สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ clc เพื่อใช้ทดแทนวัสดุชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีต

A CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE TO REPLACE CONCRETE ROAD SUBBASE

T144501

เจษฎา รัมมะวาส
ถิรพุทธิ์ กระจ่าง
ศุภกรณ์ เชิดชัย

1พ
จ755ก
2559

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 144501
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ค. 2559

b 1282026X
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE TO REPLACE CONCRETE ROAD SUBBASE

JEDSADA RAMMAWAS
TIRAPUT KRACHANG
SUPAKORN CHERDCHAI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ clc เพื่อใช้ทดแทนวัสดุชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีต

นักศึกษา	นายเจษฎา	รัมมะวาส	รหัสนักศึกษา 55010198
	นายถิรพุทธิ์	กระจ่าง	รหัสนักศึกษา 55010447
	นายศุภกรณ์	เชิดชัย	รหัสนักศึกษา 55011225
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์		

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง	

สถานที่สอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วันที่ 30 มีนาคม 2559

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร. นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

30 มี.ค. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ clc เพื่อใช้ทดแทนวัสดุชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีต

นายเจษฎา รัมมะวาส รหัสนักศึกษา 55010198
นายถิรพุทธิ์ กระจ่าง รหัสนักศึกษา 55010447
นายศุภกรณ์ เชิดชัย รหัสนักศึกษา 55011225
รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

เนื่องจากชั้นรองพื้นทางในปัจจุบันเป็น ดินลูกรังและหินคลุกซึ่งได้มีการใช้งานกันมานานแล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาวัสดุทดแทนชั้นรองพื้นทาง โดยผู้วิจัยได้เลือกคอนกรีตมวลเบาระบบ clc ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาถูกกว่าคอนกรีต และสามารถทำงานได้ไวและใช้แรงงานและเครื่องจักรน้อยกว่าดินลูกลังและหินคลุก โดยศึกษาสูตรส่วนผสม 2 สูตร คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 และ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่ 2.5 และ 1.5 และปริมาณโฟมที่ 40 และ 30 เปอร์เซ็นโดยปริมาตร จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาค่า ปัวซองเรโช กำลังวิบัติ และ ความล้าที่เกิดจากปริมาณการใช้งาน เพื่อนำมาออกแบบการคำนวณด้วยวิธีเปอร์เซ็นการใช้งานเพื่อหาความหนาของคอนกรีตมวลเบาที่นำไปทำชั้นรองพื้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE TO REPLACE CONCRETE ROAD SUBBASE

Mr.JEDSADA	RAMMAWAS	Student ID 55010198
Mr.TIRAPUT	KRACHANG	Student ID 55010447
Mr.SUPAKORN	CHERDCHAI	Student ID 55011225
Assoc.Prof.Suwat	Dhirasedh	Advisor

Civil Engineering

Civil Engineering

Academic Year 2015

Abstract

Due to base in present is laterite and crushed stone it use for long time ago, so in this project have objective for find material to replace concrete road base. And researcher choose cellular lightweight concrete that is cheaper than concrete and it can work faster, use less worker and use less machine than laterite and crushed stone. And study about 2 formulas are water to cement (W/C) ratio at 0.5,0.65. Sand to cement (S/C) ratio at 2.5,1.5 and foam proportion at 40,30% of proportion. And then test for find the Poisson's ratio, Ultimate load, fatigue from percent use to design by percent use for find the thickness of cellular lightweight concrete to make base.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง อีกทั้งยังจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงงานนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงงาน รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

เจษฎา รัมมะวาส
ถิรพุทธิ์ กระจ่าง
ศุภกรณ์ เชิดชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1
1.4 วิธีการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 คอนกรีตมวลเบา 3
2.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตมวลเบา 3
2.1.2 ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งาน 4
2.1.3 คอนกรีตมวลเบาระบบCLC 4
2.2 งานถนน 4
2.2.1 ชนิดของถนนแบ่งได้ตามชนิดของผิวทางเป็น 3 ชนิด 5
2.2.2 ชั้นรองพื้นทาง 5
2.3 การทดลองแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช 6
2.4 โมดูลัสความยืดหยุ่น 7
2.5 แรงเค้น 7
2.6 ความเครียด 8
2.7 อัตราส่วนปัวซอง 8
2.8 โมดูลัสการแตกหัก 8
2.9 โมดูลัสการต้านแรงของดิน 8
2.10 Relative stiffness of slab 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11 หน่วยแรงที่เกิดในแผนคอนกรีต....9
2.11.1 หน่วยแรงที่เกิดในแผนคอนกรีต เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิ....9
2.11.2 แรงฝืดระหว่างคอนกรีตกับผิวดิน....9
2.11.3 หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักล้อ....10
2.12 วิธีออกแบบถนนตามวิธี Portland Association....11
2.12.1 ความล้าของคอนกรีต....11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย....13
3.1 การออกแบบการทดลอง....13
3.2 วิธีการผลิตและการทดสอบคอนกรีตมวลเบา....13
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ....13
3.2.2 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตมวลเบา....16
3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบ....18
3.3 วิธีการคำนวณ....20
3.4 วิธีการออกแบบความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาระบบ clc....21

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล....22
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ clc....22
4.1.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาที่ 3 7 14 28 วัน....22
4.1.2 ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองเรโช ของคอนกรีตมวลเบา....22
4.1.3 ผลการทดสอบโมดูลัสการต้าน (ค่า k)....23
4.1.4 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ (ความล้า)....23
4.2 ตัวอย่างการคำนวณตามวิธีออกแบบถนนตามวิธี Portland Association....25
4.3 การเปรียบเทียบชั้นรองทั้งสอบแบบเมื่อนำมาออกแบบ....29
4.4 การเปรียบเทียบชั้นรองทั้งสองแบบทางด้านเศรษฐศาสตร์....36
4.4.1 สมการกำหนดราคาต้นทุนคอนกรีตมวลเบา....36
4.4.2 ราคาต้นทุนคอนกรีตมวลเบาที่ส่วนผสมที่ศึกษา....37
4.4.3 ราคาต้นทุนของงานดินลูกรังบดอัดแน่น....38
4.4.4 เปรียบเทียบราคาชั้นรองพื้นทาง....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุป..... 41
5.1 ความสามารถในการทดแทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทาง.....41
5.2 ความคุ้มค่าของเงินทุนในการก่อสร้าง.....42
5.3 ข้อเสนอแนะ.....42

เอกสารอ้างอิง..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่า standard unit load.....6
2.2 คุณสมบัติของดินอย่างคร่าว ๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นต่างๆ.....7
2.3 ค่า Stress Ration และจำนวนครั้งการบดทับของล้อรถของคอนกรีต.....12
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาที่ 3 7 14 28 วัน.....22
4.2 ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองเรโช ของคอนกรีตมวลเบ.....22
4.3 ผลการทดสอบโมดูลัสการต้านแรงของดิน (ค่า k).....23
4.4 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติของคอนกรีตมวลเบา.....24
4.5 ค่า Stress Ration และจำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ ของคอนกรีตมวลเบา.....25
4.6 ข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ย คัน / วัน บนทางหลวงในเส้นแยก
คปอ. – สนามกีฬาธูปะเตมีย์ ปี 2558.....26
4.7 ความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางของทางหลวงในเส้นแยก
คปอ. – สนามกีฬาธูปะเตมีย์ที่ออกแบบได้.....26
4.8 ตัวอย่างการคำนวณหาความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตร 1.....27
4.9 ตัวอยากการคำนวณหาความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตร 2.....28
4.10 ตัวอย่างการคำนวณหาความหนาของผิวทาง
โดยใช้ชั้นรองพื้นทางเป็นดินลูกรัง cbr เท่ากับ 25%.....29
4.11 ตารางแนะนำการออกแบบความหนาของชั้นโครงสร้างทาง.....30
4.12 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่1ตามตารางที่ 4.11....31
4.13 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่2ตามตารางที่ 4.11....32
4.14 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่1ตามตารางที่ 4.11....33
4.15 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่2ตามตารางที่ 4.11....35
4.16 ตารางเปรียบเทียบความหนา.....36
4.17 ตารางเปรียบเทียบราคาของชั้นรองพื้นทางแต่ละประเภท.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป หน้า

3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 14
3.2 น้ำสะอาด 14
3.3 ทราย 14
3.4 น้ำยาโฟม 14
3.5 โม่ผสมคอนกรีต 15
3.6 ปั้มลม 15
3.7 ปั้มน้ำ 15
3.8 หัวฉีดโฟม 15
3.9 แบบหล่อมาตรฐานทรงกระบอก 16
3.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก 16
3.11 ตู้อบ 16
3.12 เตรียมส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา 17
3.13 นำส่วนผสมไปผสมในโม่ 17
3.14 เกลี่ยคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อ 17
3.15 การทดสอบกำลังวิบัติ 18
3.16 การบดอัดดิน 18
3.17 การทดสอบ CBR 19
3.18 การทดสอบหาความล้า 19
3.19 การทดสอบปัวซองเรโช 20
4.1 กราฟอัตราส่วนปัวซองเรโชของสูตรที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 22
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของสูตรที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 23
4.3 กราฟจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ 24
4.4 กราฟเปรียบเทียบแนวโน้มจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ
ของคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 กับคอนกรีต 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในอดีตปัจจุบันทั่วโลกนิยมใช้วัสดุชั้นรองพื้นทางเป็นดินลูกรังและไม่ได้เปลี่ยนมาเป็นเวลานานแล้ว เนื่องจากวัสดุดังกล่าวยังใช้งานได้ดี จึงไม่มีการเปรียบเทียบทั้งในด้านความแข็งแรงและต้นทุนกับวัสดุอื่นๆ ทั้งนี้จึงได้มีแนวคิดนี้ขึ้น และซึ่งคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างสมัยใหม่ ด้วยคุณที่มีน้ำหนักเบาและราคาถูก สะดวกรวดเร็ว และมีคุณภาพที่ควบคุมได้มากกว่าดินลูกรัง แต่ทั้งนี้คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อเสียคือ มีการหดตัวมากและแตกร้าวง่าย

คำถามจึงเกิดขึ้นว่าคอนกรีตมวลเบาระบบ clc จะสามารถแทนชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีตแบบเก่าได้อย่างไร ซึ่งโดยทั่วไปชั้นรองพื้นทางจะใช้มวลคละมาเท แล้วบดอัด ซึ่งทำให้เสียเวลาในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายจากการใช้เครื่องจักร และความแข็งแรงที่ไม่แน่นอน จึงมีความคิดว่าคอนกรีตมวลเบาสามารถแก้ปัญหานี้ได้ ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุจากคอนกรีตมวลเบาสามารถเลือกส่วนผสมได้ จากปูนซีเมนต์ น้ำ ทราย และฟองโฟม สามารถเลือกเพิ่มหรือลดส่วนผสมให้เหมาะสมกับค่ากำลังที่ออกแบบไว้ ทำงานได้สะดวกและรวดเร็ว ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้เครื่องจักร มีความแข็งแรงที่แน่นอนกว่า

การศึกษานี้จึงมีจัดทำเพื่อศึกษาว่าคอนกรีตมวลเบาระบบ clc สามารถนำมาใช้แทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีตได้ดีหรือเหมาะสมมากน้อยเท่าไร ในแต่ละด้าน ได้แก่ ความแข็งแรง ความสามารถของวัสดุที่ยืดออกได้โดยไม่เกิดการแตกหักเสียหาย ความล้า ราคาต้นทุน

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ clc สามารถนำมาใช้แทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีตทางด้านวิศวกรรม อันได้แก่ ความแข็งแรง ความล้า

2) สามารถออกแบบความหนาผิวทางคอนกรีตและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาระบบ clc ได้

3) เพื่อศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ clc สามารถนำมาใช้แทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทางถนนคอนกรีตทางด้านเศรษฐศาสตร์ อันได้แก่ ได้ ความเหมาะสมขอราคาต้นทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา โดยมีคุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงอัดเมื่อมีการบีบรัดด้านข้าง จำนวนครั้งในการรับการบดอัดเมื่อรับกำลังไม่ถึงกำลังวิบัติ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวซองเรโช ทำการทดสอบทั้งหมด 2 สูตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และ ปริมาณฟองโฟมประกอบด้วยสูตร 1. (C0.65/2.5/40) 2. (C0.5/1.5/30)

2) เปรียบเทียบความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางที่ได้จาการออกแบบ กับชั้นรองพื้นทางระบบเดิม เพื่อคำนวณพิจารณาความคุ้มค่าในการก่อสร้าง

1.4 วิธีการศึกษา

1) ทบทวนงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ clc และ หาข้อมูลเบื้องต้นงานทางด้านถนนคอนกรีต

2) เลือกใช้สัดส่วนผสมต่างๆของคอนกรีตมวลเบาที่เหมาะสมกับการทดลอง

3) ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา โดยมีคุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงอัดเมื่อมีการบีบรัดด้านข้าง จำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ (ความล้า) ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และ อัตราส่วนปัวซองเรโช

4) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวนเพื่อหาความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาระบบ clc

5) เปรียบเทียบความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางที่ได้จาการออกแบบ กับชั้นรองพื้นทางระบบเดิม เพื่อคำนวณพิจารณาความคุ้มค่าในการก่อสร้าง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถคำนวณความหนาของผิวทางคอนกรีตและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาระบบ clc ได้

2) ชั้นรองพื้นทางระบบ clc นี้จะสามารถทดแทนชั้นรองพื้นทางระบบเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาคือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนา โดยวิศวกรชาวสวีเดนในช่วงปี ค.ศ. 1920 – 1932 เพื่อให้เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับใช้ในงานก่อสร้างทั้งภายในและภายนอกอาคารขึ้น ใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้น ด้วยคุณสมบัติพิเศษที่เป็นผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบาและสามารถป้องกันความร้อนได้ดีทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน ทนต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส ได้นาน 4 ชั่วโมง และสามารถป้องกันความร้อนได้ดี กว่าผนังอิฐมอญ 6-8 เท่า และคอนกรีตบล็อกทั่วไป 2-4 เท่า ทำให้ประหยัดพลังงาน

2.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตมวลเบา

1) ความแข็งแรง ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าประมาณ 10 ถึง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นคอนกรีตมวลน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง ซึ่งมีกำลังต้านทานแรงอัด 100 ถึง 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเบาทั่วไปอาจทำให้สูงขึ้น โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมน้ำหนักเบา แต่จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงกว่า

2) ความคงทน คอนกรีตมวลเบาทั่วไปไม่สามารถทนการกัดกร่อนจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพและการกระทบกระแทกจากแรงภายนอกเนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่มีสารจำพวกซัลเฟตเจือปนอยู่หรือในสภาพดินชื้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

3) การหดตัว คอนกรีตมวลเบามีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5 – 40 % แต่คอนกรีตคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่งเป็นผลจากดินเผา ดินดานหรือตะกรันจะหดตัวน้อยลง

4) การนำความร้อน คอนกรีตมวลเบาเป็นตัวนำความร้อนที่เลว เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีโพรงอากาศมากทำให้คอนกรีตมวลเบาดูดซึมความร้อนได้ไม่ดี

5) หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่น ประมาณ 300 – 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6) การดูดซึมน้ำ คอนกรีตมวลเบามีการดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ความสามารถเทได้ ในปริมาณความสามารถเทได้ที่เท่ากัน คอนกรีตมวลเบาจะมีค่าการยุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

8) การทนไฟ คอนกรีตมวลเบามีความต้านทานเพลิงไหม้ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

9) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบาประมาณ 7 x 106 ถึง 14 x 106 ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

2.1.2 ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งาน

1) การแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือการจี้เขย่ามากเกินไป คอนกรีตจะเกิดการแยกตัว มวลรวมที่หนักจะตกไปกองอยู่ก้นแบบ และ น้ำจะเยิ้มออกมาสู่ผิวหน้าคอนกรีตมาก ทำให้การแต่งผิวหน้าทำได้ยากขึ้น

2) การดูดซึมน้ำของมวลรวมจะมาก ดังนั้นในการออกแบบสัดส่วนผสมต้องนำปัจจัยนี้มาพิจารณารวมทั้งกำหนดวิธีการผสม

3) การผสมต้องผสมให้ถูกวิธี ถ้าใช้เวลาในการผสมที่นานเกินไปอาจทำให้มวลรวมเบาแตกได้

2.1.3 คอนกรีตมวลเบาระบบCLC

คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เป็นคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบแต่ใช้ฟองอากาศหรือเนื้อโฟมเหลวที่ผลิตโดยวิธี Pre-Formed Foam เติมในส่วนผสมเพื่อลดความหนาแน่นของคอนกรีต (กฤษณ์ ,2553)

คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete, CLC) คือคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบ (นัฐวุฒิ, 2550) กล่าวคือเป็นการผลิตโดยใช้การผสมฟองอากาศหรือเนื้อโฟมเหลวคงรูปที่มีลักษณะฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่องกันในส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตมีความหนาแน่นลดลงซึ่งคุณสมบัติฟองอากาศนี้ต้องสามารถคงรูปอยู่ได้ระหว่างการผสมการเทจนกระทั่งสามารถถอดแบบได้ (ชยันต์, 2542) ซึ่งคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาแน่นหรือปริมาณฟองอากาศที่เติมเข้าไป(แก้วตา, 2550) คอนกรีตระบบเซลลูล่าจะมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตปกติแต่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนเสียงและทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตปกติและสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างหรืองานโครงสร้างอาคารทั้งภายในและภายนอกซึ่งสามารถผลิตได้ในสถานที่ทำงานหรือกระบวนการผลิตแบบโรงงานด้วยเช่นกัน

2.2 งานถนน

โครงสร้างงานถนนหรือโครงสร้างชั้นทาง (Pavement Structures) หมายถึง ส่วนของถนนที่มีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักยวดยานต่าง ๆ ที่แล่นผ่านไปมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ น้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถบรรทุกขนาดใหญ่ ปกติจะก่อสร้างกันเป็นชั้นๆ ตั้งแต่ส่วนล่าง ซึ่งอาจใช้วัสดุคุณภาพต่ำแล้วค่อยๆ ใช้วัสดุคุณภาพดีขึ้น จะทำให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามลำดับ จนถึงชั้นที่มีคุณภาพสูงสุดในชั้นผิวทาง (Surface Course) โครงสร้างถนนในประเทศไทยนั้น จะเริ่มตั้งแต่การปรับปรุงบดอัดดินเดิม (Natural Subgrade) แล้วจะขึ้นมาชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Materials) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ชั้นพื้นทาง (Base) และชั้นผิวทาง (Surface) ตามลำดับ

2.2.1 ชนิดของถนนแบ่งได้ตามชนิดของผิวทางเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) ถนนคอนกรีตเสริมเหล็กถนนชนิดนี้เป็นถนนที่ใช้เวลาสร้างนานใช้ต้นทุนการสร้างสูง คงทน แข็งแรงสูงมาก และแทบจะไม่มีข้อเสียเลย

2) ถนนลาดยางแอสฟัลท์ถนนลาดยางจัดว่าเป็นถนนที่มีทั้งข้อดีและข้อเสีย พอๆกัน นั่นคือ ข้อดีคือ ราคาไม่แพง และสร้างได้รวดเร็ว อยู่ได้นานพอสมควร แต่มีข้อเสียคือ หากพื้นถนนเสียแล้วต้องทำการลาดใหม่ เพราะจะเป็นคลื่นซึ่ง ทำให้รถใช้ถนนนี้ได้ยากมาก

3) ถนนผิวจราจรลูกรังไม่ต้องมีการบำรุงรักษามากนัก เพียงแต่ทำให้พื้นถนนเรียบให้ได้มากที่สุด ค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อเสียหลักๆ คือมีฝุ่นเยอะมาก

2.2.2 ชั้นรองพื้นทาง

ชั้นรองพื้นทาง เป็นชั้นของถนนที่ต้องรับน้ำหนักของชั้นทางอื่น ๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป ทั้งยังต้องรับน้ำหนักของรถต่าง ๆ ด้วย ดังนั้น วัสดุที่ใช้จึงต้องมีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่าวัสดุในชั้นต่าง ๆ ที่อยู่ข้างล่างโดยทั่วไปมักใช้ดินลูกรัง (Soil Aggregate) เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง ซึ่งปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale รากไม้ หรือวัชพืชอื่นๆ มีค่าขีดเหลวไม่มากกว่า 35 ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกไม่มากกว่า 11 ตามการทดสอบที่ มทช.(ท) 501.5-2545 และ มทช.(ท) 501.6-2545 มีการสึกหรอเมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ มทช. (ท) 501.9-2545 ไม่มากกว่าร้อยละ 60 มีขนาดวัสดุใหญ่สุดไม่โตกว่า 50 มม. มีขนาดมวลคละผ่านตะแกรงตาม มทช. 202-2545 เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ มทช.(ท) 501.8-2545 สำหรับการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางนี้ มีกรรมวิธีคือ ลงวัสดุเป็นชั้น ๆ ตามความหนาที่ต้องการ โดยจะต้องเผื่อความหนาเมื่อวัสดุถูกบดอัดแน่นด้วย เนื่องจากความหนาที่ระบุในแบบนั้น เป็นความหนาหลังจากที่บดอัดจนมีความหนาแน่นตามต้องการแล้ว เมื่อลงวัสดุแล้วจึงตรวจสอบ และฉีดน้ำให้ได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากดินลูกรังในชั้นรองพื้นทางนี้ เป็นส่วนผสมของวัสดุลูกรังหรือมวลรวมดิน จึงต้องระมัดระวังอัตราส่วนของน้ำ อย่าให้มากหรือน้อยไป เมื่อปรับวัสดุชั้นนี้ จนได้รูปร่างตามที่ต้องการแล้ว จึงทำการบดอัด จนได้ความแน่นไม่น้อยกว่า 95% ของ 19 ความแน่นแห้งสูงสุด ตามวิธีการทดสอบที่ มทช.(ท) 501.4-2545 และเมื่อบดอัดแน่นแล้วจะต้องรับแรงกดหรือมีค่า CBR. ไม่น้อยกว่า 25% หรือตามที่แบบกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในถนนคอนกรีตนั้นชั้นคอนกรีตจะทำหน้าที่หลักในการถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินเดิม จึงทำหน้าที่เป็นชั้นพื้นทางไปในตัว ชั้นวัสดุที่อยู่ใต้ชั้นคอนกรีตจึงเป็นส่วนประกอบของถนนคอนกรีตส่วนหนึ่ง การเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางเพื่อเพิ่มกำลังของถนนคอนกรีตจะไม่ค่อยมีผลมากนัก อย่างไรก็ตามชั้นรองพื้นทางของถนนคอนกรีตมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- เป็น Working Platform สำหรับเครื่องจักรในการก่อสร้าง
- เพื่อให้การรองรับแผ่นคอนกรีตมีความเรียบ, สม่ำเสมอ
- ลดการแอ่นตัวของแผ่นคอนกรีต
- เพื่อป้องกันการเกิด Pumping บริเวณรอยต่อ

2.3 การทดลองแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช (California Bearing Ratio)

CBR test เป็นวิธีการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum moisture content) โดยการใช้ท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Unit load มาตรฐานที่ได้จากการทดลองกด piston ขนาดเดียวกันนี้บนหินที่ compact แน่นที่ความลึกของ penetration เท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า “เปอร์เซ็นต์ CBR” เทียบอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Standard Unit load เขียนเป็นสมการของอัตราส่วนได้ดังนี้

$$CBR = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100\% \qquad (2.1)$$

ค่า standard unit load ซึ่งได้จากการทดลองกดท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) มีพื้นท่าหน้าตัด 3 ตารางนิ้ว

ตารางที่ 2.1 ค่า standard unit load

Penetration (in)	Unit load (psi)
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า %CBR โดยทั่วไปแล้ว จะใช้ค่าอัตราส่วนของแรงกดที่ความลึก 0.1 นิ้ว แต่ถ้าผลปรากฏออกมาว่า %CBR ของแรงกดที่ความลึก 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ความลึก 0.1 นิ้ว การทดลองควรจะต้องกระทำซ้ำอีกครั้ง ซึ่งถ้าค่า %CBR ที่ได้มายังเป็นไปในรูปเดิม ก็ให้ใช้ค่า %CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว จากค่า CBR ของดินแต่ละชนิดยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าว ๆ

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของดินอย่างคร่าว ๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นต่างๆ

%CBR	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม	การใช้งาน
0 – 3	very poor	subgrade
3-7	poor to fair	subgrade
7-20	fair	subgrade
20-50	good	subbase, base
50-80	very	good base
>80	excellent	base

2.4 โมดูลัสความยืดหยุ่น

อัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดของวัสดุเราเรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น หรือค่ายัง หน่วยที่ได้เหมือนกับความเค้น (N/m^2) ส่วนสมการที่ใช้คำนวณความเค้นต่อความเครียด เป็นดังนี้

$$E = \frac{\text{ความเค้น } (\sigma)}{\text{ความเครียด } (\varepsilon)} \text{เมื่อ } \sigma = \frac{F}{A} \text{ และ } \varepsilon = \frac{\delta}{l} \qquad (2.2)$$

2.5 แรงเค้น

แรงที่กระทำกับวัตถุใดๆ มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุ เรียกว่า แรงเค้น (stress) ซึ่งมักอธิบายในรูปของ หน่วยของแรงเค้น (unit stress) ซึ่งเป็นสัดส่วนของแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุต่อพื้นที่ที่แรงนั้นกระทำ

$$\sigma = \frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} = \frac{P}{A} \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ความเครียด

การกระทำของแรงภายนอกต่อวัสดุ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ ความเครียด คือ อัตราส่วนความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม

$$\varepsilon = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\delta}{l} \qquad (2.4)$$

2.7 อัตราส่วนปัวซอง

เมื่อท่อนวัสดุรับแรงตามแนวแกน ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแนวนั้น นอกจากนั้นจะพบว่าเปลี่ยนแปลงตามแนวขวางด้วย ในกรณีที่กระทำมีขนาดไม่มากจนเกินขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุจะพบว่าอัตราส่วนความเครียดตามแนวขวางและตามแนวแกนมีค่าคงที่เสมอ อัตราส่วนนี้เรียกว่าอัตราส่วนปัวซอง

$$\mu = \frac{\text{ความเครียดตามแนวขวาง}}{\text{ความเครียดตามแนวแกน}} = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l} \qquad (2.5)$$

2.8 โมดูลัสการแตกหัก

คือค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำให้เกิดการแตกหัก คอนกรีตที่ใช้ทำผิวทางคอนกรีตควรมีค่า โมดูลัสการแตกหักประมาณ 650-700 ปอนต่อตารางนิ้วหรือ 45-50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.9 โมดูลัสการต้านแรงของดิน

โมดูลัสการต้านแรงของดิน คือ หน่วยแรงต้านต่อพื้นที่ต่อระยะทรุดตัว

คำนวณได้จาก

$$\text{โมดูลัสการต้านแรงของดิน} = \frac{\text{แรงต่อหน่วยพื้นที่}}{\text{ระยะทรุดตัว}} \text{หรือ } k = \frac{p}{\Delta} \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 Relative stiffness of slab

Westgaard ได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness ของชั้นดินที่รองรับผิวทางและค่า Stiffness ของแผ่นคอนกรีต เขียนสมการได้ดังนี้

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K}} \qquad (2.7)$$

L = radius of relative stiffness มีหน่วยเป็น ซม. , นิ้ว

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

= 2.8×10^5 กก./ตร.ซม.

= 4.0×10^6 ปอนด์/ตร.นิ้ว

h = ความหนาของแผ่นคอนกรีต, ซม. , นิ้ว

μ = อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต

K = โมดูลัสการต้านแรงของดิน (Modulus of subgrade reaction)

= (1.0-22.0) กก./ลบ.ซม.

= (50-800) ปอนด์/ลบ.นิ้ว

2.11 หน่วยแรงที่เกิดในแผนคอนกรีต

การคำนวณหาแรงที่เกิดในโครงสร้างผิวทางคอนกรีตจะเน้นพิจารณาเฉพาะในตัวแผ่นคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ โดยมีปัจจัยที่ทำให้เกิด stress เช่น น้ำหนักจากล้อรถ , การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ , ความชื้น ฯลฯ ซึ่งมีผลถึงการเกิดหน่วยแรงในตัวแผนคอนกรีต ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการแอ่นตัว

2.11.1 หน่วยแรงที่เกิดในแผ่นคอนกรีต เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิ

ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนทำให้ผิวล่างคอนกรีตขยายและหดตัวไม่เท่ากัน มีผลให้แผ่นคอนกรีตแอ่นตัวขึ้นลงทุกวันตลอดอายุของการใช้งาน

2.11.2 แรงฝืดระหว่างคอนกรีตกับผิวดิน

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้เกิดการยืดหดตัวของแผ่นคอนกรีตขึ้น ถ้าแผ่นคอนนกรีตเย็นสม่ำเสมอรอยแตกร้าวจะเกิดที่ตรงกลาง ของแผ่นคอนกรีตโดยการหดตัวของคอนกรีต ถ้าแผ่นคอนกรีตร้อนสม่ำเสมอแผ่นคอนกรีตจะยืดตัวออกทำให้เกิด blow up ขึ้น ทั้งนี้เพราะด้านล่างของแผ่นคอนกรีตตั้งอยู่บนดินคันทาง จึงทำให้เกิด frictional stress ขึ้นบนแผ่นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักล้อ

น้ำหนักของล้อ เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลทำให้ถนนเกิดการชำรุดเสียหาย Westergaard ได้ทดลองหาหน่วยแรงที่จุดต่างๆ ในถนนคอนกรีตที่เกิดเนื่องจากล้อของยานพาหนะคือ บริเวณมุม บริเวณกลาง และบริเวณขอบของแผ่นคอนกรีต

การประมาณค่าการทรุดตัวของแผ่นคอนกรีตโดยวิธี Succesive Approximation and Principle of Minimum Energy มีดังต่อไปนี้

จากสูตร $$\Delta = \frac{P}{kl^2}\left(1.1e^{\frac{-x}{l}} - \frac{a_1}{l}0.88e^{\frac{-2x}{l}}\right)$$

โดย a = รัศมีสัมผัสของล้อรถ

a_1 = ระยะจากศูนย์กลางของจุดสัมผัสไปยังมุมของแผ่นคอนกรีต

l = radius of relative stiffness

ค่าโมเมนต์สูงสุดเกิดที่ระยะ $2\sqrt{a_1 l}$

$$M = -\frac{p}{2}\left[1 - \left(\frac{a_1}{l}\right)^{0.6}\right]$$

จากสมการข้างต้นหารด้วยค่า Section Modulus $S = \frac{h^2}{6}$ จะได้ค่า

หน่วยแรงดึงที่มุมของแผ่นคอนกรีต

$$\sigma_c = \frac{3p}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a_1}{l}\right)^{0.6}\right] \qquad (2.8)$$

หน่วยแรงบริเวณกลางแผ่นคอนกรีต

$$\sigma_i = \frac{0.316p}{h^2}\left[4\log_{10}\left(\frac{l}{b}\right) + 1.069\right] \qquad (2.9)$$

b = Equivalent radius of resisting section

$$= \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 วิธีออกแบบถนนตามวิธี Portland Association

PCA ใช้สูตรคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดใกล้มุมของแผ่นคอนกรีต ในเบื่องต้นนั้น PCA ใช้วิธการออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีต โดยกำหนดน้ำหนักรถสูงสุดเป็นหลัก แต่จากการทดลองพบว่า จำนวนครั้งของการบดทับจะมีผลต่ออายุการใช้งานของถนนคอนกรีตมาก

2.12.1 ความล้าของคอนกรีต

เนื่องจากการบดทับของล้อรถบรรทุกหนักกระทำซ้ำๆ กันจำนวนมากครั้ง มีผลต่อความทนทานและอายุการใช้งานของผิวทางคอนนกรีต PCA ได้พิจารณาถึงข้อกำหนดนี้ และใช้ค่า Stress Ratio ช่วยในการคำนวณความหนาของผิวทางคอนกรีต

$$\text{Stress Ratio} = \frac{Load\ Stress}{M_R} \tag{2.10}$$

$$\text{อัตราส่วนความแค้น} = \frac{\text{ความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักล้อ}}{\text{โมดูลัสการแตกหัก}} \tag{2.11}$$

จากการทดสอบของ PCA พบว่าถ้าอัตราส่วนความเค้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.50 หรือ F.S. = 2 ผิวทางคอนกรีตจะสามารถรับปริมาณจราจรได้ไม่จำกัดจำนวน โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่า Stress Ration และจำนวนครั้งการบดทับของล้อรถของคอนกรีต

ค่า Stress Ration และจำนวนครั้งการบดทับของล้อรถของคอนกรีต					
Stress Ration	จำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ	Stress Ration	จำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ	Stress Ration	จำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ
0.85	30	0.73	850	0.61	24000
0.84	40	0.72	1100	0.6	32000
0.83	50	0.71	1500	0.59	42000
0.82	70	0.7	2000	0.58	57000
0.81	90	0.69	2500	0.57	75000
0.8	120	0.68	3500	0.56	100000
0.79	160	0.67	4500	0.55	130000
0.78	210	0.66	6000	0.54	180000
0.77	270	0.65	8000	0.53	240000
0.76	360	0.64	11000	0.52	300000
0.75	490	0.63	14000	0.51	400000
0.74	650	0.62	18000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและวิธีดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยนี้ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ออกแบบการทดลองและหาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา โดยใช้จำนวนลูกปูนทั้งหมด 64 ตัวอย่าง
2) ผลิตและทดสอบคุณสมบัติต่างๆคอนกรีตมวลเบาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
3) ทำการคำนวณโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
4) ออกแบบความหนาผิวทางโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองและคำนวณ

3.1 การออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงสูตรคอนกรีตมวลเบาสูตร (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ฟองโฟม) (C0.5/1.5/30),(C0.65/2.5/40) ที่กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 108 , 24ksc ตามลำดับ จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดคะเนหาสัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC (ณัฐวุฒิ, 2558) โดยจะแบ่งการทดสอบทั้งหมด 5 อย่าง 1) การทดสอบกำลังอัดประลัย ออกเป็นสูตรละ 12 ตัวอย่างทดสอบครั้งละ 3 ตัวอย่าง ที่ 3 7 14 28 วัน 2) การทดสอบหาความล้า 3) ทดสอบอัตราส่วนปัวซอง4) ทดสอบค่าCBR

3.2 วิธีการผลิตและการทดสอบคอนกรีตมวลเบา

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1.1 วัสดุที่ใช้ มีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป แสดงในรูปที่ 3.1

2) น้ำ ต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนใดๆ โดยทั่วไปจะใช้น้ำประปาในการผสมแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

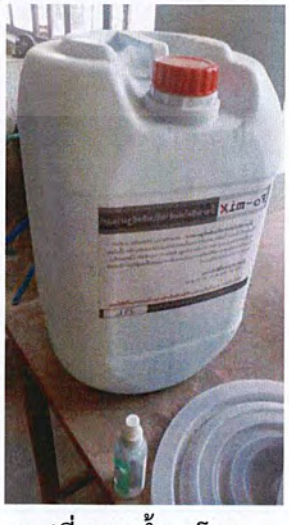
3) ทราย เป็นทรายแม่น้ำ มีขนาดใหญ่สุด 4.75 มม.แสดงในรูป 3.3 ขนาดที่ได้มาจากการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมตามมาตรฐาน AASHTO T 27/T 11 โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ส่วนการควบคุมความชื้นจะนำทรายมาตากในร่มเป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อทำให้มวลรวมละเอียดอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry , SSD) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ แต่ผิวแห้ง

4) น้ำยาโฟม (Sodium Sulfate Anion Active Matter) แสดงในรูป 3.4 ในการตรวจสอบคุณภาพของโฟมจะสังเกตจากอัตราการขยายตัวและความหนาแน่นของโฟม ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โฟมที่มีความหนาแน่นมากกว่านี้มีแนวโน้มที่จะแยกชั้นเนื่องจากโฟมไม่สามารถอุ้มน้ำได้ โฟมจะแตกตัวเป็นฟองขนาดใหญ่ขึ้น และน้ำจะแยกตัวออกอยู่ด้านล่าง ลักษณะโฟมที่ดีต้องไม่แยกตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ 15 นาที โฟมจะถูกนำไปผสมกับมอร์ต้าในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งถ้าผสมนานเกินไปจะทำให้ฟองอากาศแตก ปริมาณฟองอากาศในส่วนผสมก็จะลดลงได้

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1

รูปที่ 3.2 น้ำสะอาด

รูปที่ 3.3 ทราย



รูปที่ 3.4 น้ำยาโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

1) โม่ผสมคอนกรีต

2) ชุดผลิตฟองโฟม ซึ่งประกอบด้วย ปั้มลม ปั้มน้ำ และหัวฉีดโฟม

3) แบบหล่อมาตรฐานทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร

4) เครื่องชั่งน้ำหนัก

5) หลอดตวงปริมาตร 1 ลิตร

6) ตู้อบ

รูปที่ 3.5 โม่ผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.6 ปั้มลม

รูปที่ 3.7 ปั้มน้ำ

รูปที่ 3.8 หัวฉีดโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แบบหล่อมาตรฐานทรงกระบอก

รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 3.11 ตู้อบ

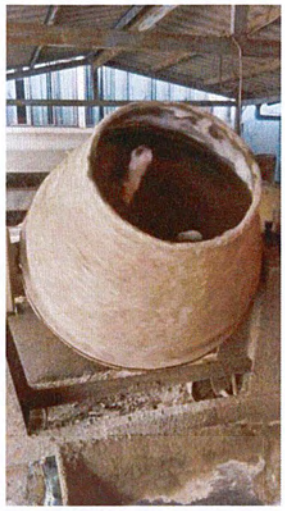
3.2.2 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตมวลเบา

1) เตรียมส่วนผสมตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้
2) ผสมน้ำยาโฟมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1 ต่อ 30
3) เทปูนซีเมนต์และทรายลงโม่ผสมคอนกรีต จากนั้นค่อยๆเติมน้ำจนส่วนผสมเข้ากันดี
4) เทโฟมลงในโม่ผสมคอนกรีต คนให้ส่วนผสมเข้ากันในเวลาที่เหมาะสม ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้ฟองโฟมแตกได้
5) นำมอร์ต้าที่ผสมเสร็จแล้วเทลงแบบหล่อที่เตรียมไว้
6) แกะแบบหล่อออกเมื่อคอนกรีตมีอายุ 1 วัน
7) นำตัวอย่างคอนกรีตที่ได้ไปบ่มน้ำ รอจนครบ 28 วัน เพื่อทำการทดสอบในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูปที่ 3.12 เตรียมส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 3.13 นำส่วนผสมไปผสมในโม่

รูปที่ 3.14 เกลี่ยคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อ

144501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

3.2.3.1 เก็บลูกปูนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตรสูง 300 มิลลิเมตร เพื่อนำมากดวัดกำลังประลัยและ โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

รูปที่ 3.15 การทดสอบกำลังวิบัติ

3.2.3.2 นำดินลูกรังที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์4 ที่เรานำไปอบมาแล้ว มาทำการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D1140 – 54

โดยใช้ค้อนบดอัดขนาด 2.5 กก. ระยะตก 12 นิ้ว ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง

รูปที่ 3.16 การบดอัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 เก็บลูกปูนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร เพื่อนำมาทำการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

โดยใช้แท่งเหล็กกลมตันขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่าง ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาทีแล้วนำค่า Unit load ที่ได้จากการทดสอบนี้ มาคำนวณเปรียบเทียบกับ Standard unit load

รูปที่ 3.17 การทดสอบ CBR

3.2.3.4 เก็บลูกปูนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 300 มิลลิเมตร เพื่อนำมาทำการทดสอบหาความล้า

รูปที่ 3.18 การทดสอบหาความล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.5 เก็บลูกปูนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตรสูง 300 มิลลิเมตร จำนวน 3 ลูก เพื่อนำมากดหาอัตราส่วนปัวซองที่ 28 วัน

รูปที่ 3.19 การทดสอบปัวซองเรโช

3.3 วิธีการคำนวณ

3.2.1 Relative stiffness of slab

Westgaardได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness ของชั้นดินที่รองรับผิวทางและค่า Stiffness ของแผ่นคอนกรีต เขียนสมการได้ดังนี้

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K}} \qquad (3.1)$$

กำหนดให้

L = radius of relative stiffness มีหน่วยเป็น ซม. , นิ้ว

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

= 2.8×10^5 กก./ตร.ซม.

= 4.0×10^6ปอนด์/ตร.นิ้ว

h = ความหนาของแผ่นคอนกรีต, ซม. , นิ้ว

μ = อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต

K = โมดูลัสการต้านแรงของดิน (Modulus of subgrade reaction)

= (1.0-22.0) กก./ลบ.ซม.

= (50-800) ปอนด์/ลบ.นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการออกแบบความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาระบบ clc

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการออกแบบตามวิธี Portland Association หรือ PCA โดยมีลำดับขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) กำหนดอายุการใช้งานของถนน และแบ่งประเภทรถ

2) หาน้ำหนักกดทับเฉลี่ยบนแต่ละเพลาน้ำหนักบรรทุก การจัดเรียงของเพลา และแรงดันลมยาง และจำนวนเพลาที่วิ่งผ่านในแต่ละครั้งจากจำนวนเพลาและการจัดเรียงของเพลา ของรถแต่ละประเภท

3) คูณค่าเฉลี่ยน้ำหนักเพลาด้วย 1.2 (20% Impaction)

4) คำนวณค่าความเค้นสูงสุดของผิวทางจาก โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต ความหนาผิวทาง อัตราส่วนปัวซองเรโชของคอนกรีต โมดูลัสการต้านแรง(ค่า k)ของชั้นรองพื้นทาง และ น้ำหนักเพลา

5) คำนวณค่าความเค้นสูงสุดของชั้นรองพื้นทางจาก โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบา ความหนาของชั้นรองพื้นทาง อัตราส่วนปัวซองเรโชของคอนกรีตมวลเบา โมดูลัสการต้านแรง(ค่า k) ของชั้นดินเดิม และ แรงกระทำที่ถูกส่งต่อมาจากชั้นผิวทาง

6) คำนวณหาจำนวนครั้งการบดทับที่ยอมให้ของทั้งผิวทางและชั้นรองพื้นทาง เพราะ วัสดุทั้ง 2 ชนิดรับจำนวนครั้งการบดทับได้ไม่เท่ากัน

7) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความล้าจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความล้า} = \frac{\text{จำนวนครั้งการบดทับในช่วงอายุถนน}}{\text{จำนวนครั้งการบดทับที่ยอมให้ได้}} \times 100 \qquad (3.2)$$

ผลรวมเปอร์เซ็นต์ความล้าถ้าไม่เกิน 100% ตลอดอายุการใช้งานแสดงว่า ความหนาที่กำหนดให้นั้นเพียงพอแล้ว แต่ถ้าเกิน 100% ให้ลองเพิ่มความหนา และทำการคำนวณใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ clc

4.1.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาที่ 3 7 14 28 วัน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาที่ 3 7 14 28 วัน

สูตรคอนกรีตมวลเบา	กำลังคอนกรีต(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)			
	3	7	14	28
1, (C0.65/2.5/40)	27.7215	30.5270	35.7639	36.7171
2, (C0.5/1.5/30)	112.137	124.673	145.806	147.343

4.1.2 ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองเรโช ของคอนกรีตมวลเบา

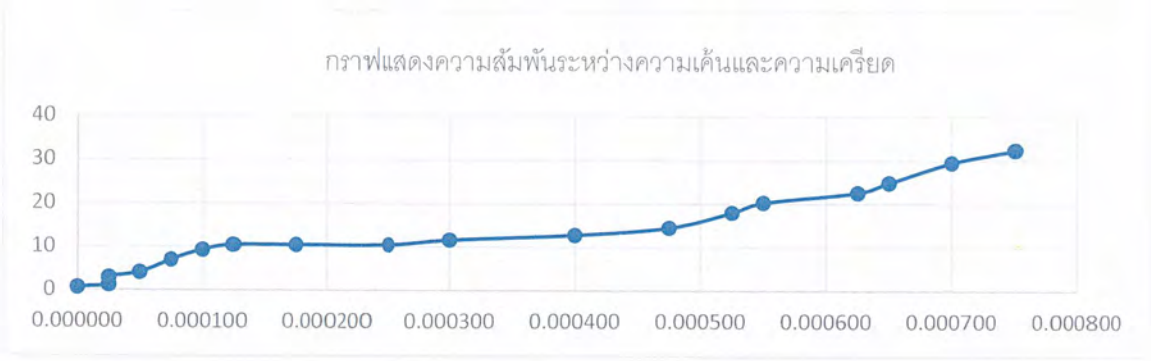
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองเรโช ของคอนกรีตมวลเบา

สูตรคอนกรีตมวลเบา	โมดูลัสความยืดหยุ่น	อัตราส่วนปัวซอง
1, (C0.65/2.5/40)	40165.69726	0.169333333
2, (C0.5/1.5/30)	159864.97723	0.213752657

กราฟที่ 4.1 อัตราส่วนปัวซองเรโชของสูตรที่ 1 ตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของสูตรที่ 1 ตัวอย่างที่ 1



4.1.3 ผลการทดสอบโมดูลัสการต้าน (ค่า k)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบโมดูลัสการต้านแรงของดิน (ค่า k)

ตัวอย่างที่	แรง (กิโลนิวตัน)	ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	ระยะยุบ(ซม.)	ค่า k (กก./ลบ.ซม.)	เฉลี่ย
1/1	18.98	121.65	0.3236	375.92753	
1/2	14.23	91.20	0.2544	358.51244	358.7194
1/3	15.76	101.01	0.2956	341.71828	
2/1	76.43	489.86	0.1392	3519.17657	
2/2	90.46	579.79	0.1568	3697.65986	3598.752
2/3	70.59	452.43	0.1264	3579.41902	

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าคอนกรีตมวลเบามีค่าที่สูงกว่าดินลูกรังซึ่งเป็นวัสดุรองพื้นทางแบบเดิมมาก(ดินลูกรัง ที่ค่า CBR25% มีค่า k ประมาณ 52 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่ง ค่า k ที่สูงกว่าอย่างมากนี้ จะเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยส่งผลให้ชั้นผิวทางบางลง

4.1.4 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ (ความล้า)

ในการทดสอบจะทดสอบสูตรละ 2 ตัวอย่างของแต่ละช่วง โดยจะเลือกใช้ข้อมูลโดยไม่ใช้ค่าเฉลี่ย แต่จะใช้ข้อมูลของลูกที่อยู่ในแนวโน้มมากที่สุด แต่ถ้าข้อมูลไม่ใกล้เคียงกันทั้ง 4 ตัวอย่าง(2 สูตร ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน)ก็จะทำการทดสอบตัวอย่างเพิ่มในช่วงนั้นๆ เพื่อให้ได้กลุ่มข้อมูลที่เพียงพอในการเลือกใช้ ได้ผลการทดสอบดังนี้

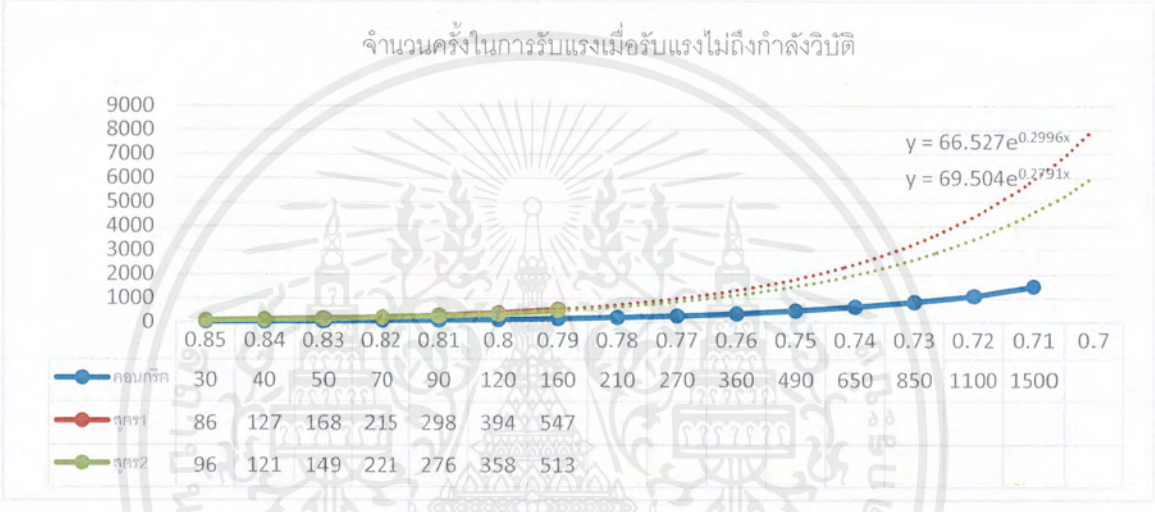
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติของคอนกรีตมวลเบา

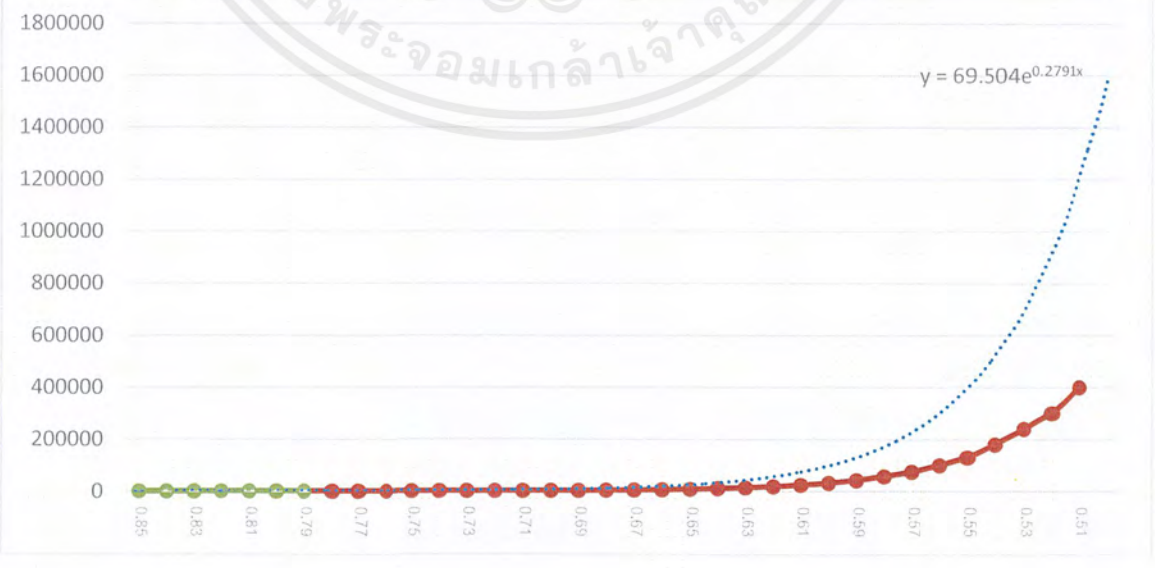
อัตราส่วนความเค้น	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.8	0.79
จำนวนครั้งที่รับได้ สูตรที่ 1	86	127	168	215	298	394	547
จำนวนครั้งที่รับได้ สูตรที่ 2	96	121	149	221	276	358	513

สูตร 1, (C0.65/2.5/40) 2, (C0.5/1.5/30)

กราฟที่ 4.3 จำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ



กราฟที่ 4.4 เปรียบเทียบแนวโน้มจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติของคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 กับคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นว่า คอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 สามารถรับจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติได้มากกว่าคอนกรีตถึง 3 เท่าในช่วงแรก และมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออัตราส่วนความเค้นน้อยลง และในสูตร 1 นั้นสามารถรับจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติได้มากสูตร 2 ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่า จำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติของคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 3 เท่าของจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติคอนกรีต

ตารางที่ 4.5 ค่า Stress Ration และจำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ ของคอนกรีตมวลเบา

ค่า Stress Ration และจำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ ของคอนกรีตมวลเบา					
Stress Ration	จำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ	Stress Ration	จำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ	Stress Ration	จำนวนครั้งการบดทับของล้อรถ
0.85	90	0.73	2550	0.61	72000
0.84	120	0.72	3300	0.60	96000
0.83	150	0.71	4500	0.59	126000
0.82	210	0.70	6000	0.58	171000
0.81	270	0.69	7500	0.57	225000
0.80	360	0.68	10500	0.56	300000
0.79	480	0.67	13500	0.55	390000
0.78	630	0.66	18000	0.54	540000
0.77	810	0.65	24000	0.53	720000
0.76	1080	0.64	33000	0.52	900000
0.75	1470	0.63	42000	0.51	1200000
0.74	1950	0.62	54000		

4.2 ตัวอย่างการคำนวณตามวิธีออกแบบถนนตามวิธี Portland Association

ข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ย คัน / วัน บนทางหลวงในเส้นแยก คปอ. – สนามกีฬาธูปะเตมีย์ ปี 2558 มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.6 ข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ย คัน / วัน บนทางหลวงในเส้นแยก คปอ. – สนาม กีฬาธูปะเตมีย์ ปี 2558

ประเภทรถ	จำนวน (คันต่อวัน)
1.รถยนต์นั่ง (ไม่เกิน 7 คน)	34,098
2.รถยนต์นั่ง (เกิน 7 คน)	11,223
3.รถโดยสารขนาดเล็ก	43
4.รถโดยสารขนาดกลาง	1,055
5.รถโดยสารขนาดใหญ่	1,633
6.รถบรรทุกขนาดเล็ก (4 ล้อ)	14,101
7.รถบรรทุกขนาด 2 เพลา (6 ล้อ)	491
8.รถบรรทุกขนาด 3 เพลา (10 ล้อ)	204
9.รถบรรทุกพ่วง (มากกว่า 3 เพลา)	130
10.รถบรรทุกกึ่งพ่วง (มากกว่า 3 เพลา)	37

ในตัวอย่างการคำนวณจะใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ย คัน / วัน บนทางหลวงในเส้นแยก คปอ. – สนามกีฬาธูปะเตมีย์ ปี 2558 ที่อายุการใช้งาน 20 ปี มีปริมาณการเติบโตของการจราจรที่ 2% มีปริมาณการใช้งานของที่ทำให้เกิดอัตราส่วนความเค้นสูงที่สุด (ของรถประเภท 8,9,10 ตาม ตาราง 4.6) ถึง 1,963,700 ครั้งในรอบ 20 ปี แต่ความสามารถในการรับจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติที่อัตราส่วนความเค้น 0.51 ของคอนกรีตเท่ากับ 400,000 ครั้ง ของคอนกรีตมวลเบาเท่ากับ 1,200,000 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าจำนวนครั้งการใช้งานในรอบ 20 ปี ในการออกแบบจึงต้องออกแบบความหนาให้อัตราส่วนความเค้นน้อยกว่า 0.5 ซึ่งตามวิธีออกแบบผิวทางคอนกรีตของ PCA บอกไว้ถ้าถ้าอัตราส่วนความเค้นน้อยกว่า 0.5 จะสามารถรับจำนวนครั้งการบดทับได้ไม่จำกัดจำนวน

จากตารางตัวอย่างการคำนวณที่ 4.8-4.10 ในหน้าถัดไป จะสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางของทางหลวงในเส้นแยก คปอ. – สนาม กีฬาธูปะเตมีย์ที่ออกแบบได้

ประเภทของชั้นรองพื้นทาง	ความหนาผิวทาง(ซม.)	ความหนาชั้นรองพื้นทาง(ซม.)
คอนกรีตมวลเบาสูตร 1	18.2	23.4
คอนกรีตมวลเบาสูตร 2	13.2	20.9
ดินลูกรัง CBR25%	22.5	-

จะเห็นว่าชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาทำให้ผิวทางบางลงจากชั้นรองพื้นทางแบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตัวอยากการคำนวณหาความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตร 1

ประเภทรถ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ตัวอย่างการคำนวณที่ผิวทางหนา 18.2 เซนติเมตร										
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194	358.7194
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	2.1	2.1	2.5	8	8	8	8	8	8	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	750	900	1200	2850	7200	2850	7200	15000	15000	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	2.306073	2.699617	3.539826	8.765895	16.36897	8.765895	16.36897	24.00584	24.00584	24.00584
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	2.632349	3.044724	3.964395	10.00786	17.12554	10.00786	17.12554	22.47675	22.47675	22.47675
โมดูลัสการแตกหัก	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
อัตราส่วนความเค้น	0.058497	0.067661	0.088098	0.222397	0.380568	0.222397	0.380568	0.499483	0.499483	0.499483
ตัวอย่างการคำนวณที่ชั้นรองพื้นทางสูตร 1 หนา 23.4 เซนติเมตร										
โมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลเบา (กก./ตร.ซม.)	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865
ความหนามวลเบา (ซม.)	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
อัตราส่วนปัวซองมวลเบา	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333	0.169333
โมดูลัสการต้านแรงของดิน(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
แรงที่ถ่ายลงมาจากชั้นผิวทาง (กก./ตร.ซม.)	2.306073	2.699617	3.539826	8.765895	16.36897	8.765895	16.36897	24.00584	24.00584	24.00584
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	0.606659	0.709034	0.928709	2.306095	4.222686	2.306095	4.222686	6.015183	6.015183	6.015183
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	0.643072	0.744327	0.968691	2.444826	3.979502	2.444826	3.979502	4.724444	4.724444	4.724444
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
อัตราส่วนความเค้น	0.067692	0.07835	0.101967	0.25735	0.418895	0.25735	0.418895	0.49731	0.49731	0.49731
การยุบตัวของดินคันทาง (ซม.)	0.151665	0.177259	0.232177	0.576524	1.055671	0.576524	1.055671	1.503796	1.503796	1.503796

ตารางที่ 4.9 ตัวอยากการคำนวณหาความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตร 2

ประเภทรถ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ตัวอย่างการคำนวณที่ผิวทางหนา 13.2 เซนติเมตร										
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	3599	3599	3599	3599	3599	3599	3599	3599	3599	3599
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	2.1	2.1	2.5	8	8	8	8	8	8	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	750	900	1200	2850	7200	2850	7200	15000	15000	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	3.3017	3.8358	5.0066	12.5520	22.4341	12.5520	22.4341	33.7847	33.7847	33.7847
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	3.3746	3.8400	4.9491	12.8326	19.0129	12.8326	19.0129	22.4075	22.4075	22.4075
โมดูลัสการแตกหัก	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
อัตราส่วนความเค้น	0.075	0.085	0.110	0.285	0.423	0.285	0.423	0.498	0.498	0.498
ตัวอย่างการคำนวณที่ชั้นรองพื้นทางสูตร 1 หนา 20.9 เซนติเมตร										
โมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลเบา (กก./ตร.ซม.)	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865	159865
ความหนามวลเบา (ซม.)	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
อัตราส่วนปัวซองมวลเบา	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138	0.2138
โมดูลัสการต้านแรงของดิน(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
แรงที่ถ่ายลงมาจากชั้นผิวทาง (กก./ตร.ซม.)	3.3017	3.8358	5.0066	12.5520	22.4341	12.5520	22.4341	33.7847	33.7847	33.7847
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	0.8817	1.0222	1.3324	3.3519	5.8462	3.3519	5.8462	8.5020	8.5020	8.5020
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	1.3417	1.5357	1.9850	5.1017	7.6574	5.1017	7.6574	8.9487	8.9487	8.9487
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
อัตราส่วนความเค้น	0.0745	0.0853	0.1103	0.2834	0.4254	0.2834	0.4254	0.4971	0.4971	0.4971
การยุบตัวของดินคันทาง (ซม.)	0.2204	0.2555	0.3331	0.8380	1.4616	0.8380	1.4616	2.1255	2.1255	2.1255

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างการคำนวณหาความหนาของผิวทาง โดยใช้ชั้นรองพื้นทางเป็นดินลูกลัง cbrเท่ากับ 25%

ประเภทรถ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ตัวอย่างการคำนวณที่ผิวทางหนา 22.5 เซนติเมตร										
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	51.900	51.900	51.900	51.900	51.900	51.900	51.900	51.900	51.900	51.900
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	2.1	2.1	2.5	8	8	8	8	8	8	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	750	900	1200	2850	7200	2850	7200	15000	15000	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	1.8562	2.1855	2.8764	7.0551	13.8477	7.0551	13.8477	20.5460	20.5460	20.5460
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	2.1329	2.4942	3.2703	8.1079	15.4410	8.1079	15.4410	22.4025	22.4025	22.4025
โมดูลัสการแตกหัก	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
อัตราส่วนความเค้น	0.0474	0.0554	0.0727	0.1802	0.3431	0.1802	0.3431	0.4978	0.4978	0.4978

4.3 การเปรียบเทียบชั้นรองทั้งสอบแบบเมื่อนำมาออกแบบ

ในการเปรียบเทียบนี้จะใช้ความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางดินลูกรังที่ได้จากแบบมาตรฐานงานทาง พ.ศ.2556 พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท ซึ่งความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางที่ได้จากแบบนี้จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณการจราจร และค่า cbr ของดินคันทางแล้วนำมาเปรียบเทียบกับความหนาของผิวทางและรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาที่หาได้จากวิธีการออกแบบ PCA ที่ปริมาณการจราจรและค่า cbr ของดินคันทางเท่ากัน

ตารางที่ 4.11 ตารางแนะนำการออกแบบความหนาของชั้นโครงสร้างทาง

ผิวทาง คสล (เมตร)	ดินคันทาง (CBR)	วัสดุคัดเลือก (เมตร)	วัสดุรองพื้นทาง (เมตร)	ปริมาณการจราจร (คันต่อวัน)
0.15	4%	0.20	0.2	น้อยกว่า 500
	6%	0.10	0.2	
	8%	-	0.2	
0.18	4%	0.20	0.2	750 - 1000
	6%	0.10	0.2	
	8%	-	0.2	
0.20	4%	0.20	0.2	1500 - 2000
	6%	0.10	0.2	
	8%	-	0.2	
0.23	4%	0.20	0.2	2500 - 3000
	6%	0.10	0.2	
	8%	-	0.2	
0.25	4%	0.20	0.2	4500 - 6000
	6%	0.10	0.2	
	8%	-	0.2	

*อายุการใช้งาน 15 ปี ปริมาณรถบรรทุกหนัก 10-18% น้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 6 ล้อ 10 เส้น 25 ตัน

*ค่า CBR วัสดุคัดเลือก 8% วัสดุรองพื้นทาง 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาจะใช้ข้อมูลในการออกแบบดังนี้ ปริมาณรถ 6000 คันต่อวัน อายุการใช้งาน 15 ปี ปริมาณบรรทุกหนัก 18% ที่น้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น 25 ตัน ดินเดิมมีค่าโมดูลัสการต้านแรง 13 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (แปลงมาจากค่า cbr) และจากข้อมูลข้างต้นในระยะเวลา 15 ปี จะมีปริมาณการใช้งานของรถบรรทุกหนักเท่ากับ 5,913,000 เที่ยวเพลา จึงต้องออกแบบความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางให้มีค่า อัตราส่วนความเค้นน้อยกว่า 0.5

ตารางที่ 4.12 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 ตามตารางที่ 4.11

ประเภทรถ	รถบรรทุกหนัก
การคำนวณที่ผิวทางหนา 18.2 เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	18.2
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15
โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	358.7194
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	24.00584
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	22.47675
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	45
อัตราส่วนความเค้น	0.499483
การคำนวณชั้นรองทางหนา 17.7 เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลเบา (กก./ตร.ซม.)	40165.7
ความหนามวลเบา (ซม.)	17.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนปัวซองมวลเบา	0.169333
โมดูลัสการต้านแรงของดิน(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	13
แรงที่ถ่ายลงมาจากชั้นผิวทาง (กก./ตร.ซม.)	24.00584
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	6.090309
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	4.746378
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	9.5
อัตราส่วนความเค้น	0.499619
การยุบตัวของดินคันทาง (ซม.)	0.468485

ตารางที่ 4.13 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 ตามตารางที่ 4.11

ประเภทรถ	รถบรรทุกหนัก
การคำนวณที่ผิวทางหนา 13.2 เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	13.2
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15
โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	3598.752
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	33.78474
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	22.40752
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความเค้น	0.497945
การคำนวณชั้นรองพื้นทางหนา 18.7 เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลเบา (กก./ตร.ซม.)	159865
ความหนามวลเบา (ซม.)	18.7
อัตราส่วนปัวซองมวลเบา	0.213753
โมดูลัสการต้านแรงของดิน(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	13
แรงที่ถ่ายลงมาจากชั้นผิวทาง (กก./ตร.ซม.)	33.78474
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	8.616177
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	8.998754
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	18
อัตราส่วนความเค้น	0.499931
การยุบตัวของดินคันทาง (ซม.)	0.662783

การเปรียบเทียบแบบที่ 2 ทำการออกแบบรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาด้วยข้อมูลชุดเดิม แต่กำหนดให้ผิวทางหนาเท่ากับ 25 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.14 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 ตามตารางที่ 4.11

ประเภทรถ	รถบรรทุกหนัก
การคำนวณที่ผิวทางหนา25 เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	25
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	358.7194
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	14.48201
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	14.06348
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	45
อัตราส่วนความเค้น	0.312522
การคำนวณชั้นรองพื้นทางหนา 11.9เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลเบา (กก./ตร.ซม.)	40165.7
ความหนามวลเบา (ซม.)	11.9
อัตราส่วนปัวซองมวลเบา	0.169333
โมดูลัสการต้านแรงของดิน(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	13
แรงที่ถ่ายลงมาจากชั้นผิวทาง (กก./ตร.ซม.)	14.48201
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	3.479096
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	4.706921
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	9.5
อัตราส่วนความเค้น	0.495465
การยุบตัวของดินคันทาง (ซม.)	0.267623

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 การคำนวณความหนาผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 ตามตารางที่ 4.11

ประเภทรถ	รถบรรทุกหนัก
การคำนวณที่ผิวทางหนา25 เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	280000
ความหนาคอนกรีต (ซม.)	25
อัตราส่วนปัวซองคอนกรีต	0.15
โมดูลัสการต้านแรงของมวลเบา(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	3598.752
แรงดันลมยาง (กก./ตร.ซม.)	8
แรงจาก น.น.รถคูณ 1.2 จากแรงกระแทก (กก./ตร.ซม.)	15000
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	11.97736
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	9.238106
โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	45
อัตราส่วนความเค้น	0.205291
การคำนวณชั้นรองพื้นทางหนา8.9เซนติเมตร	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของมวลเบา (กก./ตร.ซม.)	159865
ความหนามวลเบา (ซม.)	8.9
อัตราส่วนปัวซองมวลเบา	0.213753
โมดูลัสการต้านแรงของดิน(k) (กก./ตร.ซม./ซม.)	13
แรงที่ถ่ายลงมาจากชั้นผิวทาง (กก./ตร.ซม.)	11.97736
ความเค้นQi (กก./ตร.ซม.)	2.814961
ความเค้น (กก./ตร.ซม.)	8.936455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลัสการแตกหัก (กก./ตร.ซม.)	18
อัตราส่วนความเค้น	0.49647
การยุบตัวของดินคันทาง (ซม.)	0.216535

จากตารางคำนวณที่ 4.12-4.15 เปรียบเทียบข้อมูลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.16 ตารางเปรียบเทียบความหนา

ประเภทชั้นรองพื้นทาง	ความหนาผิวทาง(ซม.)	ความหนาชั้นรองพื้นทาง(ซม.)
วัสดุรองพื้นทาง cbr25%	25	20
คอนกรีตมวลเบาสูตร 1	18.2	17.7
คอนกรีตมวลเบาสูตร 2	13.2	18.7
ทดลองใช้ความหนาผิวทางเท่ากับ 25 ซม.เพื่อเปรียบเทียบชั้นรองพื้นทาง		
คอนกรีตมวลเบาสูตร 1	25	11.9
คอนกรีตมวลเบาสูตร 2	25	8.9

4.4 การเปรียบเทียบชั้นรองทั้งสองแบบทางด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบานั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ซีเมนต์ น้ำ ทราย โฟม โดยมาจาก

4.4.1 สมการกำหนดราคาต้นทุนคอนกรีตมวลเบา

สำหรับสมการกำหนดราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบา สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.1) และผลของราคาในแต่ละส่วนผสมได้จากการแทนค่าน้ำหนักของซีเมนต์ น้ำ ทราย เปอร์เซ็นโฟม ลงในสมการที่ (4.1)

$$\text{Cost} = 2.96\ \text{Cement} + 0.01\ \text{Water} + 0.12\ \text{Sand} + 0.14\ \text{Foaming} \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่มาของสมการได้จาก

- ราคาซีเมนต์ 1 ถุง 50 กิโลกรัม ราคา 148 บาท ดังนั้น ราคาต่อ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 2.96 บาท
- ราคาน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร 10.5 บาท ดังนั้น ราคาต่อ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 0.01 บาท
- ราคาทราย 1 ตัน ราคา 120 บาท ดังนั้น ราคาต่อ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 0.12 บาท
- ราคาน้ำยาผลิตโฟมสำหรับคอนกรีตมวลเบา 1 เกลอน 25 ลิตร ผสมน้ำได้ 1 : 30 ราคา 100 บาท ดังนั้น ราคาต่อ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 0.14 บาท

4.4.2 ราคาต้นทุนคอนกรีตมวลเบาที่ส่วนผสมที่ศึกษา

- **สูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40)**

น้ำหนักของแต่ละส่วนผสม ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

- น้ำหนักของซีเมนต์ = 311 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- น้ำหนักของทราย = 778 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- น้ำหนักของน้ำ = 202 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ปริมาตรของโฟม = 400 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร

ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40)

= 2.96 x 311 + 0.01 x 202 + 0.12 x 778 + 0.14 x 400 = 1071.94 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- **สูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30)**

น้ำหนักของแต่ละส่วนผสม ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

- น้ำหนักของซีเมนต์ = 502 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- น้ำหนักของทราย = 753 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- น้ำหนักของน้ำ = 251 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ปริมาตรของโฟม = 300 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร

ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30)

= 2.96 x 502 + 0.01 x 251 + 0.12 x 753 + 0.14 x 300 = 1620.79 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ราคาต้นทุนของงานดินลูกรังบดอัดแน่น

สำหรับราคาต้นทุนของงานดินลูกรังบดอัดแน่นนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าวัสดุจากแหล่ง ค่าขุดเปิดหน้าบ่อลึกเฉลี่ย 0.30 เมตร ค่าขุดด้วยรถขุด ค่าขนส่งคิดตามระยะทาง ค่าการยุบตัว ค่าบดอัดดินลูกรัง ซึ่งราคาต้นทุนของงานดินลูกรังบดอัดแน่น อยู่ที่ประมาณ บาท/ลูกบาศก์เมตร

โดยมาจาก

- ค่าวัสดุจากแหล่ง	90	บาท/ลูกบาศก์เมตร (หลวม)
- ค่าขุดเปิดหน้าบ่อลูกรังด้วย Bulldozer	7.77	บาท/ลูกบาศก์เมตร (หลวม)
- ค่าขุด (ขุดด้วยรถขุด)	9.56	บาท/ลูกบาศก์เมตร (หลวม)
- ค่าขนส่ง (คิดที่ 50 กิโลเมตร)	1.92x50 = 96	บาท/ลูกบาศก์เมตร (หลวม)
รวม	203.33	บาท/ลูกบาศก์เมตร (หลวม)
- ค่ายุบตัว 60%	203.33x1.6 = 325.33	บาท/ลูกบาศก์เมตร
- ค่าบดอัดดินลูกรัง	17.96	บาท/ลูกบาศก์เมตร
รวมทั้งสิน	343.29	บาท/ลูกบาศก์เมตร

โดยราคาต้นทุนของงานดินลูกรังจะเปลี่ยนแปลงได้จากราคาน้ำมันดีเซล ค่าวัสดุจากแต่ละแหล่งพื้นที่ ระยะทางที่ขนส่งวัสดุ ค่าการเสื่อมราคาเครื่องจักร

4.4.4 เปรียบเทียบราคาชั้นรองพื้นทาง

โดยการเปรียบเทียบราคาชั้นรองพื้นทางนั้นจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ เปรียบเทียบตามความหนาปกติของถนนคอนกรีต และเปรียบเทียบโดยการปรับความหนาของผิวทางให้เท่ากัน ซึ่งการเปรียบเทียบตามความหนาปกติของถนนคอนกรีตจะใช้ค่าความหนาได้จากตารางที่ 4.16 สำหรับคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) มีความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 17.7 เซนติเมตร และความหนาผิวทางเท่ากับ 18.2 เซนติเมตร และสำหรับคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) มีความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 18.7เซนติเมตร และความหนาผิวทางเท่ากับ 13.2 เซนติเมตร และการเปรียบเทียบโดยการปรับความหนาของผิวทางให้เท่ากันทำเนื่องจากชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาทำให้ผิวทางถนนคอนกรีตบางลงจากชั้นรองพื้นทางแบบเดิม จึงทำการยึดความหนาของผิวทางให้เท่ากันโดยใช้ความหนาผิวทางถนนคอนกรีตเท่ากับ 25 ซม.เพื่อเปรียบเทียบชั้นรองพื้นทางทั้ง 2 แบบ ดังตารางที่ 4.16 เมื่อลองทดสอบใช้ความหนาผิวทางถนนคอนกรีตเท่ากับ 25 ซม. ผลที่ได้คือความหนาชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) เท่ากับ 11.9 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความหนาชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) เท่ากับ 8.9 เซนติเมตร ส่วนความหนาชั้นรองพื้นทางดินลูกรังเท่ากับ 20 เซนติเมตร และด้วยความหนาชั้นรองพื้นทางไม่เท่ากันจึงเปรียบเทียบโดยเปลี่ยนเป็นตารางเมตรเพื่อให้ได้ตามแต่ละความหนาของชั้นรองพื้นทาง

1) ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) ที่ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 17.7 เซนติเมตร และความหนาผิวทางเท่ากับ 18.2 เซนติเมตร

ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) เท่ากับ 1071.94 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 17.7 เซนติเมตร ดังนั้น ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) ต่อตารางเมตรเท่ากับ 1071.94 x 17.7/100 = 189.73 บาท ความหนาผิวทางเท่ากับ 18.2 เซนติเมตร ราคาคอนกรีตผิวทางต่อตารางเมตรเท่ากับ 3090 x 18.2/100 = 562.38 บาท ราคารวมเท่ากับ 752.11 บาทต่อตารางเมตร

2) ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) ที่ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 18.7 เซนติเมตรและความหนาผิวทางเท่ากับ 13.2 เซนติเมตร

ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) เท่ากับ 1620.79 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 18.7 เซนติเมตร ดังนั้น ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) ต่อตารางเมตรเท่ากับ 1620.79 x 18.7/100 = 303.09 บาท ความหนาผิวทางเท่ากับ 13.2 เซนติเมตร ราคาคอนกรีตผิวทางต่อตารางเมตรเท่ากับ 3090 x 13.2/100 = 407.88 บาท ราคารวมเท่ากับ 710.97 บาทต่อตารางเมตร

3) ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) ที่ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 11.9 เซนติเมตร และความหนาผิวทางเท่ากับ 25 เซนติเมตร

ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) เท่ากับ 1071.94 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 11.9 เซนติเมตร ดังนั้น ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) ต่อตารางเมตรเท่ากับ 1071.94 x 11.9/100 = 127.56 บาท ราคาคอนกรีตผิวทางต่อตารางเมตรเท่ากับ 3090 x 25/100 = 772.5 บาท ราคารวมเท่ากับ 900.06 บาทต่อตารางเมตร

4) ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) ที่ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 8.9 เซนติเมตรและความหนาผิวทางเท่ากับ 25 เซนติเมตร

ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) เท่ากับ 1620.79 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 8.9 เซนติเมตร ดังนั้น ราคาคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) ต่อตารางเมตรเท่ากับ 1620.79 x 8.9/100 = 144.25 บาท ราคาคอนกรีตผิวทางต่อตารางเมตรเท่ากับ 3090 x 25/100 = 772.5 บาท ราคารวมเท่ากับ 916.75 บาทต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ราคาดินลูกรังบดอัดแน่น ที่ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 20 เซนติเมตรและความหนาผิวทางเท่ากับ 25 เซนติเมตร

ราคาดินลูกรังบดอัดแน่นเท่ากับ 343.29 บาท/ลูกบาศก์เมตร ความหนาชั้นรองพื้นทางเท่ากับ 20เซนติเมตร ดังนั้น ราคาดินลูกรังบดอัดแน่นต่อตารางเมตรเท่ากับ 343.29 x 20/100 = 68.658 บาทราคาคอนกรีตผิวทางต่อตารางเมตรเท่ากับ 3090 x 25/100 = 772.5 บาท ราคารวมเท่ากับ 841.16 บาทต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.17 ตารางเปรียบเทียบราคาของชั้นรองพื้นทางแต่ละประเภท

ประเภทชั้นรองพื้นทาง	ความหนาผิวทาง (ซม.)	ราคาผิวทาง (บาทต่อตารางเมตร)	ความหนาชั้นรองพื้นทาง (ซม.)	ราคาชั้นรองพื้นทาง (บาทต่อตารางเมตร)	ราคารวม (บาทต่อตารางเมตร)
วัสดุรองพื้นทาง cbr25%	25	772.5	20	68.66	841.16
คอนกรีตมวลเบาสูตร 1	18.2	562.38	17.7	189.73	752.11
คอนกรีตมวลเบาสูตร 2	13.2	407.88	18.7	303.09	710.97
ทดลองใช้ความหนาผิวทางเท่ากับ 25 ซม.เพื่อเปรียบเทียบชั้นรองพื้นทาง					
คอนกรีตมวลเบาสูตร 1	25	772.5	11.9	127.56	900.06
คอนกรีตมวลเบาสูตร 2	25	772.5	8.9	144.25	916.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างถนนคอนกรีต ซึ่งทำหน้าที่แทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทาง โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) และปริมาณโฟม (F) จากนั้นทำการผลิตและทำการทดสอบ คือ กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ทดสอบแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช (California Bearing Ratio) ทดสอบกำลังรับแรงดัด ทดสอบความล้า ทดสอบหาอัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตมวลเบา จากนั้นนำข้อมูลผลการทดสอบที่ได้จากการทดลอง ออกแบบวิเคราะห์หาความหนาของชั้นรองพื้นทาง และ คำนวณราคาวัสดุในการก่อสร้างจากการเปรียบเทียบต้นทุนของทั้งสองแบบ โดยผลการศึกษางานวิจัย สามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

1) ความสามารถในการทดแทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทาง

2) ความคุ้มค่าของเงินทุนในการก่อสร้าง

5.1 ความสามารถในการทดแทนดินลูกรังในชั้นรองพื้นทาง

จากผลการทดสอบวัสดุในบทที่ 4 จะเห็นว่า คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC สามารถนำมาทำชั้นรองพื้นทางผิวทางคอนกรีตได้เพราะสามารถรับความเค้นที่ถูกส่งต่อมาจากผิวทางและความล้าที่เกิดจากจำนวนครั้งการใช้งานได้ และเนื่องจากชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบามีค่าโมดูลัสการต้าน (ค่า K) ที่มากกว่าดินมาก ทำให้คอนกรีตเกินการแอ่นตัว และเกิดความเค้นที่ผิวทางคอนกรีตน้อยลง ทำให้สามารถลดความหนาของผิวทางคอนกรีตเมื่อเทียบกับชั้นรองพื้นทางลงได้โดยสามารถออกแบบความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาได้ ดังตัวอย่างในหัวข้อ 4.4 โดยในตัวอย่างได้ออกแบบความหนาของผิวทาง และชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบา ของทางหลวงในเส้นแยก คปอ. – สนามกีฬาธูปะเตมีย์ ปี 2558 ได้ความหนาของผิวทางและชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาตามตารางที่ 4.7 และถ้าใช้ผิวทางหนาเท่ากันที่ 25 เซนติเมตร เพื่อให้เห็นภาพในการเปรียบเทียบ จะเห็นว่าถ้าใช้ความหนาของผิวทางเท่ากันความหนาของชั้นรองพื้นทางจะเปลี่ยนไปตามค่าโมดูลัสการต้าน (ค่า K) ของชั้นรองพื้นทางแต่ถ้าออกแบบให้ความหนาของชั้นผิวทางและชั้นรองพื้นทางมีความหนาที่น้อยที่สุดที่จะสามารถรับปริมาณการใช้งานตลอดอายุการใช้งานได้นั้น จะเห็นว่าผิวทางจะมีความหนาเปลี่ยนแปลงไปตามค่าโมดูลัสการต้าน (ค่า K) ของชั้นรองพื้นทางเช่นเดียวกัน แต่ที่เห็นชั้นรองพื้นทางมีความหนาที่ใกล้เคียงกันนั้น เนื่องจากยิ่งผิวทางมีความหนาน้อยลงก็จะทำให้เกิดความเค้นที่ถ่ายลงมาสู่ชั้นรองพื้นทางมีความหนามากขึ้น จึงทำให้ชั้นรองพื้นทางต้องมีความหนามากขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ความคุ้มค่าของเงินทุนในการก่อสร้าง

จากการศึกษาความคุ้มค่าของเงินทุนในการก่อสร้างพบว่าราคาต้นทุนของคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) เท่ากับ 189.73 บาทต่อตารางเมตร และคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) เท่ากับ 303.09 บาทต่อตารางเมตร เมื่อมาเปรียบเทียบกับราคาต้นทุนของดินลูกรังบดอัดแน่นเท่ากับ 68.658 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งมีต้นทุนที่ถูกกว่ามาก แต่ทั้งนั้นการใช้คอนกรีตมวลเบาสามารถลดความหนาของผิวทางได้เนื่องจากชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบามี ค่าโมดูลัสการต้าน (ค่า K) ที่มากกว่าดินมากและผลจากความหนาผิวทางลดลงจึงทำให้ราคาต้นทุนของผิวทางคอนกรีตลดลงไปด้วย โดยราคาต้นทุนรวมทั้งชั้นรองพื้นทางและผิวทางของคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 1 (C0.65/2.5/40) เท่ากับ 752.11 บาทต่อตารางเมตร และคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) เท่ากับ 710.97 บาทต่อตารางเมตร เมื่อมาเปรียบเทียบกับราคาต้นทุนรวมทั้งชั้นรองพื้นทางและผิวทางของดินลูกรังบดอัดแน่นเท่ากับ 841.16 บาทต่อตารางเมตร ตามตารางที่ 4.17 ตารางเปรียบเทียบราคาของชั้นรองพื้นทางแต่ละประเภท พบว่าได้ราคาต้นทุนรวมทั้งชั้นรองพื้นทางและผิวทางของคอนกรีตมวลเบาถูกกว่าดินลูกรังโดยเฉพาะสูตรที่ 2 (C0.5/1.5/30) และคอนกรีตมวลเบายังสามารถลดเวลาในการทำงาน การใช้เครื่องจักรจำนวนมากในการทำงานประกอบกับการใช้จำนวนคนมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นอาจเหลือการใช้คอนกรีต CLC มาทำงานแทนในกรณีที่เครื่องจักรทำงานได้ไม่สะดวก แหล่งดินห่างไกลหรือขนส่งได้ยาก และ ต้องการความเร็วในการทำงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ผลการวิจัยมาจากการทดสอบวัสดุจากห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาใส่สูตรคำนวณ โดยยังไม่ได้มีการทำแบบจำลอง หรือการทดลองจริง ถ้าจะนำไปใช้จริงจึงสมควรทำแบบจำลองตามวิธีการคำนวณที่ให้ไปก่อน

2) ควรมีการศึกษาต่อคอนกรีตมวลเบาระบบ clc ว่าเมื่อมีการอิ่มตัวด้วยน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นแบบใด เพราะในสถานการณ์จริงนั้นชั้นรองพื้นทางอาจมีการอิ่มตัวด้วยน้ำได้ในบางสถานการณ์

3) ควรมีการศึกษาต่อทางด้าน จำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติ (ความล้า) เพิ่มเติมเพราะถ้าเพิ่มจำนวนครั้งในการรับแรงเมื่อรับแรงไม่ถึงกำลังวิบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ clc ได้ ก็จะทำให้ลดความหนาของชั้นรองพื้นทางคอนกรีตมวลเบาระบบ clc ลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

McEvily, Jr. **Atlas of Stress-Corrosion and Corrosion Fatigue Curve,**

Huang, Y.H. (1993). **Pavement Analysis and Desing.** Prentice Hall

Van Ornum J.L. (1907), **"Fatigue of Concrete",**Transactions, American Society of CivilEngineers, Vol. 58 (1907),pp. 294-320

Van Ornum J.L. (1903), **"Fatigue of Cement Pro-ducts,"** Transactions, American Societyof Civil Engineers, p.443.

กรมทางหลวง. **การทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517**

กรมทางหลวง. **การทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517**

กรมทางหลวง. **การทดลองที่ ทล.-ท. 305/2548**

ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม. 2558. **"การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดคะเนหาสัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ clc."** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธนภรทวีวุฒิ. 2552 **"กำลังรับแรงดึงแยกและโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า."** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สมบัติเจริญพัฒน์.**การกำหนดน้ำหนักบรรทุก.**

สำนักงานอำนวยความปลอดภัยกลมทางหลวง. **ปริมาณจราจรบนทางหลวงในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ปี 2558.** http://bhs.doh.go.th/download/traffic

สำนักวิศวกรรมยานยนต์. **สรุปรายละเอียดขนาดสัดส่วนของรถโดยสารและรถบรรทุกตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบกพ.ศ. 2522.**

อำนวย พานิชกุลพงศ์ และ นัฐพร นวกิจรังสรรค์. (2548). **วิศวกรรมการทาง.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้