช้น้ำผสมบดอัดที่ 12,000 รอบการทดสอบ}} \right) \times 100$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพในการลดการเกิดร่องล้อของสารผสมเพิ่มแต่ละชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาหาประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มในการลดการเกิดร่องล้อของพื้นผิวถนนลูกรังบดอัดแน่นโดย โดยใช้เครื่องทดสอบจำลองการเกิดร่องล้อซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาในเรื่องของพฤติกรรมการเกิดร่องล้อหลังการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม ผลจากน้ำหนักบรรทุก การหลุดร่อนอันก่อให้เกิดร่องล้อ การเปลี่ยนแปลงความความชื้นของดินลูกรังบดอัดภายหลังจากการปรับสภาพ รวมทั้งการประเมินค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพของงานในภาคสนามเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับการบดอัดดินลูกรังด้วยน้ำเป็นมาตรฐานอ้างอิง

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความลึกของร่องล้อและลักษณะของหน้าตัดความลึกของร่องล้อภายหลังจากการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่มแต่ละชนิด พบว่าลักษณะการเกิดร่องล้อของพื้นผิวถนนหลังการปรับสภาพด้วย ยางธรรมชาติ, โมโนแซคคาไรด์, แมกนีเซียมคลอไรด์และไฮเดรตไลม์ การเสื่อยรูปของพื้นผิวถนนเกิดจากการหลุดร่อนเกิดเนื่องจากการเฉือนของล้อรถและน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อพื้นผิวถนน และความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพของการบดอัด

5.1.2 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นและเวลา พบว่า สารชนิดเคลือบเม็ดดินซึ่งประกอบด้วย ยางธรรมชาติ, โมโนแซคคาไรด์, แมกนีเซียมคลอไรด์ สามารถรักษาความชื้นได้มากกว่าการบดอัดแบบธรรมดาโดยใช้น้ำ สำหรับไฮเดรตไลม์ผสมกับดินดินลูกรังพบว่า ปฏิกริยาไฮเดรชันระหว่างอนุภาคของเม็ดดินกับไฮเดรตไลม์ ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำสูงกว่าการบดอัดแบบธรรมดาโดยใช้น้ำ ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าสารผสมเพิ่มซึ่งทำปฏิกริยาไฮเดรชันกับอนุภาคของเม็ดดินเกิดการสูญเสียความชื้นมากกว่าสารชนิดเคลือบเม็ดดิน

5.1.3 จากข้อมูลของประสิทธิภาพในการลดการเกิดร่องลึพบว่า ยางธรรมชาติ, โมโนแซคคาไรด์, แมกนีเซียมคลอไรด์ และไฮเดรตไลม์ มีประสิทธิภาพในการช่วยลดการเกิดร่องลึได้ดีกว่าการบดอัดแบบธรรมดาโดยใช้น้ำผสมบดอัด 9.83-53.7 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมของสารผสมเพิ่ม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบต่อไป

5.1.2 ในการเลือกใช้สารผสมเพิ่มควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงของราคาของวัสดุเนื่องด้วยสารผสมเพิ่มบางชนิดต้นทุนวัสดุค่อนข้างสูง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมล สุทธิจันทร์นภา. การควบคุมฝุ่นละอองจากถนนที่ไม่ได้ปูผิวทาง.วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

จิรพัฒน์ โชติกไกร.การออกแบบทาง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546

นภดล กมลสินธุ์. การลดการหลุดร่อนของพื้นผิวลูกรังบดอัดแน่นโดยใช้สารเคมี. วิทยานิพนธ์
ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ศิริศักดิ์ จินดาพล. การปรับปรุงคุณภาพของดินในสภาพแห้งน้ำด้วยการใช้ปูนซีเมนต์และปูนขาว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

ภาษาอังกฤษ

Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.08. United States of America: American
Society for Testing Material, 1996

Das, B.M. 2002. Principles of Geotechnical Engineering. 5th ed. United States of America:
Brookes/Cole Thomson Learning

Hausmann, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. 1st. Singapore:
McGrow-Hill

Huang, Y.H. 2004. Pavement analysis and design. 2nd ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Perez, I., and Gallego J, 2009. Rutting prediction of a granular material for base layers of low-traffic roads. The ELSEVIER Journal: Construction and Building Materials, 24 (2010) : 340–345

Jun , Y., Haizhu ,L., Juan, C., Guochao, Q., Pan, W P., and Yang T., 2007. Evaluation of rutting resistance of asphalt pavements by circular road tracking test. Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference, SATC (2007) :767-777

Zakaria, M., and Leest, G.1996. Rutting characteristics of unbound aggregate layers. The ELSEVIER Journal: Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 3 : 185-189.

Zhong, W., Zhongjie ., and Mingjiang, T, 2010. Stabilizing blended calcium sulfate materials for roadway base construction .The ELSEVIER Journal: Construction and Building Materials, 24 (2010) : 1861-1868

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับสภาพพื้นผิวดินลูกรังบดอัดแน่น

การประเมินค่าราคาในการนำสารผสมเพิ่มไปใช้งานสำหรับงานทาง ค่าใช้จ่ายจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกค่าสารผสมเพิ่ม ประเภทที่สองเป็นค่าปฏิบัติงานในส่วนของงานสนาม ซึ่งได้แก่ ค่าแรงงาน และค่าเครื่องจักร สำหรับรายละเอียดการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในการปรับสภาพพื้นผิวดินลูกรังบดอัดด้วยสารผสมเพิ่ม แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวดินลูกรังบดอัดด้วยสารผสมเพิ่ม

รายการ	ยางธรรมชาติ	โมโนแซคคาไรด์	แมกนีเซียมคลอไรด์	ไฮเดรตไลม์	น้ำ
วิธีที่ 1 สารผสมเพิ่มราดลงบนพื้นผิวดินลูกรัง					
1.ค่าสารผสมเพิ่ม					
ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	12.50	12.50	12.50	12.50	-
อัตราการราดสาร (ลิตร/ตร.ม.)	5.00	5.00	5.00	5.00	-
ปริมาณสารผสมเพิ่ม (กิโลกรัม/ตร.ม.)	0.625	0.625	0.625	0.625	-
น้ำสำหรับผสม (กิโลกรัม/ตร.ม.)	4.38	4.38	4.38	4.38	-
ราคาสาร (บาท/กิโลกรัม)	155.00	12.00	22.00	15.00	-
ราคาราดสาร (บาท/ตร.ม.)	96.88	7.50	13.75	9.38	-
2.ค่าปฏิบัติงานในงานภาคสนาม					
ค่ารถบรรทุก (บาท/ชม.)	570.53	570.53	570.53	570.53	570.53
ค่ารถน้ำ (บาท/ชม.)	1,608.68	1,608.68	1,608.68	1,608.68	1,608.68
ค่าเครื่องจักร					
รถเกี่ยยดิน (บาท/ชม.)	886.09	886.09	886.09	886.09	886.09
ค่ารถบดอัดดิน (บาท/ชม.)	1,291.88	1,291.88	1,291.88	1,291.88	1,291.9
ค่าเครื่องจักรรวม (บาท/ตร.ม.)	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
ค่าแรงงาน (บาท/ตร.ม.)	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019

รวมค่าใช้จ่ายในงานภาคสนาม (บาท/ตร.ม.)	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด(บาท/(ตร.ม.)	99.80	10.42	16.67	12.30	2.92
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/กิโลเมตร)	598,793	62,543	100,043	73,793	17,543
วิธีที่ 2 สารผสมเพิ่มผสมดินลูกรัง					
1.ค่าสารผสมเพิ่ม					
ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	12.50	12.50	12.50	12.50	-
อัตราการผสม (% by weight)	12.50	12.50	12.50	12.50	-
ปริมาณสารผสมเพิ่ม (กิโลกรัม/ตร.ม.)	2.65	2.65	2.65	2.65	-
น้ำสำหรับผสม (กิโลกรัม/ตร.ม.)	18.55	18.55	18.55	18.55	-
ราคาสาร (บาท/กิโลกรัม)	155.00	12.00	22.00	15.00	-
ราคาราคาสาร (บาท/ตร.ม.)	410.75	31.80	58.30	39.75	-
2.ค่าปฏิบัติงานในงานภาคสนาม					
ค่ารถบรรทุก (บาท/ชม.)	570.53	570.53	570.53	570.53	570.53
ค่ารถน้ำ (บาท/ชม.)	804.34	804.34	804.34	804.34	804.34
ค่าเครื่องจักร					
รถเกี่ยดิน (บาท/ชม.)	886.09	886.09	886.09	886.09	886.09
ค่ารถบดอัดดิน (บาท/ชม.)	1291.88	1291.88	1291.88	1291.88	1291.9
ค่าเครื่องจักรรวม (บาท/ตร.ม.)	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
ค่าแรงงาน (บาท/ตร.ม.)	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
รวมค่าใช้จ่ายในงานภาคสนาม (บาท/ตร.ม.)	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ตร.ม.)	413.14	34.19	60.69	42.14	2.39
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/กิโลเมตร)	2,478,825	205,125	364,125	252,825	14,325

หมายเหตุ

คิดจากพื้นผิวจราจรกว้าง 6 เมตร, ไม่คิดราคาน้ำผสมสำหรับบดอัด, คิดปริมาณเวลาในการทำงาน 4 ชั่วโมงต่อ
งานถนน 1 กิโลเมตร (อ้างอิงจากหลักเกณฑ์การประเมินค่าจ้างแรงงานจากกรมทางหลวงชนบท, 2553)

การประเมินค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพด้วยสารผสมเพิ่ม ประกอบไปด้วย ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร อ้างอิงจากอัตราแรงงานขั้นต่ำ 224 บาทต่อเวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมง และค่าใช้จ่ายมาตรฐานเครื่องจักรกลกรมทางหลวงชนบท ปี 2553 ซึ่งตัวอย่างการประเมินค่าใช้จ่ายสรุปดังต่อไปนี้

1. ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายของไฮเดรตไลม์ (Hydrated Lime) ด้วยวิธีการ
ลาดลงบนผิวดินลูกรังบดอัด

ค่าเครื่องจักรกล		
รถบรรทุกกระบะ 4 ล้อ 6 ตัน	570.53	บาท/ชม.
รถบรรทุกน้ำ 6 ล้อ	1608.68	บาท/ชม.
รถเกลี่ยดิน	886.09	บาท/ชม.
รถบดอัดดิน	1,291.88	บาท/ชม.
รวมค่าเครื่องจักร	4,357.18	บาท/ชม.
ค่าแรงงาน	0.019	บาท/ตร.ม.
คิดการปฏิบัติงาน 4 ชั่วโมง/กม.	17,428.72	บาท/กม.
คิดค่าเครื่องจักรถนนกว้าง 6 เมตร	2.90	บาท/ตร.ม.
รวมค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน (ค่าแรงงาน+เครื่องจักรกล)		
รวม	2.92	บาท/ตร.ม.

2. ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายของไฮเดรตไลม์ (Hydrated Lime) ด้วยวิธีการ
ผสมลงบนผิวดินลูกรังบดอัด

ค่าเครื่องจักรกล		
รถบรรทุกกระบะ 4 ล้อ 6 ตัน	570.53	บาท/ชม.
รถบรรทุกน้ำ 6 ล้อ	408.34	บาท/ชม.
รถเกลี่ยดิน	886.09	บาท/ชม.
รถบดอัดดิน	1,291.88	บาท/ชม.

รวมค่าเครื่องจักร	3,552.84	บาท/ชม.
ค่าแรงงาน	0.019	บาท/ตร.ม.
คิดการปฏิบัติงาน 4 ชั่วโมง/กม.	14,211.36	บาท/กม.
คิดค่าเครื่องจักรถนนกว้าง 6 เมตร	2.37	บาท/ตร.ม.
รวมค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน (ค่าแรงงาน+เครื่องจักรกล)		
รวม	2.39	บาท/ตร.ม.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 มาตรฐานค่าใช้จ่ายเครื่องจักรกลกรมทางหลวงชนบท

ค่าใช้จ่ายมาตรฐานเครื่องจักรกล (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2553) กรมทางหลวงชนบท

ลำดับที่	ชนิดของเครื่องจักรกล (Types of equipment)	ขนาด แรงมา (Size/Hp.) (แรงมา)	อายุ เครื่องจักรกล (Year of Useful Life) (ปี)	เครื่องจักรกล หรือ รุ่นที่เทียบเท่า (Make/model)	ราคา เครื่องจักรกล (Delivered Prices) (บาท)	ค่าครอบครอง Owning Cost			ค่าใช้จ่ายปฏิบัติงาน Operating Cost						รวมค่าใช้จ่าย งานจัดทำเอง (บาท/ชม.)	
						ค่าลงทุน (Investment Cost) (บาท/ชม.)	ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost) (บาท/ชม.)	รวม ค่าครอบครอง (Total Owning Cost) (บาท/ชม.)	ค่า ซ่อมแซม (Repair Cost) (บาท/ชม.)	ค่าเชื้อเพลิง (Fuel Cost)		ค่า ล้อและบำรุงรักษา (Maintenance Cost) (บาท/ชม.)	ค่า ยาง (Tires Cost) (บาท/ชม.)	ค่า พนักงานขับ (Operator Wage) (บาท/ชม.)		(Repair Factor)
										(ลิตร/ชม.)	(บาท/ชม.)					
1	รถเกี่ยดิน (Motor Grader)	140-160	7	T500A,GD605,MG400,FG	3,890,000	125.22	311.11	436.33	272.22	17.67	627.21	94.08	29.91	85	0.700	1023.42
		120-135	7	440HF,118C,104H,T500	3,400,000	109.45	271.92	381.37	237.93	15.14	537.61	80.64	29.91	85	0.700	886.09
				710A,GD37												
		80-110	7	570A,104.330,GD31RC	2,500,000	80.48	199.94	280.42	174.95	10.10	358.41	53.76	29.91	85	0.700	617.03
2	รถบดอัดดิน(soil compactor)	210-230	7	815B,WF22A-2	3,000,000	96.57	239.93	336.50	209.94	26.50	940.82	141.12		60	0.700	1291.88
3	รถบรรทุกกระบะ (Flatbed truck)															
	6 ตัน 6 ล้อ	140-160	7	ISUZU HINO FUSO	1,350,000	31.05	77.14	108.19	54.00	17.67	627.21	94.08	21.28	60	0.560	796.58
	4 ตัน 6 ล้อ	100-120	7	ISUZU MITSUBISHI	920,000	21.16	52.57	73.73	36.80	12.62	448.01	67.20	18.52	60	0.560	570.53
	3 ตัน 6 ล้อ	90-100	7	ISUZU MITSUBISHI	790,000	18.17	45.14	63.31	31.60	11.36	403.21	60.48	11.55	60	0.560	506.84
	2 ตัน 6 ล้อ,4 ล้อ	80-90	7	ISUZU MITSUBISHI	750,000	17.25	42.86	60.11	30.00	10.10	358.41	53.76	11.55	60	0.560	453.72
4	รถบรรทุกน้ำ 6 ล้อ	140-160	7	TXD55,JCR,KR,TK,FM	1,460,000	33.58	83.43	117.01	58.40	17.67	627.21	94.08	24.64	60	0.560	804.34
	รถบรรทุกน้ำ 10 ล้อ	180-220	7	ISUZU HINO NISSAN	1,900,000	43.70	108.57	152.27	76.00	22.72	806.42	120.96	28.49	60	0.560	1031.87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิริชัย เพชรรุ่ง เกิดวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมธรณีเทคนิค ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาการศึกษาด้าน ปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย