



รายงานฉบับที่ วพ. 176 ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง
REPORT NO. 176 ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER

**การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็น
Soil-Cement และรองพื้นทางเป็นวัสดุผสมรวม
ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติถึงหนักมาก**

โดย

**ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์
สถิตย์พงษ์ อภิเมธีธำรง**

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS,

RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND



**การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็น
Soil-Cement และรองพื้นทางเป็นวัสดุมวลรวม
ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติถึงหนักมาก**

โดย

**ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์
สถิตย์พงษ์ อภิเมธีธำรง**

**รายงานวิจัย ฉบับ วพ.176
ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง
มกราคม 2543**

รายงานนี้เป็นความคิดของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

คำนำ

การวิเคราะห์หาค่า Stress, Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทาง จะต้องอาศัย Layered Elastic Theory เพื่อหาค่าต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งโดยปกติจะต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อการนี้โดยเฉพาะมาใช้งาน คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางสำคัญที่ต้องทราบได้แก่ ค่า Elastic Modulus (E), Poisson's Ratio (μ) กรมทางหลวงได้พัฒนาโปรแกรม PSAD 2A-PC จากโปรแกรม PSAD 2A โดยแปลจากภาษาฟอร์แทรนเป็นภาษาเบสิกเพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่า Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นบนถนนลาดยางที่ประกอบด้วยผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต พื้นทาง Soil-Cement และชั้นรองพื้นทางเป็นลูกรัง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติ (3 เพลา) หนัก 21, 23, และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35 และ 40 ตัน ค่า CBR ของชั้นดินมีค่าตั้งแต่ 2,4 และ 6 ปริมาณการจราจรตั้งแต่ 1,000 ถึง 10,000 คันต่อวัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของรถบรรทุกหนักที่มีผลต่อโครงสร้างชั้นทาง รายงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็น Soil-Cement และชั้นรองพื้นทางเป็นลูกรัง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติและน้ำหนักบรรทุกหนักมาก หวังว่ารายงานวิจัยนี้จะใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และพัฒนารูปแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามแนวทาง Analytical Method ให้ความ มั่นคงแข็งแรง และมีอายุใช้งานที่ยาวนานต่อไป



(นายศรีสุข จันทรางศุ)
อธิบดีกรมทางหลวง

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การศึกษาผลงานวิจัยในอดีต	3
2.1 น้าหนักบรรทุกของรถบรรทุกในประเทศไทย	3
2.2 การพัฒนาการออกแบบถนน Soil-Cement ในประเทศไทย	3
2.3 การพัฒนาการออกแบบโครงสร้างชั้นทางแบบยึดหยุ่นตามแนวทาง Analytical Method	9
2.4 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบในแนวทาง Analytical Method	13
2.5 Critical Stress/Strain ของโครงสร้างของถนนลาดยางตามแนวทาง Analytical Method	34
2.6 Design Criteria และ Fatigue Characteristics ของวัสดุชั้นทาง	38
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	53
3.1 อุปกรณ์	53
3.2 วิธีการ	53
3.3 โปรแกรม PSAD 2A-PC	53
3.4 ส่วนประกอบของโปรแกรม PSAD 2A-PC	54
3.5 ขอบเขตของโปรแกรม PSAD 2A-PC	54
3.6 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	54
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	62
4.1 Radial Strain ใต้ล้อเดี่ยวใต้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีต	62
4.2 Radial Strain ใต้ล้อคู่ใต้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีต	70
4.3 Radial Strain ใต้ล้อเดี่ยวใต้ชั้นพื้นทาง	79
4.4 Radial Strain ใต้ล้อคู่ใต้ชั้นพื้นทาง	87
4.5 Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต	95
4.6 Vertical Displacement ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต	103
4.7 Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade	111

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade	119
4.9 Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade	122
4.10 Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade	136
4.11 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีต	144
4.12 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement	148
4.13 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต	152
4.14 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade	152
4.15 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Strain บนผิวหน้าของชั้น Subgrade	159
 บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	 163
 เอกสารอ้างอิง	 169
 ภาคผนวก ก. การคำนวณค่า Contact Pressure และ Radius of Contact Area ของรถบรรทุกหนักขนาดต่าง ๆ	 175
 ภาคผนวก ข. ข้อมูลแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างถนนตามโปรแกรม PSAD 2A-PC	 181
 ภาคผนวก ค. แสดง Diagram ของ Dual Wheel Load และระยะต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์	 213

**การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็นดินซีเมนต์
และรองพื้นทางเป็นวัสดุมวลรวม
ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติถึงหนักมาก**

* * * * *

ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์
ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

สถิตย์พงษ์ อภิเมธีขำรง
ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปริมาณการจราจรได้เพิ่มมากขึ้นทั้งจำนวนและขนาดของน้ำหนักบรรทุก โดยปกติ น้ำหนักบรรทุกตามกฎหมายกำหนดไว้ที่ 21 ตัน สำหรับบรรทุก 3 เพลา แต่ในสภาพความเป็นจริง รถบรรทุกที่สัญจรไปมาบนถนน มีน้ำหนักเกินพิกัดที่กฎหมายกำหนดเป็นจำนวนมาก ทำให้โครงสร้างชั้นทางเกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานสั้นลง ถนนบางสายที่ออกแบบโดยกรมทางหลวงต้องรับปริมาณการจราจรสูงถึง 80-160 ล้านเที่ยวตลอดช่วงอายุการใช้งาน 15-20 ปี ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางตามแนวทาง Empirical Method ที่ผ่านมา พบว่าจะเชื่อถือได้สำหรับปริมาณการจราจรไม่เกิน 10 ล้านเที่ยว วิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทางให้รับปริมาณการจราจรได้สูงถึง 100 ถึง 200 ล้านเที่ยว และมีรถบรรทุกหนักมาก ควรใช้วิธีการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วัสดุปรับปรุงคุณภาพที่แข็งแรงกว่า ทำให้โครงสร้างชั้นทางมีความแข็งแรง สามารถรับปริมาณการจราจรที่สูงมาก และน้ำหนักบรรทุกที่สูงมากได้

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิด Strain และ Deflection ของโครงสร้างถนนที่มีดินซีเมนต์เป็นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทางเป็นวัสดุมวลรวม ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35 และ 40 ตัน ค่า Subgrade CBR มีค่าเท่ากับ 2, 4 และ 6 โดยใช้โปรแกรม PSAD 2A-PC เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและสภาพการจราจรในประเทศไทย

จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงค่า Radial Tensile Strain ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement และค่า Vertical Compressive Strain บนผิวหน้าของชั้นดินชั้นทางตามสภาพน้ำหนักบรรทุกปกติ และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก ตามค่า Subgrade CBR ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถือเป็นค่าวิกฤตสำหรับการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method ของโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ ส่วนสาระสำคัญอื่น ๆ สามารถสรุปได้จากการศึกษา

บทที่ 1

บทนำ

การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางมีแนวทางการออกแบบอยู่ 2 แนวทาง คือ

1. การออกแบบในแนวทาง Empirical Method เป็นการออกแบบจากประสบการณ์ และใช้ข้อมูลจากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุในห้องทดลอง ควบคุมกับข้อมูลจากถนนทดลอง ในสนามมากำหนดสูตรเพื่อจัดสร้าง Design Chart ที่จะใช้ในการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนน
2. การออกแบบในแนวทาง Analytical Method เป็นการออกแบบโครงสร้างชั้นทางในลักษณะของการวิเคราะห์ค่าของ Stress, Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง เปรียบเทียบกับ Criteria Value ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในวัสดุชั้นทางแต่ละประเภท ก็จะสามารถกำหนดจำนวนเที่ยวของน้ำหนักรถที่สามารถผ่านไปมาบนถนน และสามารถกำหนดอายุการใช้งานของถนนจากข้อมูลปริมาณการจราจรได้

การออกแบบในแนวทาง Empirical Method จะสะดวกในการใช้งาน ทำให้รวดเร็ว และ Design Parameter ได้แก่ค่า CBR, Plate Bearing K-Value และ R-Value ก็สามารถจะทราบได้โดยง่าย วิธี Empirical Method จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในช่วงปี พ.ศ. 2493-2523 หลังจากปี พ.ศ. 2523 เป็นต้นมา ปริมาณการจราจรได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และน้ำหนักของรถบรรทุกสินค้าก็เพิ่มมากขึ้น ทำให้การออกแบบตามแนวทาง Empirical Method ให้ผลที่ไม่ดีนัก สาเหตุเนื่องมาจาก Design Chart ที่พัฒนาขึ้นมาตามแนวทาง Empirical Method ส่วนใหญ่จะพัฒนามาจากข้อมูลของ Load Repetitions ไม่เกิน 10 MSA (Million Single Axle) หากปริมาณการจราจรที่ใช้ออกแบบเกิน 10 MSA มากๆ ค่าความหนาที่คิดคำนวณมาจาก Design Chart จะมีความคลาดเคลื่อนสูง ทำให้ผู้ออกแบบต้องเผื่อความหนาสำหรับโครงสร้างถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง ซึ่งค่าความหนาที่เผื่อไว้นี้ ไม่มีเกณฑ์แน่นอน ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และดุลยพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบเป็นหลัก ดังนั้นสถาบันวิจัยต่างๆ ทั้งในสหรัฐอเมริกา และยุโรปจึงได้ให้ความสนใจในการพัฒนาวิธีการออกแบบในแนว Analytical Method ขึ้นมาใช้แทนที่วิธีเก่า การออกแบบตามแนวทาง Analytical Method สามารถวิเคราะห์อายุการใช้งาน และออกแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นทางเป็นวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ เช่น Modified Asphalt, Cement Modified Crushed Rock และ Soil Cement รวมทั้ง Stabilized Subgrade ซึ่งจะช่วยงานออกแบบ และก่อสร้างชั้นทางให้ใช้วัสดุต่างๆ ที่มีคุณภาพสูง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกและปริมาณการจราจรได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบชั้นทางโดยใช้วัสดุประเภท Local Materials ที่โดยปกติมักมีคุณภาพต่ำกว่าวัสดุมาตรฐานได้อีกด้วย โดยเพิ่มความหนาให้มากขึ้นตามความจำเป็น นอกจากนี้จะก่อให้เกิดการพัฒนาเทคนิคงานทางใหม่ๆ ทั้งทางด้าน Soil Technology และ Asphalt Technology ทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงกว่ามาตรฐานในการก่อสร้างถนนบางประเภทที่มีลักษณะพิเศษ เช่นถนนที่มีรถบรรทุกหนักเกินพิกัดผ่านเป็นจำนวนมาก หรือถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงมากประเภท Motorway เป็นต้น

การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางในประเทศไทยซึ่งรับผิดชอบโดยกรมทางหลวงในระยะแรกใช้วิธี CBR Method ที่พัฒนาขึ้นมาโดย Middlebrooks และ Bertram (1950) ต่อมา Corp of

Engineers (1961) ได้ดัดแปลงเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของท่าอากาศยาน โดยมีค่า Wheel Load ตั้งแต่ 4,000-70,000 ปอนด์ การออกแบบตามวิธีนี้จะใช้ค่า Design Wheel Load เป็นหลัก และใช้ค่า Soaked CBR ของชั้น Subgrade Soil เป็น Design Parameter ดังนั้นความหนาของโครงสร้างถนนลาดยางที่ได้จะเกี่ยวกับค่า Subgrade CBR และ Design Wheel Load เท่านั้น ปริมาณการจราจรและปริมาณรถบรรทุกหนักมิได้ถูกนำมาใช้ในรายละเอียดของการออกแบบอย่างแท้จริง ในถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง และมีปริมาณรถบรรทุกหนักมากก็จะใช้วิธีเปลี่ยนค่า Design Wheel Load ให้สูงขึ้น ปัจจุบัน (ประมาณปี พ.ศ. 2514- ปัจจุบัน) กรมทางหลวงได้เปลี่ยนวิธีการออกแบบ โดยยึดเอาวิธีของ The Asphalt Institute ตามแนวทาง Empirical Method มาใช้ในการออกแบบ แต่ได้มีการลดค่าความหนาของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตให้น้อยลงบ้างสำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย และปานกลาง เพื่อประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีความต้องการทางหลวงทั่วประเทศในปริมาณที่สูง ถ้าหากออกแบบเดิมที่ตามวิธี The Asphalt Institute แล้วจะทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณมาก ปริมาณถนนที่ก่อสร้างได้จะน้อยลง อันจะเป็นผลทำให้การพัฒนาชนบทที่อยู่ห่างไกล เป็นไปได้ยาก การออกแบบถนนลาดยางในประเทศไทยจึงอยู่ในลักษณะของ Planned Stage Construction กล่าวคือ ถนนที่ออกแบบจะต้องเสริมผิวทาง (Overlay) ภายหลังที่เปิดใช้งานนาน 5-7 ปี ตามสภาพของการจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป และสภาพความทรุดโทรมของถนน การออกแบบก่อสร้างถนน ในลักษณะของ Planned Stage Construction จะก่อให้เกิดการพัฒนาประเทศอย่างทั่วถึงในทุกส่วนของประเทศ เพราะว่าเงินที่ใช้งบลงทุนพัฒนาระบบทางหลวงจะแพร่กระจายไปในทุกส่วนของประเทศ ในสัดส่วนที่เหมาะสมตามความจำเป็น และความเร่งด่วนของแต่ละท้องถิ่น

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่า Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในถนนลาดยาง ที่ประกอบด้วยผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต โดยมี Soil Cement เป็นชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทางเป็นลูกรัง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติ 10 ล้อ (3 เพลา)หนัก 21, 23, และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, และ 40 ตัน ค่า CBR ของชั้นดินมีค่าตั้งแต่ 2-6 ปริมาณการจราจรตั้งแต่ 1,000 ถึง 10,000 คันต่อวัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบถนนลาดยางตามแนวทาง Analytical Method ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ และสภาพการจราจรในประเทศไทย และเนื่องจากปัญหาการบรรทุกหนักเกินพิกัดเป็นปัญหาที่ผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่ายพยายามที่จะแก้ไข แต่ก็ยังหาข้อยุติที่เหมาะสมไม่ได้ โครงการศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้องจะได้นำไปประกอบในการพิจารณาตัดสินใจแก้ปัญหาการบรรทุกหนักเกินพิกัดในประเทศไทย

การวิเคราะห์หาค่า Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง จะใช้ Layered Elastic Theory เพื่อคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งโดยปกติจะต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อการนี้โดยเฉพาะมาใช้งาน คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่สำคัญที่ต้องทราบได้แก่ ค่า Elastic Modulus (E), Poisson's Ratio (μ) สำหรับการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSAD 2A-PC ซึ่งกรมทางหลวง ได้พัฒนามาจากโปรแกรม PSAD 2A โดยแปลจากภาษาฟอร์แทรนเป็นภาษาเบสิกเพื่อสามารถใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC นอกจากนี้ยังได้รวมเอาโปรแกรมการพล็อตกราฟเข้าไว้ในโปรแกรมนี้ด้วย ทำให้สามารถเขียนรูปแสดงค่า Stress, Strain และ Deflection ตามความลึกในแนวหน้าตัด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระบุภายใต้พื้นที่รับน้ำหนักล้อได้

บทที่ 2

การศึกษาผลงานวิจัยในอดีต

2.1 น้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกในประเทศไทย

มนัส : (2515) ได้ทำการศึกษาน้ำหนักบรรทุกเกินพิกัด พบว่า มีน้ำหนักถึง 30 ตัน ซึ่งเกินกว่ากฎหมายกำหนดถึง 9 ตัน น้ำหนักบรรทุกเกินพิกัดนี้ได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อถนนและสะพาน และยังก่อให้เกิดอุบัติเหตุบนถนนอันเป็นผลเสียต่อเศรษฐกิจของประเทศ

ปี พ.ศ. 2530 กรมการขนส่งทางบกได้จ้างบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา Kampsax ศึกษาเรื่องรถบรรทุกหนักที่วิ่งผ่านไปมาบนถนน จากการศึกษาพบว่ารถบรรทุกที่วิ่งบนถนนสายหลักที่สำคัญของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่บรรทุกเกินพิกัด สินค้าต่างๆ ที่บรรทุก ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ยาง น้ำตาล ไม้ซุง วัสดุก่อสร้าง ยิปซัม และ ปูนซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ผลจากการบรรทุกหนักเกินพิกัดทำให้เกิดความเสียหายต่อถนน อายุการใช้งานสั้นลง ต้นปลีองบประมาณในการบำรุงรักษามากขึ้น จากการศึกษาถนนลาดยางความยาว 2,545 กิโลเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยรายจ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาเฉลี่ย โดยพิจารณาช่วงระยะเวลา 10 ปี ของถนนที่มีรถบรรทุกหนักเกินพิกัดเท่ากับ 124,000 บาทต่อกิโลเมตรต่อปี และถนนที่ไม่มีรถบรรทุกหนักเกินพิกัดเท่ากับ 109,000 บาทต่อกิโลเมตรต่อปี จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของถนนลาดยางที่มีรถบรรทุกหนักเกินพิกัดมากกว่าปกติประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์

กฎหมายที่เกี่ยวกับพิกัดน้ำหนักของรถบรรทุกที่สำคัญ ได้แก่ ประกาศของผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินฉบับเก่า (พ.ศ. 2511 และ พ.ศ. 2517) และฉบับใหม่ (พ.ศ. 2519) โดยกำหนดน้ำหนักรวม (Gross Weight) ของรถบรรทุก 6 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (อำนวยการ, 2521)

2.2 การพัฒนาการออกแบบถนน Soil-Cement ในประเทศไทย

กรมทางหลวงซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษาถนน ได้นำเอาแนวความคิดของการออกแบบถนน Soil Cement มาใช้ในการออกแบบถนนเพื่อให้สามารถต้านทานปริมาณการจราจรที่สูงมาก และรถบรรทุกเกินพิกัดซึ่งมีมากในปัจจุบัน

การก่อสร้างถนน Soil Cement เริ่มต้นครั้งแรกในประเทศไทยโดยกรมทางหลวงเมื่อปี พ.ศ. 2508 ช่วงเวลาของการก่อสร้างถนน Soil Cement ของกรมทางหลวงสามารถแบ่งออกเป็นสามช่วงเวลา ดังต่อไปนี้

ช่วงต้น (พ.ศ. 2508-2515) กรมทางหลวงร่วมกับบริษัทปูนซีเมนต์ไทยได้จัดสร้างถนนพื้นทาง Soil Cement สายวาริน-เดชอุดม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ความยาว 5 กิโลเมตร เมื่อปี พ.ศ. 2508 เนื่องจากถนน Soil Cement สายแรกนี้แสดงพฤติกรรมที่ดี กรมทางหลวงจึงได้ทำการ

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักโดยเฉลี่ยสำหรับการบรรทุกสินค้าเกินพิกัดของรถบรรทุก 10 ล้อ (Kampsax, 1988)

Commodity	Corridors	Average weights intonnes			
		Tare Weight	Pay-Load	GVW	Over-Load
Rice	From northeast to export points and Bangkok via Route 2	7.6	14.7	22.3	1.3
	All other corridors	7.6	16.8	24.4	3.4
Tapioca	From northeast to export points and Bangkok via route 2	8.9	13.3	22.2	1.2
	From Chon Buri and other areas near Bangkok to export points and Bangkok	7.5	14.5	22.0	1.0
	All other corridors	8.9	18.8	27.7	6.7
Maize	All corridors	7.6	15.4	23.0	2.0
Sugar-cane	All corridors (short hauls-farm to mill)	7.0	26.0	33.0	12.0
Sugar	All corridors	7.6	14.1	21.7	0.7
Timber and Sawn Lumber	All corridors	8.0	15.0	23.0	2.0
Construction Aggregates	All corridors	8.0	14.0	22.0	1.0
Cement	All corridors	7.3	14.0	22.3	1.3
Gypsum	Route 11, 32 and 1	10.0	20.0	30.0	9.0

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักพิกัดของรถบรรทุกประเภทต่างๆ (อำพล, 2521)

ประเภทของรถบรรทุก	น้ำหนักรวม (Gross-Weight),ตัน ฉบับเก่า	น้ำหนักรวม (Gross-Weight),ตัน ฉบับใหม่
รถ 2 เพลา (4 ล้อยาง) เพลาลงใช้ยางเดี่ยว	7.50	8.50
รถ 2 เพลา (6 ล้อยาง) เพลาลงใช้ยางคู่	10.00	12.00
รถ 3 เพลา (10 ล้อยาง) เพลาคี่ 2 และ 3 เป็นเพลาคู่	18.00	21.00
รถ 4 เพลา (กึ่งพ่วง14 ล้อยาง) รถลากเพลาคี่ 2 เป็นเพลาคี่เดี่ยว รถพ่วงชนิดเพลาคู่	24.40	28.40
รถ 4 เพลา (กึ่งพ่วง14 ล้อยาง) รถลากเพลาคี่ 2 และ 3 เป็นเพลาคู่ รถพ่วงชนิดเพลาคี่เดี่ยว	26.00	30.10
รถ 5 เพลา (กึ่งพ่วง18 ล้อยาง) รถลากเพลาคี่ 2 และ 3 เป็นเพลาคู่ รถพ่วงชนิดเพลาคู่	32.40	37.40

ก่อสร้างถนน Soil Cement เพิ่มขึ้นอีกหลายสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงปี พ.ศ. 2508-2515 รวมความยาวของถนน Soil Cement ทั้งสิ้นประมาณ 1,400 กิโลเมตร การที่กรมทางหลวงต้องก่อสร้างถนน Soil Cement ก็เพราะพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือขาดแคลนหินที่จะนำมาใช้เป็นพื้นทางของถนน เนื่องจากการนำเอา Soil Cement เข้ามาใช้ในงานทางครั้งแรก เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องยังไม่มีความรู้และเข้าใจพฤติกรรมของ Soil Cement ดีพอ เป็นเหตุให้ถนนบางช่วงของบางสายทางเกิดความเสียหายในลักษณะของ Reflected Crack เป็นจำนวนมาก ซึ่งความเสียหายนี้จะเป็นปัญหาในการบำรุงทาง ทำให้กรมทางหลวงระงับโครงการก่อสร้างถนน Soil Cement ไว้ในปี พ.ศ. 2515 เพื่อศึกษาปัญหาของถนน Soil Cement ให้ละเอียดลงไปก่อนตัดสินใจนำกลับมาใช้ใหม่

ช่วงกลาง (พ.ศ. 2515-2525) ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาของการศึกษาพฤติกรรมของถนน Soil Cement ที่มีอยู่เดิมอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาวิจัย Soil Cement เพิ่มเติม โดยทำการวิจัยในห้องปฏิบัติการและสร้างถนนทดลอง รวมทั้งการศึกษารายงานข้อมูลจากต่างประเทศ ผลการศึกษาในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้เข้าใจถึงธรรมชาติของถนน Soil Cement ได้ดียิ่งขึ้น

ช่วงปัจจุบัน (พ.ศ. 2525 - ปัจจุบัน) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมา เป็นช่วงของการก่อสร้างถนน Soil Cement โดยยึดเอาผลที่ได้จากการศึกษาในช่วงกลางเป็นแนวทาง พบว่าถนน Soil Cement ที่สร้างขึ้นในระยะหลังไม่มีปัญหาเกี่ยวกับรอยแตกภายหลังการก่อสร้างแต่อย่างไร

ถนน Soil Cement โดยทั่วๆ ไปจะแสดงพฤติกรรมที่ดีในด้านความแข็งแรงทนทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเปิดใช้งานไปหลาย ๆ ปี ก็ยังไม่เกิดรอยร่องล้อ (Rut) หรือหลุมบ่อ (Pothole) บนผิวหน้าของถนน ตรงกันข้ามกับถนนที่มีพื้นทางเป็นหินคลุกซึ่งจะปรากฏรอยร่องล้อและหลุมบ่ออย่างชัดเจน เมื่อเปิดใช้งานไปนาน ๆ การที่ถนน Soil Cement ไม่แสดงรอยร่องล้อเป็นเพราะความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน Soil Cement สูงกว่าถนนพื้นทางหินคลุกมาก Soil Cement ซึ่งมีลักษณะเป็น Cemented Aggregate Base มีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่าหินคลุก ทำให้ Soil Cement สามารถจะต้านทานรถบรรทุกเกินพิกัดได้ดีกว่าหินคลุก ซึ่งมีลักษณะเป็น Unbound Granular Base และสามารถจะขยับตัวได้เมื่อต้องเผชิญกับการรับแรงเฉือนทางด้านข้าง จึงสามารถต้านแรงเฉือนทางด้านข้างได้ดีกว่า และลดการเกิดรอยร่องล้อบนผิวถนน แม้ว่าจะเผชิญกับรถบรรทุกเกินพิกัดมากก็ตาม

Criteria ของการออกแบบส่วนผสมของ Soil Cement มีอยู่หลาย Criteria ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะออกแบบโดยยึดเอา Criteria ของ Portland Cement Association (1970) ซึ่งจะยึดเอาการทดลอง Freezing and Thawing เป็นหลักในการประเมินความแข็งแรงของ Soil Cement การที่ยึดเอาการทดลอง Freezing and Thawing เป็นหลัก เพราะสภาพอากาศแตกต่างกันมากในแต่ละฤดูกาล สำหรับประเทศไทย กรมทางหลวงได้ยึดเอา Criteria ของ Unconfined Compressive Strength ของ Soil Cement ที่อายุ 7 วัน จะต้องมีความไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์/นิ้ว² Criteria ดังกล่าวเป็นข้อแนะนำของ Road Research Laboratory (RRL) (1957) ซึ่งภายหลังจากการศึกษารวบรวมโดยการผสมซีเมนต์กับดินลูกรังในประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกา ก็พบว่า Lateritic Soil Cement ที่บดอัดแน่น และมีอายุการบ่มนาน 7 วัน มีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์/นิ้ว² จะสามารถใช้เป็นพื้นทางของถนนได้อย่างเหมาะสม การที่กรมทางหลวงได้ยึดเอา Criteria ของ RRL เป็นหลัก

ในการก่อสร้างถนน Soil Cement ในประเทศไทย ก็เพราะว่ากรมทางหลวงก่อสร้างถนน Soil Cement เป็นครั้งแรกประมาณ 30 ปี มาแล้วในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุดิบ ซึ่งดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับดินลูกรังในทวีปแอฟริกา Criteria ของการออกแบบส่วนผสม Soil Cement ของสถาบันต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 Criteria ของการออกแบบส่วนผสม Soil Cement

สถาบัน	Design Criteria
กรมทางหลวง ประเทศไทย	กำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์
บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย	CBR ไม่น้อยกว่า 120
British Road Research Laboratory	กำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์
กรมทางหลวง ประเทศกานา	CBR ไม่น้อยกว่า 120
ประเทศแอฟริกา (ส่วนมาก)	CBR ไม่น้อยกว่า 180
National Association of Australia State Roads Authority (NAASRA), Australia	1. กำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 7 วัน อยู่ในช่วง 150-250 ปอนด์/นิ้ว ² 2. CBR เมื่อบ่ม 7 วัน และแช่น้ำ 4 วันไม่ น้อยกว่า 120

ที่มา : ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2524)

การออกแบบส่วนผสม Soil Cement ของกรมทางหลวงจะใช้วิธีการของ Portland Cement Association แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา แต่จะใช้ Criteria ของ Road Research Laboratory (RRL) แห่งประเทศอังกฤษ ตามวิธีดังกล่าวนี้ดินจะถูกผสมกับซีเมนต์ปริมาณต่าง ๆ กัน (ร้อยละ 3, 4, 5, 6, 7) แล้วนำมาบดอัดใน Proctor Mold โดยบดอัดแบบ Modified Proctor ใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content หลังจากนั้นแท่งตัวอย่างจะถูกบ่มในถุงพลาสติก เพื่อรักษาความชื้นเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปทดสอบหาค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) จากปริมาณซีเมนต์และค่า UCS ที่ทดลองได้นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์ (%) กับค่า UCS ปริมาณซีเมนต์ที่ให้ค่า UCS เท่ากับ 250 ปอนด์/นิ้ว² จะเป็นปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในการทำ Soil Cement โดยปกติปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการสำหรับดินลูกรังที่มีขนาดละเอียดจะตกประมาณร้อยละ 5

ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง Soil Cement กรมทางหลวงได้ใช้วิธีการออกแบบของ Portland Cement Association (PCA) ซึ่งเป็นการออกแบบตามแนวทาง Empirical Method PCA ได้พัฒนาวิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง Soil Cement ขึ้นในปี ค.ศ. 1970 การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง Soil Cement ของ PCA จะพิจารณาจากคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความล้า (Fatigue) ของวัสดุ คุณสมบัติพื้นฐานของ Soil Cement ที่ PCA กำหนดไว้ที่อายุ 28 วัน มีดังต่อไปนี้

Compressive Strength	400-900	ปอนด์/นิ้ว ²
Modulus of Rupture	80-180	ปอนด์/นิ้ว ²
Modulus of Elasticity	600,000-2,000,000	ปอนด์/นิ้ว ²
Poisson's Ratio	0.12-0.14	
Critical Radius of Curvature	4,000-7,500	นิ้ว
(ขนาด 6 * 6 * 30 นิ้ว)		

สำหรับคุณสมบัติทางด้านความล้า ซึ่งอยู่ในรูปของจำนวนครั้งของน้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดความเสียหาย จะมีความสัมพันธ์กับ Radius of Curvature ของ Soil Cement และชนิดของดินที่นำมาใช้ทำ Soil Cement ซึ่ง PCA ได้แบ่งดินออกเป็นสองกลุ่มตามวิธีของ AASHO คือ กลุ่ม Granular Soil ได้แก่ A-1, A-3, A-2-4, และ A-2-5 และกลุ่ม Fine Grained Soil ได้แก่ A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6 และ A-7

สำหรับความหนาของชั้นผิวทางจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ได้แก่ ปริมาณจราจร สภาพอากาศ คุณภาพของวัสดุในแต่ละพื้นที่ และกรรมวิธีการก่อสร้างถนนตามพื้นที่ต่าง ๆ กัน PCA ได้กำหนดความหนาของชั้นผิวทางซึ่งเป็นความหนาที่เหมาะสมตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 Bituminous Surface Thickness

• Soil Cement Thickness (inch)	Recommended Bituminous Surface Thickness (inch)	Minimum Bituminous Surface Thickness (inch)	
		Non-Frost Area	Frost Area
5-6	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$	SBST*	DBST*
7	$1\frac{1}{2} - 2$	DBST	1**
8	$1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$
9	2-3	2	2

* SBST Single bituminous surface treatment

DBST Double bituminous surface treatment

** Where snowplows are used, a minimum of $1\frac{1}{2}$ in. is recommended

ที่มา : Portland Cement Association (1970)

วิธีการออกแบบโครงสร้างถนน Soil Cement ตามวิธีของ PCA ซึ่งเป็นวิธีการตาม Empirical Method ไม่เหมาะสมกับประเทศไทยมากนัก เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน (Wet and Dry Region) ตรงกันข้ามกับประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสภาพอากาศแตกต่างกันมาก ซึ่งเหมาะสมที่จะออกแบบ Soil Cement โดยยึดเอาการทดสอบแบบ Freezing and Thawing เป็นหลัก และอีกประการหนึ่งคือคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ในงาน Soil Cement ในสภาพแวดล้อมก็เป็นจริง แตกต่างกันระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกากับประเทศไทย

2.3 การพัฒนาการออกแบบโครงสร้างชั้นทางแบบยืดหยุ่นตามแนวทาง Analytical Method

Westergaard ได้จัดพิมพ์งานวิจัยทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางขึ้นเป็นครั้งแรก โดยใช้กับชั้นผิวทางคอนกรีต และได้มีการพัฒนาต่อจนถึงปี ค.ศ. 1943 Burmister ได้พิมพ์บทความเรื่อง "The Theory of Stresses and Displacement in Layered Systems and Application to the Design of Airport Runways" ซึ่งแสดงถึงการพัฒนาการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางโดยทฤษฎีอีลาสติค ทฤษฎีนี้จะเกี่ยวข้องกับ Stress, Strain และ Deflection ของชั้นทาง โดยสมมุติว่าชั้นทางประกอบด้วยชั้นทางจำนวนหนึ่ง ที่มีความยาวอนันต์ในทางราบ ทับอยู่บนชั้นดินคันทางที่มีความหนานันต์ เนื้อดินในชั้นต่างๆ ถือว่ามีความสม่ำเสมอโดยตลอด (Homogeneous) มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic) และมีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elastic) Westergaard (1926), Hogg (1938) และ Odemark (1949) ได้พิจารณาให้ชั้นทางเป็น Elastic Plate ส่วนนักวิจัยอื่น ๆ เช่น Burmister (1943;1945), Hank และ Scrivner (1948) ได้พิจารณาให้ชั้นทางเป็น Elastic Layer ความแตกต่างของ 2 วิธีนี้ คือ เมื่อเป็น Elastic Plate จะไม่พิจารณา Deflection ในชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ส่วน Elastic Layer จะพิจารณา Stress, Strain และ Deflection ในทุกชั้นทาง จากการวัดค่า Vertical Deflection ในชั้นผิวทางของถนนลาดยางโดย Road Research Laboratory (Whiffin และ Lister, 1962) และจาก WASHO Road Test (Highway Research Board, 1955) พบว่าได้เกิด Transient Deflection ในชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจริง แสดงให้เห็นว่าผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจะมีพฤติกรรมเป็น Elastic Layer มากกว่า Elastic Plate ดังนั้น Elastic Layer Concept จึงเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างถนนลาดยาง

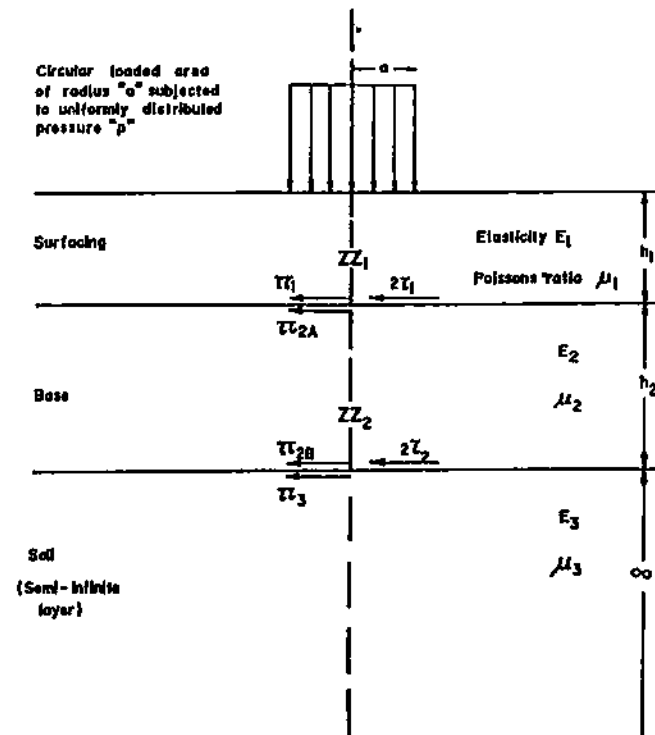
Burmister (1945) ได้พัฒนาทฤษฎีอีลาสติคสำหรับระบบทางสามชั้น (Three Layer) แต่ไม่ได้ให้สมการสำหรับคำนวณค่า Stress และ Deflection ของชั้นทางแต่ละชั้น ในปี ค.ศ. 1948 Fox (1948) ได้เสนอบทความเกี่ยวกับการกระจายของ Stress ในระบบชั้นทางสองชั้น (Two Layer) และ ในปี ค.ศ. 1951 Acum และ Fox (1951) ได้เสนอบทความที่แสดงค่า Stress ระหว่างชั้นทางสามชั้น โดยแสดงค่าในแนวตั้งผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่สัมผัสของล้อเป็นวงกลม และความทั้งสองได้พัฒนาจากผลงานของ Burmister โดยสมมุติให้พื้นที่สัมผัสของล้อเป็นวงกลม และมีความดันแผ่กระจายต่อพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ อัตราส่วนของบัวของล้อที่ใช้เท่ากับ 0.50 เท่ากันทั้งระบบ ผลการคำนวณจะพิมพ์ออกมาในรูปของตาราง

สำหรับค่า Thickness Ratio และ Modular Ratio ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ต่อมาบริษัทเชลล์ ปิโตรเลียม โดย Jones (1962) ได้คำนวณค่า Stress ต่าง ๆ ในระบบ Elastic สามชั้น โดยใช้อัตราส่วนปัวซองส์ เท่ากับ 0.35 รายงานผลการศึกษาของ Jones ได้พิมพ์เผยแพร่ในหนังสือ Highway Research Board Bulletin 342, 1962

Peattie (1962) ได้นำค่าจากตารางของ Jones มาจัดทำเป็น Design Chart ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งช่วยให้การใช้งานสะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้ตาราง แต่อย่างไรก็ตามในช่วงนั้น วิศวกรก็ยังไม่สามารถคำนวณหาค่า Stress, Strain และ Deflection ในชั้นทางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากไม่ทราบค่า Elastic Modulus และ Poisson's Ratio ของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ค่าที่แสดงในตารางของ Jones และใน Design Chart ของ Peattie เป็นเพียงค่า Stress Factor และ Strain Factor ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ก็ต่อเมื่อต้องทราบค่า Elastic Modulus และ Poisson's Ratio ของวัสดุชั้นทางทุกชั้นเสียก่อน เพราะในครั้งนั้น Design Chart และตารางที่ทำขึ้นจะระบุเฉพาะค่า Stress Factor และ Strain Factor ที่ Modular Ratio และ Thickness Ratio ต่างๆ เท่านั้น นอกจากนี้ค่า Elastic Modulus ของชั้นทางแต่ละชั้นยังแปรเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม โดยค่า Elastic Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีตจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ส่วนของ Unbound Granular Material และดินจะแปรเปลี่ยนตามปริมาณความชื้น

การพัฒนาในการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทาง ก่อให้เกิดการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างชั้นทางตามแนวทาง Analytical Method ควบคู่กันไป ในช่วงนี้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสนใจแนวทางในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งนำไปสู่การประชุมนานาชาติเรื่องการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของถนนลาดยางที่มหาวิทยาลัยมิชิแกน ในปี ค.ศ. 1962 จากการประชุมครั้งนี้ก่อให้เกิดแนวทางการวิเคราะห์เพื่อออกแบบชั้นทางในแนวทางต่าง ๆ โดยรวบรวมบทความจากทั่วโลก และการจัดให้มีการประชุมบรรดาผู้เกี่ยวข้องกับการออกแบบชั้นทางในลักษณะของการประชุมนานาชาติขึ้น โดยเน้นวิธีการวิเคราะห์เป็นการเฉพาะ ในการประชุมครั้งนี้ได้มีการเสนอบทความที่น่าสนใจเป็นจำนวนมาก มีบทความหลายเรื่องซึ่งเป็นรากฐานในการพัฒนาวิธีการออกแบบชั้นทางตามแนวทาง Analytical Method เช่น บทความของ Peattie (1962) และ Burmister (1962) บทความที่มีค่าอย่างยิ่งคือบทความเรื่อง The Application of Elastic Theory to Flexible Pavements ซึ่งเขียนโดย Whiffin และ Lister (1962) ซึ่งมีเหตุผลสนับสนุนทฤษฎีการวิเคราะห์อีลาสติก เพื่อออกแบบชั้นทาง

จากการเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1962 ก็ได้มีการจัดประชุมนานาชาติในเรื่องการออกแบบโครงสร้างชั้นทางแอสฟัลท์สลิปต่อมาในทุก 5 ปี คือในปี ค.ศ. 1967, 1972, 1977, 1982, 1987 และ 1992 และ 1997 ซึ่งได้มีการบันทึกถึงวิวัฒนาการการออกแบบชั้นทางตามแนวทาง Analytical Method ไว้ด้วย ในปี ค.ศ. 1967 และ 1972 ได้มีการนำเสนอบทความเกี่ยวกับคุณสมบัติที่จำเป็นของวัสดุชั้นทาง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และออกแบบ ในช่วงนี้การวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างชั้นทางจะทำโดยใช้ตารางที่ Jones (1962), Acum และ Fox (1951) ได้ทำไว้ หรือใช้แผนภูมิที่ Peattie (1962) เสนอไว้ แต่จากการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถคำนวณค่า Stress, Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในชั้นทางได้รวดเร็วขึ้น ดังเช่น โปรแกรม BISTRO ซึ่ง Peutz และคณะ (1968) จากบริษัท Shell



ZZ is vertical stress at interface on the axis

rr is radial stress

rZ is shear stress

Vertical deflection "W" occurs at each interface on the axis

ACUM and FOX computed values of

ZZ_1 , ZZ_2 , rr_1 , rr_{2A} , rr_{2B} , rr_3 for

$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 1/2$

$K_1 = E_1/E_2$ of 5, 10, 20, 50, 100, 200

$K = E_2/E_3$ of 5, 10, 50, 100

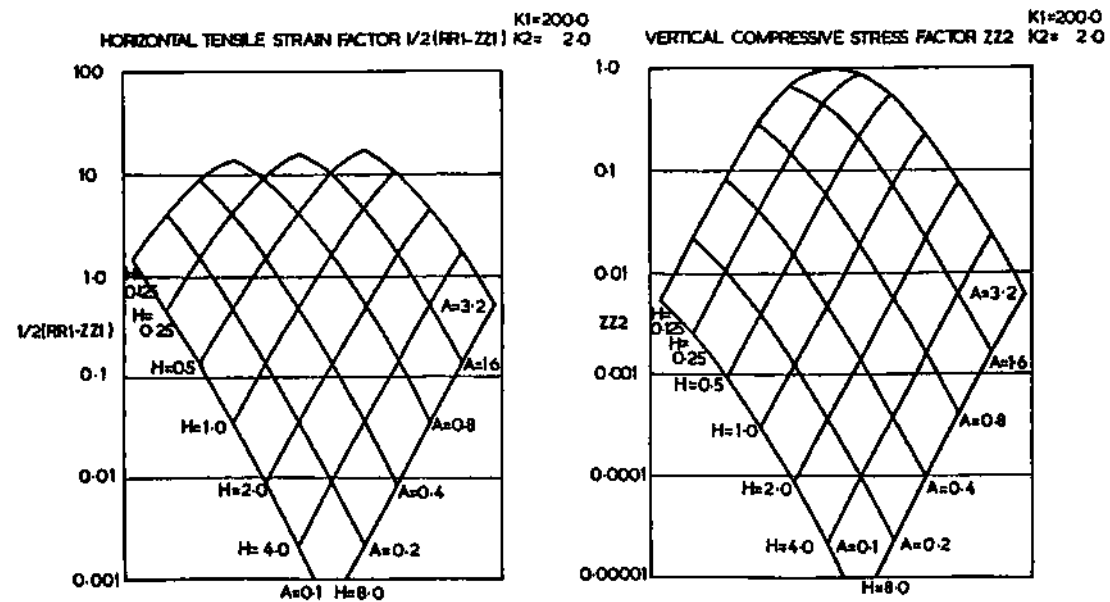
$a_1 = a/h_2$ of 1/2 and 1

$H = h_1/h_2$ of 1/4, 1/2, 1 and 2

E_1 , E_2 , E_3 are dynamic values of Young's modulus

รูปที่ 2.1 Parameters หลักที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางระบบ Three Layers

ที่มา : Acum และ Fox (1951)



รูปที่ 2.2 Stress Factor และ Strain Factor ของ Three Layer Elastic System
 ที่มา : Peattie (1962)

Oil Company ได้พัฒนาสำหรับวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางแบบ Three Layer System ต่อมา De Jong และคณะ (1973) ได้พัฒนาโปรแกรมนี้ต่อเป็นโปรแกรมชื่อ BISAR ทั้งสองโปรแกรมได้ใช้เป็นหลักในการจัดการสร้าง Shell Design Chart ซึ่งจัดพิมพ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1978 (Claessen และคณะ, 1977 ; Shell International Petroleum Company Ltd., 1978) นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมอื่น ๆ อีกเช่น CHEVRON, DAMA, CIRCLY, ELMOD, FEPAVE, PSAD, PSAD 2A

จากการพัฒนาที่ผ่านมา ทำให้ข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางมีเพิ่มมากขึ้น ในการประชุมในปี ค.ศ. 1977 จึงมุ่งเน้นวิธีการออกแบบที่สมบูรณ์ และในปี ค.ศ. 1982 ถึง 1997 ได้มีการนำเสนอบทความเกี่ยวกับการออกแบบชั้นทางตามแนวทาง Analytical Method มากยิ่งขึ้น โดยผู้มีบทบาทสำคัญในเรื่องนี้ คือ บริษัทน้ำมันเชลล์ และ Chevron Research Company ซึ่งเป็นแบบอย่างในการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method

2.4 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบในแนวทาง Analytical Method

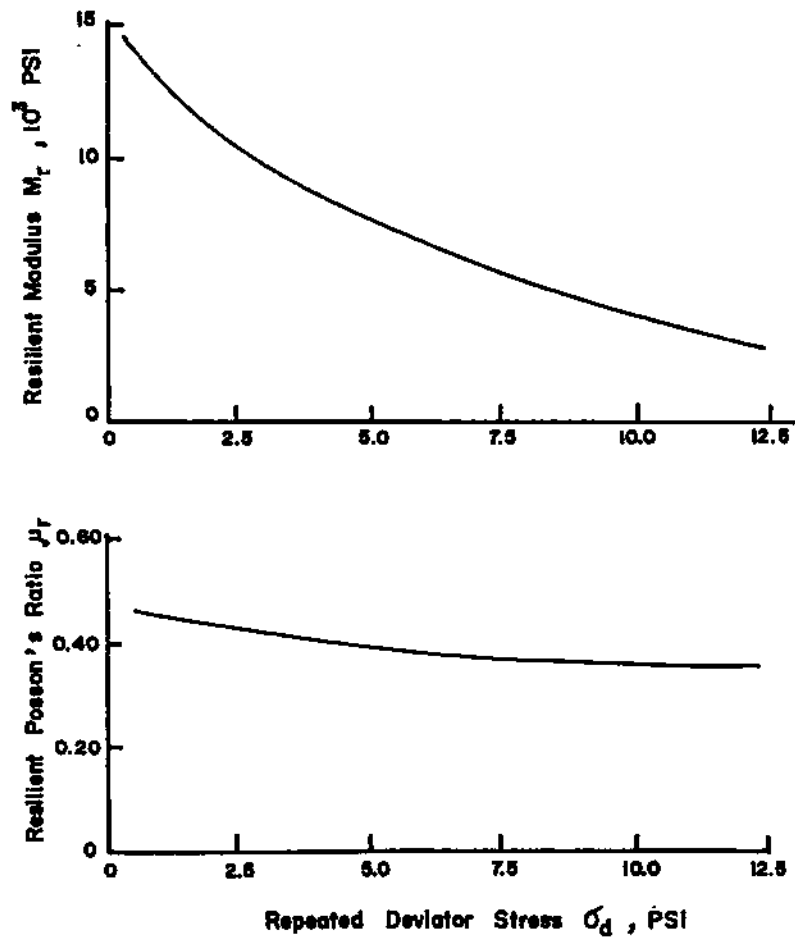
2.4.1 Subgrade Soil

Heukelom และ Foster (1960) ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus กับ CBR ของ Subgrade Soil โดยใช้ Wave Propagation Technique ซึ่งได้ผลค่อนข้างจะกระจัดกระจาย ต่อมา Heukelom และ Klomp (1962) ได้แนะนำให้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus และ CBR ของ Subgrade Soil ดังนี้

$$\begin{aligned} E &= 1500 \text{ CBR} \quad \text{lb/in}^2 \\ &= 100 \text{ CBR} \quad \text{kg/cm}^2 \\ &= 10 \text{ CBR} \quad \text{MN/m}^2 \end{aligned}$$

Barker และคณะ (1977) ได้พัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elastic Modulus และ Poisson's Ratio กับ Repeated Deviator Stress ของดินเหนียวกลุ่ม CH ซึ่งมีค่า CBR = 4 จากถนนของสถาบัน Waterways Experiment Station ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากถนนทดลองพบว่าค่า Deviator Stress บนผิวหน้าของ Subgrade จะมีค่าประมาณ 7 ปอนด์/นิ้ว² ซึ่งจากรูปที่ 2.3 พบว่าเมื่อ Deviator Stress มีค่าเท่ากับ 7 ปอนด์/นิ้ว² จะให้ค่า Elastic Modulus เท่ากับ 6000 ปอนด์/นิ้ว² ซึ่งเท่ากับ $1500 \times 4 = 6000$ ปอนด์/นิ้ว² (CBR ของ Subgrade จากถนนทดลองของ WES = 4)

Paterson (1978) จาก South African National Institute of Transport and Road Research (NITRR) ได้กำหนดค่า K ในสมการ $E = K \cdot \text{CBR}$ โดยค่า K จะลดลงเมื่อ Subgrade CBR สูงขึ้น และค่า K จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Subgrade CBR ลดลง การกำหนดค่า K ของ Paterson ใช้ข้อมูลจาก Heukelom และ Foster (1960) และ Green และ Hall (1975) เป็นแนวทาง



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Resilient Modulus และ Poisson's Ratio กับ Repeated Deviator Stress ของ Heavy Clay จากการทดลอง Resilient Triaxial Test
ที่มา : Barker และคณะ (1977)

Murphy และคณะ (1980) จาก Queensland Main Roads Department แห่งประเทศออสเตรเลีย ได้จัดสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus และ CBR ของ Subgrade Soil โดยสร้างเส้นกราฟเฉลี่ยระหว่างเส้นกราฟของ Heukelom และ Klomp (1962), Paterson (1978), NAASRA (1979)

Freeme และคณะ (1982) จาก South African National Institute of Transport and Road Research (NITRR) ได้นำข้อมูลของ Paterson (1978) มาปรับใหม่ แล้วกำหนดค่า K ขึ้นมาใหม่

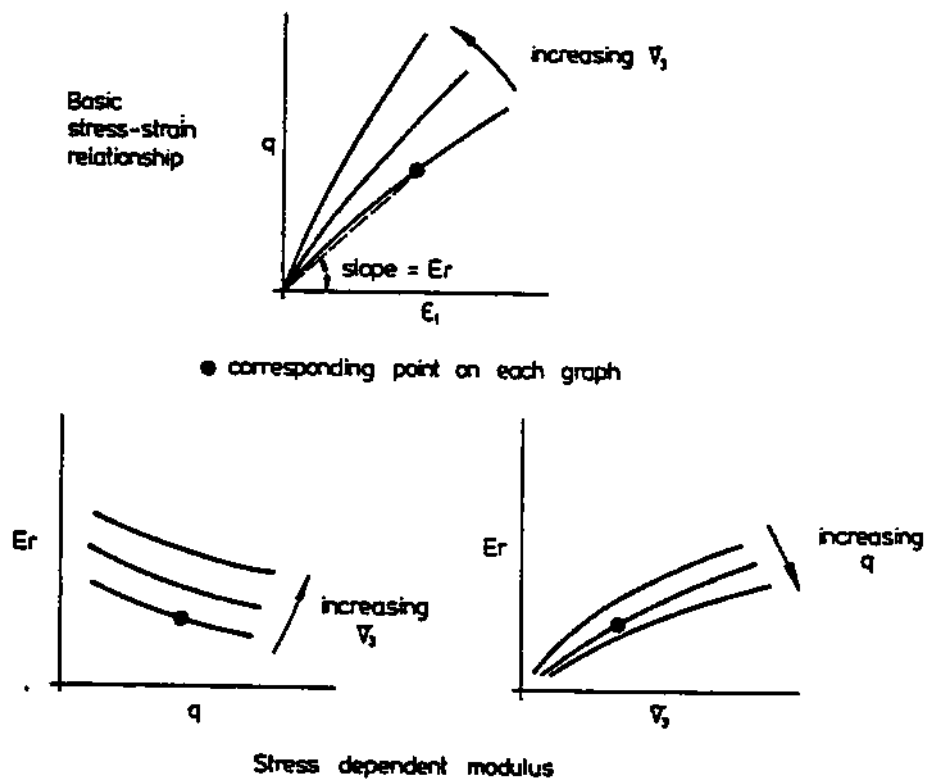
ในส่วนที่เกี่ยวกับค่า Poisson's Ratio นั้นได้มี Pavement Engineer เสนอค่า Poisson's Ratio ของ Subgrade Soil ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 Poisson's Ratio ของ Subgrade Soil

Soil type	Poisson's Ratio	Reference
Subgrade Soil	0.4-0.5	Brown และ Pell (1970)
Clayey Subgrade	0.4-0.5	Barksdale และ Hicks (1972)
Cohesive Soil	0.5	Yoder และ Witczak (1975)
Cohesionless Soil	0.3	Yoder และ Witczak (1975)
Cohesive Soil	0.4	Barker และ คณะ (1977)
Cohesionless Soil	0.3	Barker และ คณะ (1977)
Subgrade Soil	0.35	Claessen และคณะ (1977)
Subgrade Soil	0.35	Murphy และคณะ (1980)
Cohesive Soil	0.45	NAASRA (1987)
Non-Cohesive Soil	0.35	NAASRA (1987)

2.4.2 วัสดุประเภท Unbound Granular Materials

ในกรณีของวัสดุประเภท Granular Materials หรือ Unbound Aggregate ซึ่งโดยปกติมักจะมีน้ำ หรือความชื้นในช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุ เนื่องจากน้ำไม่มีความสามารถในการต้านแรงเหมือนกับวัสดุแอสฟัลท์ซีเมนต์ ดังนั้นพฤติกรรมของ Granular Material จะต่างจากแอสฟัลท์คอนกรีต โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elastic Modulus กับ Stress ที่เกิดในชั้นวัสดุอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกจะมีลักษณะเป็น Non-Linear ในกรณีของ Granular Material ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า ค่า Elastic Modulus จะมีลักษณะที่ขึ้นอยู่กับค่า Stress ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปจะเห็นได้เห็นว่าค่า Elastic Modulus จะขึ้นอยู่กับค่า Deviator Stress (q) และ Confining Stress (σ_3)



รูปที่ 2.4 รูปแสดง Non-Linearity ของดินและวัสดุประเภท Granular Soils

Heukelom และ Klomp (1962) ได้รายงานว่าค่า Elastic Modulus ของวัสดุประเภท Granular Materials จะมีค่าในช่วง 1.5-3.5 เท่า ของค่าของวัสดุที่อยู่ภายใต้ค่าอัตราส่วน Modular Ratio ระหว่างชั้น Granular Layer กับชั้น Subgrade จะใช้เท่ากับ 2.5 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันอย่างกว้างขวางกันโดยทั่วไปในการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method อย่างไรก็ตาม Claessen และคณะ (1977) ซึ่งจัดสร้าง Design Chart ของ Shell Oil Company โดยได้ใช้ความสัมพันธ์ที่ Dormon และ Metcalf (1965) ได้พัฒนาขึ้นมาดังแสดงในสมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 E_G &= k_2 \cdot E_s \\
 \text{เมื่อ } E_G &= \text{Modulus of Granular Layer} \\
 E_s &= \text{Modulus of Subgrade} \\
 k_2 &= 0.206 h_G^{0.45} \text{ และ } 2 < k_2 < 4 \\
 h_G &= \text{Thickness of Granular Layer, mm.}
 \end{aligned}$$

Hicks และ Monismith (1972) จาก University of California ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พบความสัมพันธ์ที่สามารถแสดงออกได้ในลักษณะของ Non-Linear Relationship และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 M_R &= k_1 \cdot \theta^{k_2} \\
 \text{เมื่อ } \theta &= \text{Bulk stress} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\
 &= \sigma_1 + 2\sigma_3 \text{ เมื่อ } \sigma_2 = \sigma_3 \\
 &= (\sigma_1 - \sigma_3) + (2\sigma_3 + \sigma_3) \\
 &= q + 3\sigma_3 \\
 k_1, k_2 &= \text{ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด รูปร่าง และการกละขนาดของวัสดุ}
 \end{aligned}$$

Hick และ Monosmith (1972) ได้ให้สมการแสดงค่า Modulus of Resilient ของ Crushed Rock Base ไว้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 M_R &= 2156 (\theta)^{0.71} \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2 \text{ (Dry Condition)} \\
 M_R &= 2033 (\theta)^{0.68} \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2 \text{ (Partially Saturated Condition)}
 \end{aligned}$$

Monismith (1973) ได้ให้ค่า M_R ของ Crushed Gravel Base ตามมาตรฐานของ California Division of Highways ไว้ดังนี้

$$M_R = 3470 (\theta)^{0.65} \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

ส่วนในกรณีของ Well-Round Gravel หรือ กรวดบด ที่ใช้ทำ Subbase ได้แนะนำค่าไว้ดังนี้

$$M_R = 7730 (\theta)^{0.65} \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

Otte และ Monismith (1976) ได้รายงานว่าในการออกแบบจะใช้ค่า $k_2 = 0.5$ ส่วน k_1 จะมีค่าเท่ากับ 5 MPa สำหรับ Weak Base และเท่ากับ 20 MPa สำหรับ Strong Base ต่อมา Otte และคณะ (1982) ได้แนะนำให้ใช้ค่า $k_1 = 5$ MPa และ $k_2 = 0.75$ สำหรับหินคลุกคุณภาพสูง และแนะนำให้ใช้ค่า Elastic Modulus ของหินคลุกคุณภาพสูงเท่ากับ 600 MPa เมื่อหินคลุกวางอยู่บน Hard Layer เช่น Soil Cement Subbase

Barker และคณะ (1977) จาก Waterways Experiment Station (WES) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E ของชั้น Unbound Granular Base และ Unbound Granular Subbase ไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_n &= E_{n+1} (1 + 10.52 \log t - 2.10 \log_{E_{n+1}} \log t) \text{ สำหรับ Base Course} \\ E_n &= E_{n+1} (1 + 7.18 \log t - 1.56 \log_{E_{n+1}} \log t) \text{ สำหรับ Subbase Course} \\ \text{เมื่อ } E_n &= \text{Modulus of Upper Layer, lb/in}^2 \\ E_{n+1} &= \text{Modulus of Lower Layer, lb/in}^2 \\ t &= \text{ความหนาของ Upper Layer, inch.} \end{aligned}$$

Murphy และ คณะ (1980) จาก Queensland Main Roads Department ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus และ CBR ของ Unbound Granular Materials ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจากค่า CBR สามารถจะประมาณค่า Elastic Modulus ที่จะใช้ในการออกแบบได้โดยตรง

จะเห็นได้ว่าในกรณีของ Unbound Granular Material ค่า Elastic Modulus ของชั้นที่อยู่ข้างล่างจะมีอิทธิพลต่อค่า Elastic Modulus ของชั้นที่ปิดทับอยู่ข้างบนมาก ถ้าชั้นที่อยู่ข้างล่างมีความแข็งแรงมาก (ค่า Elastic Modulus สูง) ก็จะทำให้ชั้นข้างบนที่ปิดทับอยู่มีค่า Elastic Modulus สูงตามไปด้วย แม้ว่าวัสดุที่ประกอบกันขึ้นเป็นชั้นปิดทับจะเหมือนกันก็ตาม ดังนั้นค่า Elastic Modulus ของ Unbound Granular Material ชนิดใดชนิดหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นหินคลุก หรือวัสดุประเภท Soil Aggregate จึงมีค่าไม่คงที่ แต่จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของชั้นภายใต้ นอกจากนี้ลักษณะของวัสดุได้แก่ ขนาดกละ รูปร่าง ตลอดจนความชื้น และความแน่น ก็มีผลต่อค่า Elastic Modulus ของชั้นทางด้วยการเลือกใช้ค่า Elastic Modulus ในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางจึงต้องมีการพิจารณาถึงการจัดระบบของชั้นทางด้วย จะพิจารณาแต่เฉพาะตัววัสดุเพียงอย่างเดียวไม่ได้ ผลการศึกษาวิจัยค่า Elastic Modulus ของวัสดุประเภท Unbound Granular Materials โดยนักวิจัยต่างๆ ได้สรุปแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

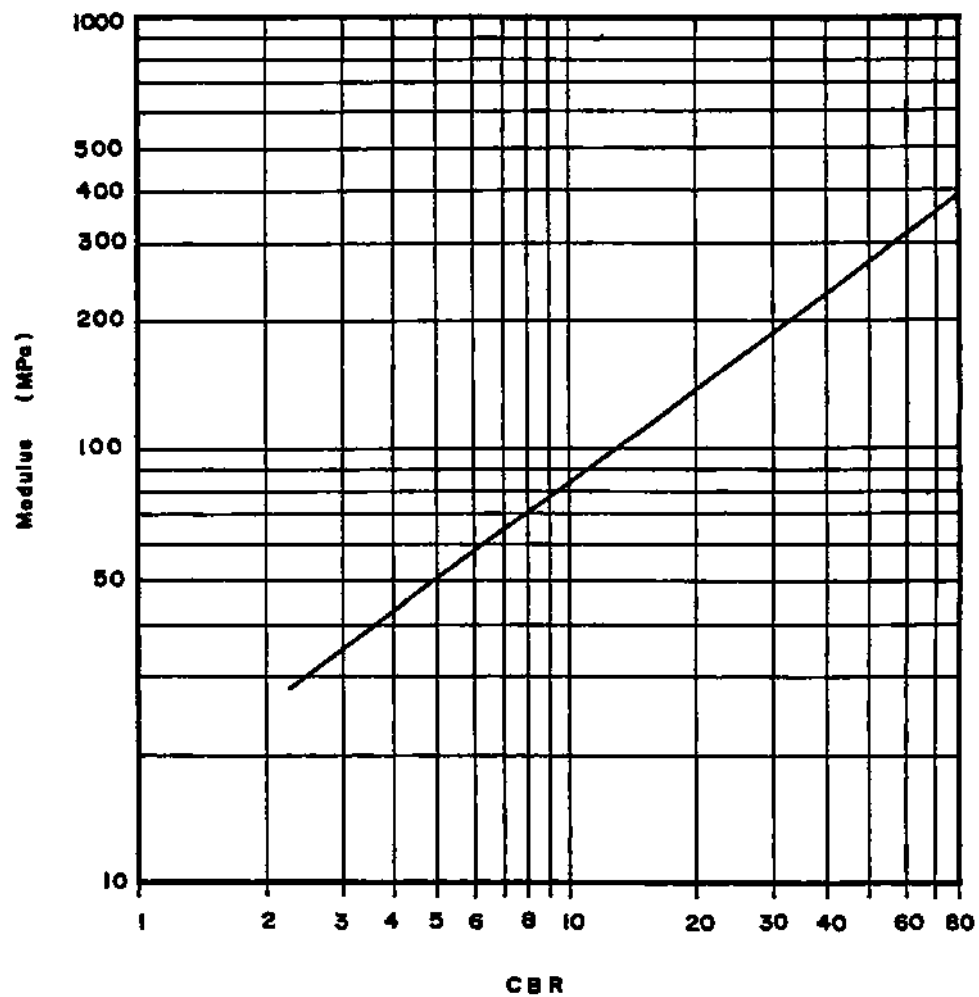
สำหรับค่า Poisson's Ratio ของ Unbound Granular Materials

Brown และ Pell (1972) และ Barker และคณะ (1977) ได้แนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.3

Maree (1978) และ NAASRA (1987) แนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.35

Otte และคณะ (1980) ได้แนะนำให้ใช้ค่า Poisson's Ratio ของหินคลุกคุณภาพสูงเท่ากับ 0.35

ดังนั้น จากข้อมูลรายละเอียดต่างๆ อาจจะกล่าวได้ว่า ค่า Poisson's Ratio ของหินคลุกและ Unbound Granular Material จะมีค่าประมาณ 0.30-0.35



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus และ CBR ของ Unbound Granular Materials (Main Roads Department, Queensland)

ที่มา : Murphy และคณะ (1980)

ตารางที่ 2.6 Resilient Modulus ของ Granular Materials

20

Researcher	Material	Resilient Modulus (psi)	Comments
1. Seed & Chan	Silty Sand	21,300 to 27,300	Varied frequency and duration of load
2. Haynes & Yoder	Gravel and crushed stone	28,000 to 63,000	Varied moisture content and gradation
3. Biarez	Rounded aggregate	16,700 to 54,500	Varied stress level and void ratio
4. Trollope, lee and Morris	Poorly graded dry sand	35,000 to 95,000	Varied Stress levels
5. Dunlap	Well graded aggregate	30,000 to 160,000	Varied Stress levels
6. Mity	Dry gravel	$7,000 \sigma_3^{0.55}$ to $1,900 \theta^{0.61}$	Varied Stress levels
7. Schiffley	Crushed gravel	$13,000 \sigma_3^{0.5}$ to $9,000 \sigma_3^{0.5}$	Varied moisture content
8. Kasianchuk	Aggregate base	$3,830 \theta^{0.53}$	Varied Stress levels
	Aggregate subbase	$2,900 \theta^{0.47}$	
9. Hicks & Finn	Aggregate base	$5,400 \theta^{0.5}$ to $21,000 \theta^{0.5}$	Varied moisture content
10. Browns & Pell	Aggregate base	$2,040 \theta^{0.57}$	Calculated from insitu tests
11. Smith & Nair	Aggregate base	$2,000 \theta^{0.6}$ to $5,000 \theta^{0.6}$	Extremes from all experiments

2.4.3 วัสดุประเภท Cemented Materials

วัสดุประเภท Cemented Materials จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่าหินคลุก และวัสดุประเภท Unbound Granular Material มาก Nussbaum และ Larsen (1965) แห่ง Portland Cement Association ได้ทำการทดสอบ Plate Bearing Test บน Soil Cement Base เทียบกับ Crushed Rock Base พบว่าเมื่อชั้นพื้นทางหนา 100 มม. Soil Cement จะรับน้ำหนักได้เป็น 1.5 เท่า ของ Crushed Rock Base และเมื่อเพิ่มความหนาเป็น 250 มม. Soil Cement Base จะรับน้ำหนักได้เพิ่ม เป็น 3.3 เท่า ของ Crushed Rock Base ที่ความหนาเดียวกัน โดยปกติ Cemented Materials จะมีค่า Elastic Modulus สูงกว่า Unbound Granular Materials มาก Williams (1972) ได้รวบรวมผลการทดลองเพื่อหาค่า Elastic Modulus ของ Cemented Materials และได้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Elastic Modulus กับ Flexural Strength ของ Cemented Materials ประเภทต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

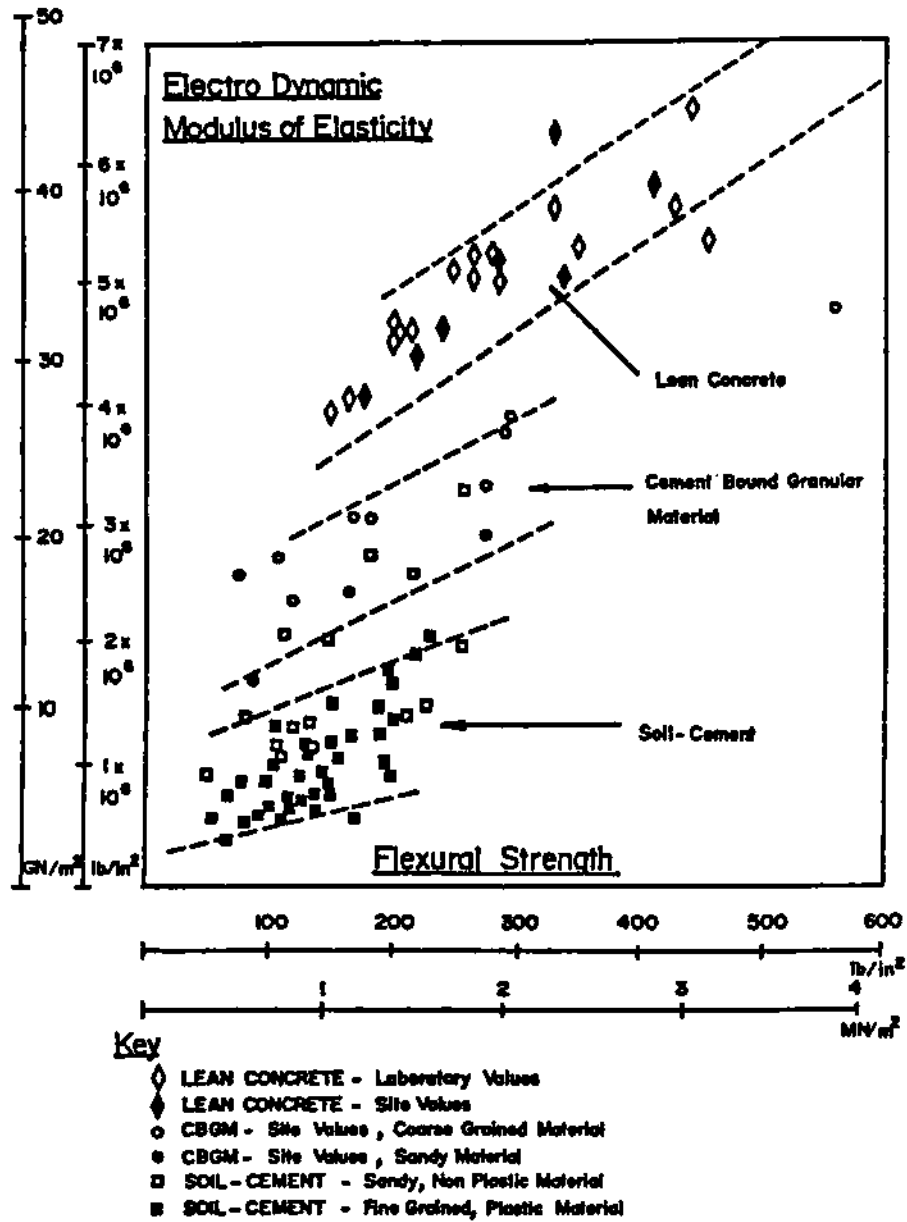
Otte (1972) ได้ทำการวิจัยที่ South African National Institute of Transport and Road Research เรื่อง Stress-Strain Characteristics ของวัสดุผสมปูนซีเมนต์และปูนขาว และได้นำค่า Elastic Modulus ของ Cemented Material ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่า Elastic Modulus ที่ควรใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนน Soil Cement (Otte, 1972)

Material	Percentage stabilized	Layer	Elastic modulus (MN/m ²)
Cement-treated crusher-run	4	Base	20,000
Cement-treated natural weather material	5	Subbase	4,000
Cemented-treated natural weather material	5	Base	8,000 to 12,000
Lime-treated materials	6	Subbase or Base	3,000 to 7,000

ที่มา : Otte (1972)

Yoder และ Witczak (1975) ได้ให้ข้อสังเกตว่า ค่า Elastic Modulus ของ Cemented Materials จะแปรเปลี่ยนในช่วงกว้าง โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของซีเมนต์ที่ผสม คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดินตลอดจนอายุการบ่ม ค่า Elastic Modulus ของ Silty Clay ผสมซีเมนต์จะตกอยู่ในช่วง 50,000-2,000,000 ปอนด์/นิ้ว² ส่วนค่าของ Granular Base ผสมซีเมนต์จะตกอยู่ในช่วง 1,000,000-3,000,000 ปอนด์/นิ้ว² ในขณะที่ค่า Elastic Modulus ของคอนกรีตประมาณ 5,000,000 ปอนด์/นิ้ว²



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dynamic Elastic Modulus กับ Flexural Strength ของ Cemented Materials

ที่มา : Williams (1972)

Otte (1978) ได้ทำการศึกษาวิจัยที่ University of Pretoria ประเทศแอฟริกาใต้ ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus กับ Bending Strength ของ Cemented Materials ในลักษณะของ Empirical Correlations ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E_b &= 8 \sigma_b + 3500 && \text{สำหรับ Cement-Treated Crushed Rock} \\ E_b &= 10 \sigma_b + 1100 && \text{สำหรับ Cement-Treated Gravel} \\ \text{เมื่อ } E_b &= \text{Elastic Modulus จากการทดลอง Flexural Test, MPa} \\ \sigma_b &= \text{Bending Strength, kPa} \end{aligned}$$

Otte และคณะ (1982) ได้แนะนำให้ใช้ค่า Elastic Modulus ของ Cemented Material เพื่อใช้ในการออกแบบ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E &= 12,000 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cement-Treated Crushed Rock Base} \\ E &= 6,000 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cement-Treated Natural Gravel Base} \\ E &= 3,000 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cement-Treated Natural Gravel Subbase} \end{aligned}$$

Queensland Main Roads Department แห่งประเทศออสเตรเลีย (Main Roads Department, Queensland, 1978) ได้เลือกใช้ค่า Elastic Modulus ของ Cement Materials ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E &= 7,000 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cement-Treated Crushed Rock Base} \\ E &= 5,000 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cement-Treated Natural Gravel Base} \\ E &= 2,000 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cement-Treated Natural Gravel Subbase} \end{aligned}$$

จากการเปรียบเทียบค่า Elastic Modulus ที่แนะนำโดย Otte และคณะ (1982) กับค่าที่ Queensland Main Roads Department ประเทศออสเตรเลียแนะนำ จะเห็นได้ว่าค่า Elastic Modulus ที่ Queensland Main Road Department ใช้ จะต่ำกว่าค่าที่ Otte แนะนำในทุกกรณี นักวิชาการจากประเทศออสเตรเลียได้ให้เหตุผลเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า Soil-Cement หรือ Cement Material ที่แข็งเกินไป (มีค่า Elastic Modulus สูง) จะเกิดรอยแตกประเภท Shrinkage Crack และ Traffic Associated Crack ได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องรับปริมาณการจราจรสูง หรือรับน้ำหนักบรรทุกหนักมาก ดังนั้นจึงเสนอแนะให้ใช้ Soil-Cement ที่มีค่า Elastic Modulus อยู่ในเกณฑ์ปานกลางเพื่อลดอันตรายเนื่องจากการเกิดรอยแตกเมื่อนำมาใช้ในประเทศที่มีฝนชุก เช่นประเทศในแถบ Tropical Area สำหรับประเทศในแถบแอฟริกา มีปริมาณฝนน้อย ก็สามารถใช้ Hard Soil-Cement

NAASRA (1987) กำหนดสูตรเพื่อใช้หาค่า Elastic Modulus ของ Cemented Materials จากการทดสอบ Unconfined Compressive Strength Test ไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} E &= 1814 (\text{UCS})^{0.88} + 3500 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cemented Crushed Rock} \\ E &= 2240 (\text{UCS})^{0.88} + 1100 \text{ MPa} && \text{สำหรับ Cemented Natural Gravel} \\ \text{เมื่อ } E &= \text{Elastic Modulus, MPa} \end{aligned}$$

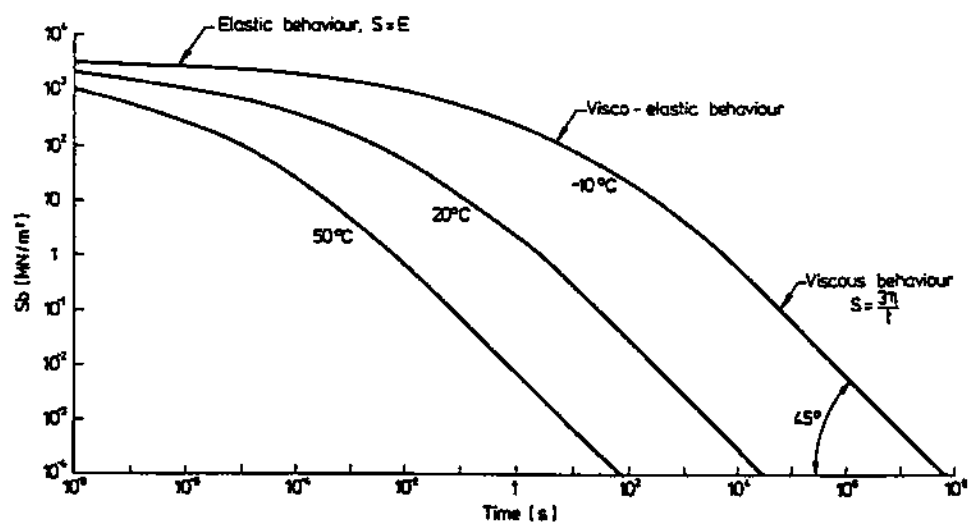
ในกรณีของค่า Poisson's Ratio ของ Cemented Materials ได้มีผู้เสนอแนะไว้หลายค่าดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งจะเห็นว่าค่า Poisson's Ratio ที่ใช้กันจะแปรเปลี่ยนในช่วง 0.1-0.35 ผลการวิจัยของ Kolias (1975) พบว่าค่า Poisson's Ratio ของ Cemented Materials จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำประมาณ 0.15 ดังนั้นในการวิเคราะห์และออกแบบจะใช้ค่า Poisson's Ratio ประมาณ 0.20 อย่างไรก็ตาม Fossberg (1970) และ Otte (1975) พบว่าไม่ว่าค่า Poisson's Ratio ของ Cemented Materials จะมีค่าทางด้านสูงหรือต่ำ ก็จะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์อย่างเด่นชัด จากผลการวิจัยของ Kolias (1975) ดังกล่าวควรใช้ค่า Poisson's Ratio ของ Cemented Materials ทางด้านต่ำ

ตารางที่ 2.8 Poisson's Ratio ของ Cemented Materials

Materials	Poisson's Ratio	Reference
Lean Concrete	0.2 for Primary Crack	Brown (1979)
	0.3 for Secondary Crack	
	0.25 0.15	Pell และ Brown (1972) Kolias (1975)
Cement-Treated	0.35	Otte (1978)
Crushed Rock	0.35	Otte และคณะ (1982)
Cement-Treated	0.30	Murphy และคณะ (1980)
Gravel	0.35	Freeme และคณะ (1982)
	0.20	NAASRA (1987)
	0.15	Kolias (1975)
	0.1-0.2	Barksdale และ Hicks (1972)
	0.2	Barker และคณะ (1977)
	0.1-0.2	Fossberg (1970)

2.4.4 วัสดุแอสฟัลต์ และแอสฟัลต์คอนกรีต

Van der Poel (1954) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ที่เรียกว่า Stiffness (S_b) ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และช่วงเวลาที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ (Loading Time) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า ค่า Stiffness ของแอสฟัลต์ซีเมนต์จะขึ้นอยู่กั อุณหภูมิ และ Loading Time โดยที่ระยะเวลาของ Loading Time สั้น แอสฟัลต์ซีเมนต์จะแสดงพฤติกรรมเป็น Elastic Material แต่เมื่อระยะเวลาของ Loading Time ยาวนานออกไป แอสฟัลต์ซีเมนต์จะแสดงพฤติกรรมเป็น Viscous Material โดยมีค่า Stiffness ตามสมการดังนี้



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Stiffness ของ Asphalt Cement ตามค่าอุณหภูมิและเวลา
ที่มา : Van der Poel (1954)

$$S_b = 3\eta / t$$

เมื่อ S_b = Stiffness ของแอสฟัลท์ซีเมนต์
 η = Dynamic Viscosity
 t = Loading Time

Van der Poel ได้จัดทำ Nomograph แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness กับ Loading time และอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 พวามีเตอร์ที่ปรากฏใน Nomograph มีดังต่อไปนี้ คือ

- (1) Stiffness, S_b
- (2) Temperature Difference, (SP-T)
- (3) Loading Time
- (4) Penetration Index, PI

เมื่อ SP = Softening Point ของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ได้จากการทดลอง Ring and

Ball Test

$$PI = \text{Penetration Index}$$

$$= \frac{50 (\log 800 - \log \text{Pen.})}{SP - T}$$

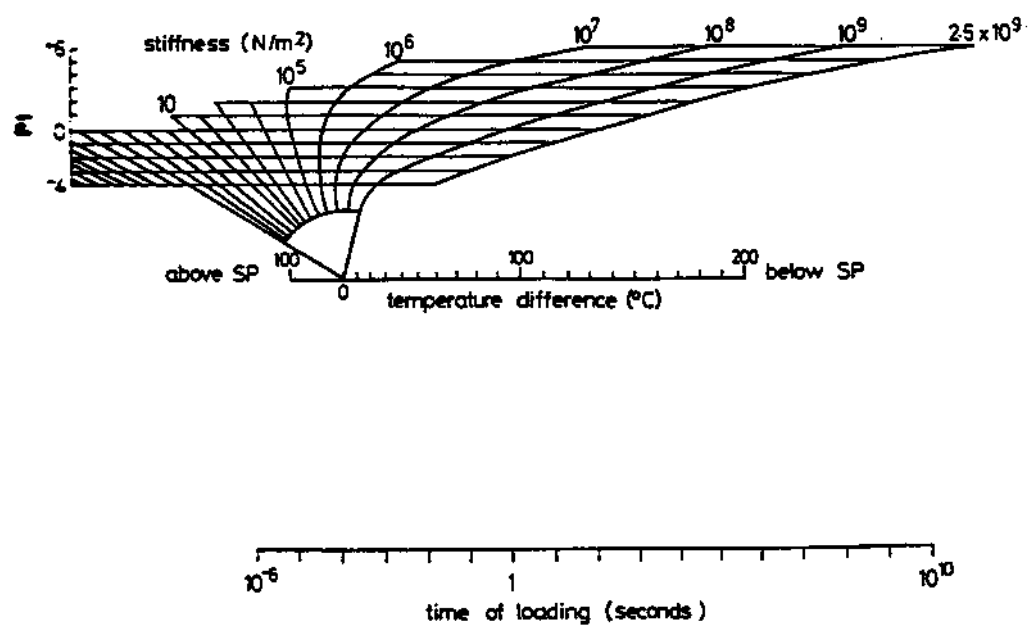
บริษัทเซลส์ปีโตรเลียมได้ศึกษาค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีต พบว่า Dense grade Asphalt Concrete จะมีค่า Stiffness Modulus ขึ้นอยู่กับ Stiffness ของแอสฟัลท์ซีเมนต์ และค่า Volume Concentration (C_v) ของ Aggregate (Van der Poel, 1955) โดยค่า C_v สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_v = \frac{\text{Vol. of Agg.}}{\text{Vol. of Agg.} + \text{Vol. of Asphalt}}$$

$$= \frac{M_A / G_A}{(M_A / G_A) + (M_B / G_B)}$$

เมื่อ M_A, M_B = Percentages of Aggregate and Binder Content by Mass
 G_A, G_B = Specific Gravities of Aggregate and Binder

Heukelom และ Klomp (1964) จากบริษัทเซลส์ปีโตรเลียมได้สร้างสมการที่ใช้คำนวณหาค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีตจากค่า Stiffness ของ Asphalt Cement เมื่อค่า Air Void Content น้อยกว่า 3 % ดังนี้



รูปที่ 2.8 Van der Poel Nomograph ที่ใช้หา Stiffness ของแอสฟัลต์ซีเมนต์
ที่มา : Van der Poel (1954)

$$S_m = S_b \left[\left| 1 + \frac{2.5}{n} \right| \times \frac{C_v^n}{(1-C_v)} \right]$$

เมื่อ

$$S_m = \text{Stiffness Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีต, MN/m}^2$$

$$S_b = \text{Stiffness ของแอสฟัลท์ซีเมนต์, MN/m}^2$$

$$C_v = \text{Volume Concentration}$$

$$n = 0.83 \log \frac{(4 \times 10^4)}{S_b}$$

ในการนี้ค่า Air Void Content มากกว่า 3% Van Draat และ Sommer (1965) ได้แนะนำให้ใช้ค่า C_v ดังนี้

$$C_v = \frac{C_v}{1 + (0.01 V_v - 0.03)}$$

Bonnaure และคณะ (1977) จากบริษัทเซลส์ปีโตรเลียม ได้ทำการศึกษาวิจัยและจัดทำ Monograph เพื่อใช้หาค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จากผลการใช้ Nomograph ตามรูปที่ 2.9 ในการหาค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีตเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบโดยตรง Claessen และคณะ (1977) ได้รายงานว่าค่า Stiffness Modulus จาก Nomograph มีความถูกต้องในระดับความเชื่อมั่นที่สูง

การหาค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลท์คอนกรีตสามารถจะกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกหาจาก Nomograph ที่ได้พัฒนาขึ้น วิธีที่สองหาได้จากการทดลองโดยตรงซึ่งจะต้องทำการทดลองในรายละเอียดต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ในบทความของ Papazian (1962) Papazian ได้นิยามค่า Modulus ที่ได้จากการทดสอบนี้ว่า Dynamic Modulus (E^*) โดย

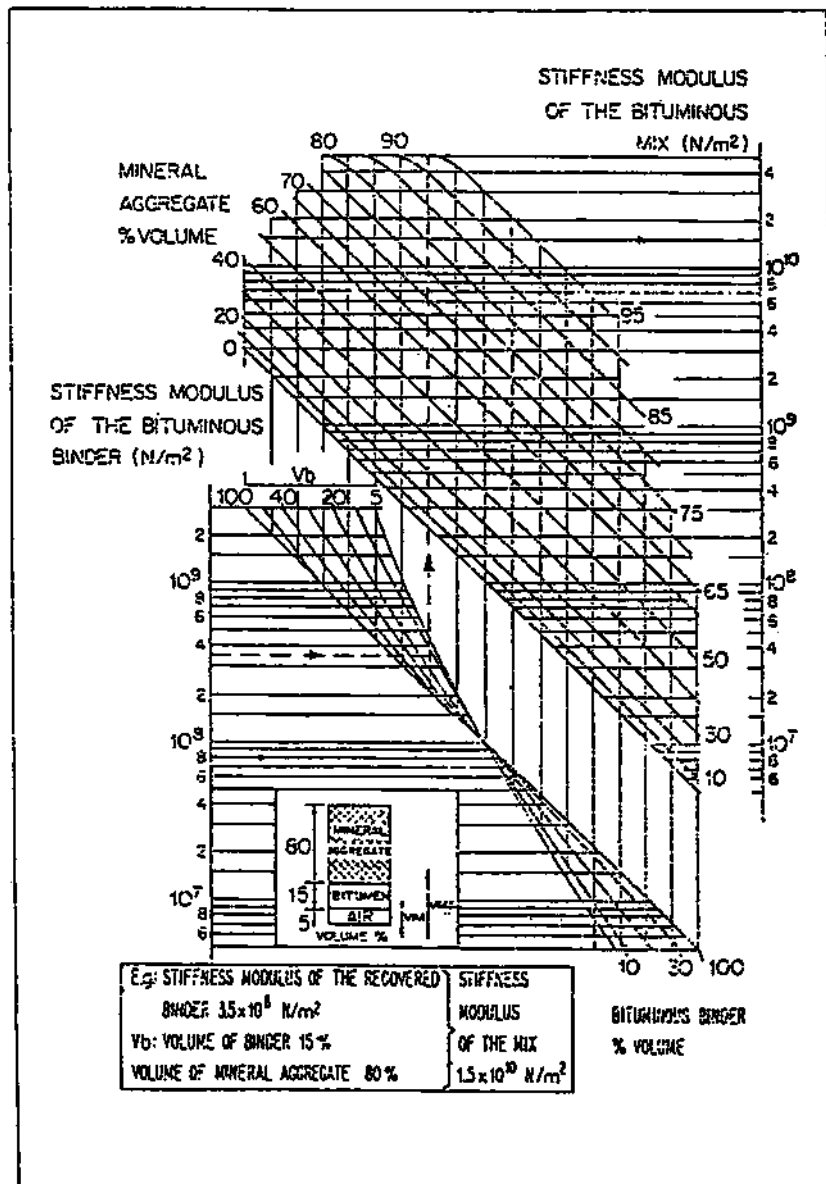
เมื่อ

$$E^* = \sigma_o / \epsilon_R$$

$$\sigma_o = \text{Maximum applied stress}$$

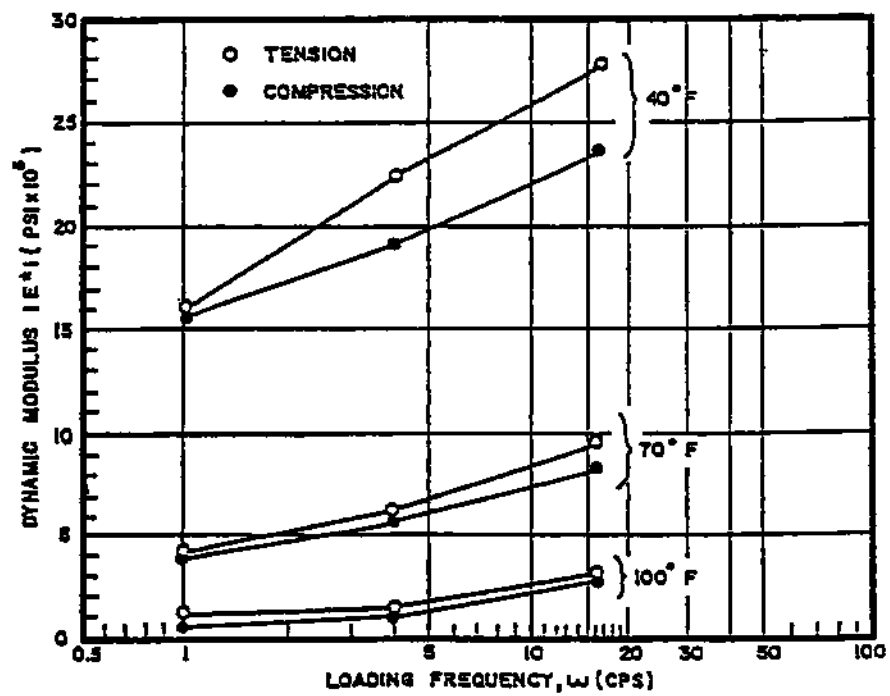
$$\epsilon_R = \text{Recoverable axial strain}$$

Barksdale และ Hicks (1972) ได้รายงานว่าผลการทดสอบแบบ Repeated Triaxial Loading Test ที่กระทำต่อตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และ Loading Time (Frequency) ที่มีต่อค่า Dynamic Modulus ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และได้ย้ำว่านอกจากอุณหภูมิ และ Frequency แล้ว ตัวแปรอื่น ๆ เช่น ชนิดและปริมาณของแอสฟัลท์ ช่องว่างอากาศ ชนิดและขนาดของ Aggregate จะมีอิทธิพลต่อค่า Dynamic Modulus น้อยมาก



รูปที่ 2.9 Nomograph ของ Shell Oil Company ที่ใช้หาค่า Stiffness Modulus ของ Asphalt Concrete

ที่มา : Bonnaure และคณะ (1977)



รูปที่ 2.10 อิทธิพลของอุณหภูมิ และ Loading Frequency ที่มีต่อค่า Dynamic Modulus ของ Asphalt Concrete
ที่มา : Barksdale และ Hicks (1972)

Pell และ Brown (1972) ได้รายงานว่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลต์คอนกรีต จะแปรเปลี่ยนได้มากโดยอาจมีค่าสูงถึง 20,000 MN/m² เมื่ออุณหภูมิและ Loading Time ต่ำ ถึง 5,000 MN/m² เมื่ออุณหภูมิและ Loading Time สูง ผลการทดสอบของ Pell และ Brown ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และ Loading Time ที่มีต่อค่า Stiffness Modulus ดังแสดงในรูปที่ 2.11

Claessen และคณะ (1977) ได้แนะนำให้ใช้ค่า Loading Time เท่ากับ 0.02 วินาที .เพื่อการออกแบบ ซึ่งค่า Loading Time เท่ากับ 0.02 วินาที นี้ จะสอดคล้องกับการจราจรที่ซับซ้อนด้วยความเร็ว 50-60 กม./ชม. ความสัมพันธ์ระหว่าง Pavement Temperature กับ Stiffness Modulus ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 80/100 ดังแสดงในรูปที่ 2.12

Paterson (1978) จาก South African National Institute of Transport and Road Research ได้แนะนำค่า Stiffness Modulus ของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 Bituminous Mixtures : Approximate Stiffness Values at Representative Vehicle and Surface Temperatures

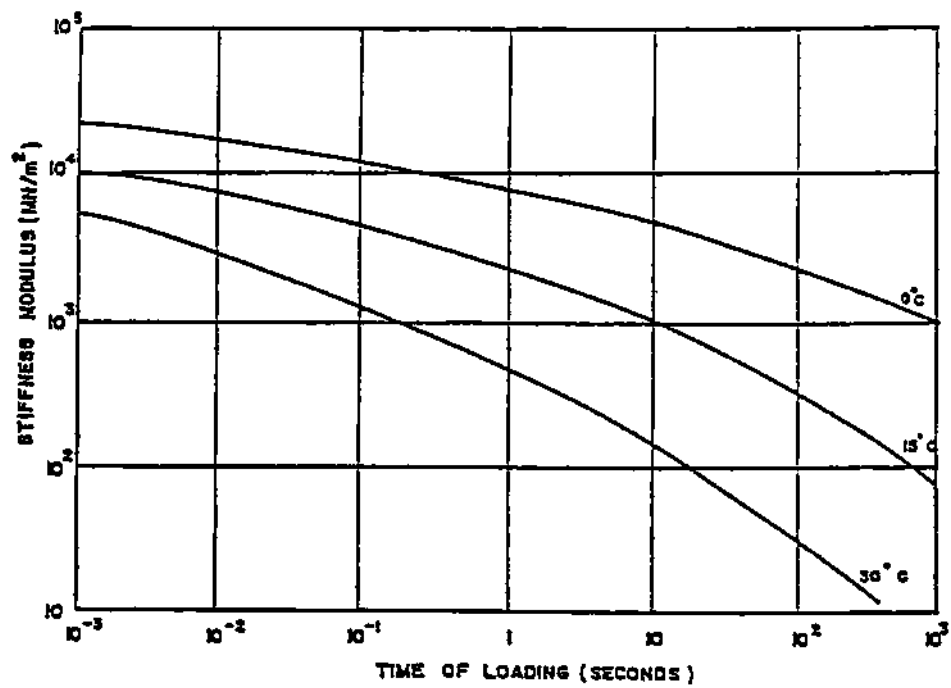
Operating Speed (km/h)	Depth from Surface (mm.)	Stiffness (MPa) for Stated Temperature					
		Gap-Graded Asphalt		Continuously Asphalt		Dense Tar Mix	
		20 °C	40 °C	20 °C	40 °C	20 °C	40 °C
80-100	0-50	4,000	1,500	6,000	2,200		
	50-150	6,000	3,500	8,000	5,000		
	150-250	7,000	5,500	9,000	7,500		
40-60	0-50	4,000	1,500	5,000	2,000	4,000	1,500
	50-150	4,500	3,000	6,000	4,000	7,000	1,700
	150-250	5,000	4,000	6,500	5,500	8,000	2,000

Poisson's Ratio = 0.44

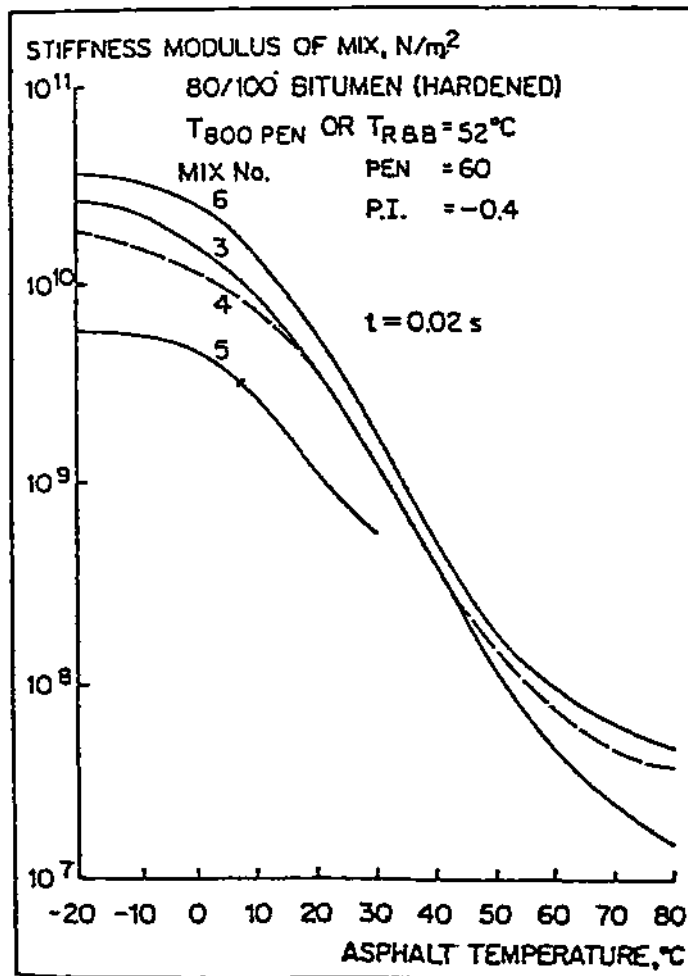
ที่มา : Paterson (1978)

สำหรับค่า Poisson's Ratio ของแอสฟัลต์คอนกรีต

Pell และ Brown (1972) ได้รายงานค่าระหว่าง 0.35-0.50 ตามค่าอุณหภูมิ แต่ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนจะใช้ค่าเท่ากับ 0.40



รูปที่ 2.11 อิทธิพลของอุณหภูมิ และ Loading Time ที่มีต่อ Stiffness Modulus ของ Asphalt Basecourse Mix
ที่มา : Pell และ Brown (1972)



รูปที่ 2.12 Stiffness Modulus ของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตตามค่าของ อุณหภูมิต่าง ๆ ส่วนผสมใช้ AC 80/100 PEN.

ที่มา : Claessen และคณะ (1977)

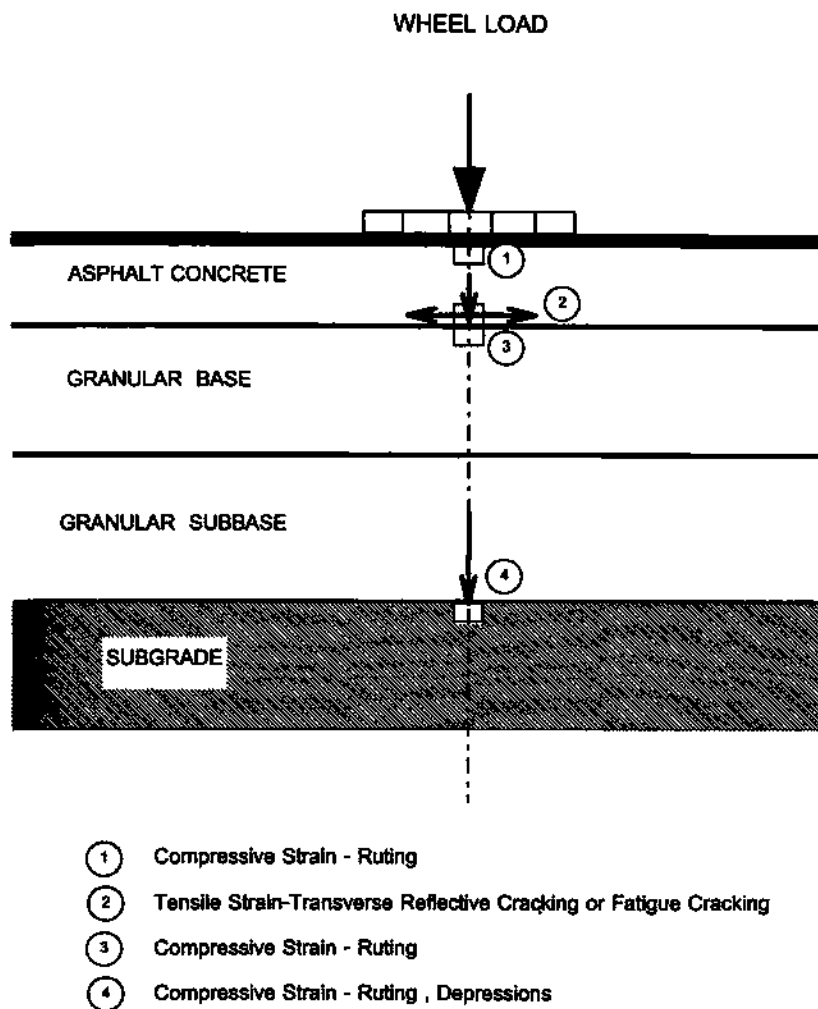
Barker และคณะ (1977) ใช้ค่าเท่ากับ 0.50 สำหรับกรณีที่มี Dynamic Modulus น้อยกว่า 500,000 ปอนด์/นิ้ว² และเท่ากับ 0.30 เมื่อค่า Dynamic Modulus มากกว่า 500,000 ปอนด์/นิ้ว²
 Freeme (1976) ใช้ค่าเท่ากับ 0.44 ในขณะที่ NAASRA (1987) ใช้ค่าเท่ากับ 0.40

2.5 Critical Stress/Strain ของโครงสร้างถนนลาดยางตามแนวทาง Analytical Method

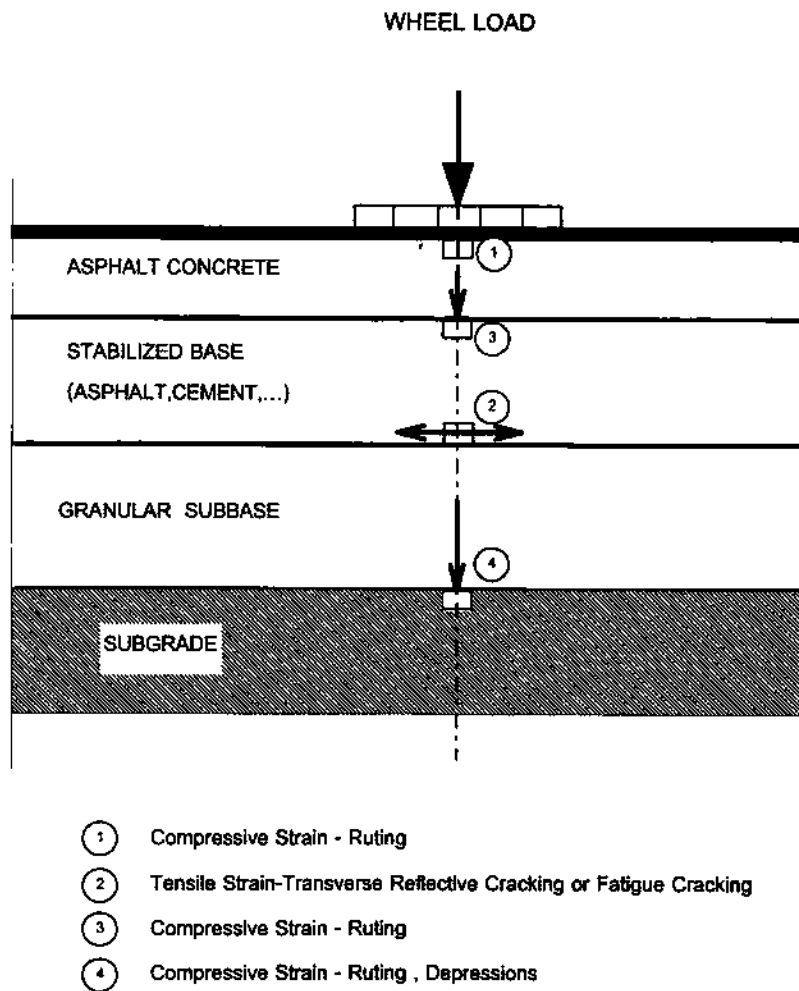
โครงสร้างชั้นทางแบบ Multi-Layered System จะประกอบด้วยชั้นทางที่มีค่า Elastic Modulus แตกต่างกันวางทับกันอย่างเป็นระบบ รูปของโครงสร้างชั้นทางที่มี Unbound Granular Material เป็นพื้นทางได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ส่วนรูปแบบของโครงสร้างชั้นทางที่มี Stabilized Material เป็นพื้นทางได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14 ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, และ 4 ในรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 เป็นตำแหน่งที่แสดง Critical Stress/Strain ที่เกิดขึ้นภายในชั้นทางอันเนื่องมาจาก Applied Wheel load (FHWA, 1987) อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวัสดุสามารถจะต้านทาน Stress ได้มากกว่า Strain นอกจากนี้ นักวิจัยยังพบอีกว่า Strain at Failure ของวัสดุต่างๆจะแปรปรวนน้อยกว่า Stress at Failure (Wang, 1968 ; Bonnot ; 1972 ; Otte ; 1974) นอกจากนี้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Visco-Elastic Materials มักจะไม่แสดง Failure Strain ที่เด่นชัด ซึ่งลักษณะดังกล่าวก็คล้าย ๆ กับ Stress-Strain Curve ของดินเหนียว ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางในแนวทาง Analytical Method จึงมักจะใช้ Strain เป็นตัวกำหนดความวิบัติของชั้นทางแต่ละชั้น การเกิด Strain เกินพิกัดที่ชั้นทางจะทนได้จะก่อให้เกิดรอยแตก (Fatigue Crack) และรอยร่องล้อ (Rut) ในชั้นทางตามลักษณะของ Strain ที่เกิดขึ้น Tensile Strain ในชั้นทางจะทำให้เกิดรอยแตก ในขณะที่ Compressive Strain จะทำให้เกิด รอยร่องล้อ ซึ่งทั้งรอยแตกและรอยร่องล้อถือเป็น Failure Criteria ในการออกแบบโครงสร้างถนน ลาดยางโดยวิธี Analytical Method

เมื่อโครงสร้างถนนถูกกดโดยน้ำหนักล้อ จะทำให้เกิด Stress, Strain และ Deflection ขึ้นในชั้นทาง Stress และ Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

- (1) Vertical Stresses/Strains เป็น Stress/Strain ที่ลดลงในชั้นทางระดับต่างๆ ในแนวตั้ง เป็นผลให้วัสดุชั้นทางมีความแน่นสูงขึ้นและทำให้เกิดรอยร่องล้อในชั้นทาง
- (2) Vertical Stresses/Strains ทำให้โครงสร้างถนนไม่มั่นคงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำหนัก ล้อมีค่าสูงมาก เช่น กรณีของรถบรรทุกทุกหนักเกินพิกัด Shear Stress/Strain จะเกิด มากที่สุดในชั้นพื้นทาง
- (3) Radial Stresses/Strains เป็น Stress/Strain ที่เกิดอันเป็นผลมาจากการแอ่นตัว ของชั้นทาง ได้ชั้นทางของวัสดุประเภท Asphalt Concrete หรือ Asphalt Treated Base หรือ Cement Treated Base จะเกิด Radial Stress/Strain ขึ้นเนื่องจากน้ำหนักล้อ ทำให้ชั้นทางเหล่านั้นเกิดรอยแตก โดยจะเริ่มแตกจากด้านล่างก่อน แล้วจึงลามสู่ผิวหน้า



รูปที่ 2.13 แสดงค่า Critical Stress/Strain ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ
ของโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Granular Material
ที่มา : FHWA (1987)



รูปที่ 2.14 แสดงค่า Critical Stress/Strain ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ
ของโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Stabilized Material
ที่มา : FHWA (1987)

Critical Strain ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างถนนลาดยางที่มี Unbound Granular Materials เป็นพื้นทางจากรูปที่ 2.13 Critical Strain จะเกิดขึ้นใน 4 ตำแหน่ง ตามหมายเลข 1, 2, 3, และ 4 โดยแต่ละตำแหน่งมีรายละเอียดดังนี้

หมายเลข (1) Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต จะ Critical ก็ต่อเมื่อรถบรรทุกมีน้ำหนักมาก หรือปริมาณการจราจรสูงมาก ผลของการเกิด Vertical Compressive Strain ในชั้นผิวทางจะทำให้ผิวทางมีความแน่นมากขึ้นและเกิดการยุบตัวของผิวทางตามแนวร่องล้อตามมา อย่างไรก็ตามในการออกแบบ ไม่ถือว่า Vertical Compressive Strain ในชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต เป็น Critical Strain ที่จะกำหนดความวิบัติของถนน เพราะผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมักจะถูกบดอัดจนมีความแน่นสูงมากระหว่างการก่อสร้างแล้ว

หมายเลข (2) Radial Tensile Strain ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นผิวทางตรงรอยต่อกับชั้นพื้นทาง เนื่องจากชั้นทางจะแน่นตัวเมื่อถูกน้ำหนักล้อกด ผลของการจราจรที่ผ่านไปมาจะทำให้ Radial Tensile Strain ที่เกิดใต้ผิวทางสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่แอสฟัลท์คอนกรีตจะรับได้ ทำให้เกิดรอยแตกใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต Radial Tensile Strain ใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตนี้ ถือเป็น Critical Strain ในการออกแบบโครงสร้างถนน

หมายเลข (3) Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้น Unbound Granular Base โดยปกติ Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้น Unbound Granular Base ไม่ถือเป็น Critical Strain ที่ใช้พิจารณาในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง เพราะถือว่าวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างพื้นทางจากรมีความแข็งแรงสูง และมีการก่อสร้างที่ดี อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้วัสดุท้องถิ่นที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานเป็นพื้นทาง เช่น ดินลูกรัง หรือ หินผุ Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นพื้นทางดังกล่าวก็จะมีผลทำให้เกิดรอยร้าว และทำให้ถนนเกิดความวิบัติในเวลาอันรวดเร็ว

หมายเลข (4) Vertical Compressive Strain ที่เกิดบนผิวหน้าของ Subgrade ในโครงสร้างถนนลาดยาง ชั้น Subgrade เป็นชั้นที่มีค่า Elastic Modulus ต่ำที่สุด ดังนั้น Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้น Subgrade จึงมีค่ามากที่สุด ผลของการเกิด Vertical Compressive Strain ในชั้น Subgrade จะก่อให้เกิดรอยร้าว Vertical Compressive Strain ถือเป็น Critical Strain ที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง

Critical Strain ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่มี Cemented Materials เป็นพื้นทาง โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็น Cemented Materials ได้แสดงในรูปที่ 2.14 Critical Strain จะเกิดขึ้นใน 4 ตำแหน่ง ตามหมายเลข 1, 2, 3, และ 4 โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

หมายเลข (1) Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นผิวทาง ค่า Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตไม่ถือเป็น Critical Strain ในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางเหมือนโครงสร้างถนนที่มี Unbound Granular Material เป็นพื้นทาง

หมายเลข (2) Radial Tensile Strain ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นพื้นทาง Cemented Base ตรงรอยต่อระหว่างพื้นทางกับรองพื้นทาง จากรูปที่ 2.13 และ 2.14 จะเห็นได้ว่าค่า Radial Tensile Strain เลื่อนจากตำแหน่งใต้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตในกรณีของ Unbound Granular Base มาอยู่ใต้ชั้นพื้นทาง

Cemented Base ในกรณีของถนนที่มีพื้นทางเป็น Cemented Base สาเหตุของการเลื่อนตำแหน่งจากใต้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตไปอยู่ใต้พื้นทาง Cemented Base เพราะว่าพื้นทาง Cemented Base สามารถรับ Radial Tensile Strain ได้ แต่น้อยกว่าผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมาก ดังนั้นโอกาสที่ Radial Tensile Strain ใน Cemented Base จะสูงถึง Limiting Value และทำให้ Cemented Base แตก จึงเป็นได้มากกว่าการแตกของแอสฟัลท์คอนกรีต

หมายเลข (3) Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้น Cemented Base เนื่องมาจาก Cemented Base มีค่า Elastic Modulus สูงมาก ดังนั้น Vertical Compressive Strain ในชั้น Cemented Base จึงไม่ Critical

หมายเลข (4) Vertical Compressive Strain ที่เกิดบนผิวหน้าของ Subgrade เป็น Critical Compressive Strain ที่จะต้องพิจารณาถึงเช่นเดียวกับกรณีของโครงสร้างถนนลาดยางที่มี Unbound Granular Materials เป็นพื้นทาง

2.6 Design Criteria และ Fatigue Characteristics ของวัสดุชั้นทาง

Criteria สำหรับการออกแบบโครงสร้างถนนโดยวิธี Analytical Method มี 2 Criteria คือ Fatigue Crack Criteria และ Permanent Deformation Criteria สำหรับ Fatigue Crack Criteria สามารถแยกออกได้เป็น 2 อย่าง คือ Fatigue Crack Criteria สำหรับแอสฟัลท์คอนกรีต และ Fatigue Crack Criteria สำหรับ Cemented Base

2.6.1 Fatigue Crack Criteria ของแอสฟัลท์คอนกรีต

Brown (1972) ได้สร้างสมการ Fatigue Curve ของแอสฟัลท์คอนกรีตไว้ดังนี้

$$N_s = k \left(1 / \epsilon_m \right)^n$$

เมื่อ N_s = Number of Load Application ที่ก่อให้เกิด Fatigue Crack ในชั้นแอสฟัลท์คอนกรีต

ϵ_m = ค่า Tensile Strain สูงสุดที่เกิด

n, k = ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแอสฟัลท์คอนกรีต

NAASRA (1987) ได้พัฒนา Fatigue Curve ของแอสฟัลท์คอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิของแอสฟัลท์คอนกรีตจะแปรเปลี่ยนในช่วง 0-40°C และค่า Elastic Modulus ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิจะแปรเปลี่ยนตั้งแต่ 500-30,000 MPa

เนื่องจากแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นวัสดุประเภท Visco-Elastic Material ซึ่งค่า Elastic Modulus จะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ดังนั้น Fatigue Curve ของ NAASRA จึงมีประโยชน์ต่อผู้ออกแบบที่จะเลือกใช้ค่า Elastic Modulus และ Fatigue Curve ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิ) ของแต่ละท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสมอุณหภูมิของแอสฟัลท์คอนกรีตที่จะนำมาใช้ในการเลือกใช้ Curve

เส้นใดควรเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของผิวทาง สำหรับที่กรุงเทพฯ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 27.8°C (Claessen และคณะ, 1977) อุณหภูมิผิวถนนจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 10°C ดังนั้นอุณหภูมิของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตโดยเฉลี่ยจะเท่ากับ $27.8+10 = 37.8^{\circ}\text{C}$

2.6.2 Fatigue Crack Criteria ของ Cemented Material

Larsen และ Nussbaum (1967) จาก Portland Cement Association ได้ทำการศึกษา Fatigue Characteristics ของ Soil Cement ที่ทำจาก Fine Grained Soil จากการทดลอง Flexural Test โดยตัวอย่างที่ทดลองมีค่า Elastic Modulus ในช่วง 2,500-7,500 MPa ที่อายุการบ่ม 28 วัน ผลการศึกษาของ Larsen และ Nussbaum ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 Larsen และ Nussbaum ได้ให้คำจำกัดความของ Flexural Fatigue Ratio (R_c/R) ไว้ว่า Flexural Ratio หมายถึงอัตราส่วนระหว่าง Critical Radius of Curvature ที่ Failure ภายใต้ Static Load กับ Radius of Curvature ที่ Load ใดๆ อัตราส่วนดังกล่าวนี้ ใช้แทนด้วย R_c/R

เนื่องจาก Radius of Curvature จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับ Tensile Strain ดังนี้

$$R = \frac{H}{(\epsilon_{\text{top fiber}} + \epsilon_{\text{bottom fiber}})}$$

เมื่อ R = Radius of Curvature
 H = ความสูงของตัวอย่างทดสอบ

สมมติ $\epsilon_{\text{top fiber}} = \epsilon_{\text{bottom fiber}}$

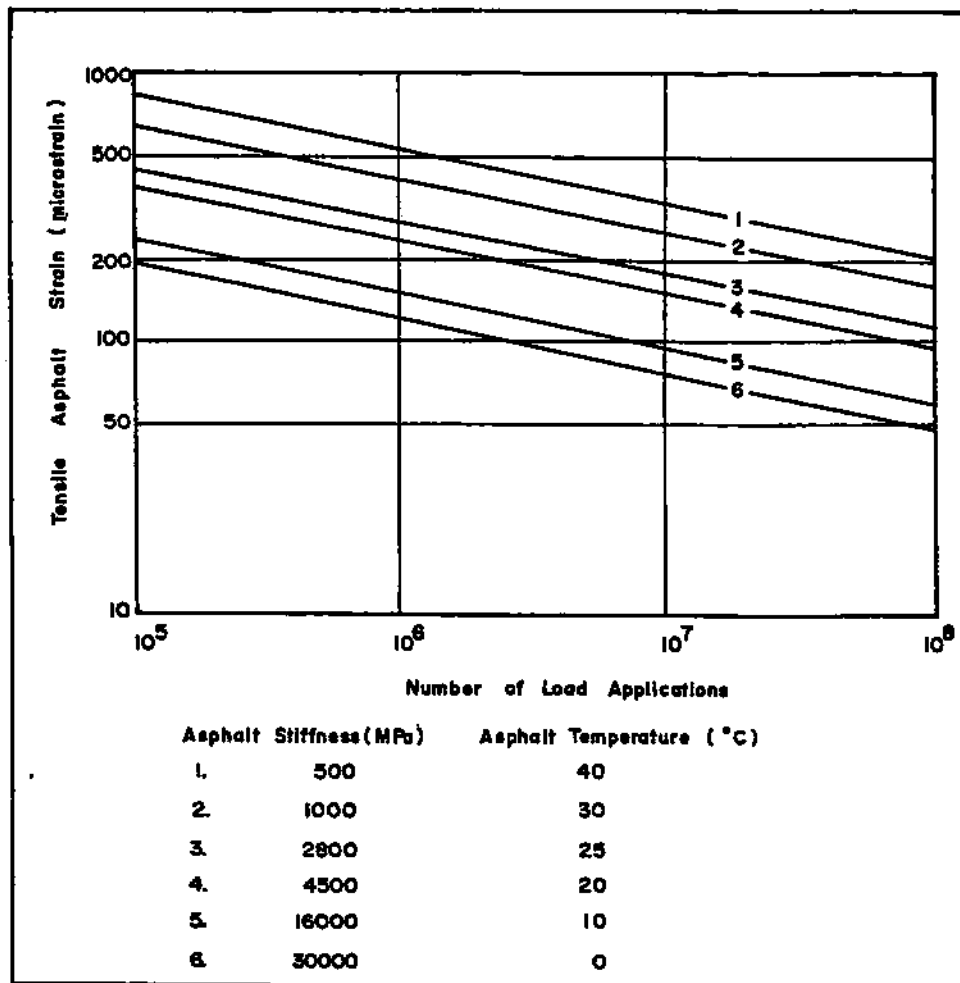
$$R = \frac{H}{2 \epsilon_{\text{bottom fiber}}}$$

ดังนั้น $R_c/R = \epsilon_T/\epsilon_B$

เมื่อ ϵ_T = Tensile Strain at any Load
 ϵ_B = Tensile Strain at Break

ดังนั้น Flexural Fatigue Ratio (R_c/R) จึงสามารถแทนค่าด้วย Tensile Strain Ratio (ϵ_T/ϵ_B) ซึ่ง Tensile Strain Ratio นี้เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กันมากในเรื่อง Fatigue Characteristics ของ Cemented Materials

Pretorius และ Monismith (1972) ได้ศึกษา Fatigue Characteristics ของ Cement Treated Partially Crushed Gravel โดยใช้ซีเมนต์ 5.5 % บ่มนาน 3 เดือน โดยทดสอบ Flexural Strength Test ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบของ Larsen และ Nussbaum (1967)



รูปที่ 2.15 ค่า Maximum Allowable Strain ของแอสฟัลท์คอนกรีต
ที่มา : NAASRA (1987)

Otte (1972) ได้ทบทวนผลการศึกษาเกี่ยวกับ Stress-Strain Curve ของคอนกรีต และ Cemented Materials ความรู้เกี่ยวกับการทดสอบด้วยตนเองในห้องปฏิบัติการ ได้สรุปว่าวัสดุประเภท Cemented Materials ไม่ว่าจะทดสอบแบบ Direct Compression หรือ Direct Tension หรือ Flexural Test ก็จะทำให้ Stress-Strain Curve ที่มีลักษณะเส้นตรงไปจนถึง 35% ของ Strength และ/หรือ 25% ของ Strain at Break เมื่อถึงจุดนี้ Cemented Materials ที่เคยเกาะยึดกันอย่างแข็งแรงจะเกิด Micro-Crack ขึ้นในเนื้อวัสดุโดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงผิวหน้าสัมผัสระหว่างซีเมนต์กับมวลรวม ผลของการเกิดรอยแตกใน Cemented Materials จะเปลี่ยนจาก Linear Stress-Strain Curve ไปเป็น Non-Linear Stress-Strain Curve และเมื่อเกิดรอยแตกจนถึงขั้นวิกฤติ Cemented Materials ก็จะแปรสภาพเป็น Unbound Granular Material ซึ่งจะเป็น Non-Linear Elastic Materials ดังนั้นเพื่อให้ Cemented Materials มีคุณสมบัติเป็น Linear Elastic Material ตลอดเวลา Stress ที่เกิดขึ้นในชั้น Cemented Materials จะต้องไม่เกิน 35% ของ Strength ของ Cemented Materials และ/หรือ Strain ที่เกิดขึ้นจะต้องไม่เกิน 25% ของ Strain at Break ในภาวะดังกล่าวนี้ Micro-Crack จะไม่เกิดและวัสดุจะมีคุณสมบัติเป็น Linear Elastic Materials ที่มีค่า Elastic Material คงที่และสามารถจะใช้ Layered Elastic Theory มาประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

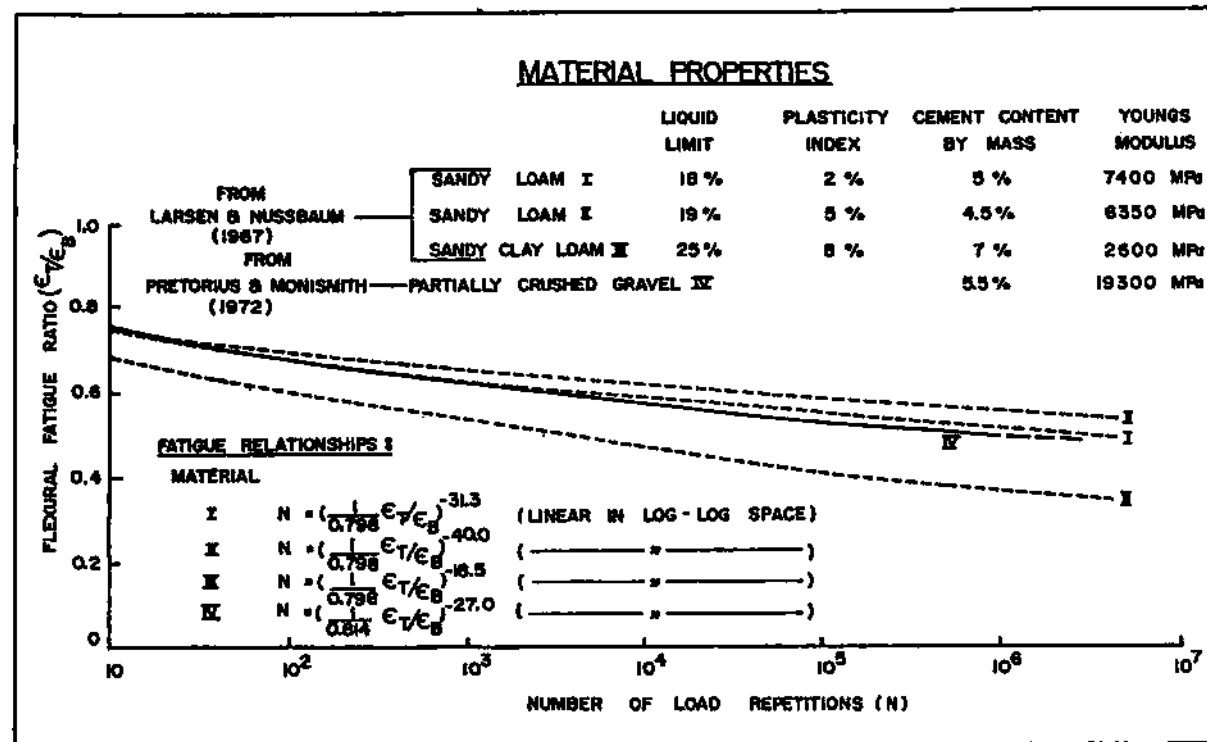
ในส่วนที่เกี่ยวกับ Fatigue Characteristics ของคอนกรีต และ Cemented Materials Otte (1978) ได้สรุปผลการศึกษาไว้ดังนี้

- (1) Cemented Materials สามารถรับ Load Repetitions ได้ 10^6 เทียวก เมื่อ Stress Ratio (σ/σ_b) เท่ากับ 0.50 และไม่จำกัดจำนวนเทียวก เมื่อ Stress Ratio เท่ากับ 0.35
- (2) Cemented Materials สามารถจะรับ Load Repetitions ได้ 10^6 เทียวก เมื่อ Strain Ratio (ϵ/ϵ_b) เท่ากับ 0.33 และไม่จำกัดจำนวนเทียวก เมื่อ Strain Ratio เท่ากับ 0.25

เมื่อ σ, ϵ = Stress และ Strain ที่เกิดในชั้นทาง Cemented Base อันเนื่องมาจาก Wheel Load

σ_b, ϵ_b = Stress at Break และ Strain at Break ที่เกิดในชั้น Cemented Base

นอกจากนี้ Otte ยังได้ให้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strain Ratio กับ Number of Repetitions to Failure ไว้ดังนี้



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fatigue Ratio และ Number of Load Repetition ของ Cement Treated Materials
ที่มา : Larsen และ Nussbaum (1976)
Pretorius และ Monismith (1972)

$$\begin{aligned} N_f &= 109.1^{9.1(1-E/E_0)} && \text{(Semi-log scale)} \\ N_f &= (E/E_0)^{-12.66} && \text{(Log-log scale)} \end{aligned}$$

Fatigue Curve ของ Otte (1978) เปรียบเทียบกับ Fatigue Curve ของ Pretorius และ Monismith (1972) ได้แสดงในรูปที่ 2.17 จากรูปที่ 2.17 เมื่อ Strain Ratio เท่ากับ 0.25 N_f จาก Otte Fatigue Curve จะเท่ากับ 10^7 เทียบ ในขณะที่ N_f จาก Pretorius Fatigue Curve จะมีค่าสูงถึง 10^8 แสดงว่า Otte Curve จะ Conservative กว่า Pretorius Curve

Walker และคณะ (1977) ได้เสนอผลงานที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำ Fatigue Curve ของ Cemented Materials โดยได้จัดสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus และ Strain at Break ของ Cemented Materials ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จะเห็นว่า ถ้า Elastic Modulus ของ Cemented Materials มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10,000 MPa แล้ว Strain at Break จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับค่า Elastic Modulus

นอกจาก NAASRA (1987) ได้พัฒนา Fatigue Curve ของ Cemented Materials ขึ้นมาใหม่ โดยใช้ค่า Elastic Modulus เท่ากับ 2,000 MPa, 5,000 MPa และ 10,000 MPa ดังแสดงในรูปที่ 2.19 Cemented Materials ที่มีค่า Elastic Modulus 2,000 MPa จะได้แก่ Cement-Treated Natural Gravel ซึ่งจะใช้ก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง สำหรับ Cemented Materials ที่มีค่า Elastic Modulus 10,000 MPa ได้แก่ Mass Concrete หรือ Rolled Concrete ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ประมาณ 5-6 MPa อย่างไรก็ตามในงานก่อสร้างชั้นทางประเภท Cement Layers นั้น NAASRA จะแนะนำให้ใช้ค่า Elastic Modulus เท่ากับ 2,000 MPa สำหรับชั้นรองพื้นทาง และ 5,000 MPa สำหรับชั้นพื้นทาง

ข้อมูลค่า Strain at Break สำหรับการวิเคราะห์ และออกแบบถนนที่มี Cemented Materials เป็นชั้นทางสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) Otte และคณะ (1982) ใช้ Strain at Break ของ Cemented Materials ดังนี้

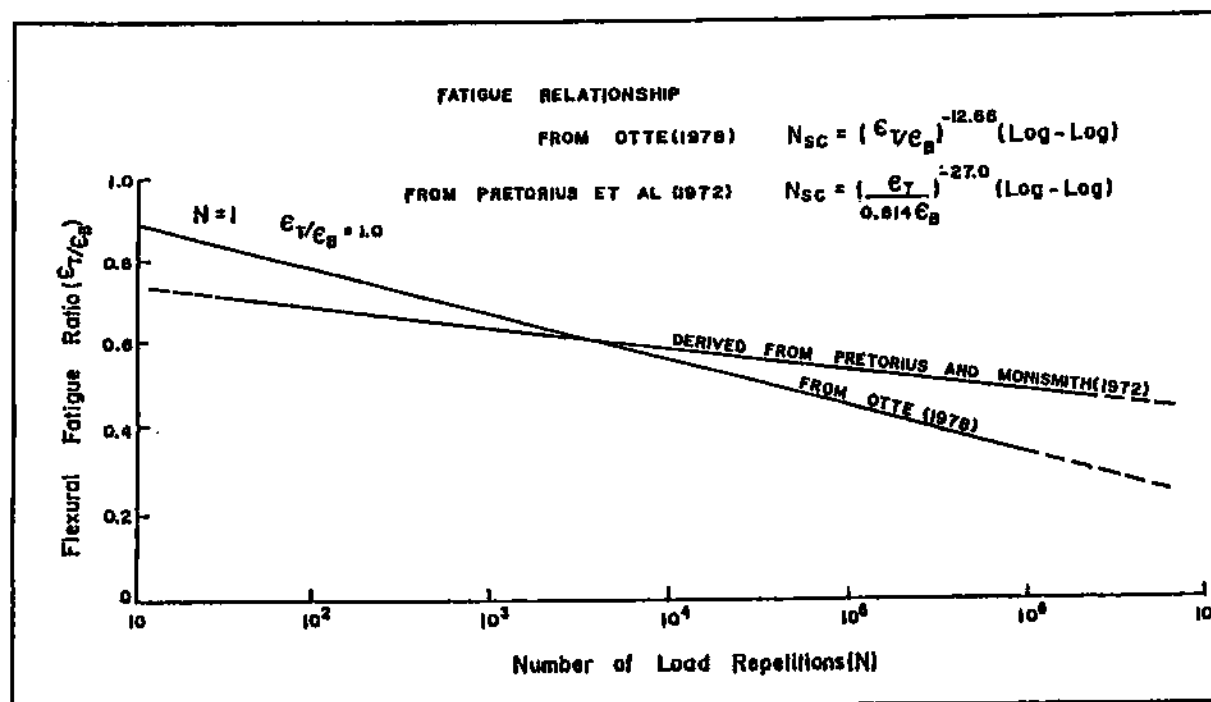
- Cement-Treated Crushed Rock Base = 145 $\mu\epsilon$
- Cement-Treated Gravel Subbase = 175 $\mu\epsilon$

(2) Walker และคณะ (1977) ใช้ Strain at Break ของ Cemented Materials ดังนี้

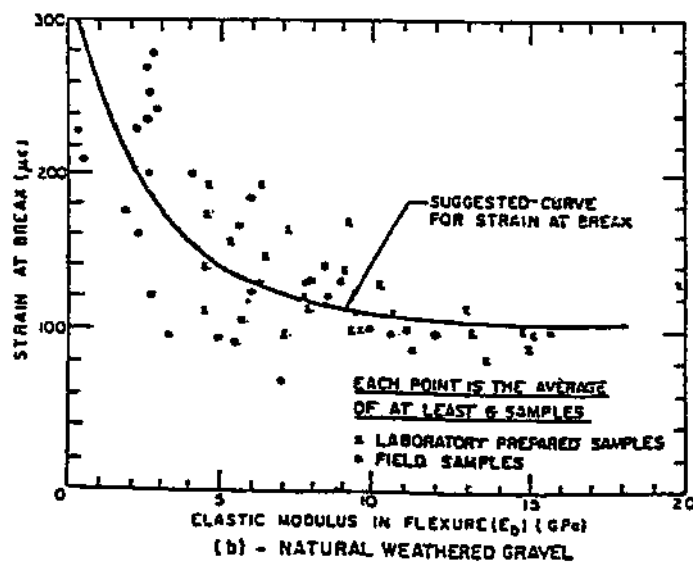
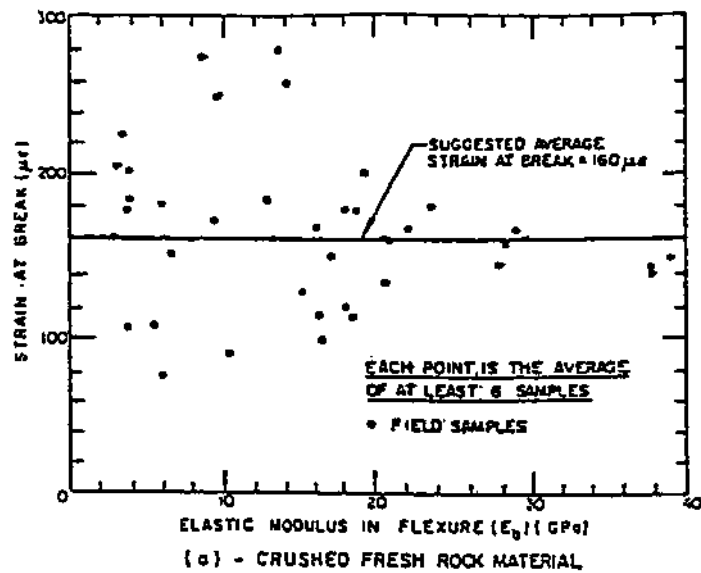
- Cement-Treated Crushed Rock Base = 160 $\mu\epsilon$
- Cement-Treated Gravel Subbase = 200 $\mu\epsilon$
- (E = 2,000 MPa)

(3) Paterson และ Maree (1978) ใช้ Strain at Break ของ Cemented Materials ดังนี้

- Cement-Treated Crushed Rock Base = 145 $\mu\epsilon$
- Cement-Treated Gravel Subbase = 146 $\mu\epsilon$



รูปที่ 2.17 เปรียบเทียบ Fatigue Curve ของ Cemented Materials ระหว่าง Otte และ Pretorius
ที่มา : Otte (1978)
 Pretorius (1972)



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Elastic Modulus จากการทดลอง Flexural Test กับ Strain at Break ของ Cemented Materials

ที่มา : Walker และคณะ (1977)

จากค่า Strain at Break ดังกล่าว ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกใช้ค่า Strain at Break ให้เหมาะสมกับค่า Elastic Modulus ของ Cemented Materials โดยทั่วไป ถ้าเป็น Hard Soil-Cement (Elastic Modulus สูง) ก็จะใช้ค่าเกณฑ์ต่ำ แต่ถ้าเป็น Soft Soil-Cement (Elastic Modulus ต่ำ) ก็จะใช้ค่าในเกณฑ์สูงได้ ในประเทศที่มีฝนตกน้อยอาจเลือกใช้ Cemented Material ที่มีค่า Elastic Modulus สูงได้ แต่ในประเทศที่มีฝนตกชุก หากใช้ค่า Elastic Modulus สูงเกินไป แล้วเกิดรอยแตกขึ้น น้ำฝนจะทำอันตรายต่อโครงสร้างถนน ทำให้รอยแตกเพิ่มมากขึ้น และถนนเกิดการวิบัติในที่สุด การออกแบบ Soil-Cement ในประเทศไทยในระยะหลังๆ จึงออกแบบเป็น Soft Soil-Cement โดยให้มีค่า Unconfined Compressive Strength อยู่ในเกณฑ์ต่ำประมาณ 150-250 ปอนด์/นิ้ว² (ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, 2538)

2.6.3 Permanent Deformation Criteria ของ Subgrade Soil

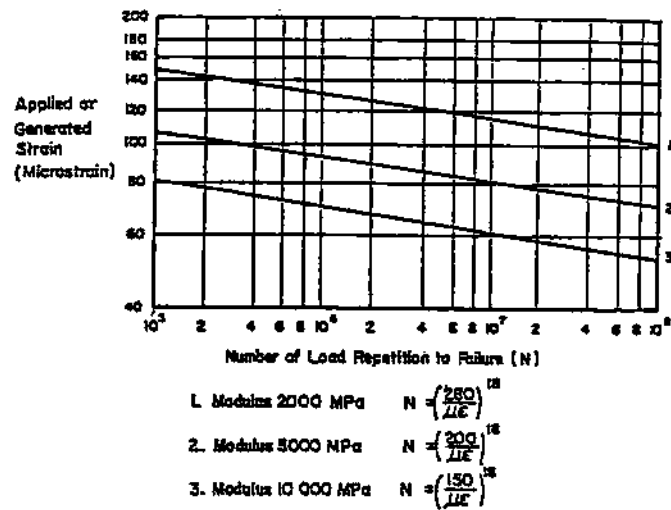
Dornon และ Metcalf (1965) ได้จัดทำ Fatigue Curve ของ Subgrade Soil แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Subgrade Compressive Strain และ Number of Load Repetitions ที่กระทำต่อชั้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.20 Fatigue Curve ที่แสดงในรูปที่ 2.20 นี้ได้มาจากการวิเคราะห์ทางด้าน Elastic Analysis ของโครงสร้างถนนทดลอง AASHO Road Test และใช้ค่า Rut Depth เท่ากับ 0.75 นิ้ว (19 มม.) เป็นตัวประเมินค่า Failure ของถนน ค่า Poisson's Ratio ใช้เท่ากับ 0.5 ส่วนค่า Elastic Modulus ของ Subgrade Soil ใช้ Empirical Correlation $E = 1500 \text{ CBR}$ ปอนด์/นิ้ว² Fatigue Curve ของ Subgrade Soil ที่เสนอโดย Dornon และ Metcalf (1965) นี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในขณะนั้น เพราะถือว่าเป็นเครื่องมือที่จะใช้วิเคราะห์ Permanent Deformation ของถนนทางด้าน Analytical Method อย่างสมเหตุผลและถูกหลักวิชาการ (Brown และ Pell, 1970)

Edwards และ Valkering (1974) แห่งบริษัทเชลล์ ปิโตรเลียม ได้พัฒนา Fatigue Curve ของ Subgrade Soil ขึ้นมาใหม่โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Subgrade Strain กับ Number of Load Applications ดังนี้

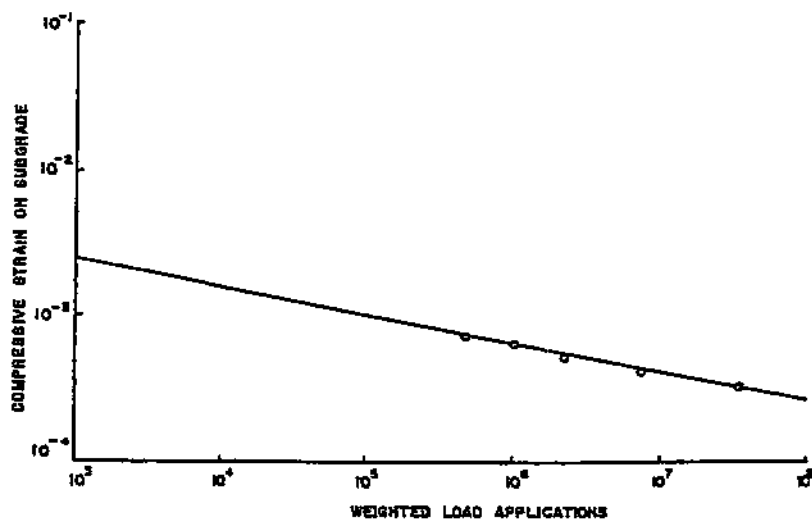
$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 2.8 \times 10^{-2} \times N^{0.25} \\ \text{เมื่อ } \epsilon_s &= \text{Vertical Compressive Strain บน Subgrade Soil ที่เกิดขึ้นได้} \\ N &= \text{Number of load applications} \end{aligned}$$

การจัดสร้าง Fatigue Curve ในครั้งนี้ ใช้ค่า Poisson's Ratio เท่ากับ 0.35 และได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณ อีกทั้งได้ใช้หลักของ Present Serviceability Index (PSI) โดยใช้ค่า PSI เท่ากับ 2.5 Fatigue Curve ของบริษัทเชลล์ ปิโตรเลียม ที่ได้จัดทำขึ้นใหม่นี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.21

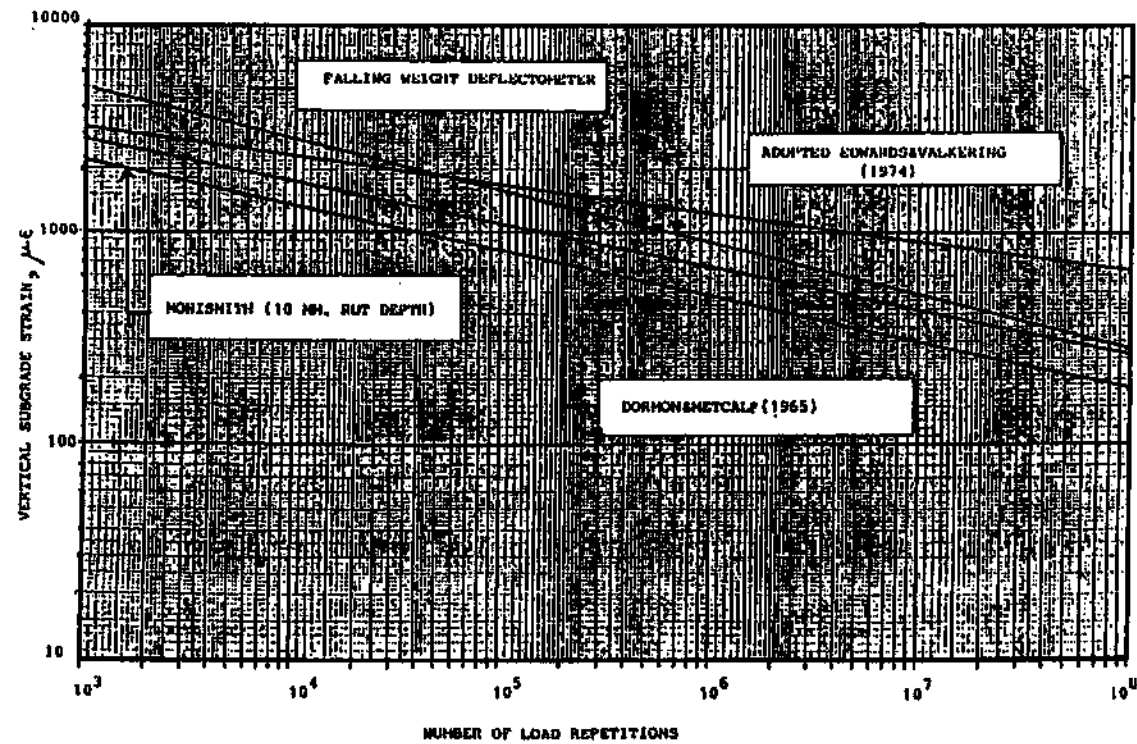
Monismith และ Mclean (1971) จาก University of California, Berkeley, U.S.A. ได้พัฒนา Subgrade Fatigue Curve ให้กับ Chevron Research Company โดยใช้ Terminal Rut Depth เท่ากับ 10 มม. และใช้ PSI เท่ากับ 2.5 ซึ่ง Chevron Subgrade Fatigue Curve ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 เทียบกับ Shell Subgrade Fatigue Curve



รูปที่ 2.19 Fatigue Curve ของ Cemented Materials (NAASRA Curves)
ที่มา : NAASRA (1987)



รูปที่ 2.20 Fatigue Curve ของ Vertical Compressive Strain ของดิน Subgrade
ที่มา : Dormon และ Metcalf (1965)



รูปที่ 2.21 Permissible Subgrade Strain Criteria ของสถาบันต่าง ๆ เทียบกับของ Main Road Department
ที่มา : Edwards และ Valkering (1974)
: Monismith และ Mclean (1971)

Brown (1974) จาก University of Nottingham ได้วิจารณ์ Shell Subgrade Fatigue Curve ว่าพัฒนามาจาก Subgrade Soil เฉพาะบริเวณ AASHO Road Test เพียงแห่งเดียว ซึ่งมีปริมาณฝนตกค่อนข้างน้อย (800-1000 มม./ปี) นอกจากนี้การสร้าง Shell Subgrade Fatigue curve ยังขาดข้อมูลการวิจัยและการทดสอบ Repeated Load Test ในห้องปฏิบัติการสนับสนุน Brown (1974) จึงได้จัดสร้าง Subgrade Fatigue Curve ขึ้นมาใหม่ โดยใช้ข้อมูลการออกแบบจาก Road Note 29 ในประเทศอังกฤษ และใช้ Permanent Deformation หรือ Rut Depth เป็น Criteria ดังแสดงในรูปที่ 2.22 เทียบกับ Fatigue Curve ของ Dormon และ Metcalf (1965) จะเห็นได้ว่า Subgrade Fatigue Curve ของ Brown จะให้ส่วนปลอดภัยมากกว่า Subgrade Fatigue Curve ของ Dormon และ Metcalf

Fatigue Curve ที่พัฒนาขึ้นมาโดยสถาบันบางแห่งได้สรุปไว้ในรูปที่ 2.23 (Pell, 1987) ในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี The Asphalt Institute ตาม MS-1 ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 9 Shook และคณะ (1982) ได้แนะนำให้ใช้ Subgrade Fatigue Curve ของ Chevron Research Company หรือ University of Nottingham ซึ่งจะให้โครงสร้างที่ Conservative กว่า Fatigue Curve ของบริษัท เชลล์ บิโตรเลียม และได้เห็นว่าถนนที่จะถือว่าปลอดภัย และมีโครงสร้างแข็งแรงจะต้องมี Rut Depth ได้ไม่มากกว่า 0.5 นิ้ว (13 มม.)

Maree และ Freeme (1981) จาก South African National Institute of Transport and Road Research ได้เสนอ Fatigue Curve ของ Subgrade ตามลักษณะของถนนที่จะออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.24 จากรูปที่ 2.24 จะเห็นได้ว่ามี Subgrade Fatigue Curve 3 เส้น คือ A, B และ C โดยแต่ละเส้นจะใช้ออกแบบถนนให้ตามลักษณะดังต่อไปนี้

- (1) Fatigue Curve A ใช้ออกแบบถนนประเภท Freeway โดยยอมให้เกิด Terminal Rut Depth ได้ 10 มม.
- (2) Fatigue Curve B ใช้ออกแบบถนนสายหลักที่มีปริมาณการจราจรสูงโดยยอมให้เกิด Terminal Rut Depth ได้ 15 มม.
- (3) Fatigue Curve C ใช้ออกแบบถนนที่มีปริมาณการจราจรค่อนข้างต่ำโดยยอมให้เกิด Terminal Rut Depth ได้ 20 มม.

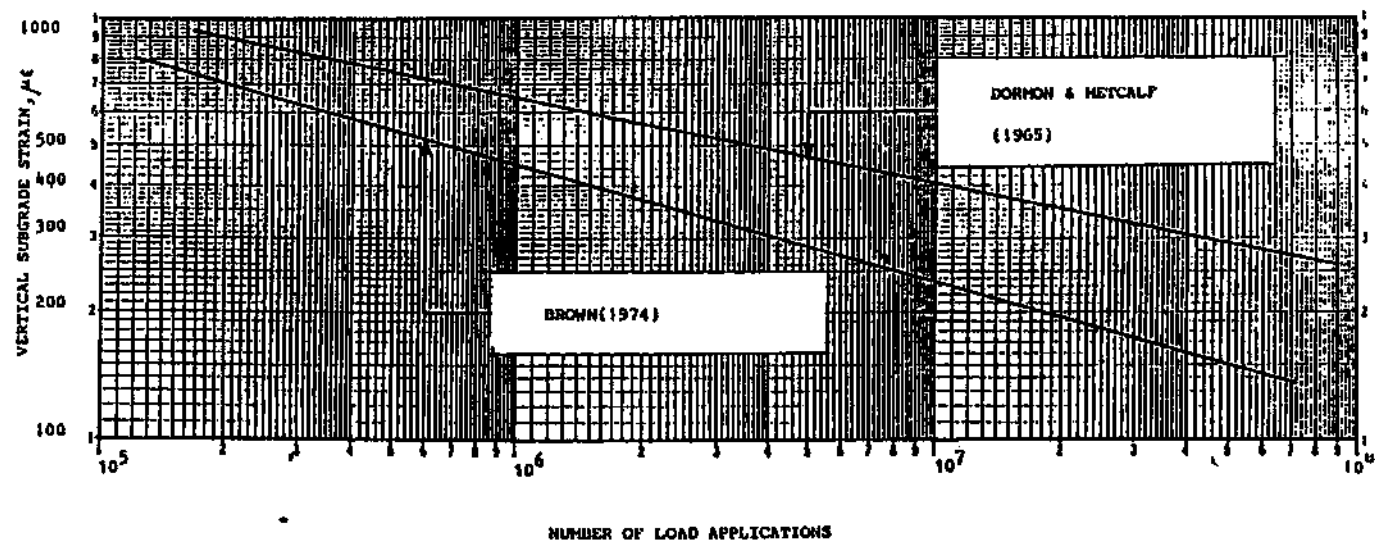
NAASRA (1987) ได้กำหนด Subgrade Strain Criteria ของการออกแบบถนนในประเทศออสเตรเลียใหม่ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบถนนทั่วประเทศออสเตรเลียให้ปลอดภัยจากการเกิดร่องล้อ ดังนี้

$$N = (8511 / \mu_e)^{7.14}$$

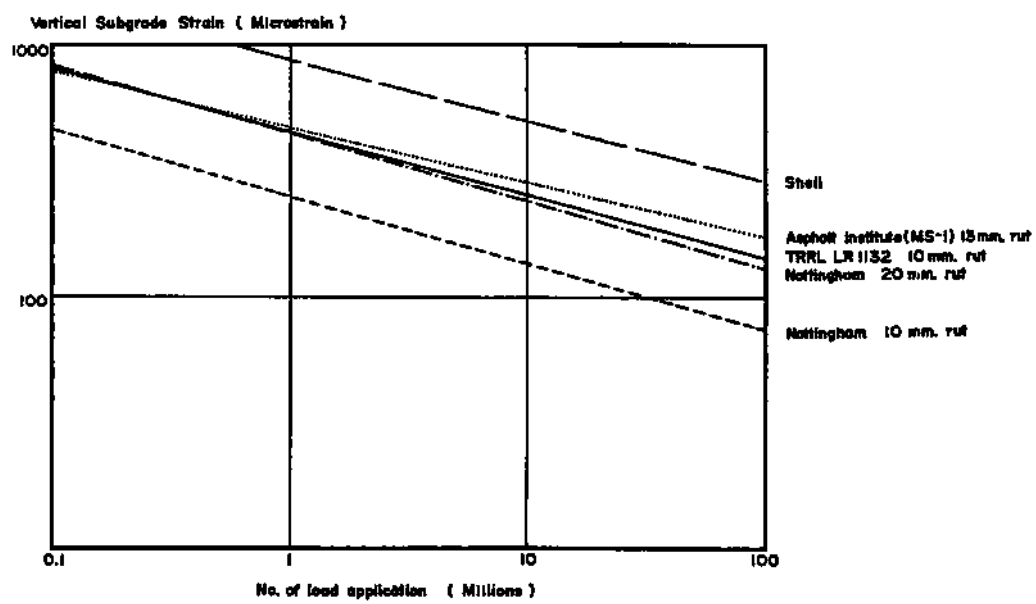
เมื่อ

$$N = \text{Number of Load Repetitions}$$

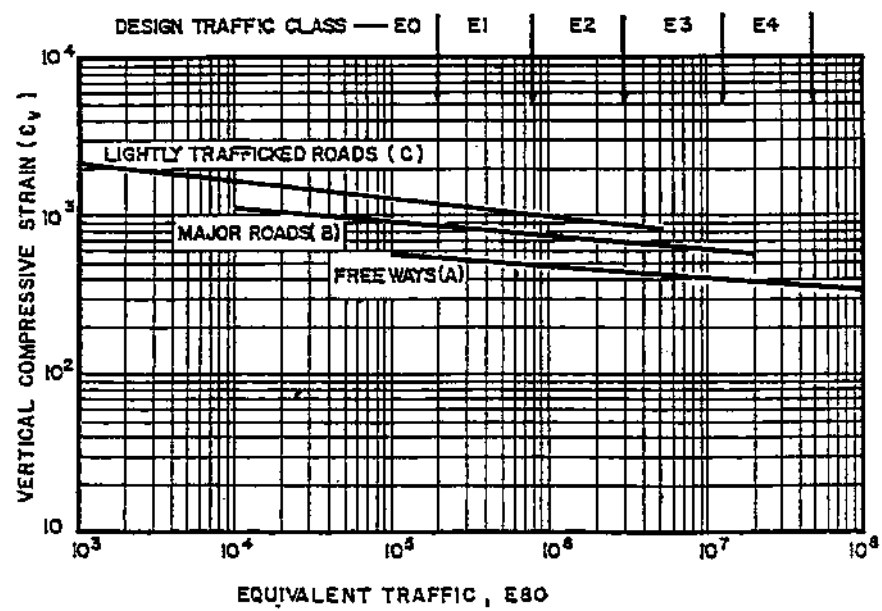
$$\mu_e = \text{Critical Subgrade Strain}$$



รูปที่ 2.22 Subgrade Strain Criterial ของ Brown (1974) เปรียบเทียบกับของ Dornon และ Metcalf (1965)
ที่มา : Brown (1974)
Dornon และ Metcalf (1965)



รูปที่ 2.23 Subgrade Strain Criteria ของสถาบันวิจัยต่าง ๆ
ที่มา : Pell (1987)



รูปที่ 2.24 Vertical Subgrade Strain Criteria สำหรับถนนลักษณะต่าง ๆ
ของ South African Department of Highways
ที่มา : Maree และ Freeme (1981)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์
2. โปรแกรม PSAD 2A-PC
3. ข้อมูลสายทางจำนวน 6 สายทาง

3.2 วิธีการ

1. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PSAD 2A-PC เพื่อหาค่า Strain และ Deformation ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในโครงสร้างของถนนลาดยาง ที่ประกอบด้วย ชั้นพื้นทางเป็น Soil Cement ชั้นรองพื้นทางเป็นวัสดุมวลรวม จำนวน 6 สายทาง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติ 21, 23, 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6
2. เปรียบเทียบค่า Strain และ Deformation ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soil Cement ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติถึงหนักมาก
3. ศึกษารายละเอียด และสรุปผลข้อมูล

3.3 โปรแกรม PSAD 2A-PC

โปรแกรม PSAD 2A เดิมเป็นภาษา FORTRAN IV ซึ่งไม่สามารถใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการใช้โปรแกรม PSAD 2A จึงไม่สะดวกมากนัก เนื่องจากต้องใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ MAIN FRAME ซึ่งมีขนาดใหญ่และราคาแพง กรมทางหลวงจึงได้ดำเนินการแปลงภาษาของโปรแกรมเป็นภาษา Basic เพื่อให้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยใช้ชื่อว่า PSAD 2A-PC ในการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงด้านภาษาของโปรแกรมเท่านั้น ส่วนโครงสร้างและวิธีการทำงานของโปรแกรมายังคงไว้เหมือนเดิมทุกประการ

โปรแกรม PSAD 2A จะมีลักษณะเช่นเดียวกับโปรแกรม PSAD แต่โปรแกรม PSAD 2A จะทำการวิเคราะห์ในลักษณะของล้อยู่ ดังนั้นจึงเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในกรณีของล้อยู่ โปรแกรมนี้กำหนดระยะห่างระหว่างล้อยู่เท่ากับ $3r$ (r = รัศมีของล้อ) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่า Stress Strain และ Deformation โปรแกรมจะรวมผลจากล้อยู่ โดยไม่ต้องนำผลที่ได้มารวมกันด้วยมืออย่างเช่น โปรแกรม CHEV 5L, และ PSAD

3.4 ส่วนประกอบของโปรแกรม PSAD 2A-PC

ส่วนประกอบของโปรแกรม PSAD 2A-PC ประกอบด้วย 7 ส่วน ดังนี้คือ

1. MAIN เป็นโปรแกรมหลักประกอบด้วย Input และ Output โปรแกรมหลักนี้จะเรียกโปรแกรมย่อยออกมาคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์
2. PART เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่า Displacement
3. COEE เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่าความเค้น (Stress)
4. BESSEL เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่าความเครียด (Strain)
5. CALCIN เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณหาค่า $T(m)$ ที่ได้จาก Bessel ฟังก์ชัน
6. LYDIA เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณหาค่าโมดูลัสของจุดความเค้นที่ถูกคำนวณแล้วตรวจสอบกับค่าที่สมมุติขึ้น ถ้าแตกต่างกันก็จะทำการคำนวณใหม่แบบอิตเอร์เรชัน (Iteration) ทำแบบลูปคือความเค้นรวมกันทั้งสองลูป
7. UWWHO เป็นโปรแกรมย่อยที่พิมพ์คำตอบของผลรวมลูปออกมาที่พิกัดจุดกำหนดของข้อมูล

3.5 ขอบเขตของโปรแกรม PSAD 2A-PC

1. จำนวนชั้นของระบบมี 5 ชั้น ถ้าหากมีไม่ถึง 5 ชั้น ก็แบ่งย่อยให้ได้ 5 ชั้น
2. จุดที่วิเคราะห์มีที่ $-r, 0, r, 1.5r, 2r, 3r$, และ $4r$ โดยที่ r เป็นรัศมีของล้อ ส่วนความลึกนั้นที่จุดต่อเนื่องระหว่างชั้นต่างๆ ของโครงสร้างชั้นทาง และที่จุดกึ่งกลางชั้น โปรแกรมนี้ได้กำหนดจุดพิคัดไว้แน่นอน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำผลมารวมกันของลูปคู่
3. ข้อมูลทั้งหมดไม่มีค่าเป็นลบ
4. อัตราส่วนปัวซองสี่ไม่เท่ากับ 1
5. ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสของชั้นดินเดิมกับ Deviator Stress ต้องมีอย่างน้อย 10 จุด และอย่างมาก 20 จุด ค่าที่ไม่อยู่ในขอบเขตนี้จะให้ผลคลาดเคลื่อน
6. ค่าของโมดูลัสกับ Deviator Stress อาจคงที่หรือมีความชันเป็นบวกหรือเป็นลบก็ได้ แต่จุดแรกค่า Deviator Stress ต้องเป็นศูนย์

3.6 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง จำนวน 6 สายทาง มาทำการวิเคราะห์ โดยแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักบรรทุก (Truck load) น้ำหนักล้อ (Wheel load) และแรงดันลมยาง (Tire pressure) กล่าวคือ ถ้าน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 4,500 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 80 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าน้ำหนักบรรทุก 23 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 5,060 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 90 ปอนด์/ตารางนิ้ว และถ้าน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ

5,500 ปอนด์ แรงดันลมยางเท่ากับ 98 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าน้ำหนักบรรทุก 30 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 6,600 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 118 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าน้ำหนักบรรทุก 35 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 7,700 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 137 ปอนด์/ตารางนิ้ว และถ้าน้ำหนักบรรทุก 40 ตัน จะใช้ค่าน้ำหนักล้อเท่ากับ 8,800 ปอนด์ แรงดันลมยางเท่ากับ 157 ปอนด์/ตารางนิ้ว การคำนวณค่าแรงดันลมยางและรัศมีของระนาบสัมผัสได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. รายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ถึง ตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 1

Route No. Exit at 340 - Hunkai

ADT (vpd) 5,000

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	3,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	2.00	8.00	6.80	24.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	3,000	3,000	3,000		

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 2

Route No. Pak Tho - Petchburi, new section

ADT (vpd) 10,500

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	3,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	4.00	8.00	6.80	24.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	3,000	3,000	3,000		

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 3

Route No. Wang Chompoo - Petchboon

ADT (vpd) 2,500

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	6,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	2.00	8.00	6.00	6.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	6,000	6,000	6,000		

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 4

Route No. 4 Haadyai - Ta Cha Muang

ADT (vpd) 8,000

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Laye				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	6,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	3.60	8.00	6.00	8.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	6,000	6,000	6,000		

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 5

Route No. 4013 Nakorn Si thammarat - Pak panung

ADT (vpd) 3,000

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	9,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	2.00	8.00	6.00	6.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	"9,000"	"9,000"	"9,000"		

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 6

Route No. 2 Pak Chong - See kiew					
ADT (vpd) 10,500					
Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40					
Base Uncracked soil cement					
Subbase Soil aggregate					
Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800					
Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157					
Load radius (inch) 4.23					
Load distance (inch) 1.00					
No. of modulus and deviator stress 3					
Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	9,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	4.00	8.00	8.00	8.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	9,000	9,000	9,000		

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์
2. โปรแกรม PSAD 2A-PC
3. ข้อมูลสายทางจำนวน 6 สายทาง

3.2 วิธีการ

1. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PSAD 2A-PC เพื่อหาค่า Strain และ Deformation ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในโครงสร้างของถนนลาดยาง ที่ประกอบด้วย ชั้นพื้นทางเป็น Soil Cement ชั้นรองพื้นทางเป็นวัสดุมวลรวม จำนวน 6 สายทาง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติ 21, 23, 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6
2. เปรียบเทียบค่า Strain และ Deformation ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soil Cement ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติถึงหนักมาก
3. ศึกษารายละเอียด และสรุปผลข้อมูล

3.3 โปรแกรม PSAD 2A-PC

โปรแกรม PSAD 2A เดิมเป็นภาษา FORTRAN IV ซึ่งไม่สามารถใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการใช้โปรแกรม PSAD 2A จึงไม่สะดวกมากนัก เนื่องจากต้องใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ MAIN FRAME ซึ่งมีขนาดใหญ่และราคาแพง กรมทางหลวงจึงได้ดำเนินการแปลงภาษาของโปรแกรมเป็นภาษา Basic เพื่อให้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยใช้ชื่อว่า PSAD 2A-PC ในการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงด้านภาษาของโปรแกรมเท่านั้น ส่วนโครงสร้างและวิธีการทำงานของโปรแกรมายังคงไว้เหมือนเดิมทุกประการ

โปรแกรม PSAD 2A จะมีลักษณะเช่นเดียวกับโปรแกรม PSAD แต่โปรแกรม PSAD 2A จะทำการวิเคราะห์ในลักษณะของล้อยู่ ดังนั้นจึงเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในกรณีของล้อยู่ โปรแกรมนี้กำหนดระยะห่างระหว่างล้อยู่เท่ากับ $3r$ (r = รัศมีของล้อ) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่า Stress Strain และ Deformation โปรแกรมจะรวมผลจากล้อยู่ โดยไม่ต้องนำผลที่ได้มารวมกันด้วยมืออย่างเช่น โปรแกรม CHEV 5L, และ PSAD

3.4 ส่วนประกอบของโปรแกรม PSAD 2A-PC

ส่วนประกอบของโปรแกรม PSAD 2A-PC ประกอบด้วย 7 ส่วน ดังนี้คือ

1. MAIN เป็นโปรแกรมหลักประกอบด้วย Input และ Output โปรแกรมหลักนี้จะเรียกโปรแกรมย่อยออกมาคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์
2. PART เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่า Displacement
3. COEE เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่าความเค้น (Stress)
4. BESSEL เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่าความเครียด (Strain)
5. CALCIN เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณหาค่า $T(m)$ ที่ได้จาก Bessel ฟังก์ชัน
6. LYDIA เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณหาค่าโมดูลัสของจุดความเค้นที่ถูกคำนวณแล้วตรวจสอบกับค่าที่สมมุติขึ้น ถ้าแตกต่างกันก็จะทำการคำนวณใหม่แบบอิตเอร์เรชัน (Iteration) ทำแบบลูปคือความเค้นรวมกันทั้งสองลูป
7. UWWHO เป็นโปรแกรมย่อยที่พิมพ์คำตอบของผลรวมลูปออกมาที่พิกัดจุดกำหนดของข้อมูล

3.5 ขอบเขตของโปรแกรม PSAD 2A-PC

1. จำนวนชั้นของระบบมี 5 ชั้น ถ้าหากมีไม่ถึง 5 ชั้น ก็แบ่งย่อยให้ได้ 5 ชั้น
2. จุดที่วิเคราะห์มีที่ $-r, 0, r, 1.5r, 2r, 3r$, และ $4r$ โดยที่ r เป็นรัศมีของล้อ ส่วนความลึกนั้นที่จุดต่อเนื่องระหว่างชั้นต่างๆ ของโครงสร้างชั้นทาง และที่จุดกึ่งกลางชั้น โปรแกรมนี้ได้กำหนดจุดพิคัดไว้แน่นอน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำผลมารวมกันของลูปคู่
3. ข้อมูลทั้งหมดไม่มีค่าเป็นลบ
4. อัตราส่วนปัวซองสี่ไม่เท่ากับ 1
5. ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสของชั้นดินเดิมกับ Deviator Stress ต้องมีอย่างน้อย 10 จุด และอย่างมาก 20 จุด ค่าที่ไม่อยู่ในขอบเขตนี้จะให้ผลคลาดเคลื่อน
6. ค่าของโมดูลัสกับ Deviator Stress อาจคงที่หรือมีความชันเป็นบวกหรือเป็นลบก็ได้ แต่จุดแรกค่า Deviator Stress ต้องเป็นศูนย์

3.6 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง จำนวน 6 สายทาง มาทำการวิเคราะห์ โดยแปรเปลี่ยนค่าน้ำหนักบรรทุก (Truck load) น้ำหนักล้อ (Wheel load) และแรงดันลมยาง (Tire pressure) กล่าวคือ ถ้าน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 4,500 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 80 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าน้ำหนักบรรทุก 23 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 5,060 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 90 ปอนด์/ตารางนิ้ว และถ้าน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ

5,500 ปอนด์ แรงดันลมยางเท่ากับ 98 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าน้ำหนักบรรทุก 30 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 6,600 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 118 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าน้ำหนักบรรทุก 35 ตัน จะใช้น้ำหนักล้อเท่ากับ 7,700 ปอนด์ และแรงดันลมยางเท่ากับ 137 ปอนด์/ตารางนิ้ว และถ้าน้ำหนักบรรทุก 40 ตัน จะใช้ค่าน้ำหนักล้อเท่ากับ 8,800 ปอนด์ แรงดันลมยางเท่ากับ 157 ปอนด์/ตารางนิ้ว การคำนวณค่าแรงดันลมยางและรัศมีของระนาบสัมผัสได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. รายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ถึง ตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 1

Route No. Exit at 340 - Hunkai

ADT (vpd) 5,000

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	3,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	2.00	8.00	6.80	24.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	3,000	3,000	3,000		

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 2

Route No. Pak Tho - Petchburi, new section
 ADT (vpd) 10,500
 Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40
 Base Uncracked soil cement
 Subbase Soil aggregate
 Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800
 Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157
 Load radius (inch) 4.23
 Load distance (inch) 1.00
 No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	3,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	4.00	8.00	6.80	24.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	3,000	3,000	3,000		

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 3

Route No. Wang Chompoo - Petchboon

ADT (vpd) 2,500

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	6,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	2.00	8.00	6.00	6.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	6,000	6,000	6,000		

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 4

Route No. 4 Haadyai - Ta Cha Muang

ADT (vpd) 8,000

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Laye				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	6,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	3.60	8.00	6.00	8.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	6,000	6,000	6,000		

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 5

Route No. 4013 Nakorn Si thammarat - Pak panung

ADT (vpd) 3,000

Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40

Base Uncracked soil cement

Subbase Soil aggregate

Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800

Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157

Load radius (inch) 4.23

Load distance (inch) 1.00

No. of modulus and deviator stress 3

Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	9,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	2.00	8.00	6.00	6.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	"9,000"	"9,000"	"9,000"		

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณของถนนสายที่ 6

Route No. 2 Pak Chong - See kiew					
ADT (vpd) 10,500					
Truck load (ton) 21, 23, 25, 30, 35, 40					
Base Uncracked soil cement					
Subbase Soil aggregate					
Total load/Wheel load (lb) 4500, 5060, 5500, 6600, 7700, 8800					
Tire pressure (psi) 80, 90, 98, 118, 137, 157					
Load radius (inch) 4.23					
Load distance (inch) 1.00					
No. of modulus and deviator stress 3					
Data	Layer				
	1	2	3	4	5
	Asphalt concrete	Uncracked soil cement base	Soil aggregate subbase	Selected material	Subgrade
Elastic modulus (psi)	150,000	750,000	30,000	15,000	9,000
Poisson's ratio	0.40	0.25	0.40	0.40	0.45
Coefficient (k)	150,000	750,000	30,000	15,000	
Coefficient (n)	0	0	0	0	
Unit weight (pcf)	150	140	125	115	
Layer thickness (inch)	4.00	8.00	8.00	8.00	
Point	1	2	3		
Deviator stress (psi)	0	10	20		
Relative modulus (psi)	9,000	9,000	9,000		

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์ค่า Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในชั้นทางของถนนสายต่างๆ โดยใช้โปรแกรม PSAD2A-PC ปรากฏผลซึ่งสามารถวิเคราะห์ในรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

4.1 Radial Strain ใต้ล้อเดียวใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นใต้ล้อเดียวใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่ระยะต่างๆ จากจุดกึ่งกลางล้อเดียว สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23, 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6 จากรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6 จะเห็นได้อย่างเด่นชัดว่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต จะเป็น Compressive Strain ในทุกตำแหน่งใต้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต

4.1.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้น จะเป็น Radial Compressive Strain และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียว ประมาณ 4-6 นิ้ว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวน้อยกว่า 4 นิ้ว และมากกว่า 6 นิ้ว ค่า Radial Compressive Strain ที่จุดกึ่งกลางล้อเดียว มีค่าเท่ากับ 8.168-41.312 Microstrain และเกิดขึ้นที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียว 17 นิ้ว เท่ากับ 2.748-6.970 Microstrain

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ล้อเดียว ใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 35.404 - 37.686 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 39.822 - 42.388 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 43.332 - 46.120 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 27.356 - 30.943 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 30.766 - 34.822 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 33.463 - 37.853 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 37.419 - 45.764 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 37.688 - 46.120 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 35.404 - 43.332 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 28.571 - 34.951 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 30.943 - 37.853 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 27.356 - 33.463 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.1.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้น จะเป็น Radial Compressive Strain และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ประมาณ 4-6 นิ้ว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวน้อยกว่า 4 นิ้ว และมากกว่า 6 นิ้ว ค่า Radial Compressive Strain ที่จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว มีค่าเท่ากับ 11.823-49.520 Microstrain และเกิดขึ้นที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว 17 นิ้ว เท่ากับ 4.110-11.172 Microstrain

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อเดี่ยว ได้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 52.107-55.451 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 60.610-64.515 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 69.385.7-73.845 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 40.207-45.483 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 46.823.52.963 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 53.566-60.594 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

ตารางที่ 4.1 Maximum Radial Compressive Strain ใต้ล้อเดี่ยวใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximum Radial Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	37.419E-06	42.081E-06	45.764E-06
	ผิวหนา**	28.571E-06	32.133E-06	34.951E-06
CBR = 4	ผิวบาง	37.686E-06	42.388E-06	46.120E-06
	ผิวหนา	30.943E-06	34.800E-06	37.853E-06
CBR = 6	ผิวบาง	35.404E-06	39.822E-06	43.332E-06
	ผิวหนา	27.356E-06	30.766E-06	33.463E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

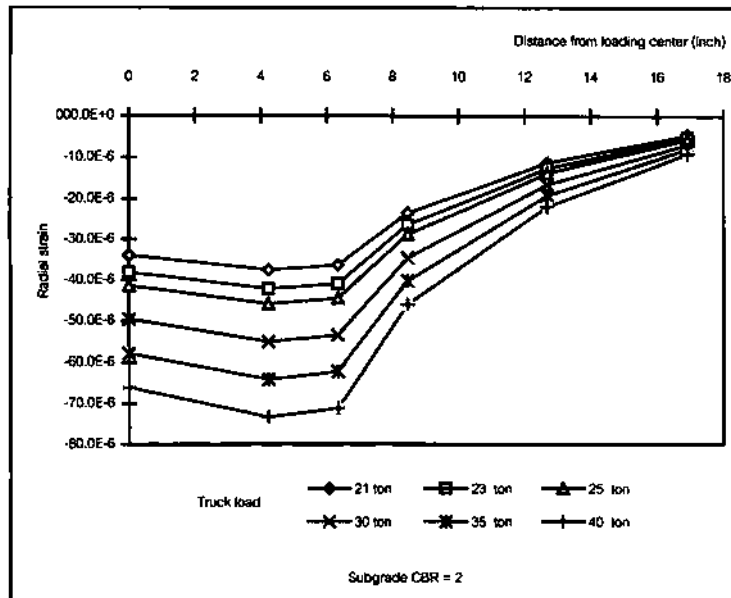
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.2 Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยเดี่ยวใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกหนักมาก

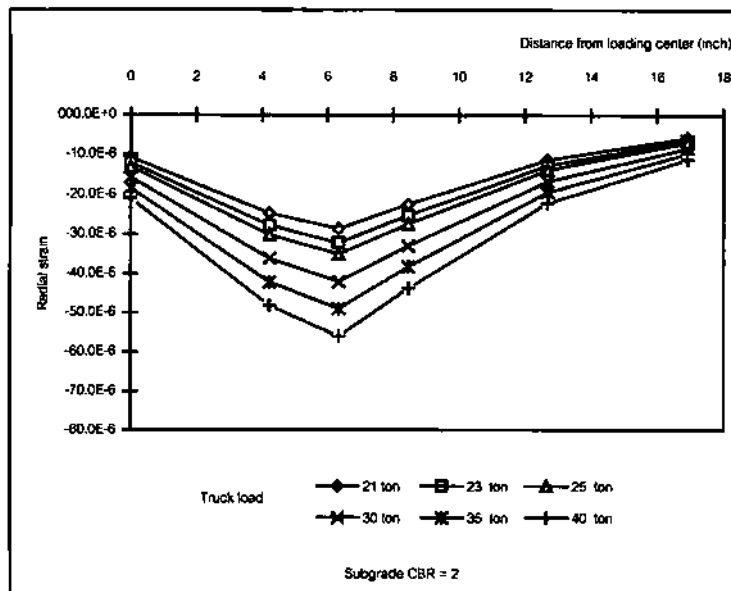
Maximum Radial Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	54.970E-06	64.042E-06	73.249E-06
	ผิวหนา**	41.995E-06	48.903E-06	55.948E-06
CBR = 4	ผิวบาง	55.451E-06	64.515E-06	73.845E-06
	ผิวหนา	45.483E-06	52.963E-06	60.594E-06
CBR = 6	ผิวบาง	52.107E-06	60.610E-06	69.385E-06
	ผิวหนา	40.207E-06	46.823E-06	53.566E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

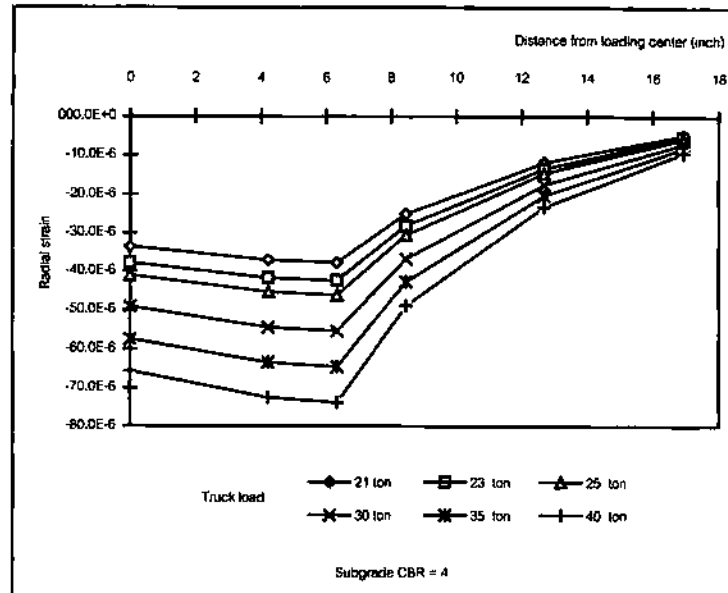
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



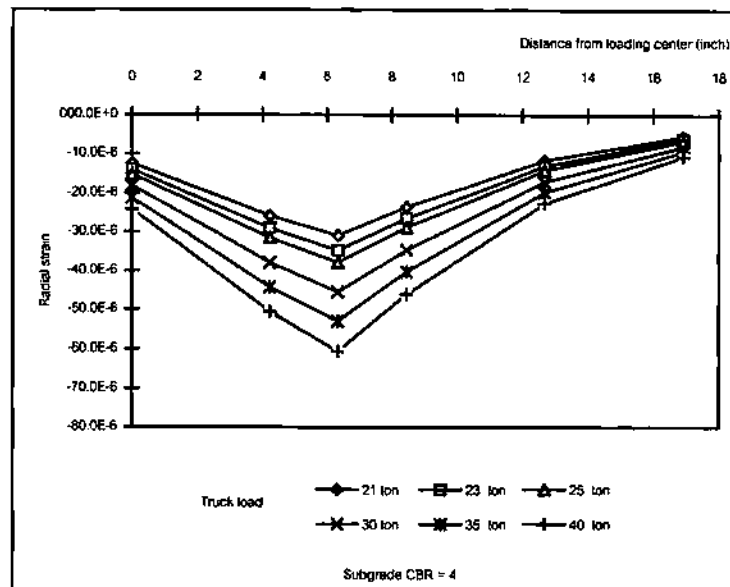
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



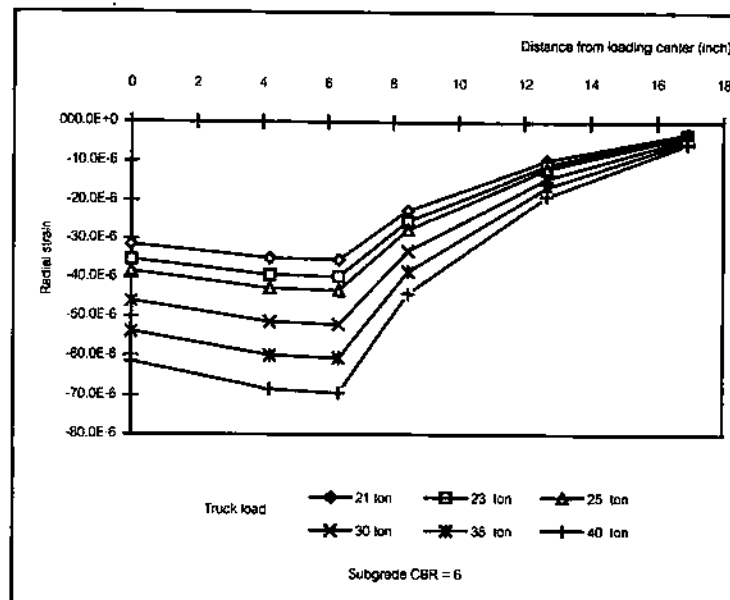
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



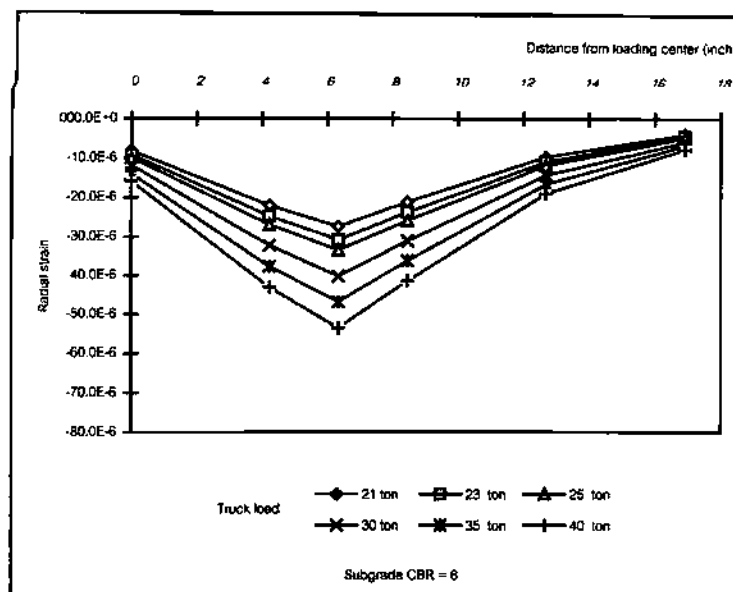
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 54.970 - 73.249 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 55.451 - 73.845 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 52.107 - 69.385 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 41.995 - 55.948 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 45.483 - 60.594 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 40.207 - 53.566 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.2 Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีต

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ระยะต่างๆ จากขอบล้อ ด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.12 จากรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.12 จะพบว่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นใต้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตจะคล้าย ๆ กับกรณีของล้อเดี่ยว กล่าวคือ Radial Strain จะมีลักษณะเป็น Compressive Strain ในทุกตำแหน่ง ค่าของ Compressive Strain ใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ภายได้ล้อยู่จะประมาณ 2 เท่าของค่าภายได้ล้อเดี่ยว

4.2.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีต จะเป็น Radial Compressive Strain ทั้งหมด และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสอง ทั้งในกรณีของโครงสร้างชั้นทางที่มีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบางและผิวหนา

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 70.807 - 75.372 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 79.643 - 84.775 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 86.664 - 92.240 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 54.711 - 61.886 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 61.531 - 69.600 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 66.926 - 75.705 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 72.602 - 88.861 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 75.372 - 92.240 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 70.807 - 86.664 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 57.142 - 69.901 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 61.886 - 75.705 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 54.711 - 66.926 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.2.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต จะเป็น Radial Compressive Strain ทั้งหมด และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสอง ทั้งในกรณีของโครงสร้างชั้นทางที่มีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบางและผิวหนา

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 104.215 - 110.901 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 121.220 - 129.029 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 138.771 - 147.691 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 80.413 - 90.967 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 93.645 - 105.927 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 107.132 - 121.189 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 106.856 - 142.288 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 110.901 - 147.691 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 104.215 - 138.771 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 83.991 - 111.896 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 90.967 - 121.189 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 80.413 - 107.132 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.3 Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximum Radial Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	72.602E-06	81.662E-06	88.861E-06
	ผิวหนา**	57.142E-06	64.265E-06	69.901E-06
CBR = 4	ผิวบาง	75.372E-06	84.775E-06	92.240E-06
	ผิวหนา	61.886E-06	69.600E-06	75.705E-06
CBR = 6	ผิวบาง	70.807E-06	79.643E-06	86.664E-06
	ผิวหนา	54.711E-06	61.531E-06	66.926E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

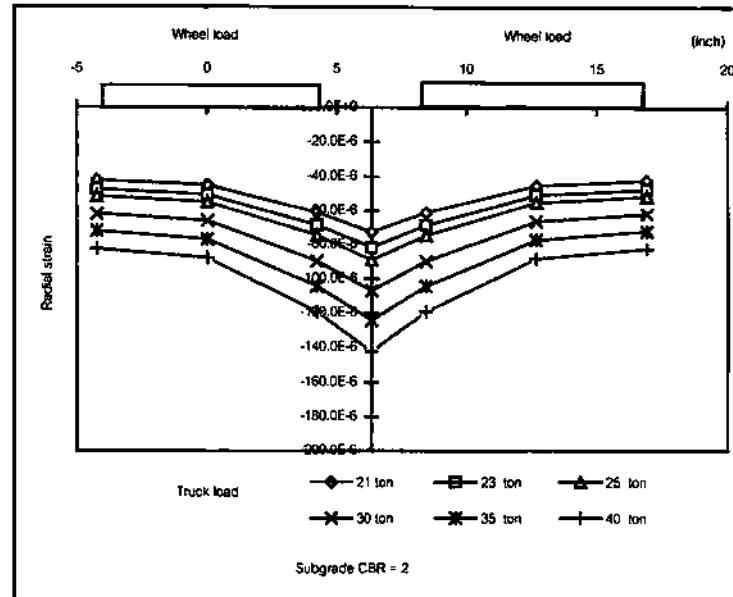
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.4 Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยู่ใต้ผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกหนักมาก

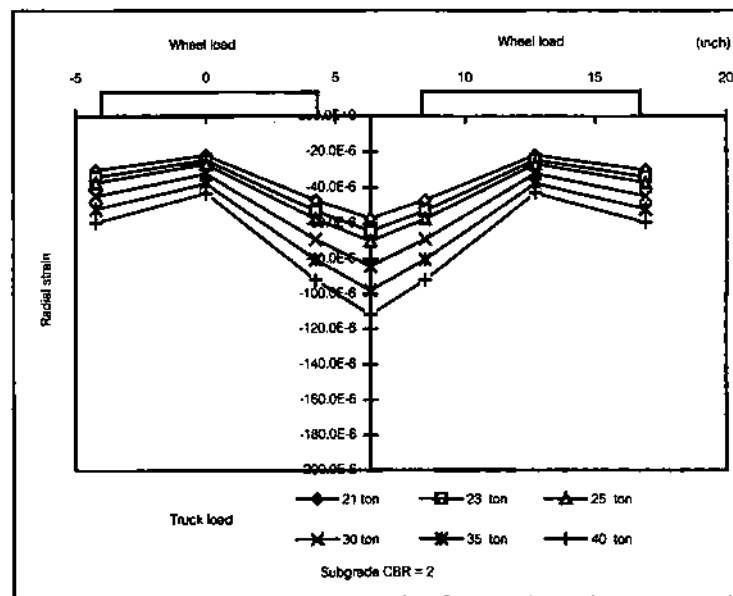
Maximum Radial Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	106.856E-06	124.293E-06	142.288E-06
	ผิวหนา**	83.991E-06	97.807E-06	111.896E-06
CBR = 4	ผิวบาง	110.901E-06	129.029E-06	147.691E-06
	ผิวหนา	90.967E-06	105.927E-06	121.189E-06
CBR = 6	ผิวบาง	104.215E-06	121.220E-06	138.771E-06
	ผิวหนา	80.413E-06	93.645E-06	107.132E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

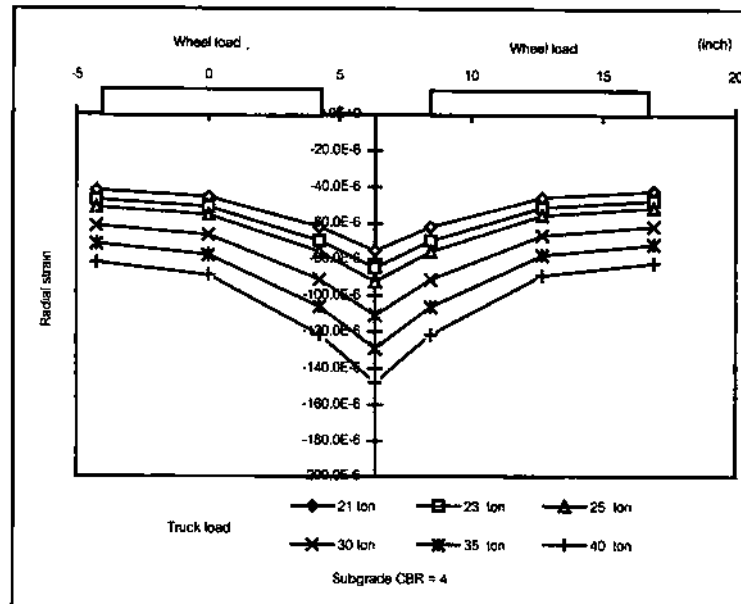
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



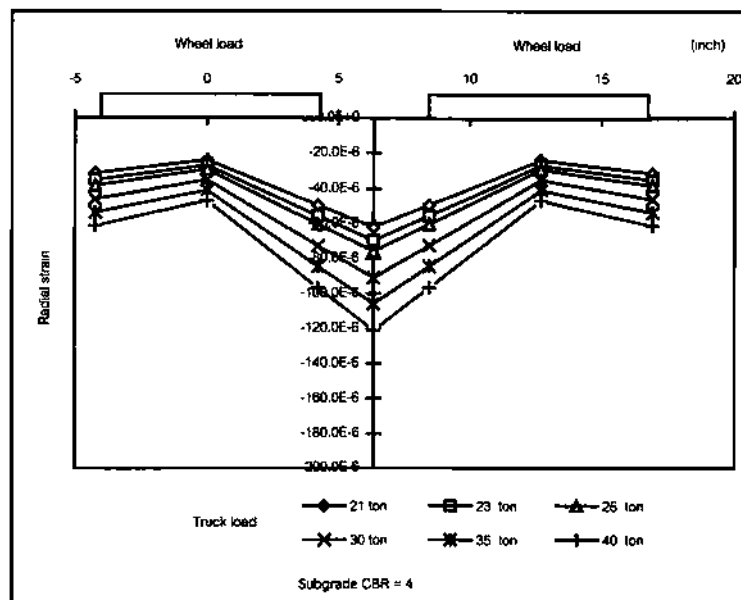
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อคู่ใดชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



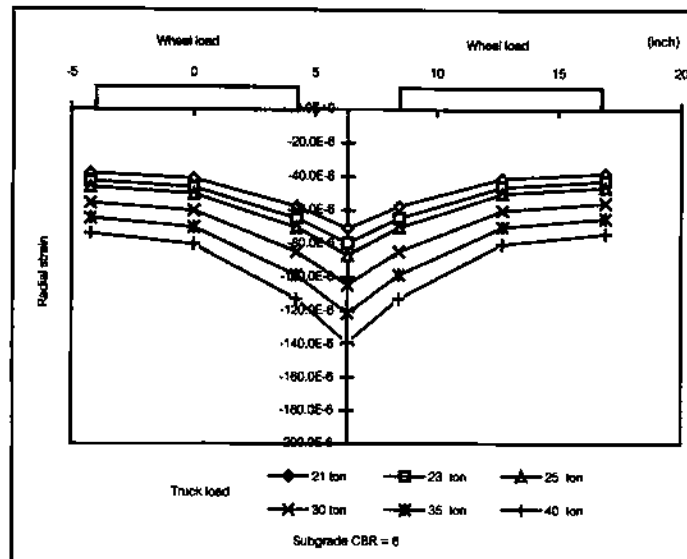
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อคู่ใดชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



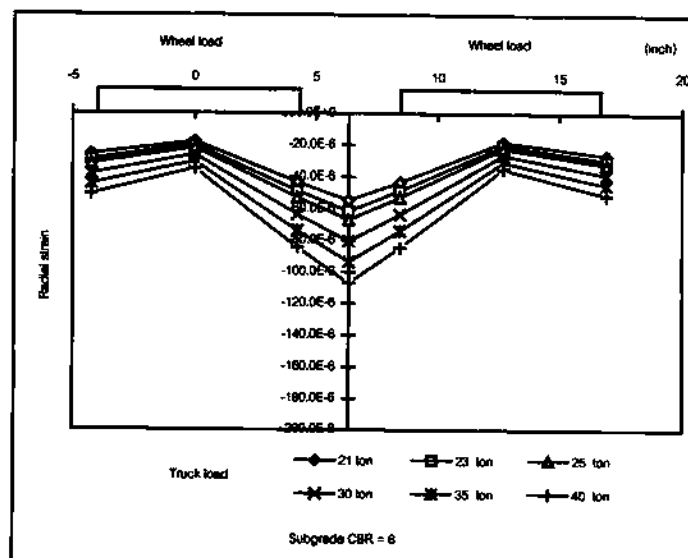
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อคู่ใต้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อคู่ใต้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อคู่ใต้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อคู่ใต้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

4.3 Radial Strain ได้ล้อเดียวใต้ชั้นพื้นทาง

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อเดียวใต้ชั้นพื้นทาง ที่ระยะต่างๆ จากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.18

4.3.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อเดียวใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement จะมีค่าเป็น Radial Tensile Strain มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางล้อเดียว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียว เพิ่มขึ้นจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ที่ระยะประมาณ 17 นิ้ว และเกิด Radial Compressive Strain ในบางสายทางที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวประมาณ 15-17 นิ้ว

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อเดียวใต้ชั้นพื้นทาง Soil Cement ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 55.643 - 57.571 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 62.570 - 64.739 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 68.023 - 70.381 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 44.079 - 47.635 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 49.567 - 53.565 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 53.883 - 58.232 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 55.989 – 68.452 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 57.571 – 70.381 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 55.643 – 68.023 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 45.186 – 55.241 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 47.635 – 58.232 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 44.079 – 53.883 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.3.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อเดียวใต้ชั้นพื้นทาง Soil Cement จะมีค่าเป็น Radial Tensile Strain มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางล้อเดียว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวเพิ่มมากขึ้นจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ที่ระยะประมาณ 17 นิ้ว และเกิด Radial Compressive Strain ในบางสายทางที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวประมาณ 15-17 นิ้ว

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อเดียวใต้ชั้นพื้นทาง Soil Cement ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 81.656 – 84.486 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 95.218 - 98.518 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 108.851 - 112.624 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 64.676 - 69.899 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 75.429 - 81.514 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 86.221 - 93.181 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 82.181 - 109.543 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 84.486 - 112.624 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 81.656 - 108.851 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 66.314 - 88.398 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 69.899 - 93.181 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 64.676 - 86.221 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.5 Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อเดี่ยวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติ

Maximum Radial Tensile Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	55.989E-06	62.961E-06	68.452E-06
	ผิวหนา**	45.186E-06	50.812E-06	55.241E-06
CBR = 4	ผิวบาง	57.571E-06	64.739E-06	70.381E-06
	ผิวหนา	47.635E-06	53.565E-06	58.232E-06
CBR = 6	ผิวบาง	55.643E-06	62.570E-06	68.023E-06
	ผิวหนา	44.079E-06	49.567E-06	53.883E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

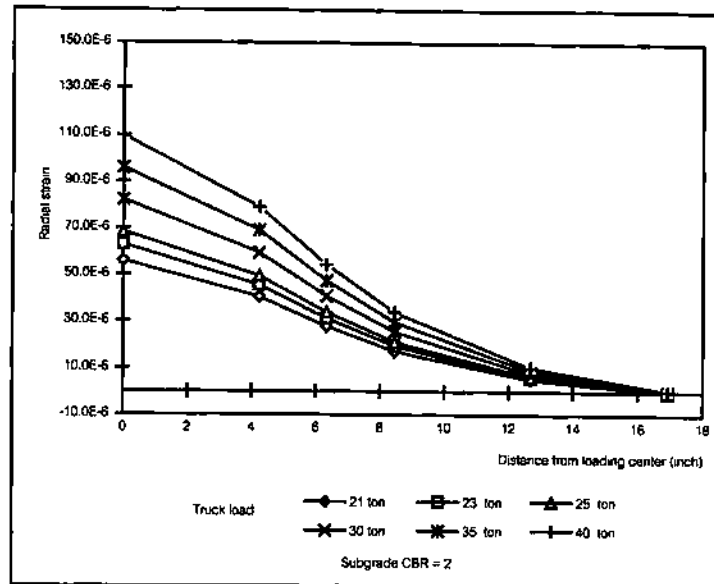
.

ตารางที่ 4.6 Maximum Radial Tensile Strain ได้ร้อยละได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกหนักมาก

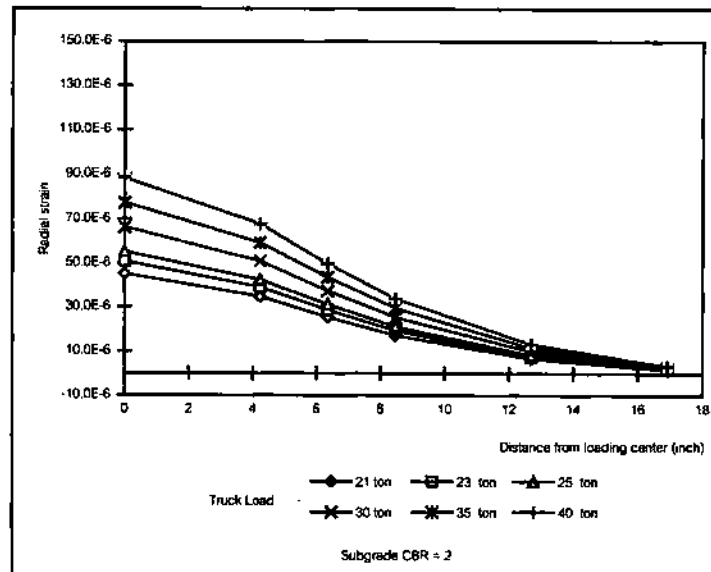
Maximum Radial Tensile Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	82.181E-06	95.814E-06	109.543E-06
	ผิวหนา**	66.314E-06	77.325E-06	88.398E-06
CBR = 4	ผิวบาง	84.486E-06	98.518E-06	112.624E-06
	ผิวหนา	69.899E-06	81.514E-06	93.181E-06
CBR = 6	ผิวบาง	81.656E-06	95.218E-06	108.851E-06
	ผิวหนา	64.676E-06	75.427E-06	86.221E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

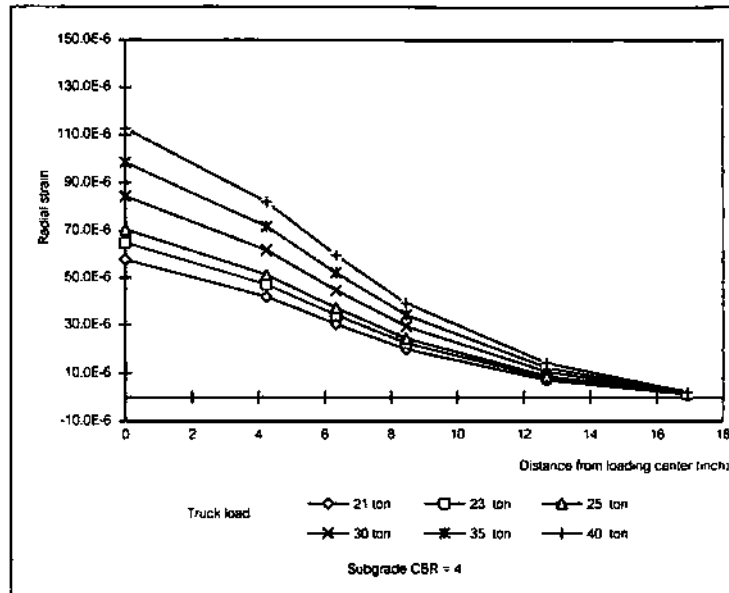
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



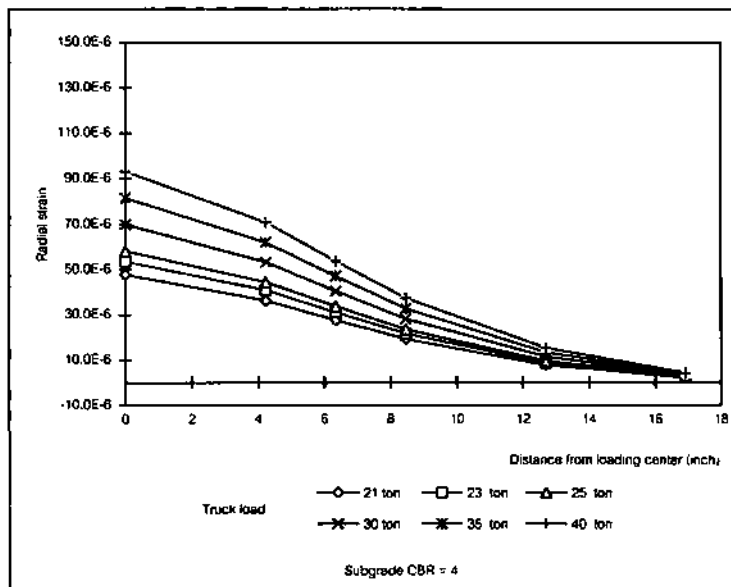
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



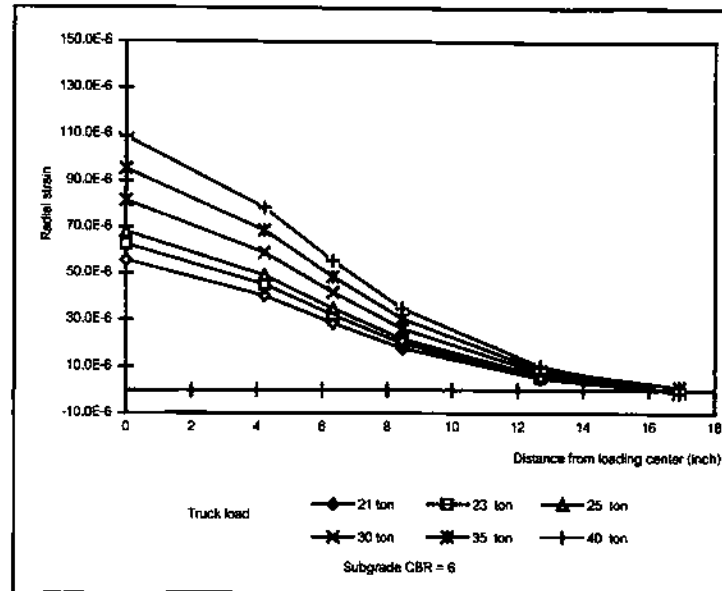
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



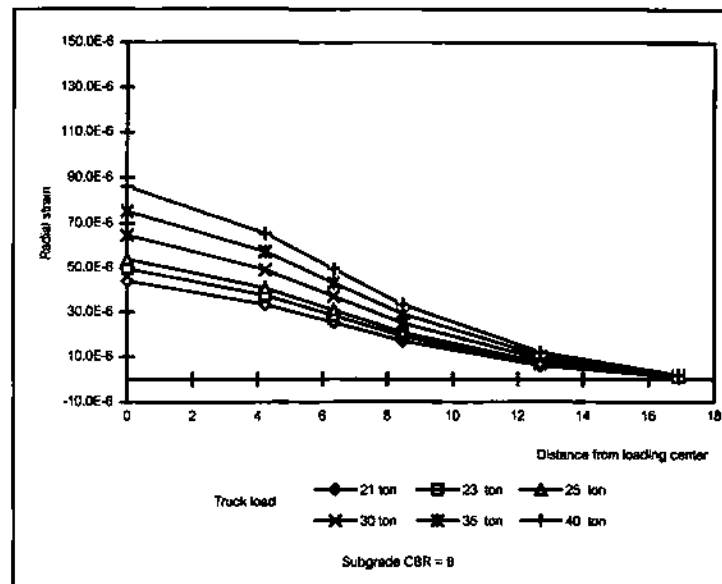
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดี่ยวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดี่ยวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

4.4 Radial Strain ใต้ล้อคู่ใต้ชั้นพื้นทาง

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นใต้ล้อคู่ใต้ชั้นพื้นทาง ที่ระยะต่างๆ จากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35 และ 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.24

4.4.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นใต้ล้อคู่ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement จะมีค่าเป็น Radial Tensile Strain มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางล้อเดี่ยวทั้งสองล้อถึงบริเวณขอบล้อด้านใน และมีค่าต่ำสุดเกิดขึ้นบริเวณขอบล้อด้านนอกทั้งสองล้อ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ล้อคู่ใต้ชั้นพื้นทาง Soil Cement ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 60.716 – 64.749 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 68.281 – 72.816 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 74.255 – 79.186 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 50.546 – 55.371 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 56.849 – 62.269 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 61.840 – 67.716 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 61.234 - 74.892 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 64.749 - 79.186 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 60.716 - 74.255 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 51.931 - 63.513 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 55.371 - 67.716 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement มีค่าเท่ากับ 50.546 - 61.840 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.4.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่ใต้ชั้นพื้นทาง Soil Cement จะมีค่าเป็น Radial Tensile Strain มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางล้อเดี่ยวทั้งสองล้อถึงขอบล้อด้านใน และมีค่าต่ำสุดเกิดขึ้นบริเวณขอบล้อด้านนอกของทั้งสองล้อ

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้นพื้นทาง Soil Cement ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 89.189 - 95.109 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 103.915 - 110.816 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 118.849 - 126.740 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 74.318 - 81.332 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 86.521 - 94.766 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 98.999 - 108.382 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 89.962 - 119.873 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 95.109 - 126.740 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 89.189 - 118.849 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 76.289 - 101.657 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 81.332 - 108.382 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil Cement มีค่าเท่ากับ 74.318 - 98.999 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.7 Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximum Radial Tensile Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	61.234E-06	68.864E-06	74.892E-06
	ผิวหนา**	51.931E-06	58.402E-06	63.513E-06
CBR = 4	ผิวบาง	64.749E-06	72.816E-06	79.186E-06
	ผิวหนา	55.371E-06	62.269E-06	67.716E-06
CBR = 6	ผิวบาง	60.716E-06	68.281E-06	74.255E-06
	ผิวหนา	50.546E-06	56.849E-06	61.840E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

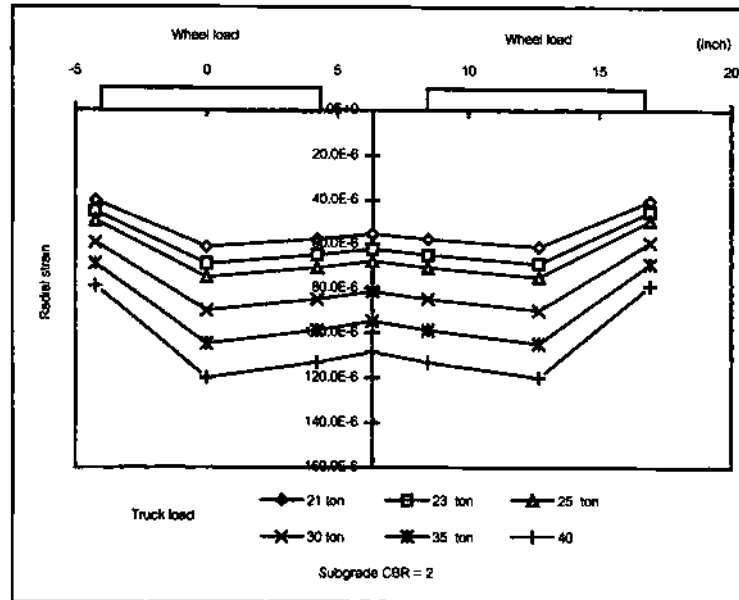
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.8 Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกหนักมาก

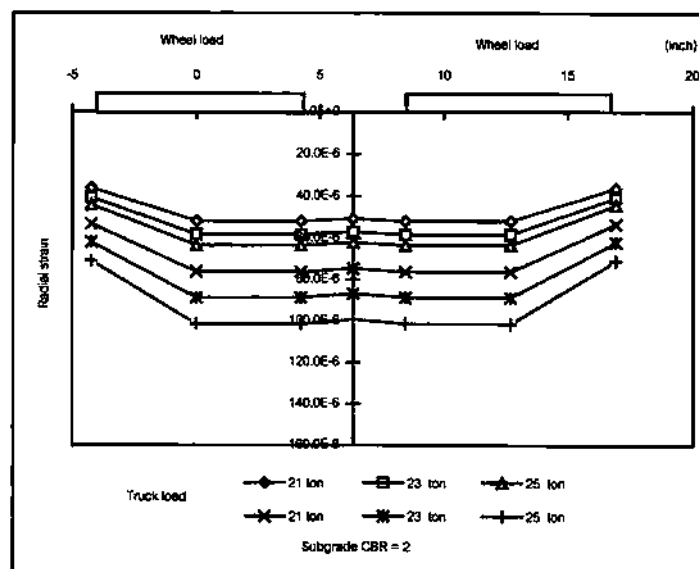
Maximum Radial Tensile Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	89.962E-06	104.803E-06	119.873E-06
	ผิวหนา**	76.289E-06	88.881E-06	101.657E-06
CBR = 4	ผิวบาง	95.109E-06	110.816E-06	126.740E-06
	ผิวหนา	81.332E-06	94.766E-06	108.382E-06
CBR = 6	ผิวบาง	89.189E-06	103.915E-06	118.849E-06
	ผิวหนา	74.318E-06	86.521E-06	98.999E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

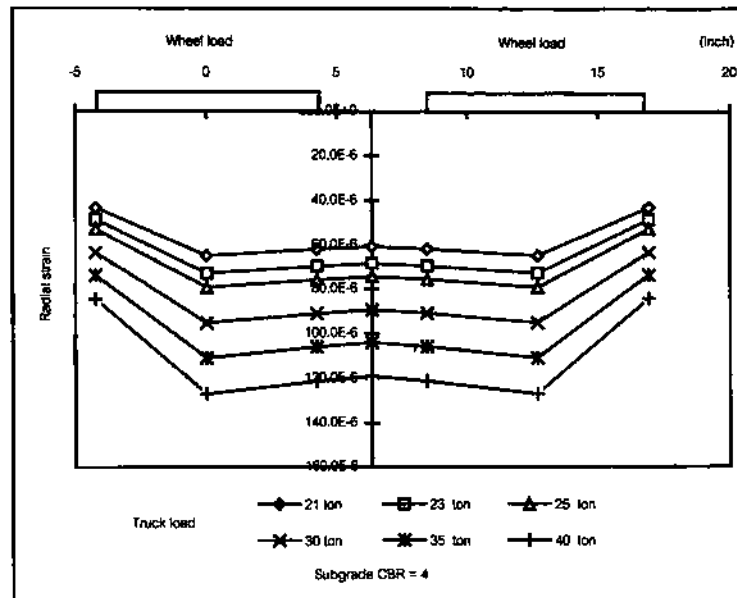
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



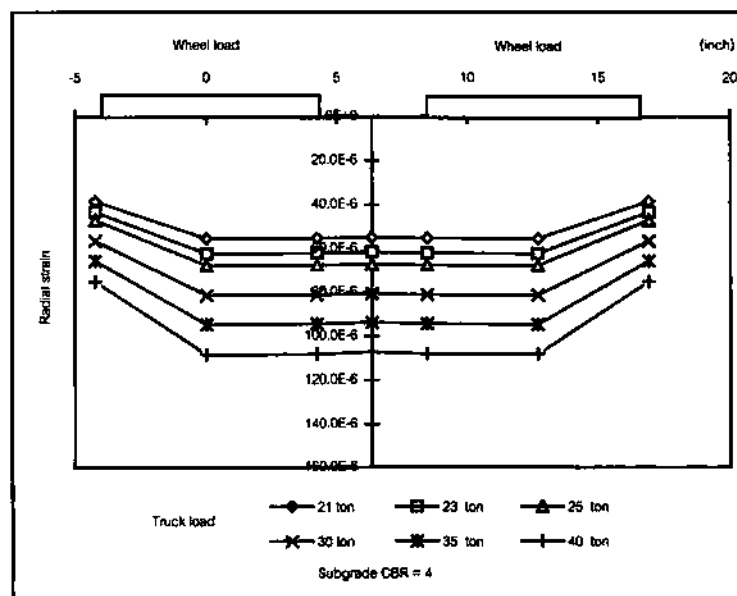
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



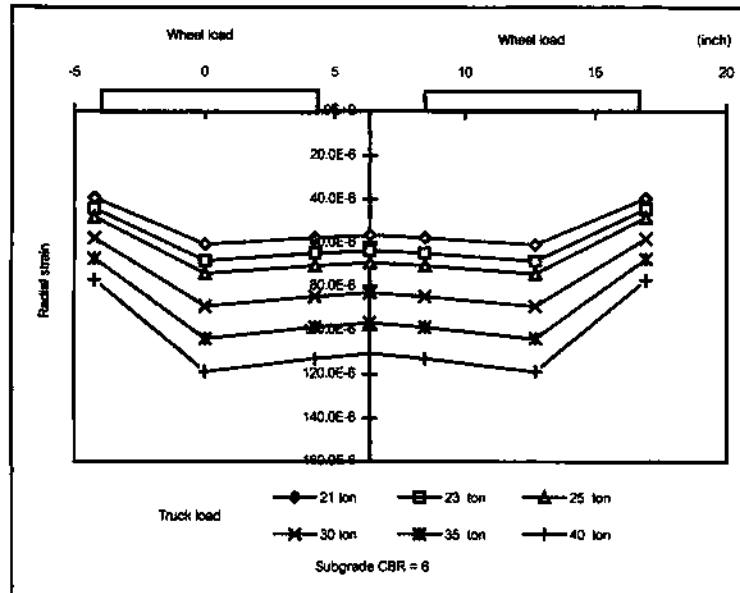
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



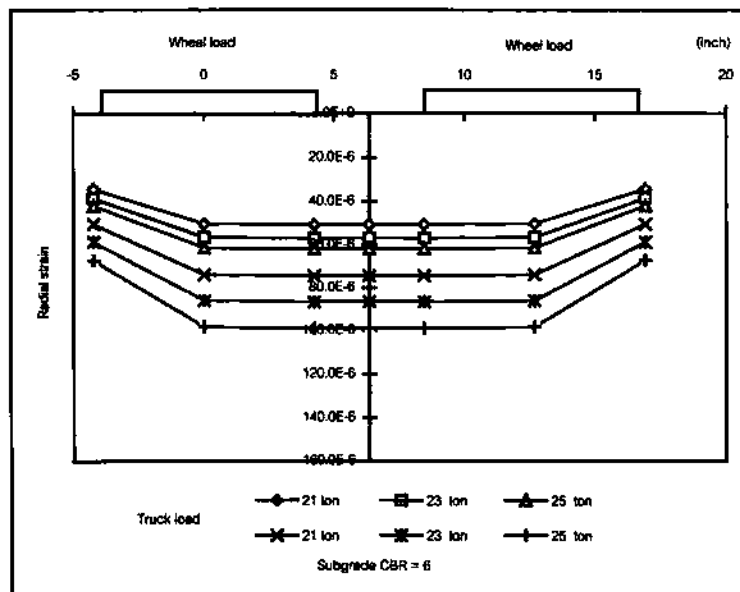
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่า Radial Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

4.5 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ที่ระยะต่าง ๆ จากจุดกึ่งกลางล้อเดียว สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.30

4.5.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางล้อเดียว และค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวเพิ่มขึ้น ที่ระยะ 17 นิ้ว จากจุดกึ่งกลางล้อเดียว ค่า Vertical Displacement มีค่าตั้งแต่ 5.103×10^{-3} นิ้ว ถึง 11.780×10^{-3} นิ้ว โดยลดลงจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 24 ถึง 35 แสดงให้เห็นว่า Vertical Displacement จะเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยร่องล้อบนโครงสร้างของถนน

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตมีค่าเท่ากับ 7.812×10^{-3} - 12.613×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 8.785×10^{-3} - 14.183×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 9.552×10^{-3} - 15.417×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 7.848×10^{-3} - 12.471×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 8.826×10^{-3} - 14.024×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 9.598×10^{-3} - 15.245×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 12.613×10^{-3} ถึง 15.417×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 10.014×10^{-3} ถึง 12.245×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 7.812×10^{-3} ถึง 9.552×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 12.471×10^{-3} ถึง 15.245×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 9.894×10^{-3} ถึง 12.100×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 7.848×10^{-3} ถึง 9.598×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก

4.5.2 กรณีน้ำหนักรบรรทุกหนักมาก

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตได้ล้อเดียว มีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางล้อเดียวและมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดียวเพิ่มขึ้น ที่ระยะประมาณ 17 นิ้ว จากจุดกึ่งกลางล้อเดียว ค่า Vertical Displacement จะมีค่าตั้งแต่ 7.491×10^{-3} นิ้ว ถึง 18.851×10^{-3} นิ้ว โดยมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 24 ถึง 35

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียบบนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักรบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักรบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 11.470×10^{-3} - 18.502×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 13.370×10^{-3} - 21.583×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 15.287×10^{-3} - 24.668×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 11.528×10^{-3} - 18.298×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 13.431×10^{-3} - 21.341×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 15.362×10^{-3} - 24.394×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 18.502×10^{-3} - 24.668×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 14.703×10^{-3} - 19.596×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 11.470×10^{-3} - 15.287×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 18.298×10^{-3} - 24.394×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.9 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวแอสฟัลท์คอนกรีตตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximum Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	12.613E-03	14.183E-03	15.417E-03
	ผิวหนา**	12.471E-03	14.024E-03	15.245E-03
CBR = 4	ผิวบาง	10.014E-03	11.261E-03	12.245E-03
	ผิวหนา	9.894E-03	11.127E-03	12.100E-03
CBR = 6	ผิวบาง	7.812E-03	8.785E-03	9.552E-03
	ผิวหนา	7.848E-03	8.826E-03	9.598E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

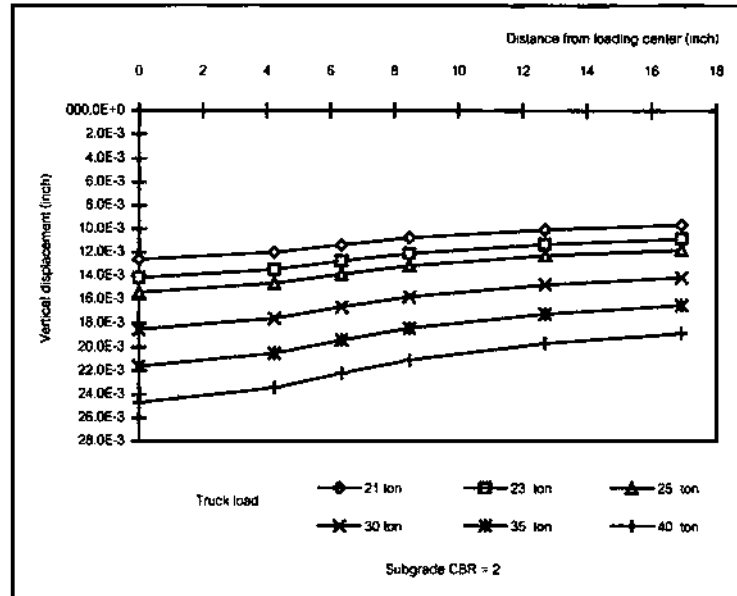
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.10 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกหนักมาก

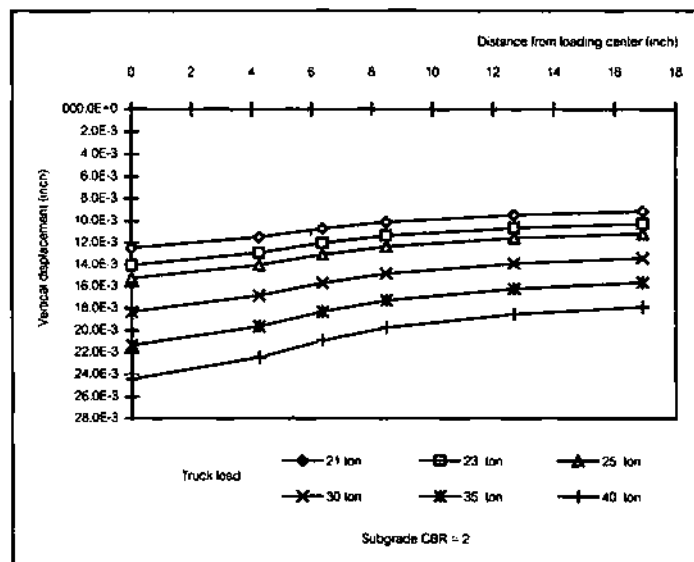
Maximum Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	18.502E-03	21.583E-03	24.668E-03
	ผิวหนา**	18.298E-03	21.341E-03	24.394E-03
CBR = 4	ผิวบาง	14.703E-03	17.138E-03	19.596E-03
	ผิวหนา	14.531E-03	16.934E-03	19.365E-03
CBR = 6	ผิวบาง	11.470E-03	13.370E-03	15.287E-03
	ผิวหนา	11.528E-03	13.431E-03	15.362E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

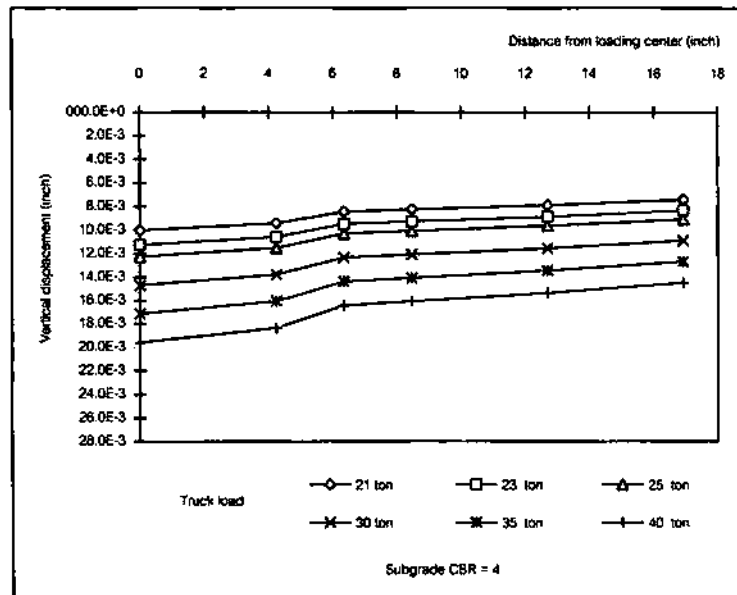
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



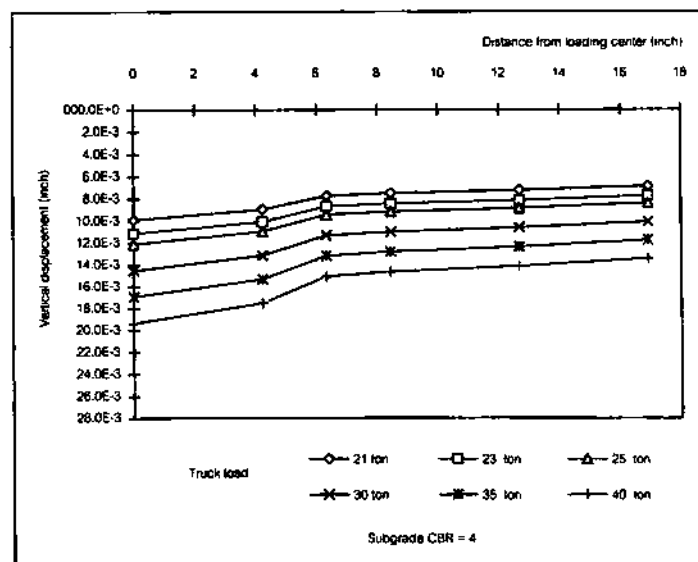
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



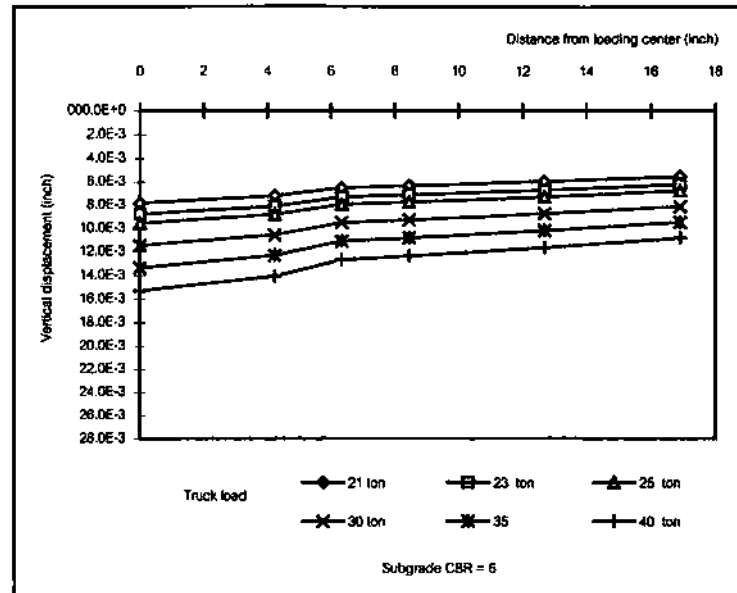
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



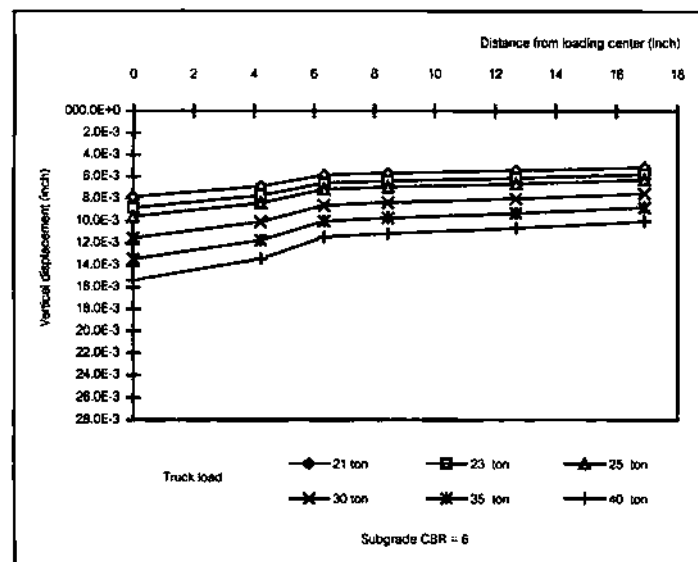
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 14.531×10^{-3} - 19.365×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 11.528×10^{-3} - 15.362×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก

4.6 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ที่ระยะต่างๆ จากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง สำหรับน้ำหนักรบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และ น้ำหนักรบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.31 ถึงรูปที่ 4.36

4.6.1 กรณีน้ำหนักรบรรทุกปกติ

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางล้อทั้งสองล้อถึงขอบล้อด้านใน และมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะจากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง โดยมีค่าแตกต่างจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 5-12

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักรบรรทุกต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักรบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 13.768×10^{-3} - 22.768×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักรบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 15.483×10^{-3} - 25.602×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักรบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 16.834×10^{-3} - 27.830×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักรบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 13.276×10^{-3} - 21.946×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักรบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 14.930×10^{-3} - 24.678×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 16.234×10^{-3} - 26.827×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 22.768×10^{-3} ถึง 27.830×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 17.872×10^{-3} ถึง 21.851×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 13.768×10^{-3} ถึง 16.834×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 21.946×10^{-3} ถึง 26.827×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 17.144×10^{-3} ถึง 20.963×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 13.276×10^{-3} ถึง 16.234×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.6.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวทั้งสองล้อและมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะจากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง โดยมีค่าแตกต่างจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 10-17

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 20.211×10^{-3} - 33.401×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 23.563×10^{-3} - 38.960×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 26.939×10^{-3} - 44.531×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 19.493×10^{-3} - 32.200×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 22.720×10^{-3} - 37.554×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 25.981×10^{-3} - 42.927×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 33.401×10^{-3} - 44.531×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 26.234×10^{-3} - 34.968×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.11 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวแอสฟัลท์คอนกรีตตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximun Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	22.768E-03	25.602E-03	27.830E-03
	ผิวหนา**	21.946E-03	24.678E-03	26.827E-03
CBR = 4	ผิวบาง	17.872E-03	20.097E-03	21.851E-03
	ผิวหนา	17.144E-03	19.280E-03	20.963E-03
CBR = 6	ผิวบาง	13.768E-03	15.483E-03	16.834E-03
	ผิวหนา	13.276E-03	14.930E-03	16.234E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

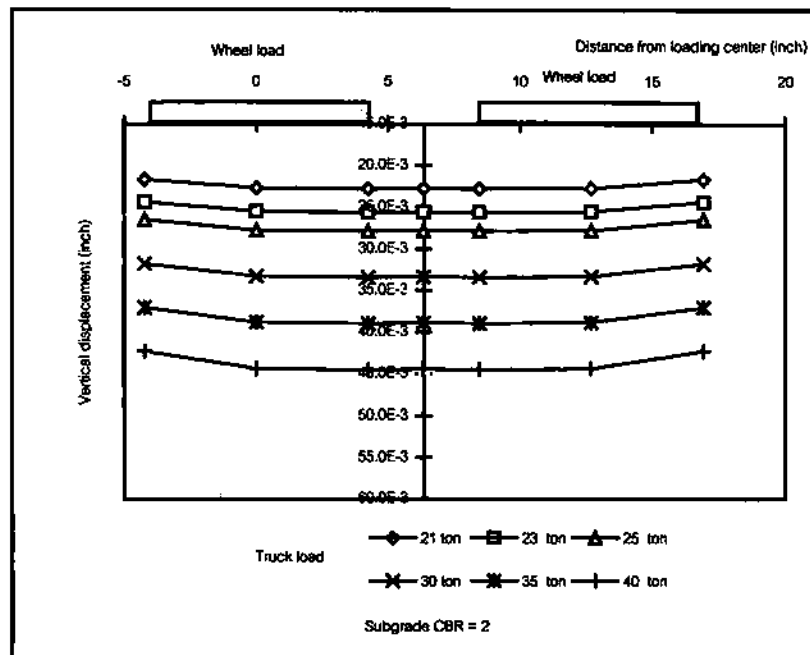
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.50-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.12 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวแอสฟัลท์คอนกรีต ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกหนักมาก

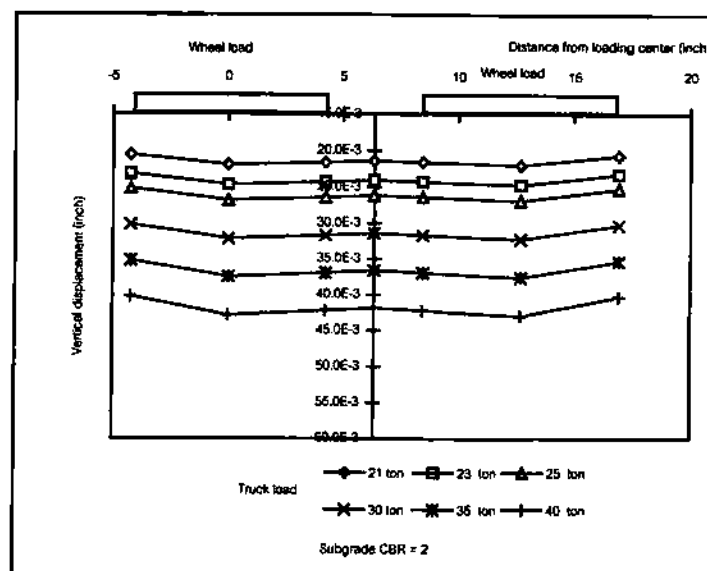
Maximun Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	33.401E-03	38.960E-03	44.531E-03
	ผิวหนา**	32.200E-03	37.554E-03	42.927E-03
CBR = 4	ผิวบาง	26.234E-03	30.585E-03	34.968E-03
	ผิวหนา	25.169E-03	29.341E-03	33.547E-03
CBR = 6	ผิวบาง	20.211E-03	23.563E-03	26.939E-03
	ผิวหนา	19.493E-03	22.720E-03	25.981E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

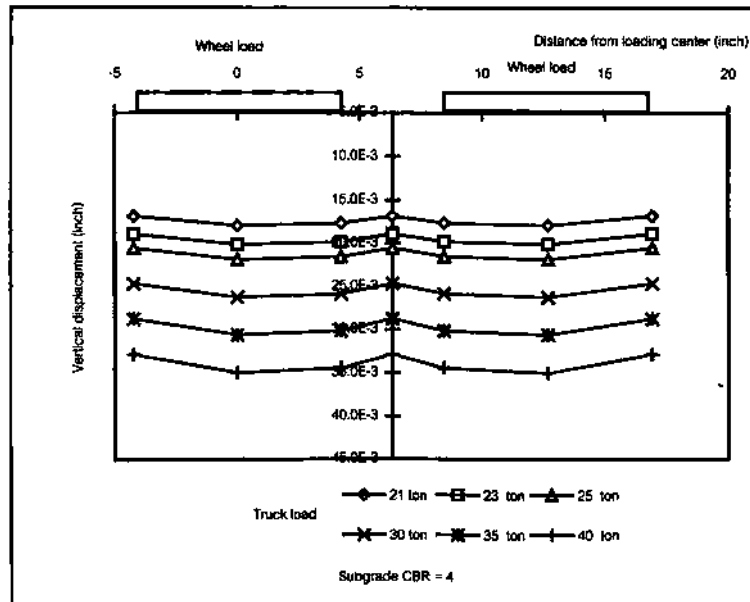
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



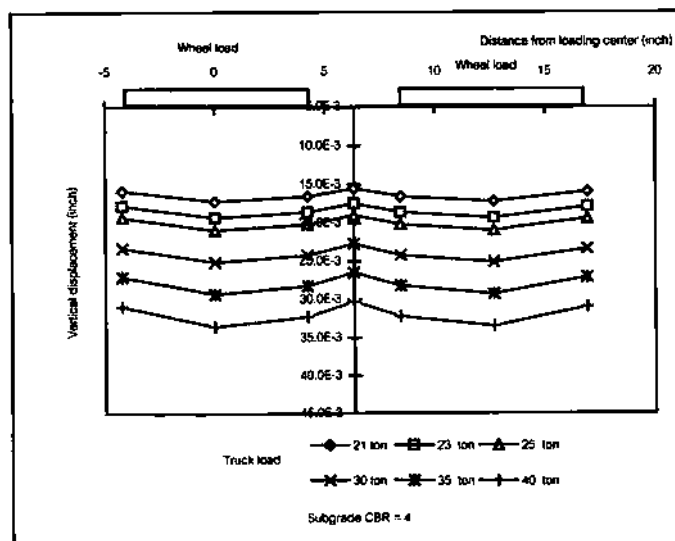
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



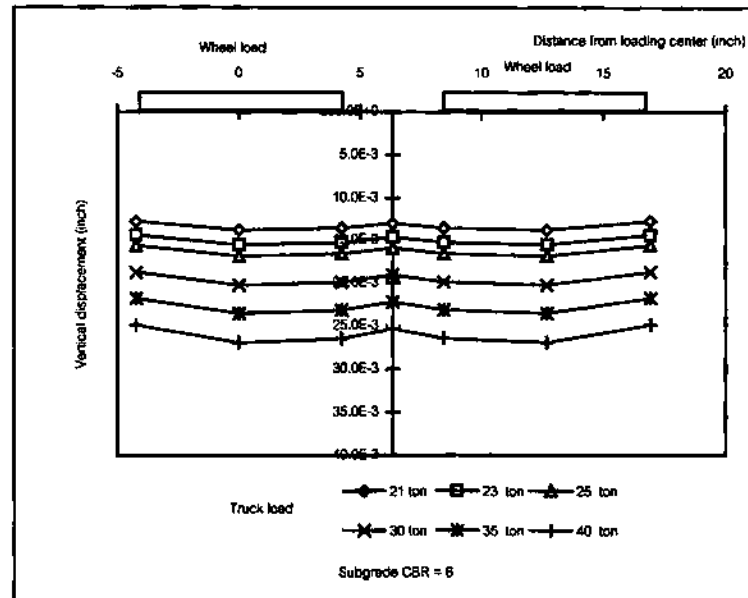
รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



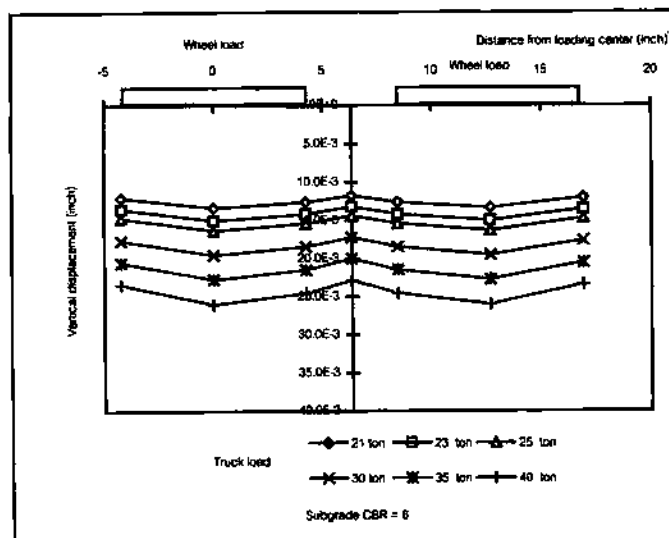
รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Asphalt Concrete ตามค่า น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 20.211×10^{-3} - 26.939×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 32.200×10^{-3} - 42.927×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 25.169×10^{-3} - 33.547×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าเท่ากับ 19.493×10^{-3} - 25.981×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.7 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ที่ระยะต่างๆ จากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.37 ถึงรูปที่ 4.42

4.7.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวในสายทางที่ 3, 4, 5 และ 6 สำหรับสายทางที่ 1 และ 2 ค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะ 6.34 นิ้วจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวเพิ่มขึ้นที่ระยะ 17 นิ้วจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ค่า Vertical Displacement จะมีค่าตั้งแต่ 4.5×10^{-3} ถึง 10×10^{-3} นิ้ว โดยลดลงจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 10.7 - 14.7 แสดงให้เห็นว่าเกิด Vertical Displacement เป็นบริเวณกว้าง ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นในชั้น Subgrade เป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดรอยร้าว ล้อบนโครงสร้างถนน

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 5.785×10^{-3} - 9.211×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 6.506×10^{-3} - 10.357×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
 - ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 7.072×10^{-3} - 11.256×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- (2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 5.264×10^{-3} - 8.798×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
 - ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 5.919×10^{-3} - 9.892×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
 - ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 6.435×10^{-3} - 10.750×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

- (1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 9.211×10^{-3} - 11.256×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 7.980×10^{-3} - 9.756×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 5.785×10^{-3} - 7.072×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- (2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 8.798×10^{-3} - 10.750×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 7.379×10^{-3} - 9.002×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 5.264×10^{-3} - 6.435×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.7.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวเพิ่มขึ้น ที่ระยะ 17 นิ้ว จากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ค่า Vertical Displacement จะมีค่าตั้งแต่ 5.251×10^{-3} ถึง 11.000×10^{-3} นิ้ว โดยลดลงจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 12.3 - 21.6

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 8.490×10^{-3} - 13.537×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 9.900×10^{-3} - 15.788×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 11.317×10^{-3} - 18.047×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 7.725×10^{-3} - 13.048×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 9.008×10^{-3} - 15.218×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 10.298×10^{-3} - 17.394×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

ตารางที่ 4.13 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximum Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	9.211E-03	10.357E-03	11.256E-03
	ผิวหนา**	8.798E-03	9.892E-03	10.750E-03
CBR = 4	ผิวบาง	7.980E-03	8.974E-03	9.756E-03
	ผิวหนา	7.379E-03	8.298E-03	9.002E-03
CBR = 6	ผิวบาง	5.785E-03	6.506E-03	7.072E-03
	ผิวหนา	5.264E-03	5.919E-03	6.435E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

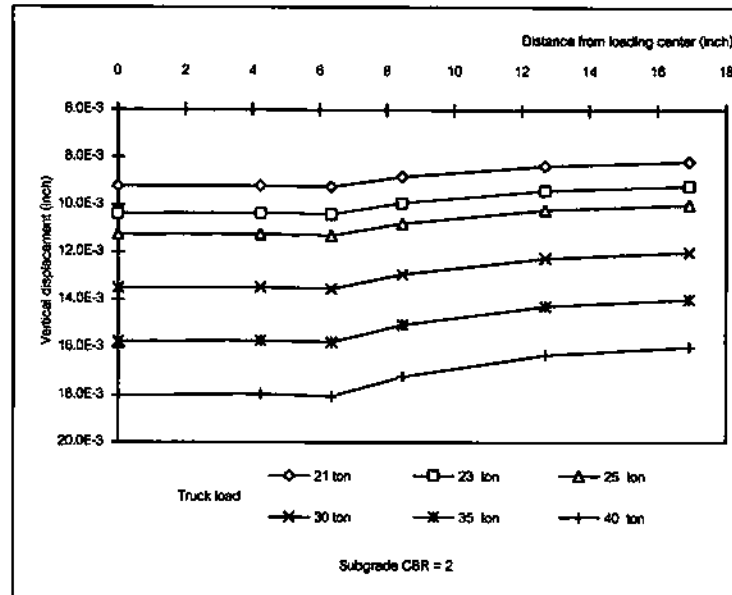
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.14 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกหนักร

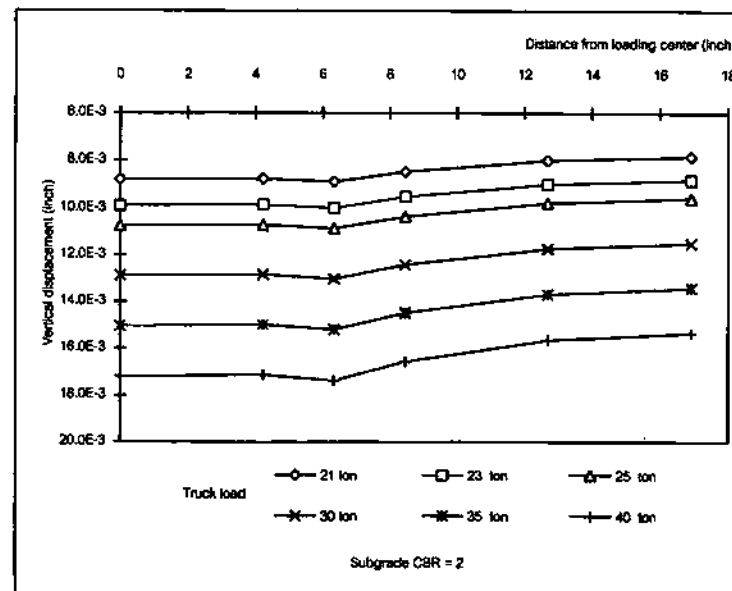
Maximun Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	13.537E-03	15.788E-03	18.047E-03
	ผิวหนา**	13.048E-03	15.218E-03	17.394E-03
CBR = 4	ผิวบาง	11.712E-03	13.657E-03	15.613E-03
	ผิวหนา	10.830E-03	12.628E-03	14.437E-03
CBR = 6	ผิวบาง	8.490E-03	9.900E-03	11.317E-03
	ผิวหนา	7.725E-03	9.008E-03	10.298E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

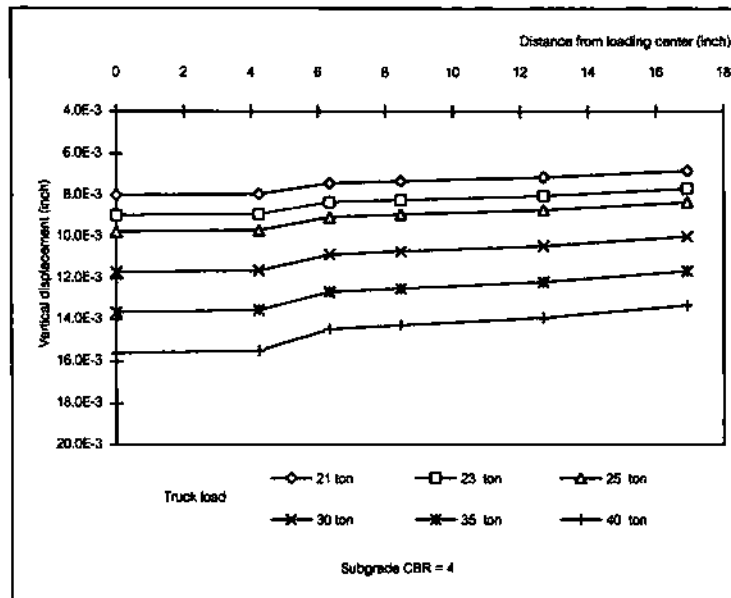
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



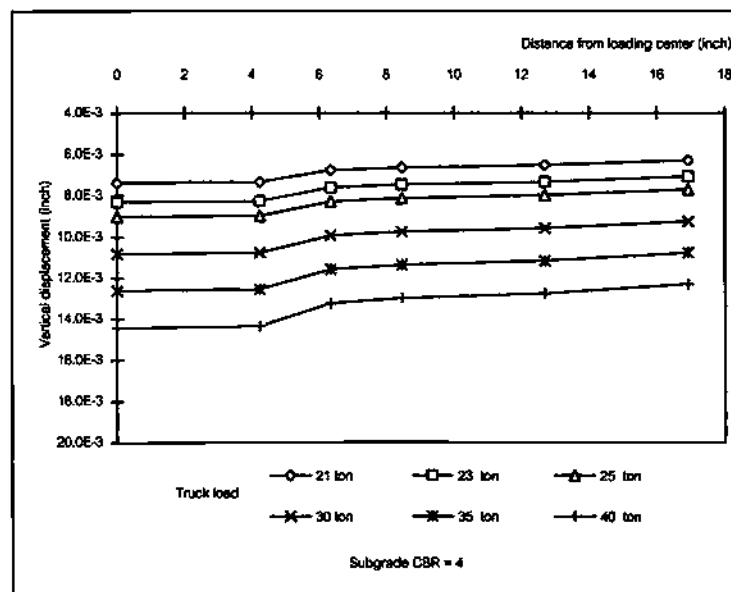
รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



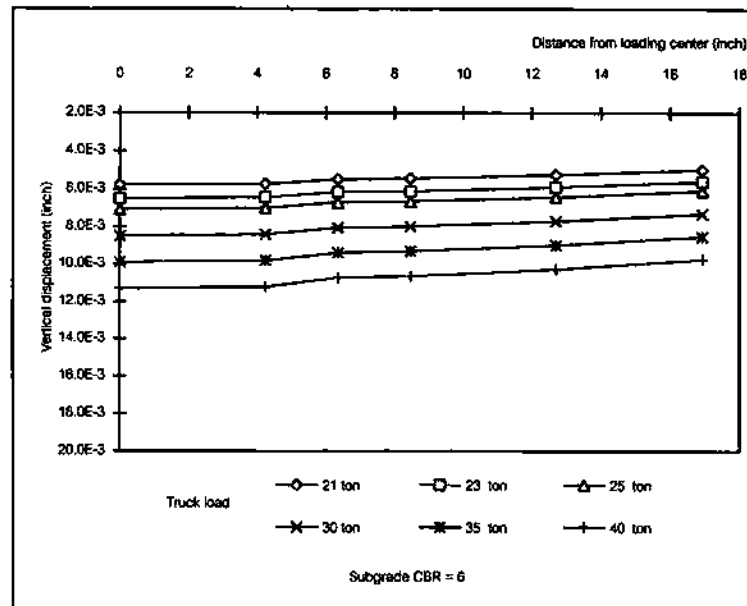
รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



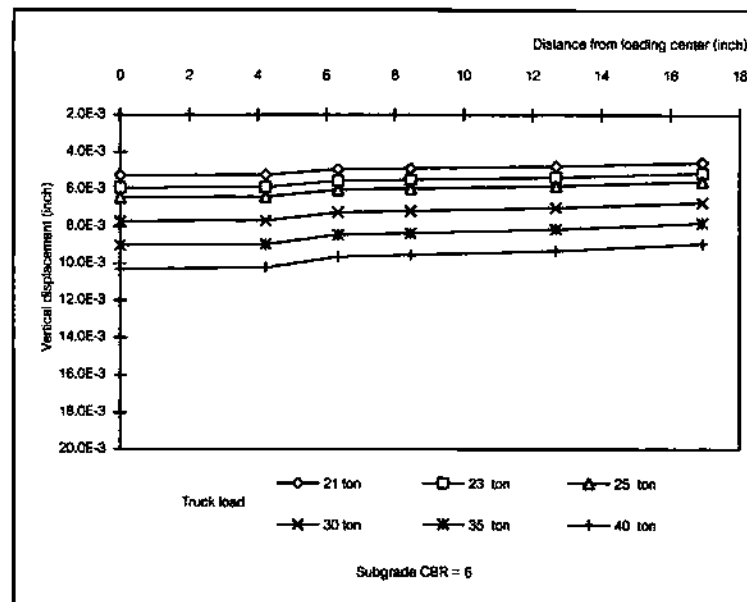
รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ของถนนสายที่ 6

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 13.537×10^{-3} - 18.047×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 11.712×10^{-3} - 15.613×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 8.490×10^{-3} - 11.317×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 13.048×10^{-3} - 17.394×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 10.830×10^{-3} - 14.437×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 7.725×10^{-3} - 10.298×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.8 Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ที่ระยะต่างๆ จากจุดกึ่งกลางล้อเดียว สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, และ 40 ตัน และค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.43 ถึงรูปที่ 4.48

4.8.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสองในกรณี Subgrade CBR เท่ากับ 2 และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ขอบล้อด้านในเมื่อค่า Subgrade CBR เท่ากับ 4 และ 6 ค่า Vertical Displacement มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะจากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง โดยมีค่าแตกต่างจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 3.2 - 6.5

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 11.183×10^{-3} - 18.452×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 12.575×10^{-3} - 20.750×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 13.671×10^{-3} - 22.556×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 10.105×10^{-3} - 17.786×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 11.363×10^{-3} - 20.000×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 12.352×10^{-3} - 21.742×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 18.452×10^{-3} - 22.556×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 15.235×10^{-3} - 18.625×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 11.183×10^{-3} - 13.671×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 10.105×10^{-3} - 12.352×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 13.984×10^{-3} - 17.095×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 17.786×10^{-3} - 21.742×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.8.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสองในกรณี Subgrade CBR เท่ากับ 2 และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ขอบล้อด้านใน ในกรณี Subgrade CBR เท่ากับ 4 และ 6 ค่า Vertical Displacement มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะจากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง โดยมีค่าแตกต่างจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 4.7 - 7.5

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 16.408×10^{-3} - 27.074×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 19.136×10^{-3} - 31.576×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 21.874×10^{-3} - 36.094×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 14.826×10^{-3} - 26.096×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 17.291×10^{-3} - 30.436×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 19.765×10^{-3} - 34.788×10^{-3} นิ้ว เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 27.074×10^{-3} - 36.094×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 22.355×10^{-3} - 29.802×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 16.408×10^{-3} - 21.874×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 26.096×10^{-3} - 34.788×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 20.519×10^{-3} - 27.354×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 14.826×10^{-3} - 19.765×10^{-3} นิ้ว เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.9 Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade

ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ที่ระยะต่างๆจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.49 ถึงรูปที่ 4.54

4.9.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าเป็น Vertical Compressive Strain ในทุกสายทาง และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นได้จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว จากการพิจารณาลักษณะของการเกิด Vertical Compressive Strain จะสังเกตได้ว่าเกิด Deflection Bowl

ตารางที่ 4.15 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximun Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	18.452E-03	20.750E-03	22.556E-03
	ผิวหนา**	17.786E-03	20.000E-03	21.742E-03
CBR = 4	ผิวบาง	15.235E-03	17.132E-03	18.625E-03
	ผิวหนา	13.984E-03	15.725E-03	17.095E-03
CBR = 6	ผิวบาง	11.183E-03	12.575E-03	13.671E-03
	ผิวหนา	10.105E-03	11.363E-03	12.352E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

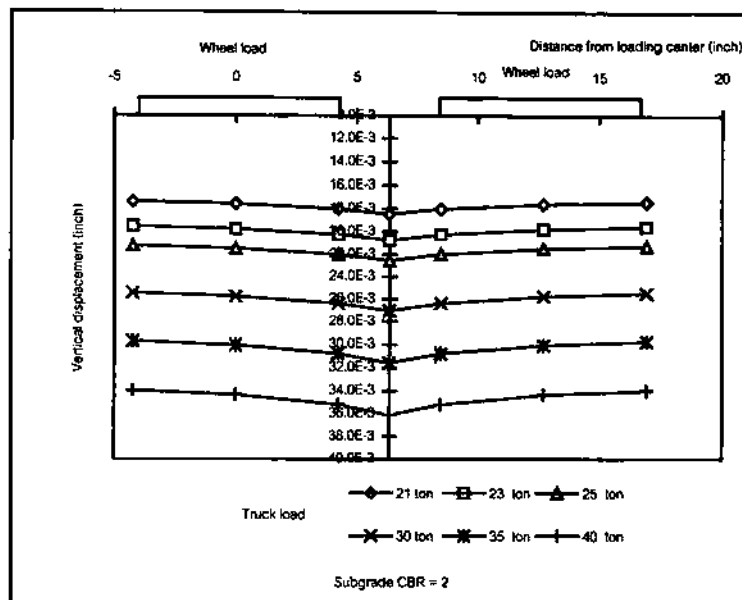
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.16 Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกหนักมาก

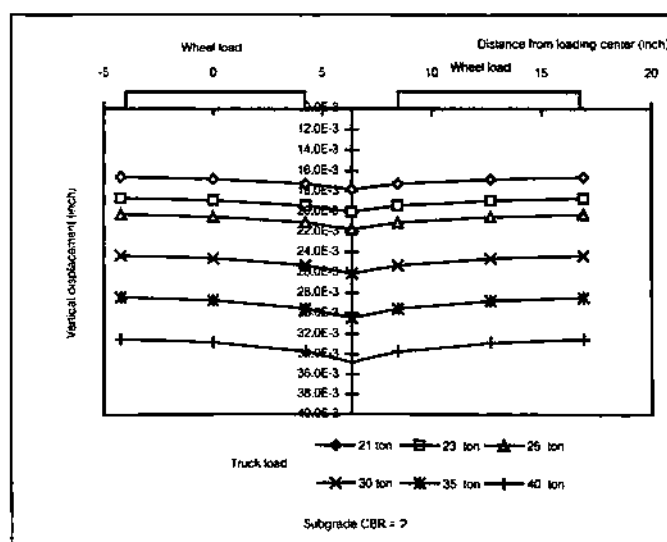
Maximun Vertical Displacement (inch)				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	27.074E-03	31.576E-03	36.094E-03
	ผิวหนา**	26.096E-03	30.436E-03	34.788E-03
CBR = 4	ผิวบาง	22.355E-03	26.072E-03	29.802E-03
	ผิวหนา	20.519E-03	23.930E-03	27.354E-03
CBR = 6	ผิวบาง	16.408E-03	19.136E-03	21.874E-03
	ผิวหนา	14.826E-03	17.291E-03	19.765E-03

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

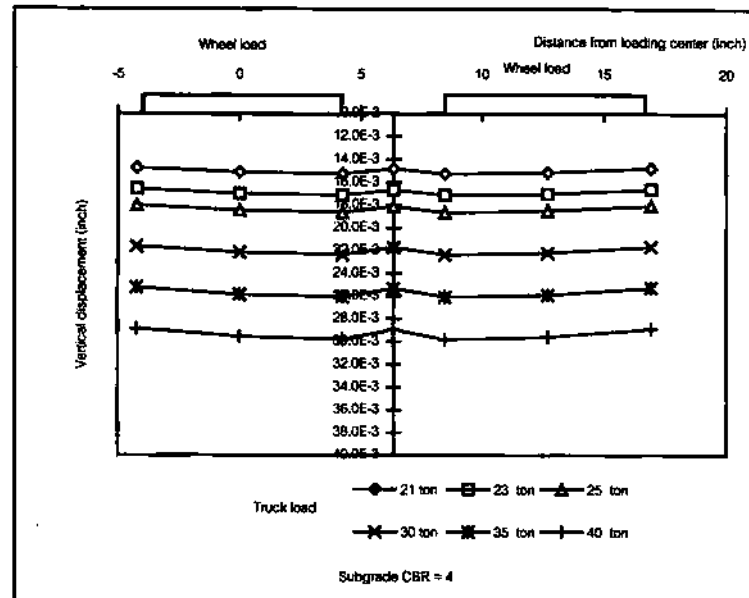
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.50-4.00 นิ้ว



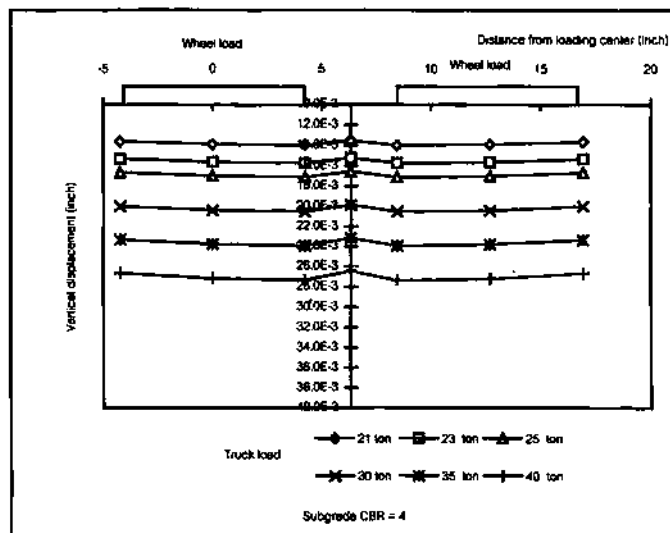
รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกของถนนสายที่ 1



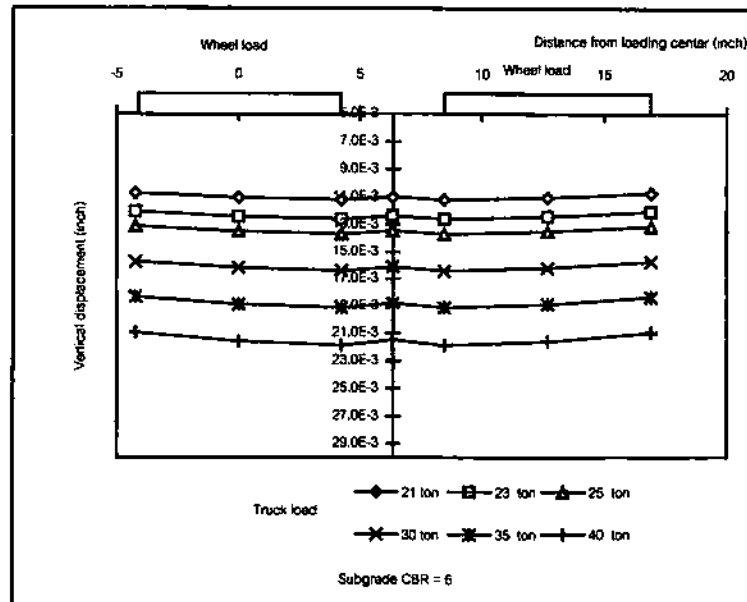
รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกของถนนสายที่ 2



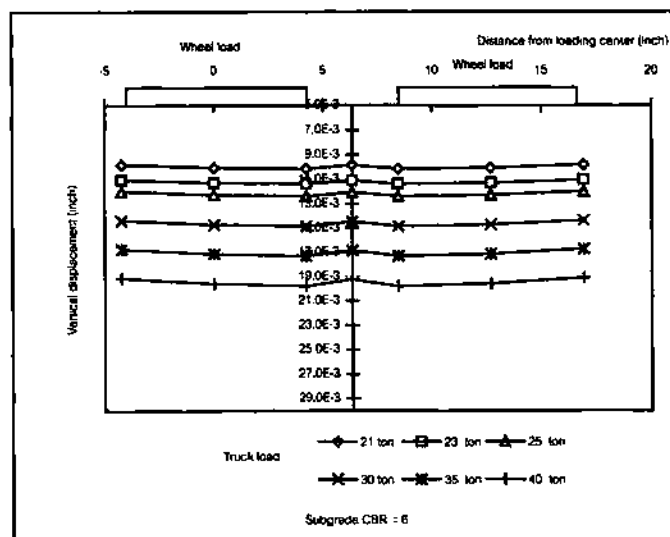
รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ใต้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ใต้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.48 เปรียบเทียบค่า Vertical Displacement ได้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกของถนนสายที่ 6

ขนาดใหญ่จนเกินขอบเขตของ Wheel Load ดังจะเห็นได้จากค่า Vertical Compressive Strain ซึ่งยังคงมีค่าสูงถึง 60-108 Micro Strain แม้ว่าจะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวเท่ากับ 17 นิ้วก็ตาม โดยมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดร้อยละ 23.4-35.7 ผลของการเกิด Vertical Compressive Strain เป็นบริเวณกว้างจะทำให้เกิดรอยร้าวล้อตามแนวทางวิ่งของรถ

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 107.110 - 131.399 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 120.436 - 147.751 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 130.899 - 160.601 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 82.924 - 106.858 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 93.244 - 120.159 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 101.350 - 130.620 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 110.269 - 134.834 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 131.399 - 160.601 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 107.110 - 130.899 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 100.912 - 123.400 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 106.858 - 130.620 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 82.924 - 101.350 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

4.9.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกหนักมาก

ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าเป็น Vertical Compressive Strain ในทุกสายทาง และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นได้จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว จากการพิจารณา ลักษณะของการเกิด Vertical Compressive Strain จะสังเกตได้ว่ายังคงมีค่าสูงถึง 88-173 Micro Strain แม้ว่าจะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวเท่ากับ 17 นิ้วก็ตาม โดยมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดร้อยละ 23.4-35.7 ผลของการเกิด Vertical Compressive Strain เป็นบริเวณกว้างจะทำให้เกิดรอยร้าวล้อตามแนวทางวิ่งของรถ

ตารางที่ 4.18 แสดงค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 157.055 - 192.725 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 183.270 - 224.840 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 209.426 - 256.964 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 121.617 - 156.772 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 141.892 - 182.854 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 162.159 - 209.006 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 161.909 - 215.789 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 192.725 - 256.964 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 209.426 - 256.964 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 148.192 - 197.496 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 156.772 - 209.006 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อย่อยบนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 121.617 - 162.159 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.17 Maximum Vertical Compressive Strain ได้ล้อเดียวบนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximun Vertical Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง	110.269E-06	124.004E-06	134.834E-06
	ผิวหนา**	100.912E-06	113.482E-06	123.400E-06
CBR = 4	ผิวบาง	131.399E-06	147.751E-06	160.601E-06
	ผิวหนา	106.858E-06	120.159E-06	130.620E-06
CBR = 6	ผิวบาง	107.110E-06	120.436E-06	130.899E-06
	ผิวหนา	82.924E-06	93.244E-06	101.350E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

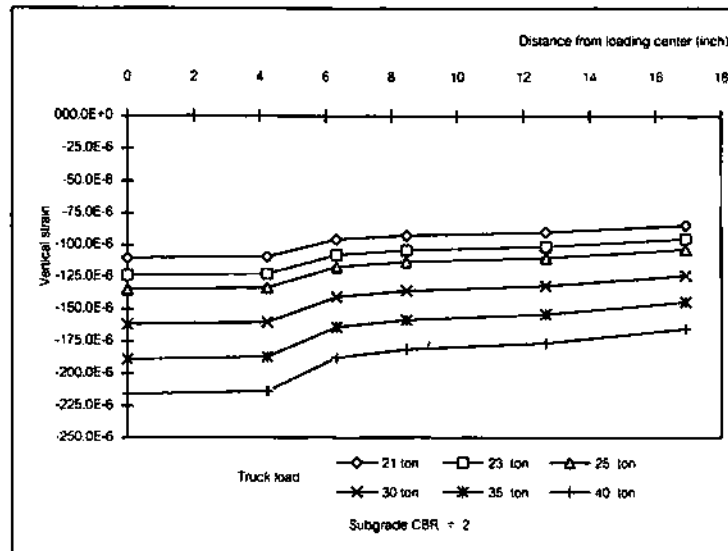
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.50-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.18 Maximum Vertical Compressive Strain ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกหนักมาก

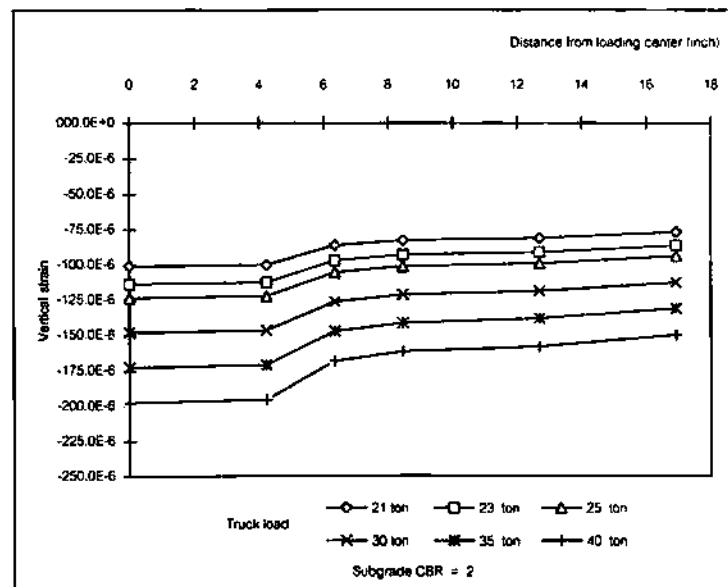
Maximun Vertical Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	161.909E-06	188.714E-06	215.789E-06
	ผิวหนา**	148.192E-06	172.703E-06	197.496E-06
CBR = 4	ผิวบาง	192.725E-06	224.840E-06	256.964E-06
	ผิวหนา	156.772E-06	182.854E-06	209.006E-06
CBR = 6	ผิวบาง	157.055E-06	183.270E-06	209.426E-06
	ผิวหนา	121.617E-06	141.892E-06	162.159E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

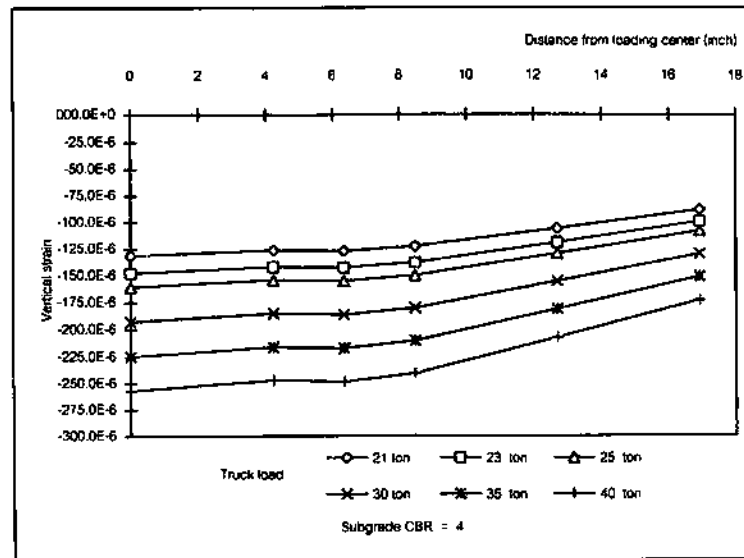
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



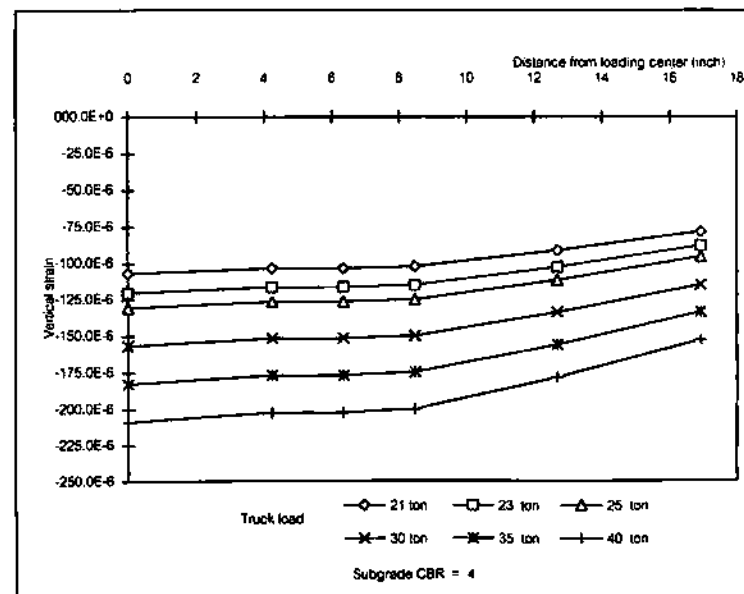
รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อเดียวบน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 1



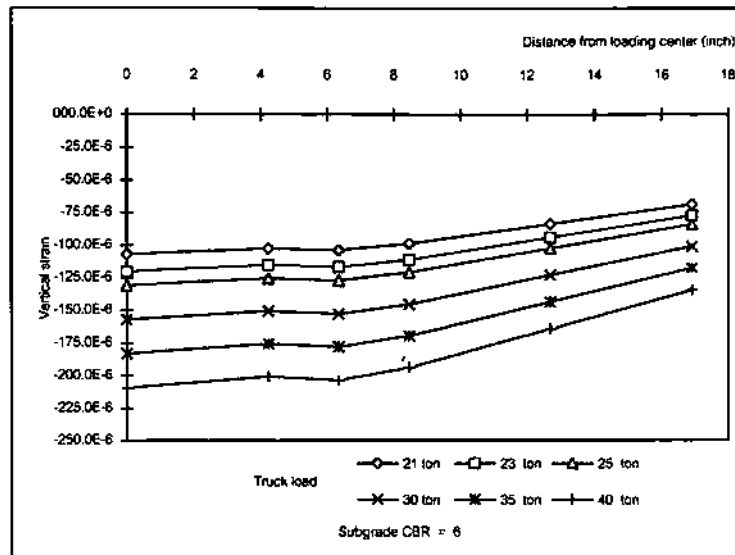
รูปที่ 4.50 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อเดียวบน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 2



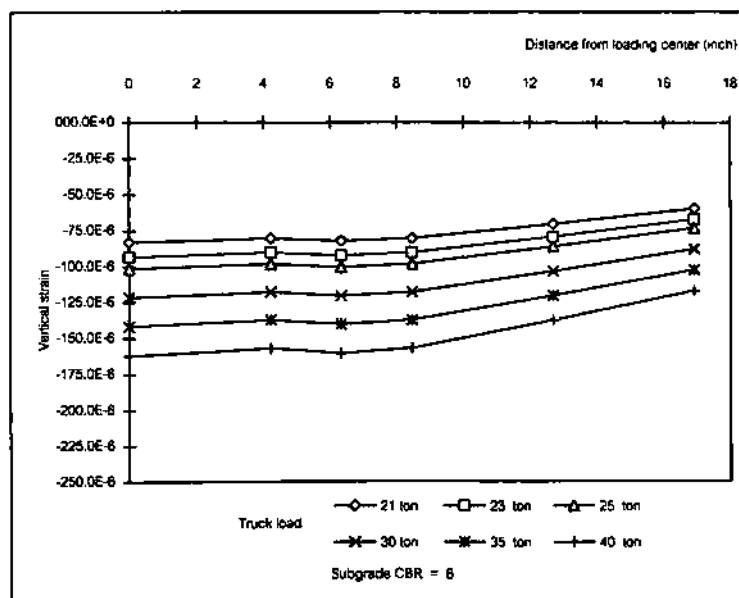
รูปที่ 4.51 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อเดียวบน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.52 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อเดียวบน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.53 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อเดียวบน Subgrade ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.54 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อเดียวบน Subgrade ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

4.10 Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade

ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ที่ระยะต่าง ๆ จากจุดกึ่งกลาง ล้อเดี่ยว สำหรับน้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และน้ำหนักบรรทุกหนักมาก 30, 35, 40 ตัน ค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4 และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.55 ถึงรูปที่ 4.60

4.10.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ

ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าเป็น Vertical Compressive Strain ในทุกสายทาง และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ขอบล้อทั้งสองล้อ สำหรับสายทางที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2 และเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสอง สำหรับสายทางที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 4 และ 6 ส่วนค่าต่ำสุดจะเกิดขึ้นบริเวณขอบด้านนอกของทั้งสองล้อ โดยมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุด 4.9-17.6 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าค่า Radial Strain ใต้ล้อคู่จะมีค่าต่างกันเล็กน้อยจากขอบล้อด้านหนึ่งถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยร้าว และจะมีค่าประมาณสองเท่าของค่าที่เกิดในกรณีล้อเดี่ยว

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 201.649 - 254.148 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 226.759 - 285.779 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 246.534 - 310.643 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 164.203 - 207.326 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 21 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 184.637 - 233.127 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 23 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- ค่า Maximum Vertical Strain ใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 200.693 - 253.396 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 25 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 201.649 - 246.534 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 254.148 - 310.643 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 208.221 - 254.520 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก

(2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 182.709 - 223.386 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 207.326 - 253.396 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 164.203 - 200.693 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักรบรรทุก

4.10.2 กรณีน้ำหนักรบรรทุกหนักมาก

ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าเป็น Vertical Compressive Strain ในทุกสายทาง และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ขอบล้อทั้งสองล้อ สำหรับสายทางที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2 และเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสอง สำหรับสายทางที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 4 และ 6 ส่วนค่าต่ำสุดจะเกิดขึ้นบริเวณขอบด้านนอกของทั้งสองล้อ โดยมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุด 4.9-17.6 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าค่า Radial Strain ได้ล้อยู่จะมีค่าต่างกันเล็กน้อยจากขอบล้อด้านหนึ่งถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง และจะมีค่าประมาณสองเท่าของค่าที่เกิดในกรณีล้อเดี่ยว

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ตามค่า Subgrade CBR และน้ำหนักรบรรทุกต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักรบรรทุกเป็นหลัก

(1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 295.973 - 372.800 Microstrain เมื่อน้ำหนักรบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 345.082 - 434.884 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 394.520 - 497.042 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
- (2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 240.834 - 304.071 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 30 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 280.969 - 354.757 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 35 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 321.110 - 405.432 Microstrain เมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 40 ตัน ในทุกค่าของ Subgrade CBR

เมื่อพิจารณา Subgrade CBR เป็นหลัก

- (1.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวบาง
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 295.973 - 394.520 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 372.800 - 497.042 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 305.472 - 407.256 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
- (2.) กรณีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวหนา
- ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 268.195 - 357.483 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 2 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 304.071 - 405.432 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 4 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก
 - ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับ 240.834 - 321.110 Microstrain เมื่อ Subgrade CBR เท่ากับ 6 ในทุกค่าของน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 4.19 Maximum Vertical Compressive Strain ใต้ล้อคู่บนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกปกติ

Maximun Vertical Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		21	23	25
CBR = 2	ผิวบาง*	201.649E-06	226.759E-06	246.534E-06
	ผิวหนา**	182.709E-06	205.461E-06	223.386E-06
CBR = 4	ผิวบาง	254.148E-06	285.779E-06	310.643E-06
	ผิวหนา	207.326E-06	233.127E-06	253.396E-06
CBR = 6	ผิวบาง	208.221E-06	234.139E-06	254.520E-06
	ผิวหนา	164.203E-06	184.637E-06	200.693E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

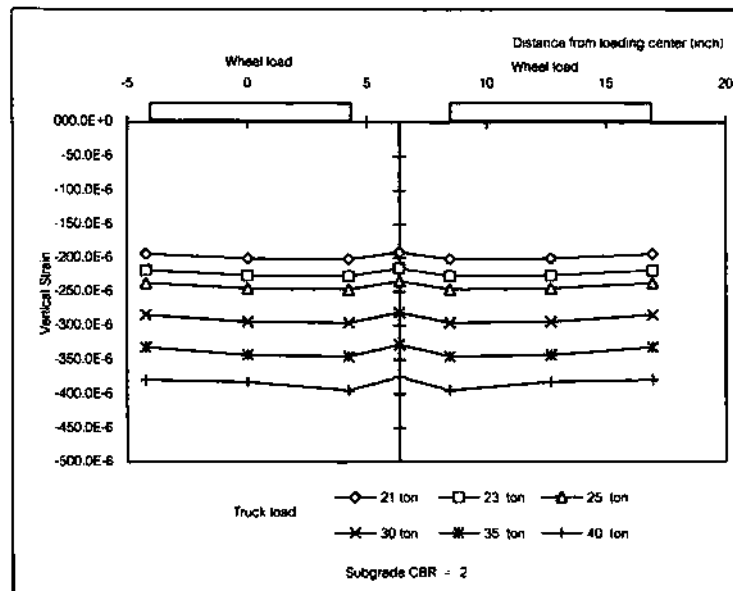
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว

ตารางที่ 4.20 Maximum Vertical Compressive Strain ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่า Subgrade CBR ภายใต้น้ำหนักบรรทุกหนักมาก

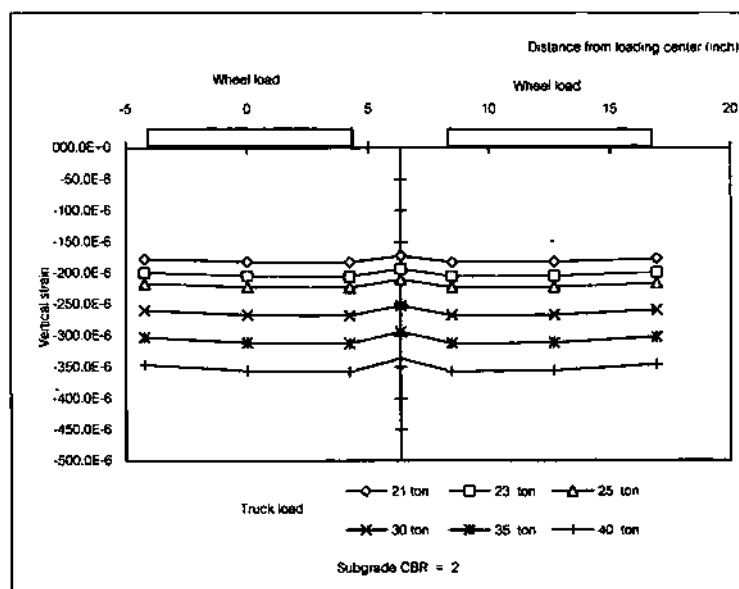
Maximun Vertical Compressive Strain				
Subgrade CBR		Truck Load (ton)		
		30	35	40
CBR = 2	ผิวบาง*	295.973E-06	345.082E-06	394.520E-06
	ผิวหนา**	268.195E-06	312.673E-06	357.483E-06
CBR = 4	ผิวบาง	372.800E-06	434.884E-06	497.042E-06
	ผิวหนา	304.071E-06	354.757E-06	405.432E-06
CBR = 6	ผิวบาง	305.472E-06	356.304E-06	407.256E-06
	ผิวหนา	240.834E-06	280.969E-06	321.110E-06

ผิวบาง * = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2.00 นิ้ว

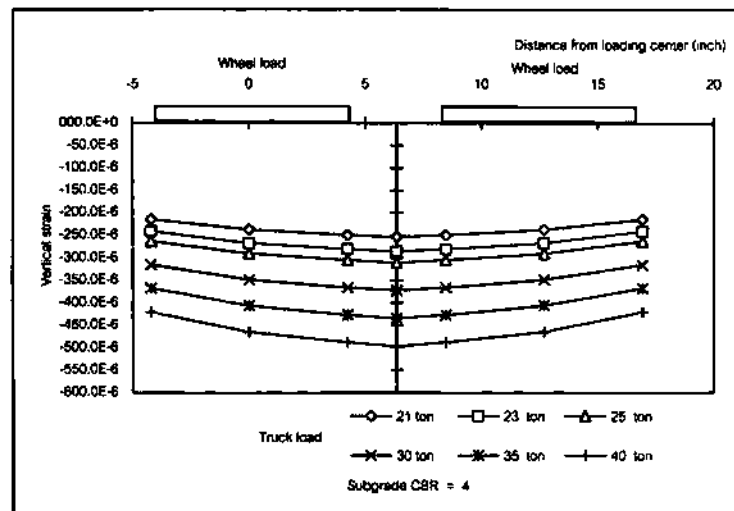
ผิวหนา ** = ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.60-4.00 นิ้ว



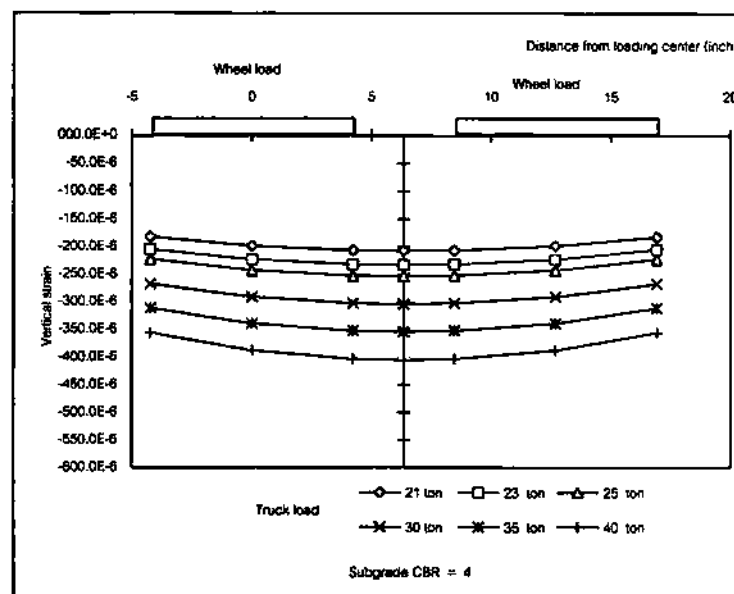
รูปที่ 4.55 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ใต้ล้อคู่บน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ของถนนสายที่ 1



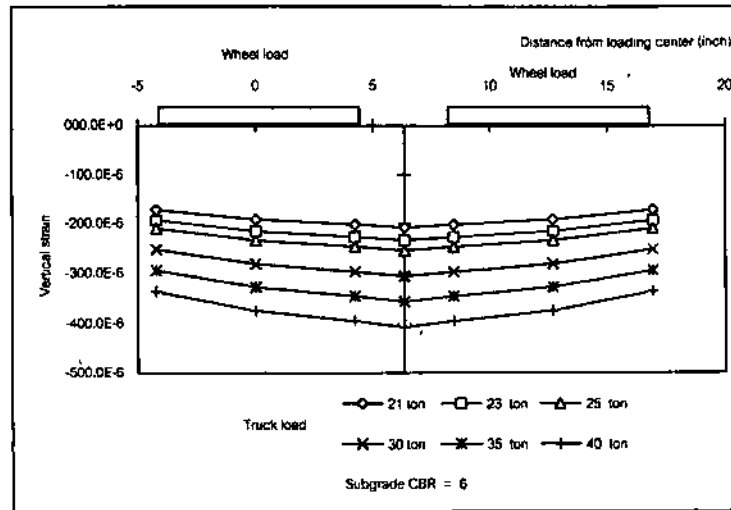
รูปที่ 4.56 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ใต้ล้อคู่บน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ของถนนสายที่ 2



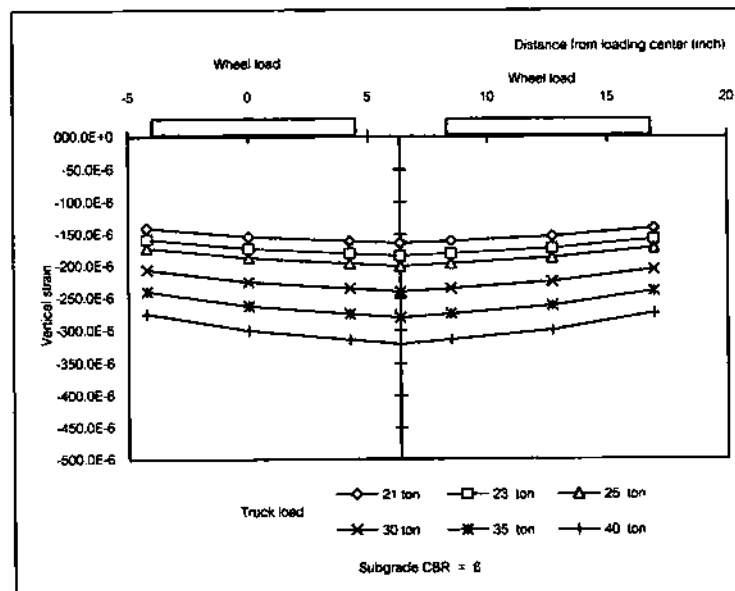
รูปที่ 4.57 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อคู่บน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 3



รูปที่ 4.58 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อคู่บน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 4



รูปที่ 4.59 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อยู่บน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 5



รูปที่ 4.60 เปรียบเทียบค่า Vertical Strain ได้ล้อยู่บน Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของถนนสายที่ 6

4.11 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ชั้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีต

อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ชั้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตได้ลู่ค่าของถนนสายต่าง ๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.61 ถึงรูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Radial Compressive Strain กับน้ำหนักบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักบรรทุก 25-40 ตัน ความหนาของชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนาของชั้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีผลต่อค่า Maximum Radial Compressive Strain ใต้ชั้นผิวแอสฟัลต์

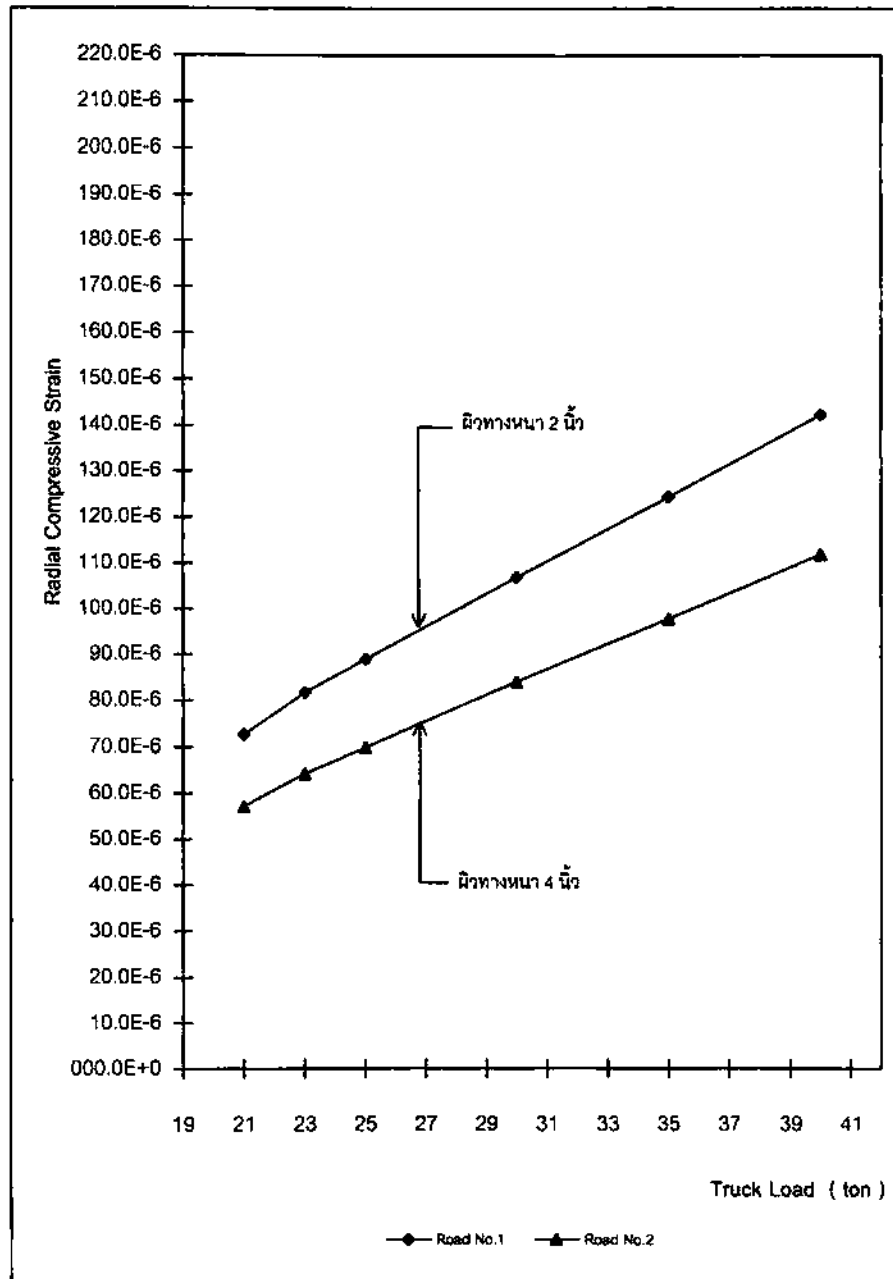
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Compressive Strain สำหรับถนนสายที่ 1. จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.4 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 96.0 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Compressive Strain สำหรับถนนสายที่ 2. จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.0 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.8 เปอร์เซ็นต์

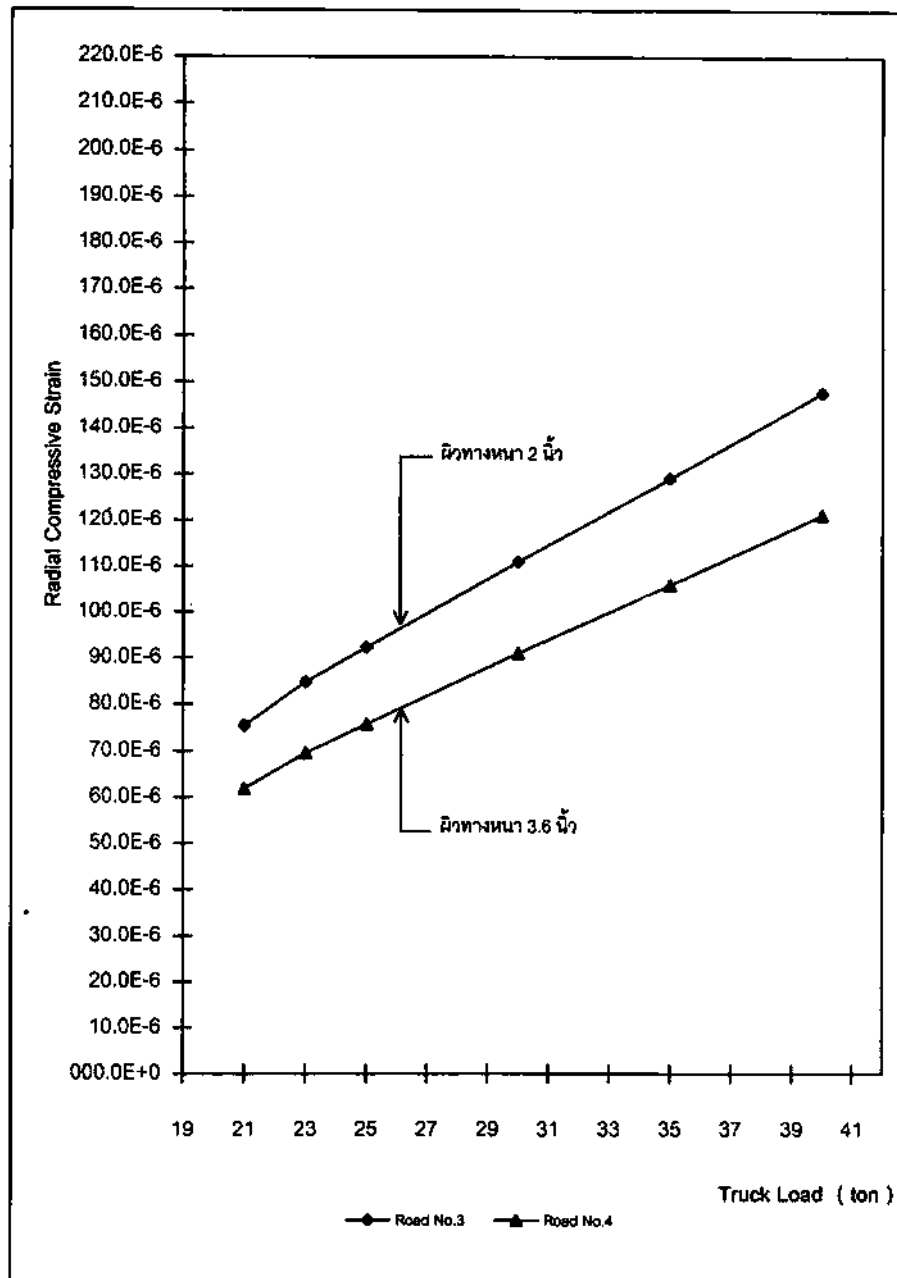
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Compressive Strain สำหรับถนนสายที่ 3. จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.4 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.1 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.9 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Compressive Strain สำหรับถนนสายที่ 4. จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.0 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.8 เปอร์เซ็นต์

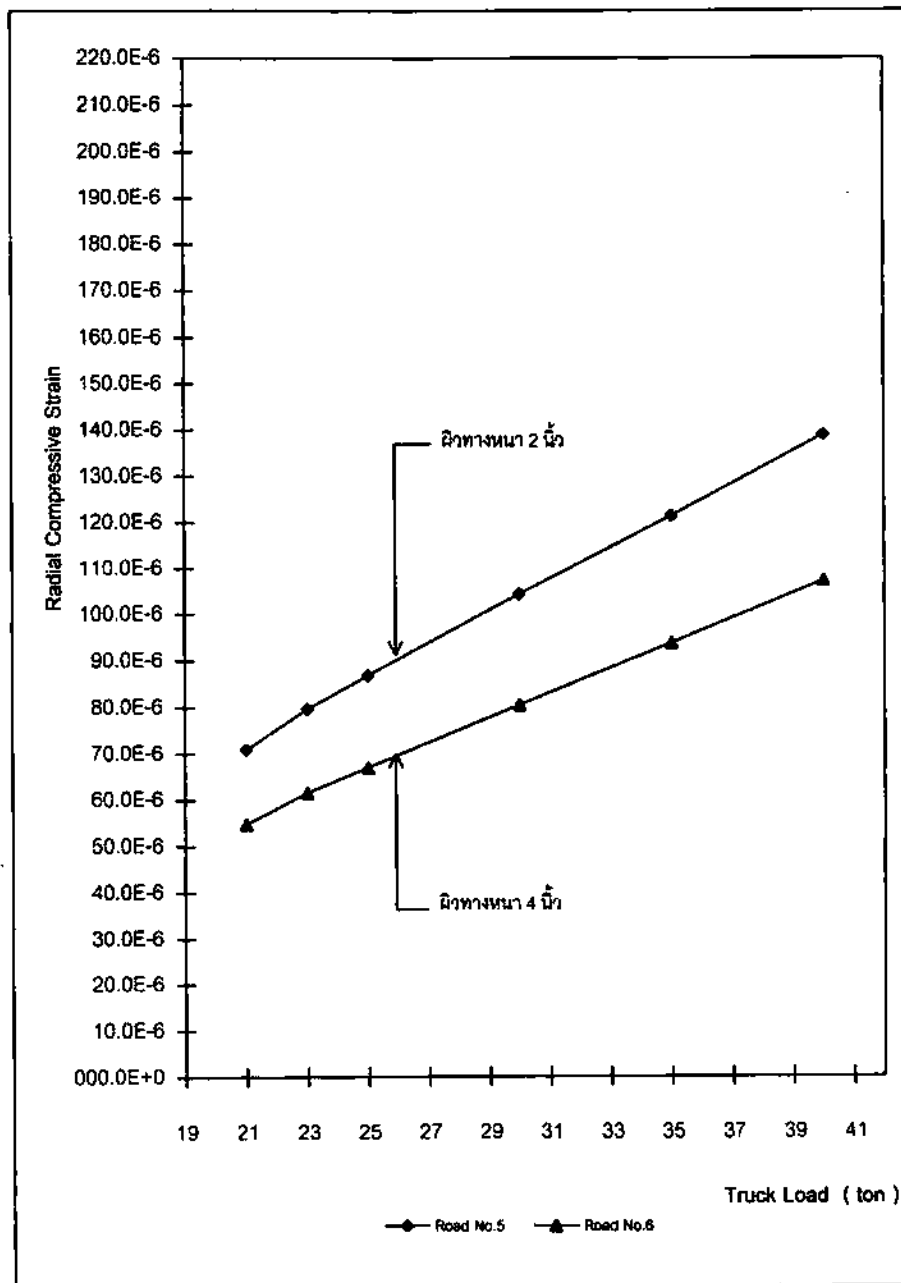
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Compressive Strain สำหรับถนนสายที่ 5. จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.4 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 96.0 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.61 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Radial Strain ได้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ได้ลือคู่ สำหรับถนนสายที่ 1,2 Subgrade CBR = 2



รูปที่ 4.62 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Radial Strain ได้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 3,4 Subgrade CBR = 4



รูปที่ 4.63 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Radial Strain ได้ชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 5,6 Subgrade CBR = 6

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Compressive Strain สำหรับถนนสายที่ 6. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.8 เปอร์เซ็นต์

4.12 อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement

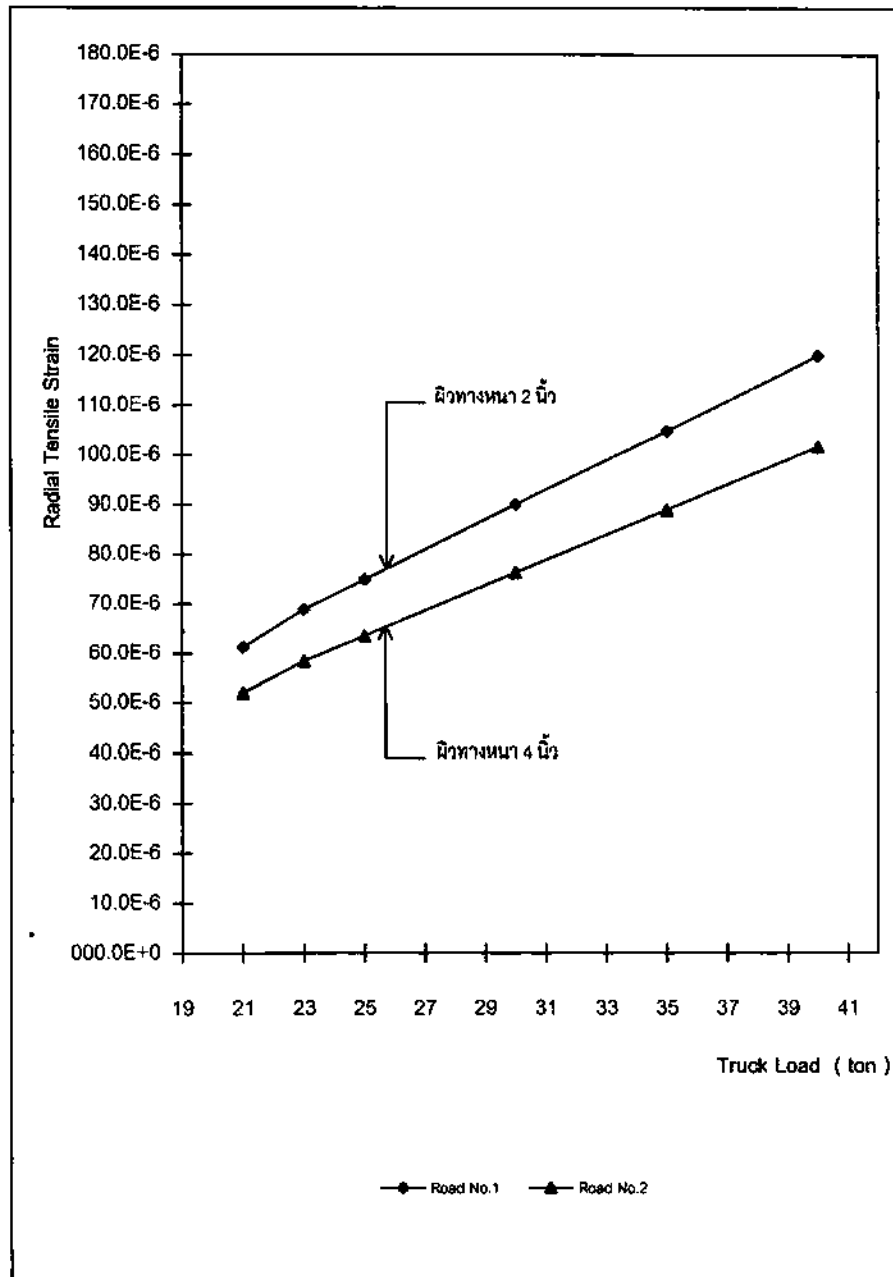
อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement ได้ล้อยู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.64 ถึงรูปที่ 4.66 จากรูปพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Radial Tensile Strain กับน้ำหนักรบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 25-40 ตัน ความหนาของชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตจะมีผลต่อค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain สำหรับถนนสายที่ 1. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.8 เปอร์เซ็นต์

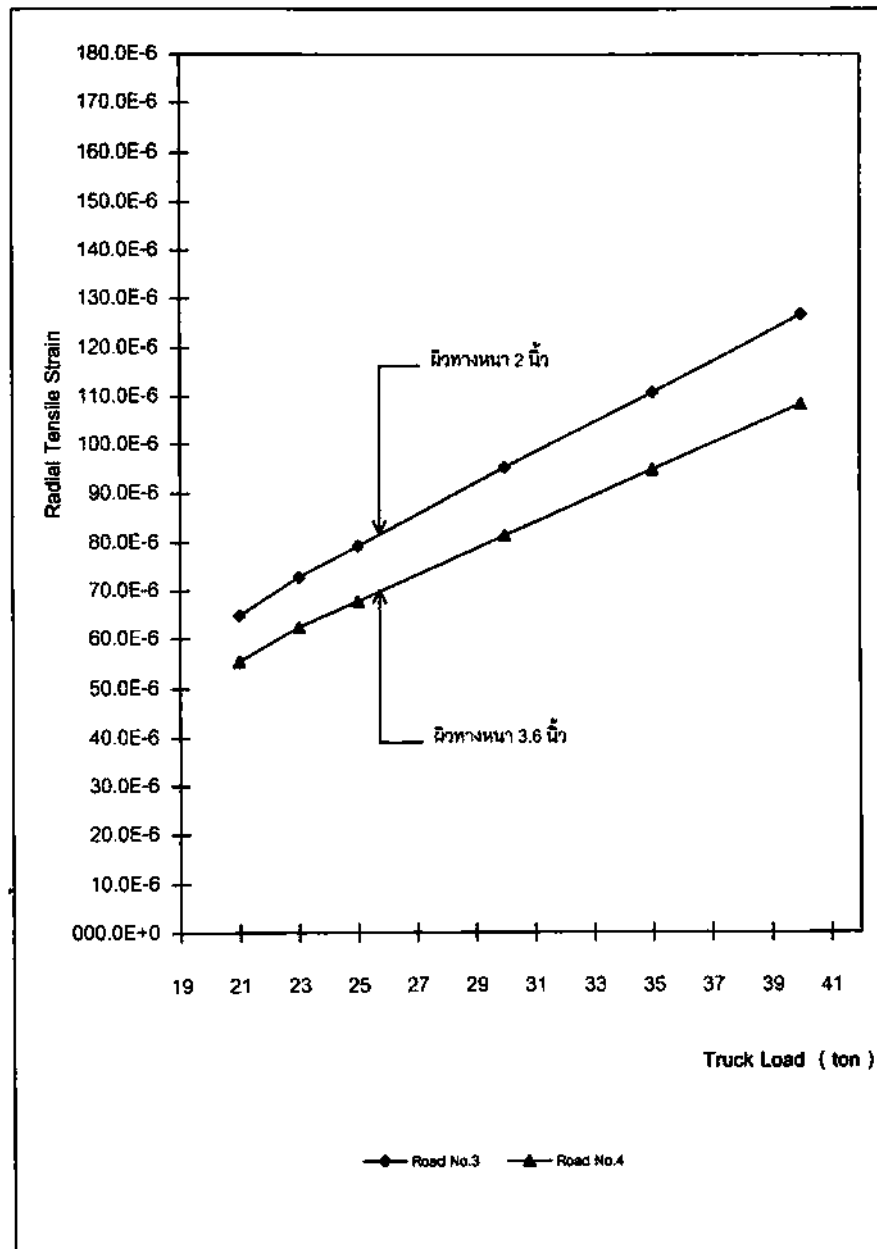
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain สำหรับถนนสายที่ 2. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.8 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain สำหรับถนนสายที่ 3. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์

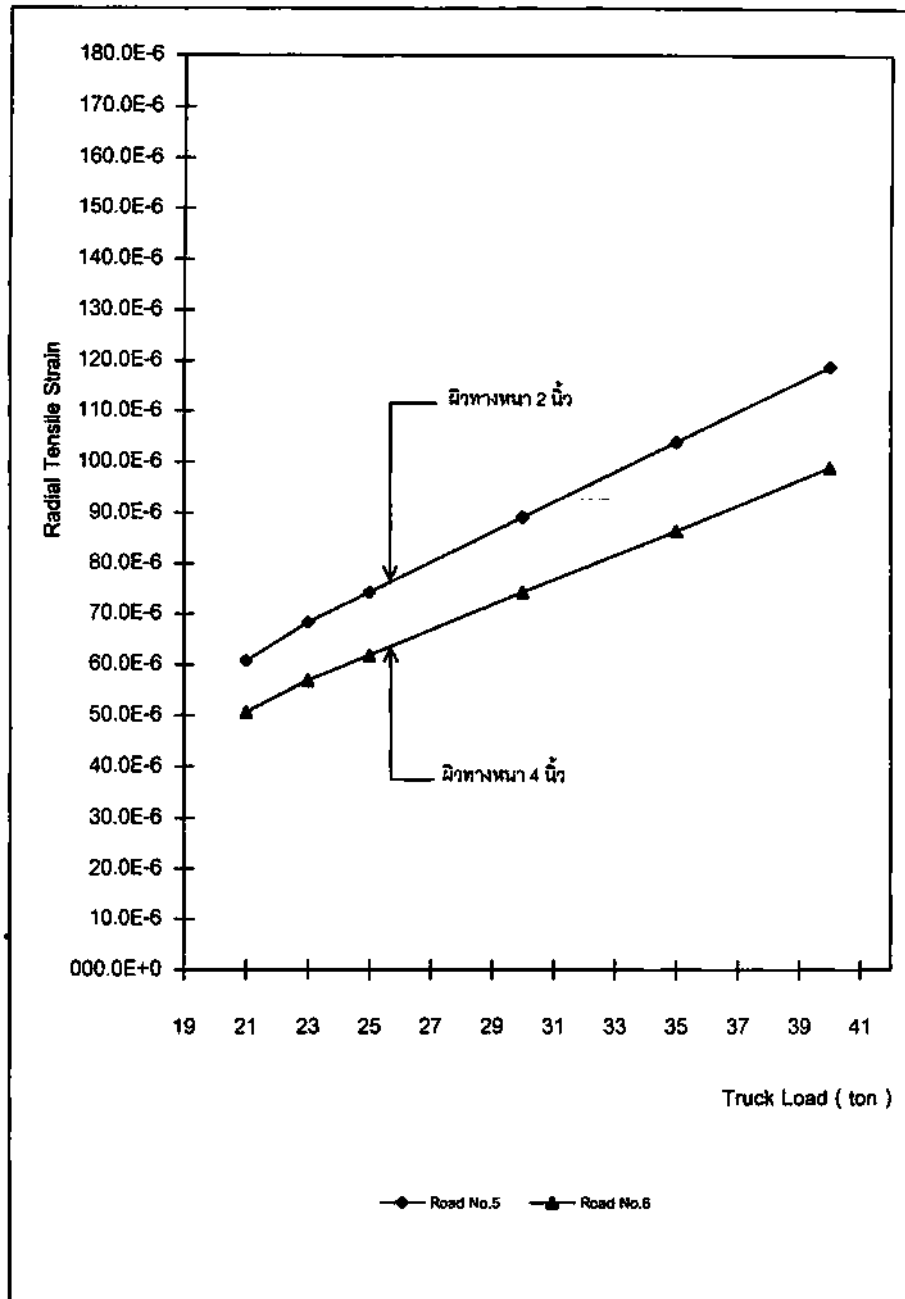
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain สำหรับถนนสายที่ 4. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.64 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง
ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 1,2 Subgrade CBR = 2



รูปที่ 4.65 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง
ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 3,4 Subgrade CBR = 4



รูปที่ 4.66 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ชั้นพื้นทาง
ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 5,6 Subgrade CBR = 6

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain สำหรับถนนสายที่ 5. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain สำหรับถนนสายที่ 6. จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์

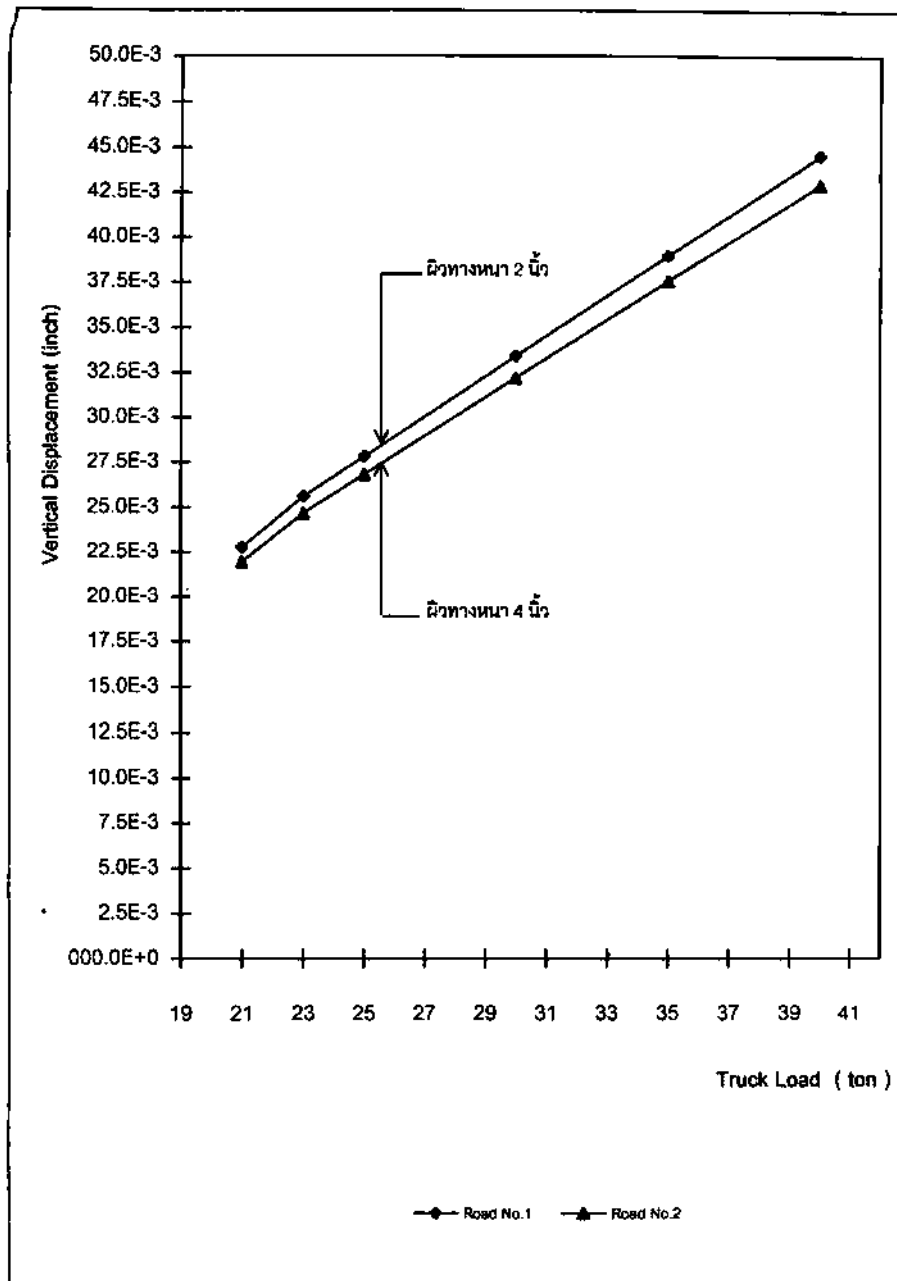
4.13 อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต

อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตได้ล่อคู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.67 ถึงรูปที่ 4.69 จากรูปพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Vertical Displacement กับน้ำหนักรบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 25-40 ตัน ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตและความหนาของชั้นต่างๆ ของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทางและความแข็งแรงของชั้นดินคันทาง ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มค่าสูง และกลุ่มค่าต่ำ กลุ่มค่าสูงได้แก่ กลุ่มที่มีผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 2 นิ้ว ส่วนกลุ่มค่าต่ำ ได้แก่ กลุ่มที่มีผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตหนา 3.5 นิ้ว ถึง 4.0 นิ้ว

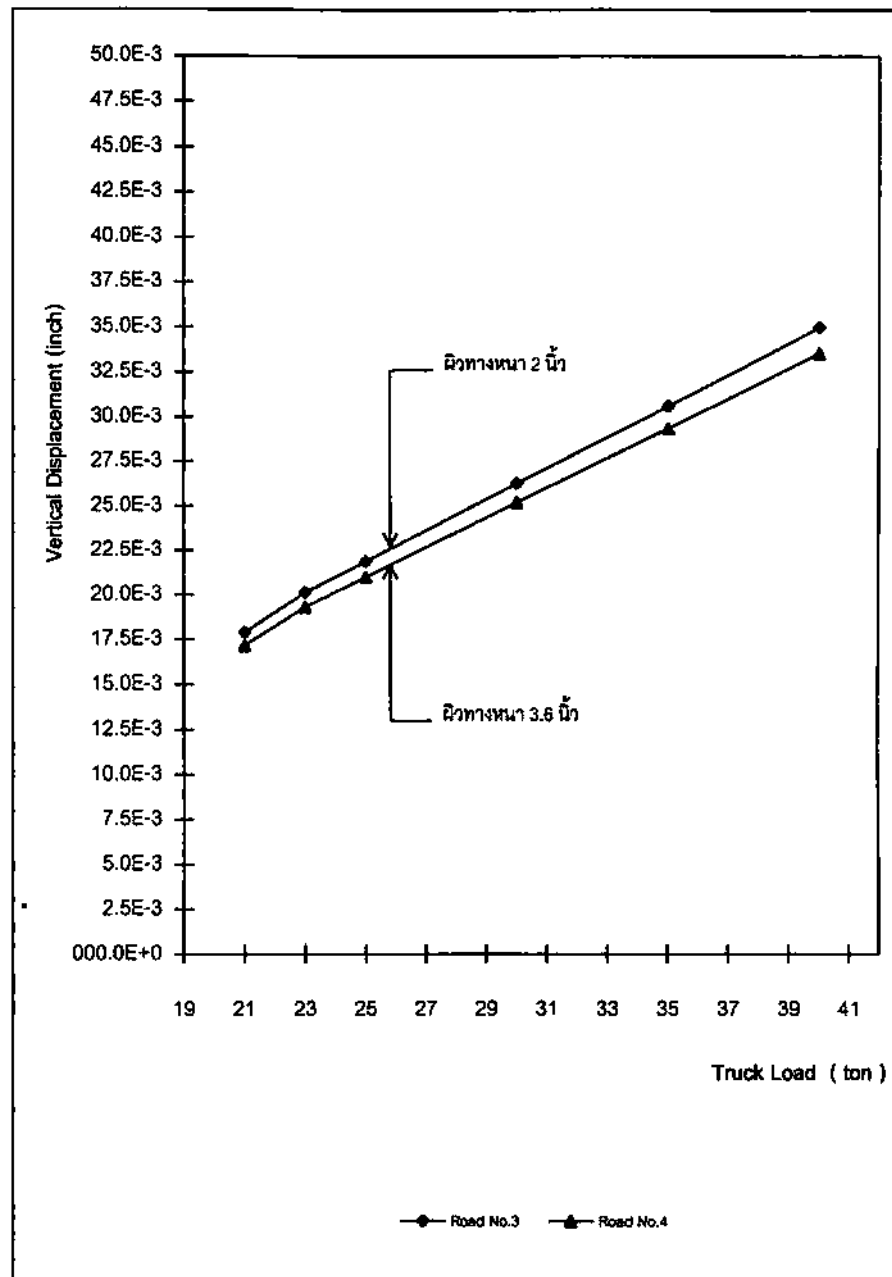
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Vertical Displacement สำหรับทุกสายทาง จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.8 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.1 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์

4.14 อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade

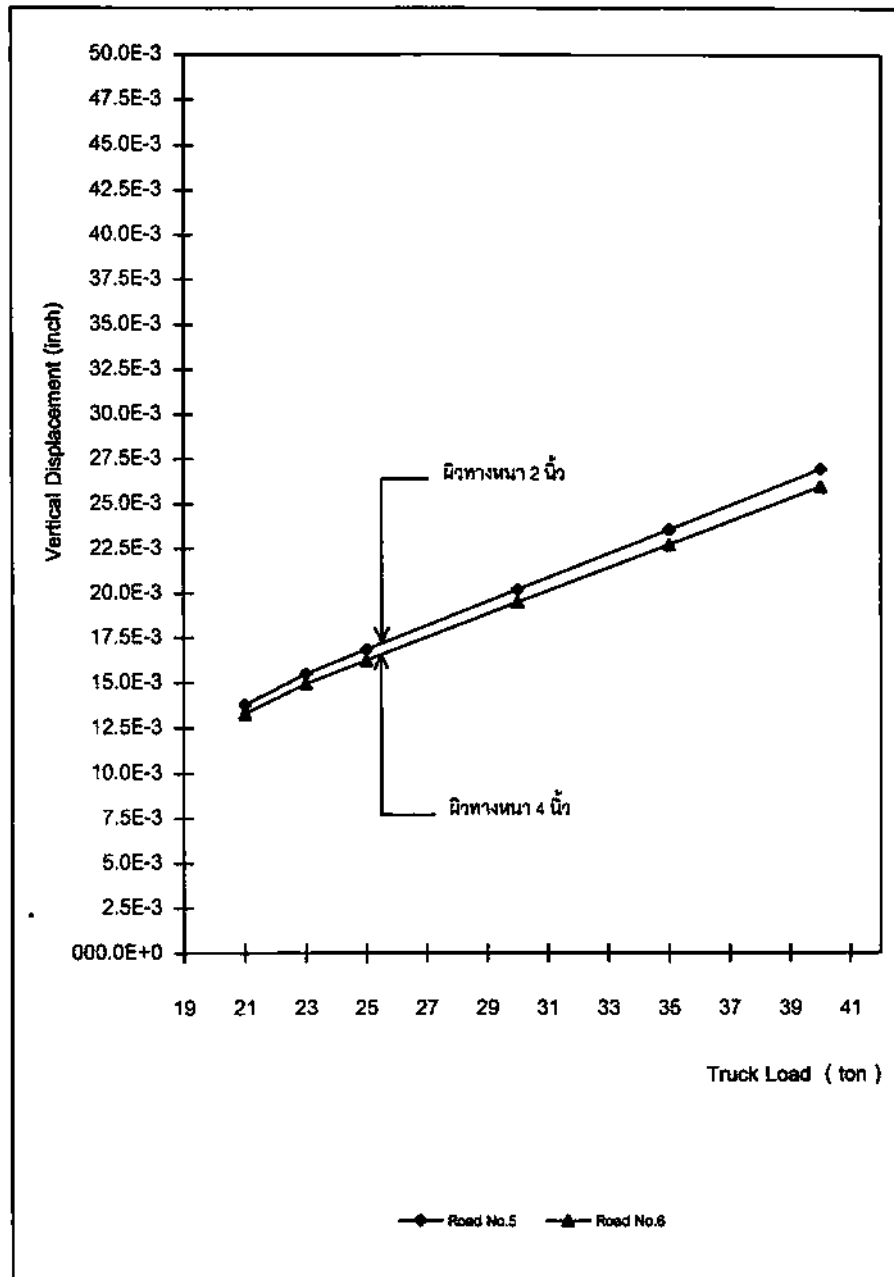
อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ได้ล่อคู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.70 ถึงรูปที่ 4.72 จากรูปพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Vertical Displacement กับน้ำหนักรบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงใน



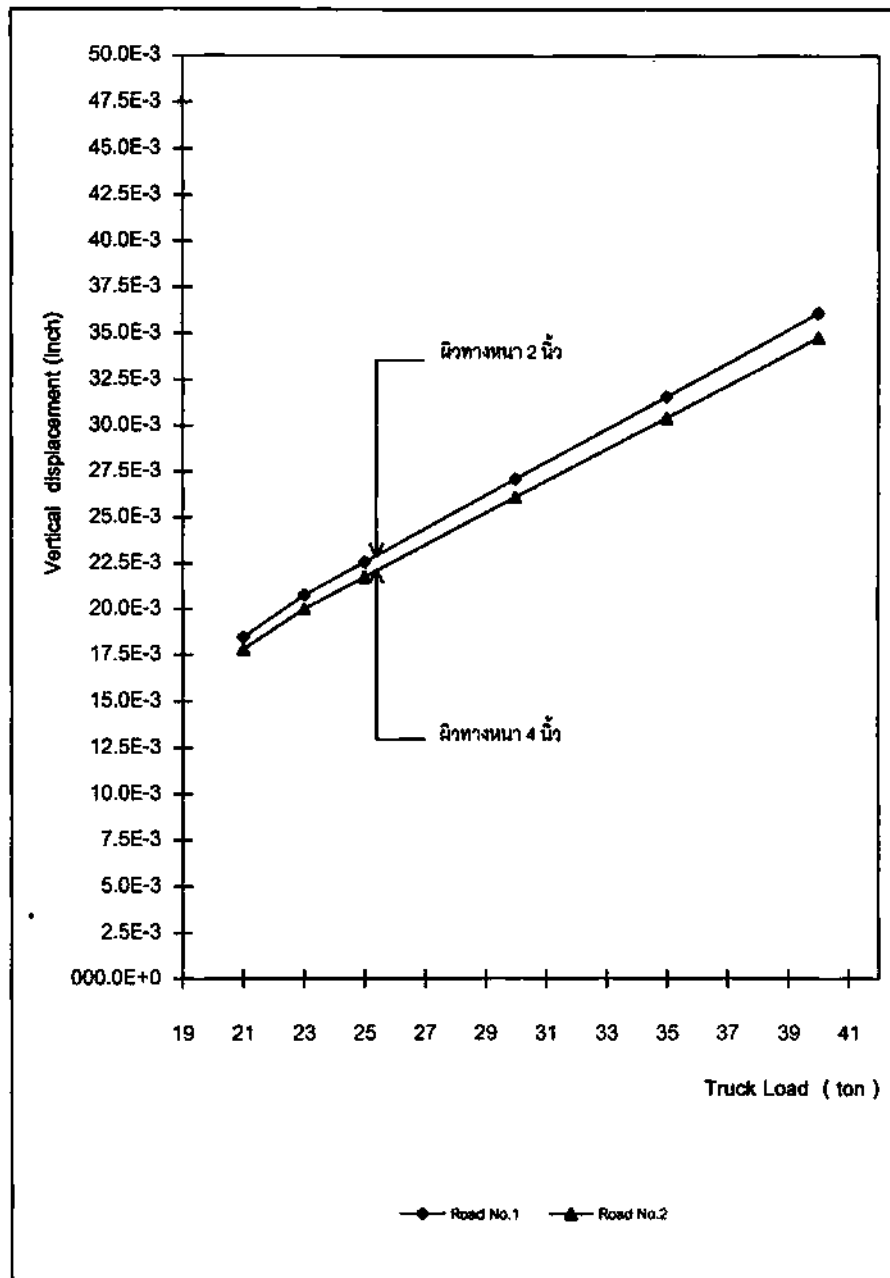
รูปที่ 4.87 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Displacement บนชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 1,2 Subgrade CBR = 2



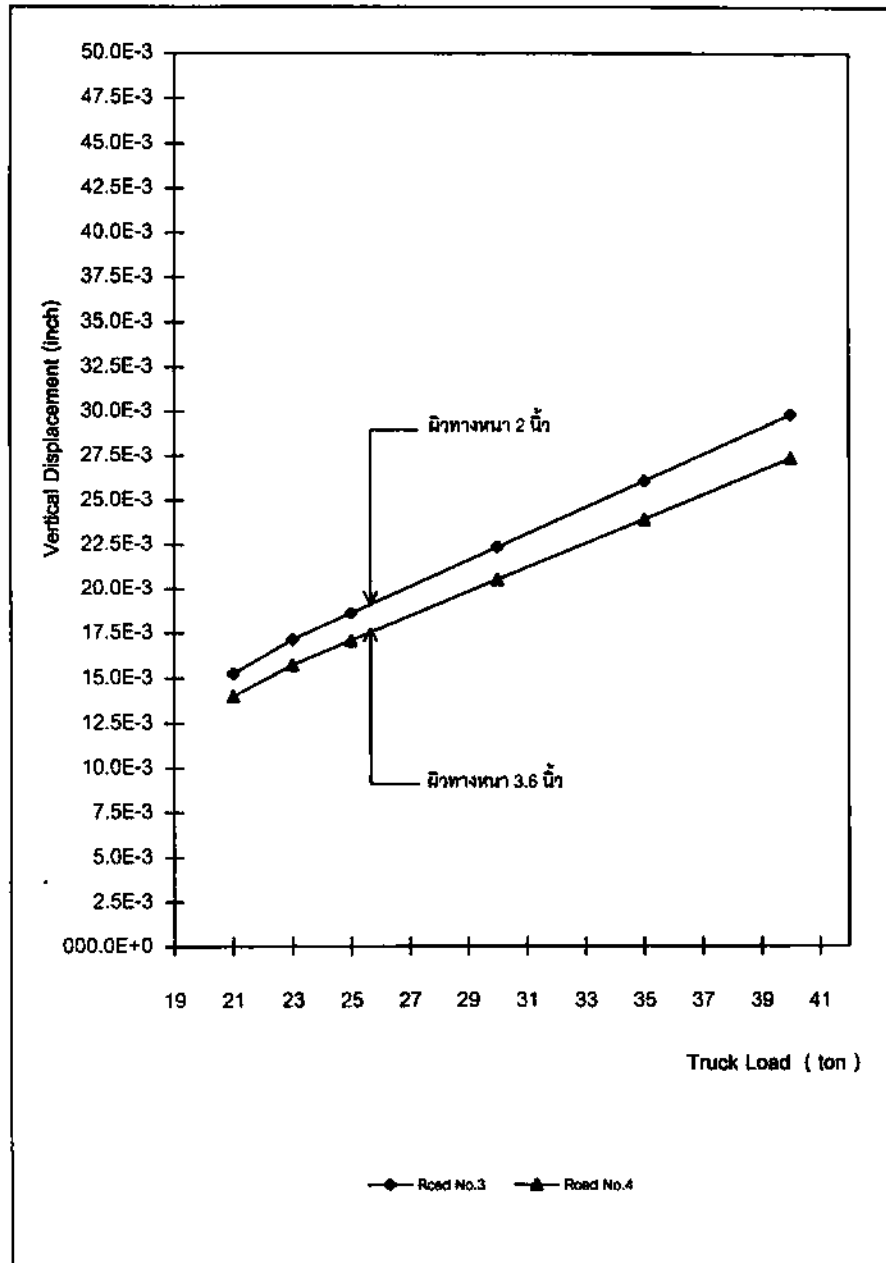
รูปที่ 4.68 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกทุกที่มีค่า Maximum Vertical Displacement บนชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ได้ลือคู่ สำหรับถนนสายที่ 3,4 Subgrade CBR = 4



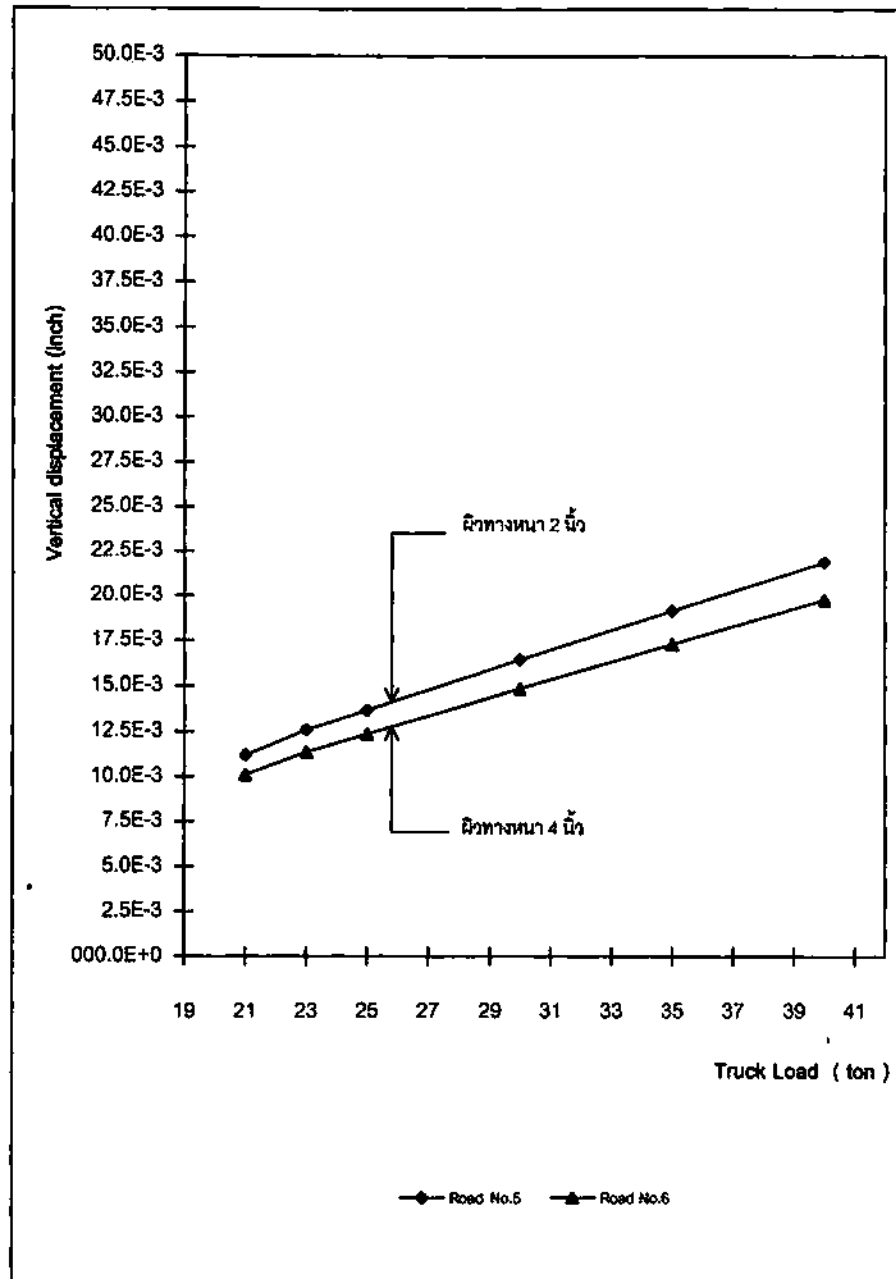
รูปที่ 4.89 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Displacement บนชั้นผิวทาง Asphalt Concrete ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 5,6 Subgrade CBR = 6



รูปที่ 4.70 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Displacement บนชั้นผิว Subgrade ได้ดัดคู่ สำหรับถนนสายที่ 1,2 Subgrade CBR = 2



4.71 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Displacement บนชั้นผิว Subgrade ได้ล้อยู่ สำหรับถนนสายที่ 3,4 Subgrade CBR = 4



รูปที่ 4.72 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Displacement บนชั้นผิว Subgrade ได้ลือคู่ สำหรับถนนสายที่ 5,6 Subgrade CBR = 6

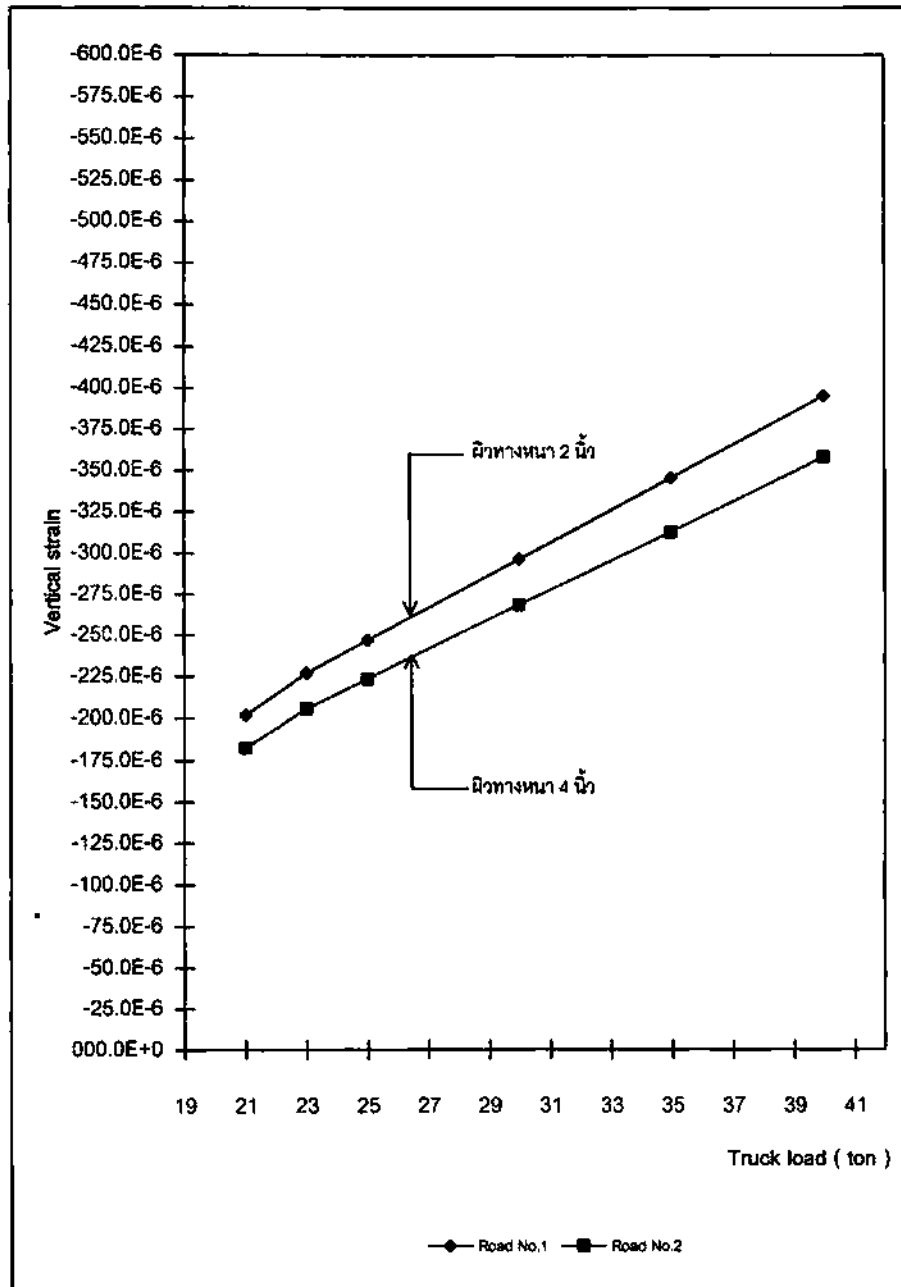
ช่วงน้ำหนักบรรทุก 25-40 ตันค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตและความหนาของชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทาง และความแข็งแรงของชั้นดินคันทาง ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มค่าสูง และกลุ่มค่าต่ำ กลุ่มค่าสูงได้แก่ กลุ่มที่มีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2 นิ้ว ส่วนกลุ่มค่าต่ำ ได้แก่ กลุ่มที่มีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.6 นิ้ว ถึง 4.0 นิ้ว

อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Vertical Displacement สำหรับทุกสายทาง จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.7 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.1 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.6 เปอร์เซ็นต์

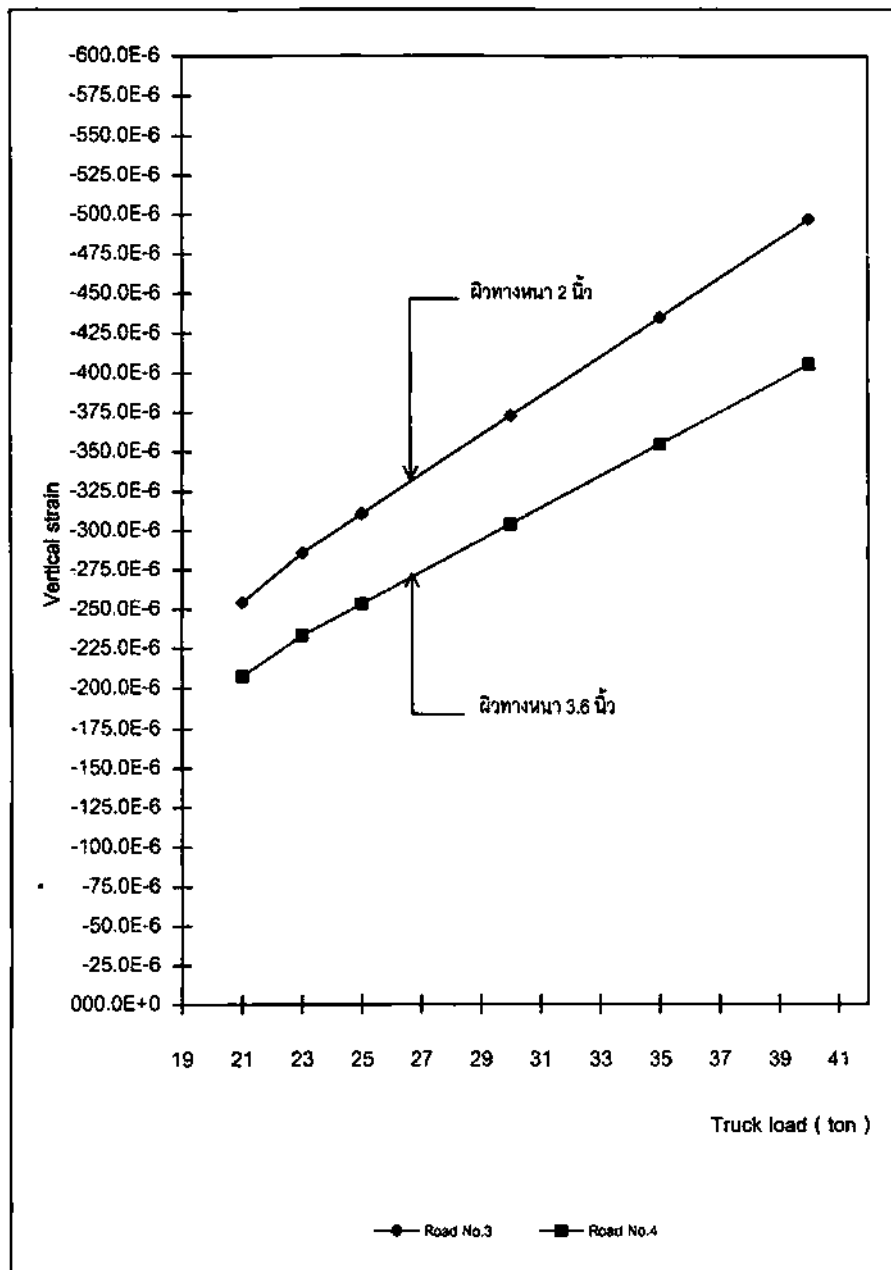
4.15 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Strain บนผิวหน้าของชั้น Subgrade

อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Strain บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ได้ลือคู่ของถนนสายต่าง ๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.73 ถึงรูปที่ 4.75 จากรูปพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Vertical Displacement กับน้ำหนักบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักบรรทุก 25-40 ตันค่า Maximum Vertical Strain ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของชั้น Subgrade นอกจากจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตแล้วยังขึ้นอยู่กับความหนาของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทางตลอดจนความแข็งแรงของชั้นดินคันทาง ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มค่าสูง และกลุ่มค่าต่ำ กลุ่มค่าสูงได้แก่ กลุ่มที่มีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 2 นิ้ว ส่วนกลุ่มค่าต่ำ ได้แก่ กลุ่มที่มีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 3.6 นิ้ว ถึง 4.0 นิ้ว

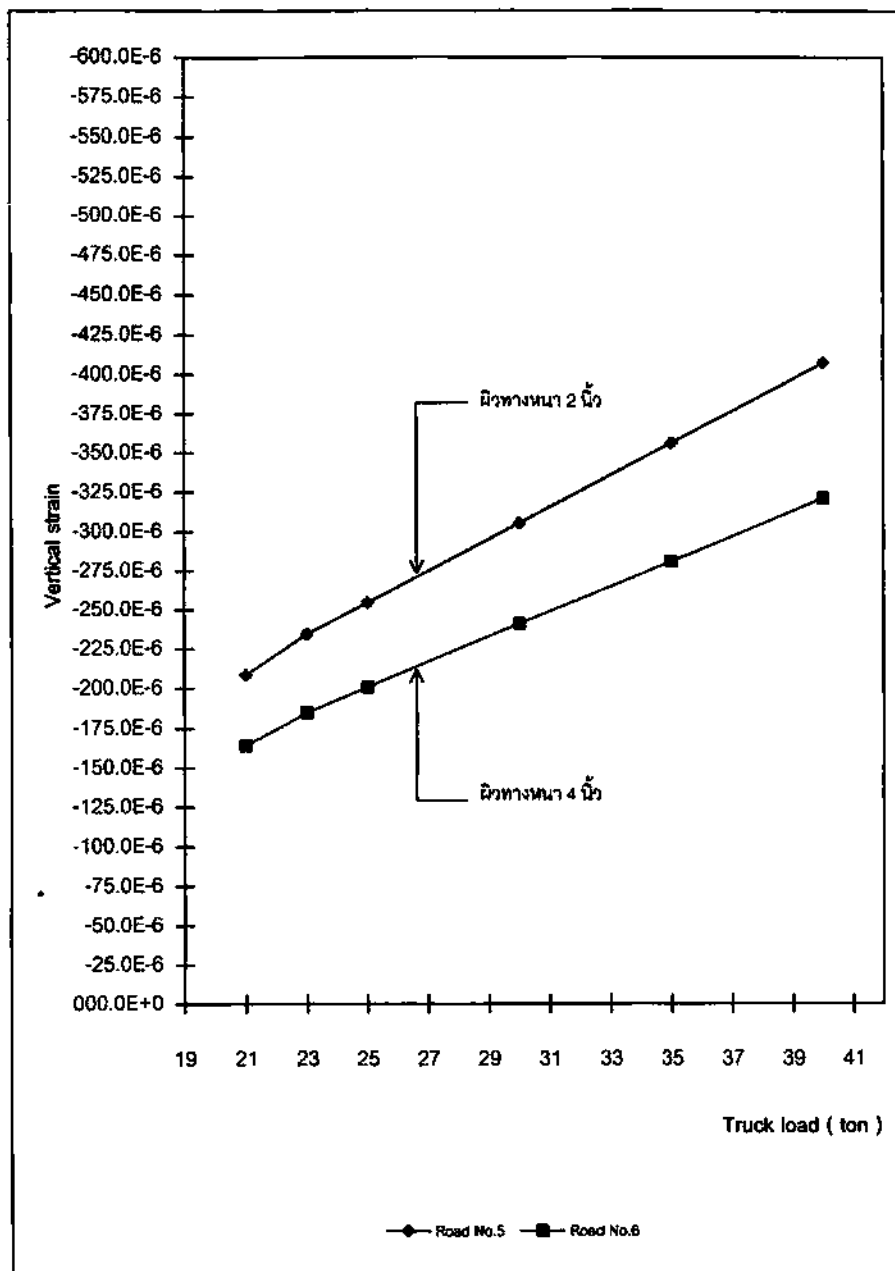
อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Vertical Displacement สำหรับทุกสายทาง จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.7 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.1 เปอร์เซ็นต์ และจากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.6 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.73 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Strain บนชั้นผิว Subgrade ได้ล้อคู่ สำหรับถนนสายที่ 1,2 Subgrade CBR = 2



รูปที่ 4.74 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Strain บนชั้น Subgrade ได้ล้อยู่สำหรับถนนสายที่ 3.4 Subgrade CBR = 4



รูปที่ 4.75 อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีค่า Maximum Vertical Strain บนชั้น Subgrade ได้ล้อคู่ สำหรับถนนสายที่ 5,6 Subgrade CBR = 6

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างชั้นทาง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่า Radial Strain ได้ล้อยึดยาวได้ชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีต สำหรับโครงสร้างชั้นทางที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soil-Cement ในกรณีน้ำหนักบรรทุกปกติ และน้ำหนักบรรทุกหนักมากจะมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ มีค่าเป็น Compressive Strain ทั้งหมด โดยมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะ 4-6 นิ้วจากจุดกึ่งกลางล้อยึดยาว

Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยึดยาวได้ชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีต เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.8 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

2. ค่า Radial Strain ได้ล้อยึดยาวได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต จะมีค่าเป็น Compressive Strain ในทุกตำแหน่ง โดยมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นระหว่างจุดกึ่งกลางล้อทั้งสอง และมีค่าประมาณ 1.94-2.00 เท่าของค่าที่เกิดขึ้นในกรณีของล้อยึดยาว

Maximum Radial Compressive Strain ได้ล้อยึดยาวได้ชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีต เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 47.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

3. ค่า Radial Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยึดยาวได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement จะมีค่าเป็น Tensile Strain มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นได้ล้อยึดยาว และมีค่าลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ระยะประมาณ 17 นิ้วจากจุดกึ่งกลางล้อยึดยาว

Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยึดยาวได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

4. ค่า Radial strain ได้ล้อยึดยาวได้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement จะมีค่าเป็น Tensile Strain ทั้งหมด โดยมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสองถึงบริเวณขอบล้อด้านในของล้อทั้งสองล้อ และมีค่าประมาณ 1.09-1.16 เท่าของค่าที่เกิดขึ้นในกรณีของล้อยึดยาว

Maximum Radial Tensile Strain ได้ล้อยู่ใต้ชั้นพื้นทาง Soil-Cement เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

5. ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นใต้ล้อเดี่ยวบนผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ใต้จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่ระยะห่าง 17 นิ้ว จากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ค่า Vertical Displacement ก็ยังมีค่าสูงอยู่ โดยมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดร้อยละ 24 ถึง 35

ค่า Maximum Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิวแอสฟัลท์คอนกรีต เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

6. ค่า Vertical Displacement ที่เกิดขึ้นใต้ล้อคู่บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีต มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวทั้งสองล้อ หรือที่ขอบล้อด้านในของล้อทั้งสองล้อ และมีค่าใกล้เคียงกันตลอดจากขอบล้อด้านหนึ่งไปถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง โดยมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 5-12

ค่า Maximum Vertical Displacement ใต้ล้อคู่บนผิวแอสฟัลท์คอนกรีต เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

7. ค่า Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ใต้ล้อเดี่ยว หรือที่ระยะ 6.34 นิ้วจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวเพิ่มมากขึ้นที่ระยะ 17 นิ้ว จากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ค่า Vertical Displacement มีค่าลดลงจากค่าสูงสุดร้อยละ 10.7-14.7

ค่า Maximum Vertical Displacement ใต้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

8. ค่า Vertical Displacement ใต้ล้อคู่บนผิว Subgrade จะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสอง ในกรณีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2 และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ขอบล้อด้านในเมื่อค่า Subgrade CBR เท่ากับ 4 และ 6 ค่า Vertical Displacement มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะจากขอบล้อด้านนอกของด้านหนึ่งถึงขอบล้อด้านนอกของอีกด้านหนึ่ง โดยมีค่าแตกต่างจากค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 3.2 - 6.5

ค่า Maximum Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

9. ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าเป็น Vertical Compressive Strain ในทุกสายทาง และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นได้จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ค่า Vertical Compressive Strain มีค่าสูงถึง 60-108 Micro Strain แม้ว่าจะห่างจากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยวเท่ากับ 17 นิ้ว ก็ตาม โดยมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดร้อยละ 23.4-35.7 ผลของการเกิด Vertical Compressive Strain เป็นบริเวณกว้างจะทำให้เกิดรอยร้าวตามแนวทางวิ่งของรถ

ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

10. ค่า Vertical Strain ที่เกิดขึ้นได้ล้อยู่บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะมีค่าเป็น Vertical Compressive Strain ในทุกสายทาง และมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ขอบล้อทั้งสองล้อ สำหรับสายทางที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2 และเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสอง สำหรับสายทางที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 4 และ 6 ส่วนค่าต่ำสุดจะเกิดขึ้นบริเวณขอบด้านนอกของทั้งสองล้อ ค่า Radial Compressive Strain ได้ล้อยู่จะมีค่าต่างกันเล็กน้อยจากขอบล้อด้านหนึ่งถึงขอบล้ออีกด้านหนึ่ง โดยค่าต่ำกว่าค่าสูงสุด 4.9-17.6 เปอร์เซ็นต์ และจะมีค่าประมาณสองเท่าของค่าที่เกิดขึ้นในกรณีล้อเดี่ยว

ค่า Maximum Vertical Strain ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 21 ตัน เป็น 23 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 25 ตัน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 22.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 30 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 46.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 35 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 71.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มเป็น 40 ตัน มีค่าเพิ่มขึ้น 95.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีผิวทางเป็นผิวบางและผิวหนา และในทุกค่าของ Subgrade CBR

11. อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Compressive Radial Strain ได้ขึ้นเอนกพล็อตคอนกรีตได้ล้อยู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Radial Compressive Strain กับน้ำหนักบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักบรรทุก 25-40 ตัน จากการเพิ่มของค่า Maximum Radial Strain จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.4 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 47.1 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.6 เปอร์เซ็นต์ ความหนาของ

ชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตจะมีผลต่อค่า Maximum Radial Strain

12. อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Radial Tensile Strain ได้ขึ้นพื้นทางได้ล้อคู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Radial Tensile Strain กับน้ำหนักรบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 25-40 ตัน อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Radial Tensile Strain จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.9 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์ ความหนาของชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตจะมีผลต่อค่า Maximum Radial Tensile Strain

13. อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตได้ล้อคู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Vertical Displacement กับน้ำหนักรบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 25-40 ตัน อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Vertical Displacement จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.8 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.1 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.6 เปอร์เซ็นต์ ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของผิวแอสฟัลท์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตและความหนาของชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทาง และความแข็งแรงของชั้นดินคันทาง

14. อิทธิพลของน้ำหนักรบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ได้ล้อคู่ของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Vertical Displacement กับน้ำหนักรบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักรบรรทุก 25-40 ตัน อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Vertical Displacement จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.8 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.1 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักรบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.6 เปอร์เซ็นต์ ค่า Maximum Vertical Displacement บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตและความหนาของชั้นต่างๆของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทาง และความแข็งแรงของชั้นดินคันทาง

15. อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อค่า Maximum Vertical Strain บนผิวหน้าของชั้น Subgrade ได้ลือคูของถนนสายต่างๆ ที่มีค่า Subgrade CBR เท่ากับ 2, 4, และ 6 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Vertical Strain กับน้ำหนักบรรทุกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยในช่วงน้ำหนักบรรทุก 21-25 ตัน และเป็นเส้นตรงในช่วงน้ำหนักบรรทุก 25-40 ตัน อัตราการเพิ่มของค่า Maximum Vertical Strain จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 23 ตัน เท่ากับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 25 ตัน เท่ากับ 22.2 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 30 ตัน เท่ากับ 46.7 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 35 ตัน เท่ากับ 71.1 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน ถึง 40 ตัน เท่ากับ 95.6 เปอร์เซ็นต์ ค่า Maximum Vertical Strain บนผิวหน้าของชั้น Subgrade จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตและความหนาของชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างชั้นทางเหนือชั้นดินคันทาง และความแข็งแรงของชั้นดินคันทาง

เอกสารอ้างอิง

- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2538. การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง เอกสารประกอบการสอน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 338 น.
- ประดิษฐ์ พงษ์พิพรรธ. 2537. การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีดินซีเมนต์ที่ไม่แตกเป็นพื้นทางและวัสดุมวลรวมเป็นรองพื้นทางภายใต้บรรทุกหนักมาก, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มนัส คอวนิช. 2515. ปัญหาที่เกิดจากถนนทุก. วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร, กรุงเทพฯ. 140 น.
- สถิตย์พงษ์ อภิเมธีธำรง. 2538. การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีดินซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แตกเป็นพื้นทางและวัสดุมวลรวมเป็นรองพื้นทาง, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุภา ศิริคุรุรัตน์. 2523. การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบพื้นผิวจราจรแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อำพล วรณะวัลย์. 2521. ผลของการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่ากำหนดของรถยนต์บรรทุกหนักต่ออายุการใช้งานของถนนประเภทหยุนตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Acum, W.E.A. and L. Fox. 1951. Computation of load stresses in a three-layer elastic system. J. Geotechnique. 2 (4) : 293-300.
- Barker, W.R., W.N. Brabston and Y.T. Chou 1977. A general system for the structural design of flexible pavements. Proc. Fourth Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement. Vol.1, Univ. of Michigan, U.S.A., pp. 209-248.
- Barksdale, R.D. and R.G. Hicks 1973. Materials characterization and layered theory for use in fatigue analysis., Specials Report 40, Highway Research Board, National Academy of Sciences, U.S.A., pp. 20-48.
- Bonnaure, F., G. Gest., A. Gravois and P. Uge 1977. A new method of predicting the stiffness modulus of asphalt pavement mixtures., Proc. Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.46. pp. 64-104.
- Bonnot, J. 1972. Assessing the properties of materials for the structural design of pavements, Proc. 3rd Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol.1., Univ. of Michigan, U.S.A., pp. 200-213.
- Brown, S.F. 1974. A simplified fundamental design for bituminous pavement. J. the Highway Engineer. 21-(8) : 14-23.
- Brown, S.F., J.M. Brunton and A.F. Stock. 1985. The analytical design of bituminous pavement. Proc. Inst. of Civil Engineers. 79 (2) : 1-31.

- Burmister, D.M. 1943. The theory of stress and displacements in layered system and application to the design of airport runways, pp. 126-148. In Proc. Highway Res. Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C., U.S.A.
- Burmister, D.M. 1945. The general theory of stress and displacement in layered system III. J. Appl. Phys. 16 (5) : 296-302.
- Burmister, D.M. 1962. Application of layered system concepts and principles to interpretations and evaluation of asphalt pavement performances and to design and construction, Proc. 1st International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement, University of Michigan, U.S.A., pp. 218-233
- Claessen, A.L.M., J.M. Edwards., P. Sommer. and P. Uge. 1977. Asphalt pavement design, The Shell Method., Proc. Fourth Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement., Vol.1., Univ. of Michigan. pp. 39-74.
- Corps of Engineers 1961. Revised method of thickness design for flexible highway pavement at military installation., Waterways Experiment Station, Technical Report 3-582 August, Mississippi, U.S.A.
- Dormon, G.M. 1962. The extension to practice of a fundamental procedure for the design of flexible pavements, pp. 511-522. In Proc. 1st Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement, Univ. of Michigan, U.S.A.
- Dormon, G.M. and C.T. Metcalf. 1965. Design curves for flexible pavements based on layered system theory, pp. 69-84. In Highway Res. Rec. 71, Highway Res. Board, Nat. Res. Council, Washington D.C., U.S.A.
- FHWA 1987. Pavement Design : Principles and Practices., A Training Course, Participant Notebook, Prepared by ERES Consultants, Inc., National Highway Institute, September, U.S.A.
- Freeme, C.R. 1972. Discussion on paper by Brown and Pell, pp. 170-182. In Proc. of the 3rd Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement , Vol. 2, Univ. of Michigan, U.S.A.
- Hank, R.J. and F.H. Scrivner. 1948. Some numerical solutions of stresses in two and three-layered systems., Highways Research Board Proceedings, Washington, D.C., U.S.A.
- Heukelom, W. and A.J.G. Klomp. 1964. Road design and dynamic loadings. Proc. Ass. of Asphalt Paving Technol. 33 : 92-125.
- Hicks, R.G. and C.L. Monismith. 1972. Prediction of the resilient response of pavement containing granular layers using non-linear elastic theory, pp. 410-429. In Proc. 3rd Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, U.S.A.

- Hogg, A.H.H. 1938. Equilibrium of a thin plate, symmetrically loaded, resting on an elastic foundation of infinite depth. *Philosophy Magazine*, Vol. 25, pp. 576-582
- Hveem, F.N. 1955. Pavement deflection and fatigue, pp. 43-87. *In* Proc. Highway Res. Board Bull., Nat. Res. Council, Washington, D.C., U.S.A.
- Jones, A. 1962. Table of stress in three-layer elastic system, pp. 176-214. *In* Highway Res. Board Bull., Nat. Res. Council, Washington D.C., U.S.A.
- Kasianchuk, D.A. 1968. Fatigue consideration in the design of asphalt concrete pavement. Unpublished Ph.D. dissertation, Dep. of Civil Engineering, Univ. of California, Berkeley.
- Kolias, S. 1975. Evaluation of the strength of elastic properties of cement stabilized materials. Ph.D. Thesis, Univ. of Surrey, United Kingdom.
- Larsen, T.J. and P.J. Nussbaum. 1967. Fatigue of soil cement., *Journal of Portland Cement Association, Research and Development Laboratories*, Vol.9, No.2, May, pp. 37-59.
- Lister, N.W. and W.D. Powell. 1987. Design practice for bituminous pavements in the United Kingdom, pp. 220-231. *In* Proc. 6th Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavement, Vol. 1, Univ. of Michigan, U.S.A.
- Middlebrooks and Bertram. 1905. Development of CBR flexible pavement design method for airfields., *Tran. ASCE* Vol.115.
- Monismith, C.L. 1973. Pavement design : The fatigue subsystem. Highway Research Board Special Report 140, Highway Research Board, National Research Council, Washington D.C., U.S.A. pp. 1-19.
- Murphy, H.W., B.T. Baran and R.G. Gordon. 1980. Cement treated bases for pavement. *J. Inst. of Engineers Australia, Queensland Division* 21 (29) : 31-39.
- NAASRA 1979. Interim guide to pavement thickness design manual., National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA), April.
- NAASRA 1987. Pavement Design : A guide to the structural design of road pavement., National Association of Australian State Road Authorities. New South Wales, Australia.
- National Association of Australian State Road Authority. 1987. A guide to the structural design of road pavements. NAASRA, New South Wales, Australia. 280 p.
- Nussbaum, P.J. and T.J. Larsen. 1965. Load-deflection characteristics of soil-cement pavement. *Highway Res. Rec. No. 86*, Portland Cement Ass., Chicago. 79 p.
- Odemark, N. 1949. Investigation as to the elastic properties of soils and design of pavements according to the theory of elasticity, *Statens Vaginat, Stockholm Medd.*, Vol.77.

- Otte, E. 1974. The stress-strain curve for cement and lime treated material, pp. 3-14. In Proc. of the 2nd Conf. on Asphalt Pavements for Southern Africa.
- Otte, E. 1978. A structural design procedure for cement-treated layers in pavements. D.Sc. Thesis, Univ. of Pretoria, South Africa.
- Otte, E., P.F. Savage and C.L. Monismith. 1982. Structural design of cemented pavement layers. ASCE, Transportation Engineering. 108 (TE 4) : 428-445.
- Papazian, H.S. 1962. The response of linear viscoelastic materials in the frequency domain with emphasis on asphaltic concrete „Proc. 1st Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, U.S.A., pp.454-463.
- Paterson, W.D.O. 1978. Towards applying mechanistic pavement design in practice., Proc. ARRB. Conf. Vol.9, Part 4 Brisbane, Queensland, Australia. pp.260-280.
- Peattie, K.R. 1962. A fundamental approach to the design of flexible pavements, pp. 635-648. In Proc. 1st Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, U.S.A.
- Pell, P.S. 1962. Fatigue characteristics bituminous and bituminous mixed, pp. 310-323. In Proc. 1st Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement, Univ. of Michigan, U.S.A.
- Pell, P.S. 1978. Developments in highway pavement engineering Vol.1. Univ. of Nottingham, United Kingdom. 285 p.
- Peutz, M.G.F., H.P.M. Van Kampan and A. Jones 1968. Layered system under normal surface loads., Highway Research Record 228, Highway Research Board, National Research Council, Washington D.C., U.S.A.
- Portland Cement Association. 1969. Soil-Cement Construction Handbook. Chicaco, PCA. 41 p.
- Portland Cement Association. 1970. Thickness Design for Soil-Cement Pavement. Chicaco, PCA. 14 p.
- Pretorius, P.C. 1970. Design considerations for pavement containing soil-cement bases. Ph.D. Thesis, Univ. of California, Berkeley, U.S.A.
- Pretorius, P.C. and C.L. Monismith. 1972. Fatigue crack formation and propagation in pavements containing soil-cement bases. Highway Res. Rec. 407, Highway Res. Board, Nat. Res. Council, Washington D.C., U.S.A. 196 p.
- Shell International Petroleum Company Ltd. 1963. Shell design charts for flexible pavements., London, United Kingdom.
- Shell International Petroleum Company Ltd. 1978. Shell pavement design manual-Asphalt pavement and overlays for road traffic., London, United Kingdom.

- The Asphalt Institute. 1963. Thickness design asphalt pavement structure for highway street. Asphalt Inst. Manual Ser. No.1, 7th ed., Maryland College Park. 38 p.
- _____.1970. Thickness design full depth asphalt pavement structures for highway and street. Asphalt Inst. Manual Ser. No. 1, 8th ed., Maryland College Park. 45 p.
- Van der Poel, C. 1954. A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test date. J. Appl. Chem. 4 (5) : 221-236
- Westergaard, H.M.1926. Stress in concrete pavements computed by theoretical analysis., Public Roads, Vol.7, No.2 April, pp.25-35.
- Whiffin, A.C. and N.W. Lister. 1962. The application of elastic theory to flexible pavements, pp. 499-521. In Proc. 1st Int. Conf. on the Structural Design of Pavements, Univ. of Michigan, U.S.A.
- Yoder, E.J. and M.W. Witczak. 1975. Principles of pavement design. 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A. , 711 p.

ภาคผนวก ก.

**การคำนวณ Contact Pressure และ Radius of Contact Area
ของรถบรรทุกทุกน้ำหนักต่าง ๆ**

ภาคผนวก ก.

การคำนวณค่า Tire Pressure และ Radius of Contact Area



1. เมื่อน้ำหนักรถ 10 ล้อ = 21 ตัน

$$\begin{aligned}
 P &= \pi a^2 \times p \\
 \text{เมื่อ } P &= \text{น้ำหนักล้อเดียว} \\
 p &= \text{Tire Pressure} \\
 a &= \text{Radius of Contact Area} \\
 W &= \text{น้ำหนักรถบรรทุกทั้งหมด}
 \end{aligned}$$

รถบรรทุกหนัก 21 ตัน จะเทียบเท่ากับรถมาตรฐานน้ำหนักเพลลาหนัก 18,000 ปอนด์ และมี Tire Pressure เท่ากับ 80 ปอนด์/นิ้ว²

$$\therefore \text{น้ำหนักล้อเดียว} = \frac{18,000}{4} = 4,500 \text{ ปอนด์}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Radius of Contact Area} &= \sqrt{\frac{4,500}{80 \times \pi}} \\
 &= 4.23 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{เมื่อ } W = 21 \text{ ตัน, } P = 4,500 \text{ ปอนด์, } p = 80 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2, a = 4.23 \text{ นิ้ว}$$

2. เมื่อน้ำหนักรถ 10 ล้อ = 23 ตัน

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักล้อเดียว} &= \frac{23 \times 1,000 \times 2.2}{10} \text{ ปอนด์} \\
 &= 5,060 \text{ ปอนด์}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tire Pressure, } p = \frac{5,060}{\pi(4.23)^2} = 90 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$$\therefore \text{เมื่อ } W = 23 \text{ ตัน, } P = 5,060 \text{ ปอนด์, } p = 90 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2, a = 4.23 \text{ นิ้ว}$$

3. เมื่อน้ำหนักรถ 10 ล้อ = 25 ตัน

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักล้อเดี่ยว} &= \frac{25 \times 1,000 \times 2.2}{10} \text{ ปอนด์} \\ &= 5,500 \text{ ปอนด์}\end{aligned}$$

$$\text{Tire Pressure, } p = \frac{5,500}{\pi(4.23)^2} = 98 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$$\therefore \text{เมื่อ } W = 25 \text{ ตัน, } P = 5,500 \text{ ปอนด์, } p = 98 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2, a = 4.23 \text{ นิ้ว}$$

4. เมื่อน้ำหนักรถ 10 ล้อ = 30 ตัน

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักล้อเดี่ยว} &= \frac{30 \times 1,000 \times 2.2}{10} \text{ ปอนด์} \\ &= 6,600 \text{ ปอนด์}\end{aligned}$$

$$\text{Tire Pressure, } p = \frac{6,600}{\pi(4.23)^2} = 118 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$$\therefore \text{เมื่อ } W = 30 \text{ ตัน, } P = 6,600 \text{ ปอนด์, } p = 118 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2, a = 4.23 \text{ นิ้ว}$$

5. เมื่อน้ำหนักรถ 10 ล้อ = 35 ตัน

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักล้อเดี่ยว} &= \frac{35 \times 1,000 \times 2.2}{10} \text{ ปอนด์} \\ &= 7,700 \text{ ปอนด์}\end{aligned}$$

$$\text{Tire Pressure, } p = \frac{7,700}{\pi(4.23)^2} = 137 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$$\therefore \text{เมื่อ } W = 35 \text{ ตัน, } P = 7,700 \text{ ปอนด์, } p = 137 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2, a = 4.23 \text{ นิ้ว}$$

6. เมื่อน้ำหนักรถ 10 ล้อ = 40 ตัน

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักล้อเดี่ยว} &= \frac{40 \times 1,000 \times 2.2}{10} \text{ ปอนด์} \\ &= 8,800 \text{ ปอนด์}\end{aligned}$$

$$\text{Tire Pressure, } p = \frac{8,800}{\pi(4.23)^2} = 157 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$\therefore$ เมื่อ $W = 40$ ตัน, $P = 8,800$ ปอนด์, $p = 157$ ปอนด์/นิ้ว², $a = 4.23$ นิ้ว

หลักการสำคัญของการวิเคราะห์นี้จะพยายามให้ Radius of Contact Area มีค่าคงที่ แต่เพิ่มค่า Tire Pressure เมื่อน้ำหนักล้อเพิ่มขึ้น

ภาคผนวก ข.

**ข้อมูลแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างถนนตาม
โปรแกรม PSAD 2A-PC**

ตารางที่ ข.1 Radial Strains ได้ล้อเดียวใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-33.825E-06	-38.029E-06	-41.312E-06	-49.520E-06	-57.864E-06	-66.072E-06
4.23	-37.419E-06	-42.081E-06	-45.764E-06	-54.970E-06	-64.042E-06	-73.249E-06
6.34	-36.301E-06	-40.831E-06	-44.430E-06	-53.428E-06	-62.146E-06	-71.144E-06
8.46	-23.491E-06	-26.423E-06	-28.757E-06	-34.591E-06	-40.219E-06	-46.053E-06
12.69	-11.132E-06	-12.524E-06	-13.639E-06	-16.428E-06	-19.064E-06	-21.853E-06
16.92	-4.588E-06	-5.164E-06	-5.633E-06	-6.805E-06	-7.863E-06	-9.035E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.2 Radial Strains ได้ล้อเดี่ยวใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch) *	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-10.733E-06	-12.060E-06	-13.073E-06	-15.605E-06	-18.343E-06	-20.876E-06
4.23	-24.593E-06	-27.654E-06	-30.064E-06	-36.088E-06	-42.084E-06	-48.108E-06
6.34	-28.571E-06	-32.133E-06	-34.951E-06	-41.995E-06	-48.903E-06	-55.948E-06
8.46	-22.289E-06	-25.071E-06	-27.282E-06	-32.812E-06	-38.159E-06	-43.689E-06
12.69	-11.237E-06	-12.641E-06	-13.763E-06	-16.569E-06	-19.242E-06	-22.048E-06
16.92	-5.685E-06	-6.397E-06	-6.970E-06	-8.403E-06	-9.739E-06	-11.172E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.3 Radial Strains ใต้ล้อเดี่ยวใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-33.590E-06	-37.762E-06	-41.017E-06	-49.152E-06	-57.457E-06	-65.593E-06
4.23	-37.077E-06	-41.696E-06	-45.340E-06	-54.448E-06	-63.455E-06	-72.564E-06
6.34	-37.686E-06	-42.388E-06	-46.120E-06	-55.451E-06	-64.515E-06	-73.845E-06
8.46	-24.946E-06	-28.060E-06	-30.538E-06	-36.731E-06	-42.710E-06	-48.903E-06
12.69	-11.806E-06	-13.282E-06	-14.466E-06	-17.426E-06	-20.220E-06	-23.179E-06
16.92	-4.704E-06	-5.295E-06	-5.777E-06	-6.983E-06	-8.063E-06	-9.269E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.4 Radial Strains ใต้ล้อเดี่ยวใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-12.464E-06	-14.004E-06	-15.179E-06	-18.117E-06	-21.299E-06	-24.237E-06
4.23	-25.856E-06	-29.074E-06	-31.607E-06	-37.938E-06	-44.244E-06	-50.575E-06
6.34	-30.943E-06	-34.800E-06	-37.853E-06	-45.483E-06	-52.963E-06	-60.594E-06
8.46	-23.480E-06	-26.411E-06	-28.742E-06	-34.569E-06	-40.199E-06	-46.026E-06
12.69	-11.478E-06	-12.912E-06	-14.061E-06	-16.931E-06	-19.656E-06	-22.526E-06
16.92	-5.377E-06	-6.051E-06	-6.596E-06	-7.959E-06	-9.213E-06	-10.576E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.5 Radial Strains ใต้ล้อเดี่ยวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-31.465E-06	-35.373E-06	-38.418E-06	-46.033E-06	-53.821E-06	-61.435E-06
4.23	-34.997E-06	-39.356E-06	-42.796E-06	-51.394E-06	-59.894E-06	-68.493E-06
6.34	-35.404E-06	-39.822E-06	-43.332E-06	-52.107E-06	-60.610E-06	-69.385E-06
8.46	-22.478E-06	-25.285E-06	-27.521E-06	-33.111E-06	-38.486E-06	-44.076E-06
12.69	-9.552E-06	-10.747E-06	-11.710E-06	-14.115E-06	-16.361E-06	-18.767E-06
16.92	-2.748E-06	-3.095E-06	-3.385E-06	-4.110E-06	-4.715E-06	-5.440E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.6 Radial Strains ใต้ล้อเดี่ยวได้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-8.168E-06	-9.174E-06	-9.931E-06	-11.823E-06	-13.950E-06	-15.842E-06
4.23	-22.000E-06	-24.737E-06	-26.889E-06	-32.266E-06	-37.644E-06	-43.022E-06
6.34	-27.356E-06	-30.766E-06	-33.463E-06	-40.207E-06	-46.823E-06	-53.566E-06
8.46	-21.134E-06	-23.773E-06	-25.873E-06	-31.122E-06	-36.184E-06	-41.434E-06
12.69	-9.683E-06	-10.894E-06	-11.865E-06	-14.294E-06	-16.584E-06	-19.012E-06
16.92	-3.980E-06	-4.480E-06	-4.887E-06	-5.904E-06	-6.822E-06	-7.839E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.7 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-42.006E-06	-47.245E-06	-51.396E-06	-61.775E-06	-71.905E-06	-82.284E-06
0	-44.957E-06	-50.552E-06	-54.951E-06	-65.948E-06	-76.928E-06	-87.925E-06
4.23	-60.910E-06	-68.505E-06	-74.521E-06	-89.562E-06	-104.261E-06	-119.302E-06
6.34	-72.602E-06	-81.662E-06	-88.861E-06	-106.856E-06	-124.293E-06	-142.288E-06
8.46	-60.910E-06	-68.505E-06	-74.521E-06	-89.562E-06	-104.261E-06	-119.302E-06
12.69	-44.957E-06	-50.552E-06	-54.951E-06	-65.948E-06	-76.928E-06	-87.925E-06
16.92	-42.006E-06	-47.245E-06	-51.396E-06	-61.775E-06	-71.905E-06	-82.284E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.8 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-30.278E-06	-34.051E-06	-37.034E-06	-44.491E-06	-51.822E-06	-59.280E-06
0	-21.970E-06	-24.701E-06	-26.836E-06	-32.175E-06	-37.585E-06	-42.924E-06
4.23	-46.881E-06	-52.725E-06	-57.347E-06	-68.900E-06	-80.243E-06	-91.797E-06
6.34	-57.142E-06	-64.265E-06	-69.901E-06	-83.991E-06	-97.807E-06	-111.896E-06
8.46	-46.881E-06	-52.725E-06	-57.347E-06	-68.900E-06	-80.243E-06	-91.797E-06
12.69	-21.970E-06	-24.701E-06	-26.836E-06	-32.175E-06	-37.585E-06	-42.924E-06
16.92	-30.278E-06	-34.051E-06	-37.034E-06	-44.491E-06	-51.822E-06	-59.280E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.9 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-41.781E-06	-46.991E-06	-51.117E-06	-61.432E-06	-71.518E-06	-81.832E-06
0	-45.396E-06	-51.045E-06	-55.483E-06	-66.578E-06	-77.677E-06	-88.772E-06
4.23	-62.023E-06	-69.756E-06	-75.877E-06	-91.180E-06	-106.164E-06	-121.467E-06
6.34	-75.372E-06	-84.775E-06	-92.240E-06	-110.901E-06	-129.029E-06	-147.691E-06
8.46	-62.023E-06	-69.756E-06	-75.877E-06	-91.180E-06	-106.164E-06	-121.467E-06
12.69	-45.396E-06	-51.045E-06	-55.483E-06	-66.578E-06	-77.677E-06	-88.772E-06
16.92	-41.781E-06	-46.991E-06	-51.117E-06	-61.432E-06	-71.518E-06	-81.832E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.10 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-31.233E-06	-35.126E-06	-38.203E-06	-45.897E-06	-53.458E-06	-61.152E-06
0	-23.941E-06	-26.916E-06	-29.239E-06	-35.047E-06	-40.955E-06	-46.763E-06
4.23	-49.336E-06	-55.485E-06	-60.348E-06	-72.507E-06	-84.443E-06	-96.602E-06
6.34	-61.886E-06	-69.600E-06	-75.705E-06	-90.967E-06	-105.927E-06	-121.189E-06
8.46	-49.336E-06	-55.485E-06	-60.348E-06	-72.507E-06	-84.443E-06	-96.602E-06
12.69	-23.941E-06	-26.916E-06	-29.239E-06	-35.047E-06	-40.955E-06	-46.763E-06
16.92	-31.233E-06	-35.126E-06	-38.203E-06	-45.897E-06	-53.458E-06	-61.152E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.11 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิว Asphalt Concrete ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-37.745E-06	-42.452E-06	-46.181E-06	-55.503E-06	-64.610E-06	-73.933E-06
0	-41.016E-06	-46.120E-06	-50.128E-06	-60.148E-06	-70.182E-06	-80.202E-06
4.23	-57.475E-06	-64.641E-06	-70.316E-06	-84.505E-06	-98.380E-06	-112.569E-06
6.34	-70.807E-06	-79.643E-06	-86.664E-06	-104.215E-06	-121.220E-06	-138.771E-06
8.46	-57.475E-06	-64.641E-06	-70.316E-06	-84.505E-06	-98.380E-06	-112.569E-06
12.69	-41.016E-06	-46.120E-06	-50.128E-06	-60.148E-06	-70.182E-06	-80.202E-06
16.92	-37.745E-06	-42.452E-06	-46.181E-06	-55.503E-06	-64.610E-06	-73.933E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.12 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้นผิว Asphalt concrete ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-25.980E-06	-29.218E-06	-31.776E-06	-38.171E-06	-44.466E-06	-50.861E-06
0	-17.850E-06	-20.067E-06	-21.796E-06	-26.117E-06	-30.533E-06	-34.854E-06
4.23	-43.134E-06	-48.510E-06	-52.761E-06	-63.388E-06	-73.828E-06	-84.455E-06
6.34	-54.711E-06	-61.531E-06	-66.926E-06	-80.413E-06	-93.645E-06	-107.132E-06
8.46	-43.134E-06	-48.510E-06	-52.761E-06	-63.388E-06	-73.828E-06	-84.455E-06
12.69	-17.850E-06	-20.067E-06	-21.796E-06	-26.117E-06	-30.533E-06	-34.854E-06
16.92	-25.980E-06	-29.218E-06	-31.776E-06	-38.171E-06	-44.466E-06	-50.861E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.13 Radial Strains ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	55.989E-06	62.961E-06	68.452E-06	82.181E-06	95.814E-06	109.543E-06
4.23	40.455E-06	45.497E-06	49.483E-06	59.449E-06	69.242E-06	79.208E-06
6.34	27.695E-06	31.151E-06	33.894E-06	40.754E-06	47.412E-06	54.271E-06
8.46	17.295E-06	19.455E-06	21.180E-06	25.493E-06	29.614E-06	33.927E-06
12.69	5.245E-06	5.903E-06	6.440E-06	7.780E-06	8.989E-06	10.330E-06
16.92	-2.261E-06	-2.289E-06	-2.299E-06	-3.24E-06	-4.37E-06	-4.61E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.14 Radial Strains ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	45.186E-06	50.812E-06	55.241E-06	66.314E-06	77.325E-06	88.398E-06
4.23	34.640E-06	38.956E-06	42.366E-06	50.891E-06	59.287E-06	67.812E-06
6.34	25.355E-06	28.518E-06	31.025E-06	37.294E-06	43.404E-06	49.673E-06
8.46	17.205E-06	19.353E-06	21.064E-06	25.342E-06	29.458E-06	33.735E-06
12.69	6.745E-06	7.590E-06	8.272E-06	9.975E-06	11.556E-06	13.259E-06
16.92	1.618E-06	1.823E-06	1.996E-06	2.429E-06	2.778E-06	3.211E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.15 Radial Strains ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	57.571E-06	64.739E-06	70.381E-06	84.486E-06	98.518E-06	112.624E-06
4.23	41.935E-06	47.160E-06	51.288E-06	61.606E-06	71.772E-06	82.090E-06
6.34	30.364E-06	34.151E-06	37.154E-06	44.663E-06	51.977E-06	59.486E-06
8.46	19.924E-06	22.413E-06	24.396E-06	29.356E-06	34.115E-06	39.074E-06
12.69	7.178E-06	8.077E-06	8.805E-06	10.623E-06	12.298E-06	14.116E-06
16.92	1.131E-06	1.276E-06	1.405E-06	1.726E-06	1.947E-06	2.268E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.16 Radial Strains ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	47.635E-06	53.565E-06	58.232E-06	69.899E-06	81.514E-06	93.181E-06
4.23	36.199E-06	40.709E-06	44.270E-06	53.173E-06	61.954E-06	70.857E-06
6.34	27.397E-06	30.813E-06	33.520E-06	40.267E-06	46.896E-06	53.663E-06
8.46	18.971E-06	21.339E-06	23.225E-06	27.938E-06	32.480E-06	37.194E-06
12.69	7.736E-06	8.704E-06	9.484E-06	11.434E-06	13.251E-06	15.201E-06
16.92	2.146E-06	2.417E-06	2.644E-06	3.210E-06	3.682E-06	4.248E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.17 Radial Strains ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	55.643E-06	62.570E-06	68.023E-06	81.656E-06	95.218E-06	108.851E-06
4.23	40.044E-06	45.034E-06	48.976E-06	58.831E-06	68.537E-06	78.392E-06
6.34	28.243E-06	31.767E-06	34.564E-06	41.557E-06	48.350E-06	55.343E-06
8.46	17.621E-06	19.823E-06	21.582E-06	25.978E-06	30.174E-06	34.571E-06
12.69	5.074E-06	5.711E-06	6.232E-06	7.533E-06	8.697E-06	9.998E-06
16.92	-7.03E-06	-7.85E-06	-8.38E-06	-9.68E-06	1.192E-06	-1.322E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.18 Radial Strains ได้ล้อเดียวได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	44.079E-06	49.567E-06	53.883E-06	64.676E-06	75.429E-06	86.221E-06
4.23	33.498E-06	37.672E-06	40.966E-06	49.202E-06	57.331E-06	65.568E-06
6.34	25.262E-06	28.412E-06	30.910E-06	37.153E-06	43.243E-06	49.486E-06
8.46	17.048E-06	19.177E-06	20.874E-06	25.116E-06	29.190E-06	33.432E-06
12.69	6.181E-06	6.955E-06	7.582E-06	9.149E-06	10.590E-06	12.157E-06
16.92	0.884E-06	0.998E-06	1.100E-06	1.355E-06	1.523E-06	1.778E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.19 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40
-4.23	40.194E-06	45.207E-06	49.184E-06	59.125E-06	68.805E-06	78.746E-06
0	61.234E-06	68.864E-06	74.892E-06	89.962E-06	104.803E-06	119.873E-06
4.23	57.749E-06	64.952E-06	70.664E-06	84.942E-06	98.856E-06	113.135E-06
8.34	55.390E-06	62.301E-06	67.789E-06	81.508E-06	94.824E-06	108.543E-06
8.46	57.749E-06	64.952E-06	70.664E-06	84.942E-06	98.856E-06	113.135E-06
12.69	61.234E-06	68.864E-06	74.892E-06	89.962E-06	104.803E-06	119.873E-06
16.92	40.194E-06	45.207E-06	49.184E-06	59.125E-06	68.805E-06	78.746E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.20 Radial Strains ได้ล้อยู่ใต้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	21 ton	23 ton	25 ton
-4.23	36.258E-06	40.779E-06	44.363E-06	53.321E-06	62.065E-06	71.023E-06
0	51.931E-06	58.402E-06	63.513E-06	76.289E-06	88.881E-06	101.657E-06
4.23	51.845E-06	58.309E-06	63.431E-06	76.233E-06	88.744E-06	101.547E-06
6.34	50.711E-06	57.036E-06	62.051E-06	74.588E-06	86.807E-06	99.345E-06
8.46	51.845E-06	58.309E-06	63.431E-06	76.233E-06	88.744E-06	101.547E-06
12.69	51.931E-06	58.402E-06	63.513E-06	76.289E-06	88.881E-06	101.657E-06
16.92	36.258E-06	40.779E-06	44.363E-06	53.321E-06	62.065E-06	71.023E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.21 Radial Strains ได้ลึกลงได้ขึ้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	43.066E-06	48.437E-06	52.693E-06	63.332E-06	73.719E-06	84.359E-06
0	64.749E-06	72.816E-06	79.186E-06	95.109E-06	110.816E-06	126.740E-06
4.23	61.859E-06	69.573E-06	75.684E-06	90.961E-06	105.887E-06	121.165E-06
6.34	60.727E-06	68.302E-06	74.309E-06	89.326E-06	103.954E-06	118.971E-06
8.46	61.859E-06	69.573E-06	75.684E-06	90.961E-06	105.887E-06	121.165E-06
12.69	64.749E-06	72.816E-06	79.186E-06	95.109E-06	110.816E-06	126.740E-06
16.92	43.066E-06	48.437E-06	52.693E-06	63.332E-06	73.719E-06	84.359E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.22 Radial Strains ได้ลึกลงได้ขึ้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	38.345E-06	43.126E-06	46.914E-06	56.383E-06	65.636E-06	75.105E-06
0	55.371E-06	62.269E-06	67.716E-06	81.332E-06	94.766E-06	108.382E-06
4.23	55.170E-06	62.049E-06	67.495E-06	81.112E-06	94.435E-06	108.051E-06
6.34	54.793E-06	61.626E-06	67.040E-06	80.573E-06	93.793E-06	107.326E-06
8.46	55.170E-06	62.049E-06	67.495E-06	81.112E-06	94.435E-06	108.051E-06
12.69	55.371E-06	62.269E-06	67.716E-06	81.332E-06	94.766E-06	108.382E-06
16.92	38.345E-06	43.126E-06	46.914E-06	56.383E-06	65.636E-06	75.105E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.23 Radial Strains ได้ล้อยู่ได้ชั้น Soil cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	39.342E-06	44.249E-06	48.138E-06	57.863E-06	67.345E-06	77.070E-06
0	60.716E-06	68.281E-06	74.255E-06	89.189E-06	103.915E-06	118.849E-06
4.23	57.666E-06	64.858E-06	70.558E-06	84.809E-06	98.711E-06	112.963E-06
6.34	56.487E-06	63.534E-06	69.129E-06	83.115E-06	96.700E-06	110.686E-06
8.46	57.666E-06	64.858E-06	70.558E-06	84.809E-06	98.711E-06	112.963E-06
12.69	60.716E-06	68.281E-06	74.255E-06	89.189E-06	103.915E-06	118.849E-06
16.92	39.342E-06	44.249E-06	48.138E-06	57.863E-06	67.345E-06	77.070E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.24 Radial Strains ได้ล้อยู่ได้ชั้น Soil Cement Base ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	21 ton	23 ton	25 ton
-4.23	34.383E-06	38.670E-06	42.066E-06	50.557E-06	58.854E-06	67.345E-06
0	50.260E-06	56.522E-06	61.466E-06	73.825E-06	86.019E-06	98.378E-06
4.23	50.546E-06	56.849E-06	61.840E-06	74.318E-06	86.521E-06	98.999E-06
6.34	50.523E-06	56.825E-06	61.819E-06	74.306E-06	86.485E-06	98.973E-06
8.46	50.546E-06	56.849E-06	61.840E-06	74.318E-06	86.521E-06	98.999E-06
12.69	50.260E-06	56.522E-06	61.466E-06	73.825E-06	86.019E-06	98.378E-06
16.92	34.383E-06	38.670E-06	42.066E-06	50.557E-06	58.854E-06	67.345E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.25 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	12.613E-03	14.183E-03	15.417E-03	18.502E-03	21.583E-03	24.668E-03
4.23	11.991E-03	13.483E-03	14.655E-03	17.586E-03	20.518E-03	23.448E-03
6.34	11.356E-03	12.770E-03	13.883E-03	16.664E-03	19.433E-03	22.215E-03
8.46	10.777E-03	12.119E-03	13.175E-03	15.815E-03	18.442E-03	21.083E-03
12.69	10.065E-03	11.318E-03	12.304E-03	14.769E-03	17.224E-03	19.688E-03
16.92	9.637E-03	10.836E-03	11.780E-03	14.140E-03	16.490E-03	18.851E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.26 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	12.471E-03	14.024E-03	15.245E-03	18.298E-03	21.341E-03	24.394E-03
4.23	11.479E-03	12.907E-03	14.030E-03	16.835E-03	19.641E-03	22.447E-03
6.34	10.695E-03	12.027E-03	13.075E-03	15.694E-03	18.302E-03	20.921E-03
8.46	10.109E-03	11.367E-03	12.356E-03	14.834E-03	17.298E-03	19.775E-03
12.69	9.475E-03	10.654E-03	11.582E-03	13.902E-03	16.213E-03	18.533E-03
16.92	9.132E-03	10.266E-03	11.163E-03	13.398E-03	15.626E-03	17.862E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.27 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	10.014E-03	11.261E-03	12.245E-03	14.703E-03	17.138E-03	19.596E-03
4.23	9.390E-03	10.560E-03	11.481E-03	13.785E-03	16.070E-03	18.373E-03
6.34	8.405E-03	9.452E-03	10.275E-03	12.332E-03	14.383E-03	16.441E-03
8.46	8.227E-03	9.251E-03	10.056E-03	12.069E-03	14.078E-03	16.091E-03
12.69	7.858E-03	8.836E-03	9.606E-03	11.531E-03	13.447E-03	15.372E-03
16.92	7.398E-03	8.319E-03	9.045E-03	10.858E-03	12.660E-03	14.474E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.28 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	9.894E-03	11.127E-03	12.100E-03	14.531E-03	16.934E-03	19.365E-03
4.23	8.968E-03	10.085E-03	10.965E-03	13.167E-03	15.347E-03	17.549E-03
6.34	7.731E-03	8.694E-03	9.451E-03	11.344E-03	13.230E-03	15.123E-03
8.46	7.511E-03	8.446E-03	9.181E-03	11.018E-03	12.852E-03	14.689E-03
12.69	7.250E-03	8.153E-03	8.863E-03	10.638E-03	12.407E-03	14.182E-03
16.92	6.888E-03	7.745E-03	8.420E-03	10.108E-03	11.787E-03	13.475E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.29 Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	7.812E-03	8.785E-03	9.552E-03	11.470E-03	13.370E-03	15.287E-03
4.23	7.193E-03	8.089E-03	8.794E-03	10.559E-03	12.310E-03	14.074E-03
6.34	6.487E-03	7.294E-03	7.929E-03	9.516E-03	11.100E-03	12.687E-03
8.46	6.342E-03	7.132E-03	7.752E-03	9.305E-03	10.853E-03	12.405E-03
12.69	5.956E-03	6.698E-03	7.282E-03	8.741E-03	10.193E-03	11.652E-03
16.92	5.531E-03	6.220E-03	6.763E-03	8.120E-03	9.466E-03	10.823E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.30 Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	7.848E-03	8.826E-03	9.598E-03	11.528E-03	13.431E-03	15.362E-03
4.23	6.859E-03	7.714E-03	8.387E-03	10.072E-03	11.739E-03	13.423E-03
6.34	5.851E-03	6.579E-03	7.152E-03	8.584E-03	10.012E-03	11.444E-03
8.46	5.687E-03	6.395E-03	6.952E-03	8.343E-03	9.732E-03	11.123E-03
12.69	5.428E-03	6.104E-03	6.636E-03	7.965E-03	9.289E-03	10.619E-03
16.92	5.103E-03	5.739E-03	6.239E-03	7.491E-03	8.733E-03	9.985E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.31 Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	9.211E-03	10.357E-03	11.256E-03	13.502E-03	15.760E-03	18.007E-03
4.23	9.185E-03	10.328E-03	11.224E-03	13.464E-03	15.716E-03	17.956E-03
6.34	9.226E-03	10.375E-03	11.278E-03	13.537E-03	15.788E-03	18.047E-03
8.46	8.805E-03	9.902E-03	10.764E-03	12.921E-03	15.068E-03	17.225E-03
12.69	8.348E-03	9.387E-03	10.204E-03	12.247E-03	14.285E-03	16.328E-03
16.92	8.176E-03	9.193E-03	9.993E-03	11.994E-03	13.990E-03	15.990E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.32 Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	8.798E-03	9.892E-03	10.750E-03	12.894E-03	15.052E-03	17.197E-03
4.23	8.775E-03	9.867E-03	10.722E-03	12.862E-03	15.014E-03	17.153E-03
6.34	8.893E-03	10.000E-03	10.871E-03	13.048E-03	15.218E-03	17.394E-03
8.46	8.478E-03	9.533E-03	10.364E-03	12.441E-03	14.508E-03	16.584E-03
12.69	8.009E-03	9.006E-03	9.790E-03	11.750E-03	13.705E-03	15.665E-03
16.92	7.851E-03	8.828E-03	9.596E-03	11.516E-03	13.434E-03	15.354E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.33 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	7.980E-03	8.974E-03	9.756E-03	11.712E-03	13.657E-03	15.613E-03
4.23	7.922E-03	8.909E-03	9.686E-03	11.628E-03	13.558E-03	15.500E-03
6.34	7.403E-03	8.325E-03	9.049E-03	10.861E-03	12.668E-03	14.479E-03
8.46	7.313E-03	8.223E-03	8.939E-03	10.727E-03	12.514E-03	14.302E-03
12.69	7.128E-03	8.016E-03	8.713E-03	10.458E-03	12.198E-03	13.943E-03
16.92	6.819E-03	7.668E-03	8.336E-03	10.007E-03	11.669E-03	13.340E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.34 Vertical Displacement ได้ล้อเดียวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	7.379E-03	8.298E-03	9.002E-03	10.830E-03	12.628E-03	14.437E-03
4.23	7.337E-03	8.251E-03	8.971E-03	10.769E-03	12.556E-03	14.355E-03
6.34	6.771E-03	7.614E-03	8.277E-03	9.935E-03	11.587E-03	13.245E-03
8.46	6.647E-03	7.474E-03	8.124E-03	9.750E-03	11.374E-03	12.999E-03
12.69	6.525E-03	7.337E-03	7.975E-03	9.572E-03	11.165E-03	12.761E-03
16.92	6.293E-03	7.076E-03	7.692E-03	9.234E-03	10.768E-03	12.309E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.35 Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	5.785E-03	6.506E-03	7.072E-03	8.490E-03	9.900E-03	11.317E-03
4.23	5.734E-03	6.448E-03	7.010E-03	8.415E-03	9.812E-03	11.217E-03
6.34	5.493E-03	6.177E-03	6.714E-03	8.058E-03	9.400E-03	10.743E-03
8.46	5.449E-03	6.127E-03	6.661E-03	7.993E-03	9.324E-03	10.657E-03
12.69	5.255E-03	5.909E-03	6.424E-03	7.711E-03	8.993E-03	10.279E-03
16.92	4.985E-03	5.605E-03	6.094E-03	7.316E-03	8.530E-03	9.752E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.36 Vertical Displacement ได้ล้อเดี่ยวบนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset* (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	5.264E-03	5.919E-03	6.435E-03	7.725E-03	9.008E-03	10.298E-03
4.23	5.229E-03	5.880E-03	6.392E-03	7.674E-03	8.948E-03	10.229E-03
6.34	4.922E-03	5.534E-03	6.016E-03	7.220E-03	8.422E-03	9.626E-03
8.46	4.876E-03	5.483E-03	5.960E-03	7.152E-03	8.343E-03	9.536E-03
12.69	4.754E-03	5.346E-03	5.812E-03	6.975E-03	8.136E-03	9.299E-03
16.92	4.554E-03	5.121E-03	5.568E-03	6.683E-03	7.794E-03	8.909E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.37 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	21.638E-03	24.319E-03	26.435E-03	31.726E-03	37.008E-03	42.299E-03
0	22.678E-03	25.501E-03	27.721E-03	33.271E-03	38.807E-03	44.356E-03
4.23	22.768E-03	25.602E-03	27.830E-03	33.401E-03	38.960E-03	44.531E-03
6.34	22.712E-03	25.540E-03	27.766E-03	33.328E-03	38.866E-03	44.430E-03
8.46	22.768E-03	25.602E-03	27.830E-03	33.401E-03	38.960E-03	44.531E-03
12.69	22.678E-03	25.501E-03	27.721E-03	33.271E-03	38.807E-03	44.356E-03
16.92	21.638E-03	24.319E-03	26.435E-03	31.726E-03	37.008E-03	42.299E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.38 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	20.611E-03	23.175E-03	25.193E-03	30.233E-03	35.267E-03	40.309E-03
0	21.946E-03	24.678E-03	26.827E-03	32.200E-03	37.554E-03	42.927E-03
4.23	21.588E-03	24.274E-03	26.388E-03	31.669E-03	36.939E-03	42.222E-03
6.34	21.390E-03	24.054E-03	26.150E-03	31.388E-03	36.604E-03	41.842E-03
8.46	21.588E-03	24.274E-03	26.388E-03	31.669E-03	36.939E-03	42.222E-03
12.69	21.946E-03	24.678E-03	26.827E-03	32.200E-03	37.554E-03	42.927E-03
16.92	20.611E-03	23.175E-03	25.193E-03	30.233E-03	35.267E-03	40.309E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.39 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	16.788E-03	18.879E-03	20.526E-03	24.643E-03	28.730E-03	32.847E-03
0	17.872E-03	20.097E-03	21.851E-03	26.234E-03	30.585E-03	34.968E-03
4.23	17.617E-03	19.811E-03	21.537E-03	25.854E-03	30.148E-03	34.464E-03
6.34	16.810E-03	18.904E-03	20.550E-03	24.664E-03	28.766E-03	32.882E-03
8.46	17.617E-03	19.811E-03	21.537E-03	25.854E-03	30.148E-03	34.464E-03
12.69	17.872E-03	20.097E-03	21.851E-03	26.234E-03	30.585E-03	34.968E-03
16.92	16.788E-03	18.879E-03	20.526E-03	24.643E-03	28.730E-03	32.847E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.40 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	15.856E-03	17.830E-03	19.385E-03	23.375E-03	27.134E-03	31.024E-03
0	17.144E-03	19.280E-03	20.963E-03	25.169E-03	29.341E-03	33.547E-03
4.23	16.479E-03	18.531E-03	20.146E-03	24.185E-03	28.199E-03	32.238E-03
6.34	15.462E-03	17.386E-03	18.902E-03	22.688E-03	26.460E-03	30.246E-03
8.46	16.479E-03	18.531E-03	20.146E-03	24.185E-03	28.199E-03	32.238E-03
12.69	17.144E-03	19.280E-03	20.963E-03	25.169E-03	29.341E-03	33.547E-03
16.92	15.856E-03	17.830E-03	19.385E-03	23.375E-03	27.134E-03	31.024E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.41 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	12.724E-03	14.309E-03	15.557E-03	18.679E-03	21.776E-03	24.897E-03
0	13.768E-03	15.483E-03	16.834E-03	20.211E-03	23.563E-03	26.939E-03
4.23	13.535E-03	15.221E-03	16.546E-03	19.864E-03	23.163E-03	26.479E-03
6.34	12.974E-03	14.588E-03	15.858E-03	19.032E-03	22.200E-03	25.374E-03
8.46	13.535E-03	15.221E-03	16.546E-03	19.864E-03	23.163E-03	26.479E-03
12.69	13.768E-03	15.483E-03	16.834E-03	20.211E-03	23.563E-03	26.939E-03
16.92	12.724E-03	14.309E-03	15.557E-03	18.679E-03	21.776E-03	24.897E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.42 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนชั้นผิว Asphalt Concrete ตามค่าน้ำหนักบรรทุก
ต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	11.962E-03	13.453E-03	14.626E-03	17.563E-03	20.472E-03	23.408E-03
0	13.276E-03	14.930E-03	16.234E-03	19.493E-03	22.720E-03	25.981E-03
4.23	12.546E-03	14.109E-03	15.339E-03	18.415E-03	21.471E-03	24.546E-03
6.34	11.702E-03	13.158E-03	14.304E-03	17.168E-03	20.024E-03	22.888E-03
8.46	12.546E-03	14.109E-03	15.339E-03	18.415E-03	21.471E-03	24.546E-03
12.69	13.276E-03	14.930E-03	16.234E-03	19.493E-03	22.720E-03	25.981E-03
16.92	11.962E-03	13.453E-03	14.626E-03	17.563E-03	20.472E-03	23.408E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.43 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	17.361E-03	19.521E-03	21.217E-03	25.458E-03	29.706E-03	33.946E-03
0	17.559E-03	19.744E-03	21.460E-03	25.749E-03	30.045E-03	34.335E-03
4.23	17.990E-03	20.230E-03	21.988E-03	26.385E-03	30.784E-03	35.181E-03
6.34	18.452E-03	20.750E-03	22.556E-03	27.074E-03	31.576E-03	36.094E-03
8.46	17.990E-03	20.230E-03	21.988E-03	26.385E-03	30.784E-03	35.181E-03
12.69	17.559E-03	19.744E-03	21.460E-03	25.749E-03	30.045E-03	34.335E-03
16.92	17.361E-03	19.521E-03	21.217E-03	25.458E-03	29.706E-03	33.946E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.44 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	16.626E-03	18.695E-03	20.318E-03	24.378E-03	28.448E-03	32.507E-03
0	16.807E-03	18.898E-03	20.540E-03	24.644E-03	28.757E-03	32.862E-03
4.23	17.253E-03	19.400E-03	21.086E-03	25.303E-03	29.522E-03	33.737E-03
6.34	17.786E-03	20.000E-03	21.742E-03	26.096E-03	30.436E-03	34.788E-03
8.46	17.253E-03	19.400E-03	21.086E-03	25.303E-03	29.522E-03	33.737E-03
12.69	16.807E-03	18.898E-03	20.540E-03	24.644E-03	28.757E-03	32.862E-03
16.92	16.626E-03	18.695E-03	20.318E-03	24.378E-03	28.448E-03	32.507E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.45 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	14.741E-03	16.577E-03	18.022E-03	21.635E-03	25.227E-03	28.840E-03
0	15.108E-03	16.990E-03	18.469E-03	22.170E-03	25.855E-03	29.556E-03
4.23	15.235E-03	17.132E-03	18.625E-03	22.355E-03	26.072E-03	29.802E-03
6.34	14.806E-03	16.650E-03	18.098E-03	21.722E-03	25.336E-03	28.958E-03
8.46	15.235E-03	17.132E-03	18.625E-03	22.355E-03	26.072E-03	29.802E-03
12.69	15.108E-03	16.990E-03	18.469E-03	22.170E-03	25.855E-03	29.556E-03
16.92	14.741E-03	16.577E-03	18.022E-03	21.635E-03	25.227E-03	28.840E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.46 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ
สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	13.630E-03	15.327E-03	16.663E-03	20.003E-03	23.324E-03	26.664E-03
0	13.904E-03	15.635E-03	16.997E-03	20.402E-03	23.793E-03	27.198E-03
4.23	13.984E-03	15.725E-03	17.095E-03	20.519E-03	23.930E-03	27.354E-03
6.34	13.542E-03	15.228E-03	16.554E-03	19.870E-03	23.174E-03	26.490E-03
8.46	13.984E-03	15.725E-03	17.095E-03	20.519E-03	23.930E-03	27.354E-03
12.69	13.904E-03	15.635E-03	16.997E-03	20.402E-03	23.793E-03	27.198E-03
16.92	13.630E-03	15.327E-03	16.663E-03	20.003E-03	23.324E-03	26.664E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.47 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	10.719E-03	12.053E-03	13.104E-03	15.731E-03	18.342E-03	20.969E-03
0	11.040E-03	12.415E-03	13.496E-03	16.201E-03	18.893E-03	21.596E-03
4.23	11.183E-03	12.575E-03	13.671E-03	16.408E-03	19.136E-03	21.874E-03
6.34	10.986E-03	12.354E-03	13.428E-03	16.116E-03	18.800E-03	21.486E-03
8.46	11.183E-03	12.575E-03	13.671E-03	16.408E-03	19.136E-03	21.874E-03
12.69	11.040E-03	12.415E-03	13.496E-03	16.201E-03	18.893E-03	21.596E-03
16.92	10.719E-03	12.053E-03	13.104E-03	15.731E-03	18.342E-03	20.969E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.48 Vertical Displacement ได้ล้อยู่บนผิว Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	9.783E-03	11.001E-03	11.960E-03	14.357E-03	16.742E-03	19.138E-03
0	10.018E-03	11.265E-03	12.247E-03	14.700E-03	17.144E-03	19.597E-03
4.23	10.105E-03	11.363E-03	12.352E-03	14.826E-03	17.291E-03	19.765E-03
6.34	9.844E-03	11.068E-03	12.032E-03	14.440E-03	16.844E-03	19.252E-03
8.46	10.105E-03	11.363E-03	12.352E-03	14.826E-03	17.291E-03	19.765E-03
12.69	10.018E-03	11.265E-03	12.247E-03	14.700E-03	17.144E-03	19.597E-03
16.92	9.783E-03	11.001E-03	11.960E-03	14.357E-03	16.742E-03	19.138E-03

หมายเหตุ หน่วยเป็นนิ้ว

ตารางที่ ข.49 Vertical Strains ได้ล้อเดียวบนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-110.269E-06	-124.004E-06	-134.834E-06	-161.909E-06	-188.714E-06	-215.789E-06
4.23	-109.063E-06	-122.649E-06	-133.364E-06	-160.151E-06	-186.652E-06	-213.440E-06
6.34	-95.586E-06	-107.802E-06	-117.198E-06	-140.688E-06	-164.005E-06	-187.542E-06
8.46	-92.586E-06	-104.110E-06	-113.170E-06	-135.821E-06	-158.430E-06	-181.081E-06
12.69	-90.000E-06	-101.200E-06	-110.014E-06	-132.048E-06	-154.004E-06	-176.037E-06
16.92	-84.485E-06	-95.006E-06	-103.298E-06	-124.026E-06	-144.582E-06	-165.311E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.50 Vertical Strains ได้ล้อเดียวบนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-100.912E-06	-113.482E-06	-123.400E-06	-148.192E-06	-172.703E-06	-197.496E-06
4.23	-99.953E-06	-112.404E-06	-122.230E-06	-146.794E-06	-171.063E-06	-195.627E-06
6.34	-86.111E-06	-96.833E-06	-105.276E-06	-126.384E-06	-147.359E-06	-168.467E-06
8.46	-82.757E-06	-93.057E-06	-101.155E-06	-121.401E-06	-141.610E-06	-161.856E-06
12.69	-81.019E-06	-91.104E-06	-99.036E-06	-118.865E-06	-138.639E-06	-158.468E-06
16.92	-76.824E-06	-86.391E-06	-93.927E-06	-112.768E-06	-131.471E-06	-150.312E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.51 Vertical Strains ได้ล้อเดียวบนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-131.399E-06	-147.751E-06	-160.601E-06	-192.725E-06	-224.840E-06	-256.964E-06
4.23	-126.339E-06	-142.064E-06	-154.429E-06	-185.341E-06	-216.187E-06	-247.099E-06
6.34	-127.074E-06	-142.889E-06	-155.321E-06	-186.400E-06	-217.442E-06	-248.521E-06
8.46	-123.046E-06	-138.366E-06	-150.430E-06	-180.590E-06	-210.565E-06	-240.726E-06
12.69	-105.998E-06	-119.204E-06	-129.631E-06	-155.696E-06	-181.413E-06	-207.479E-06
16.92	-88.387E-06	-99.405E-06	-108.123E-06	-129.917E-06	-151.287E-06	-173.082E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.52 Vertical Strains ได้ล้อเดียวบนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-106.858E-06	-120.159E-06	-130.620E-06	-156.772E-06	-182.854E-06	-209.006E-06
4.23	-103.654E-06	-116.558E-06	-126.712E-06	-152.098E-06	-177.376E-06	-202.761E-06
6.34	-103.663E-06	-116.563E-06	-126.698E-06	-152.036E-06	-177.379E-06	-202.716E-06
8.46	-102.501E-06	-115.261E-06	-125.301E-06	-150.400E-06	-175.401E-06	-200.501E-06
12.69	-91.383E-06	-102.766E-06	-111.746E-06	-134.195E-06	-156.394E-06	-178.843E-06
16.92	-78.371E-06	-88.138E-06	-95.858E-06	-115.158E-06	-134.137E-06	-153.438E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.53 Vertical Strains ได้ล้อย่อยบนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับ
ถนน สายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-107.110E-06	-120.436E-06	-130.899E-06	-157.055E-06	-183.270E-06	-209.426E-06
4.23	-102.679E-06	-115.456E-06	-125.495E-06	-150.590E-06	-175.694E-06	-200.790E-06
6.34	-104.111E-06	-117.069E-06	-127.260E-06	-152.736E-06	-178.152E-06	-203.628E-06
8.46	-99.175E-06	-111.524E-06	-121.254E-06	-145.579E-06	-169.719E-06	-194.044E-06
12.69	-83.953E-06	-94.413E-06	-102.675E-06	-123.329E-06	-143.686E-06	-164.340E-06
16.92	-68.861E-06	-77.446E-06	-84.244E-06	-101.239E-06	-117.869E-06	-134.864E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ ข.54 Vertical Strains ได้ล้อย่อยบนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ สำหรับ
ถนน สายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
0	-82.924E-06	-93.244E-06	-101.350E-06	-121.617E-06	-141.892E-06	-162.159E-06
4.23	-80.271E-06	-90.261E-06	-98.114E-06	-117.746E-06	-137.355E-06	-156.987E-06
6.34	-82.101E-06	-92.319E-06	-100.347E-06	-120.417E-06	-140.485E-06	-160.555E-06
8.46	-80.270E-06	-90.264E-06	-98.131E-06	-117.796E-06	-137.363E-06	-157.031E-06
12.69	-70.452E-06	-79.229E-06	-86.154E-06	-103.467E-06	-120.574E-06	-137.887E-06
16.92	-59.828E-06	-67.285E-06	-73.181E-06	-87.923E-06	-102.401E-06	-117.143E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ 4.55 Vertical Strains ได้ล้อยู่บนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 1

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-193.548E-06	-217.655E-06	-236.662E-06	-284.177E-06	-331.235E-06	-378.751E-06
0	-200.266E-06	-225.205E-06	-244.848E-06	-293.957E-06	-342.717E-06	-381.826E-06
4.23	-201.649E-06	-226.759E-06	-246.534E-06	-295.973E-06	-345.082E-06	-394.520E-06
6.34	-191.732E-06	-215.603E-06	-234.396E-06	-281.377E-06	-328.104E-06	-375.083E-06
8.46	-201.649E-06	-226.759E-06	-246.534E-06	-295.973E-06	-345.082E-06	-394.520E-06
12.69	-200.266E-06	-225.205E-06	-244.848E-06	-293.957E-06	-342.717E-06	-381.826E-06
16.92	-193.548E-06	-217.655E-06	-236.662E-06	-284.177E-06	-331.235E-06	-378.751E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ 4.56 Vertical Strains ได้ล้อยู่บนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 2

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-176.777E-06	-198.795E-06	-216.158E-06	-259.562E-06	-302.534E-06	-345.939E-06
0	-181.931E-06	-204.586E-06	-222.435E-06	-267.057E-06	-311.342E-06	-355.964E-06
4.23	-182.709E-06	-205.461E-06	-223.386E-06	-268.195E-06	-312.673E-06	-357.483E-06
6.34	-172.221E-06	-193.665E-06	-210.552E-06	-252.767E-06	-294.719E-06	-336.934E-06
8.46	-182.709E-06	-205.461E-06	-223.386E-06	-268.195E-06	-312.673E-06	-357.483E-06
12.69	-181.931E-06	-204.586E-06	-222.435E-06	-267.057E-06	-311.342E-06	-355.964E-06
16.92	-176.777E-06	-198.795E-06	-216.158E-06	-259.562E-06	-302.534E-06	-345.939E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ 4.57 Vertical Strains ได้ล้อยู่บนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับ
ถนนสายที่ 3

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-214.726E-06	-241.469E-06	-262.552E-06	-315.258E-06	-367.475E-06	-420.181E-06
0	-237.397E-06	-266.956E-06	-290.232E-06	-348.421E-06	-406.253E-06	-464.442E-06
4.23	-249.384E-06	-280.430E-06	-304.859E-06	-365.931E-06	-426.753E-06	-487.825E-06
6.34	-254.148E-06	-285.779E-06	-310.643E-06	-372.800E-06	-434.884E-06	-497.042E-06
8.46	-249.384E-06	-280.430E-06	-304.859E-06	-365.931E-06	-426.753E-06	-487.825E-06
12.69	-237.397E-06	-266.956E-06	-290.232E-06	-348.421E-06	-406.253E-06	-464.442E-06
16.92	-214.726E-06	-241.469E-06	-262.552E-06	-315.258E-06	-367.475E-06	-420.181E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ 4.58 Vertical Strains ได้ล้อยู่บนชั้น Subgrade ตามค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับ
ถนนสายที่ 4

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-182.025E-06	-204.696E-06	-222.571E-06	-267.256E-06	-311.513E-06	-356.199E-06
0	-198.241E-06	-222.925E-06	-242.366E-06	-290.967E-06	-339.248E-06	-387.849E-06
4.23	-206.155E-06	-231.819E-06	-252.013E-06	-302.497E-06	-352.777E-06	-403.262E-06
6.34	-207.326E-06	-233.127E-06	-253.396E-06	-304.071E-06	-354.757E-06	-405.432E-06
8.46	-206.155E-06	-231.819E-06	-252.013E-06	-302.497E-06	-352.777E-06	-403.262E-06
12.69	-198.241E-06	-222.925E-06	-242.366E-06	-290.967E-06	-339.248E-06	-387.849E-06
16.92	-182.025E-06	-204.696E-06	-222.571E-06	-267.256E-06	-311.513E-06	-356.199E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ 4.59 Vertical Strains ได้ล้อยู่บนชั้น Subgrade ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกต่างๆ สำหรับถนนสายที่ 5

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-171.540E-06	-192.903E-06	-209.739E-06	-251.829E-06	-293.563E-06	-335.654E-06
0	-191.062E-06	-214.849E-06	-233.574E-06	-280.384E-06	-326.955E-06	-373.766E-06
4.23	-201.854E-06	-226.981E-06	-246.749E-06	-296.169E-06	-345.413E-06	-394.834E-06
6.34	-208.221E-06	-234.139E-06	-254.520E-06	-305.472E-06	-356.304E-06	-407.256E-06
8.46	-201.854E-06	-226.981E-06	-246.749E-06	-296.169E-06	-345.413E-06	-394.834E-06
12.69	-191.062E-06	-214.849E-06	-233.574E-06	-280.384E-06	-326.955E-06	-373.766E-06
16.92	-171.540E-06	-192.903E-06	-209.739E-06	-251.829E-06	-293.563E-06	-335.654E-06

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ตารางที่ 4.80 Vertical Strains ได้ล้อยู่บนชั้น Subgrade ตามตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ สำหรับถนนสายที่ 6

Offset (inch)	น้ำหนักบรรทุก					
	21 ton	23 ton	25 ton	30 ton	35 ton	40 ton
-4.23	-140.098E-06	-157.546E-06	-171.295E-06	-205.668E-06	-239.756E-06	-274.129E-06
0	-153.376E-06	-172.472E-06	-187.504E-06	-225.084E-06	-262.466E-06	-300.046E-06
4.23	-160.541E-06	-180.525E-06	-196.245E-06	-235.544E-06	-274.718E-06	-314.017E-06
6.34	-164.203E-06	-184.637E-06	-200.693E-06	-240.834E-06	-280.969E-06	-321.110E-06
8.46	-160.541E-06	-180.525E-06	-196.245E-06	-235.544E-06	-274.718E-06	-314.017E-06
12.69	-153.376E-06	-172.472E-06	-187.504E-06	-225.084E-06	-262.466E-06	-300.046E-06
16.92	-140.098E-06	-157.546E-06	-171.295E-06	-205.668E-06	-239.756E-06	-274.129E-06

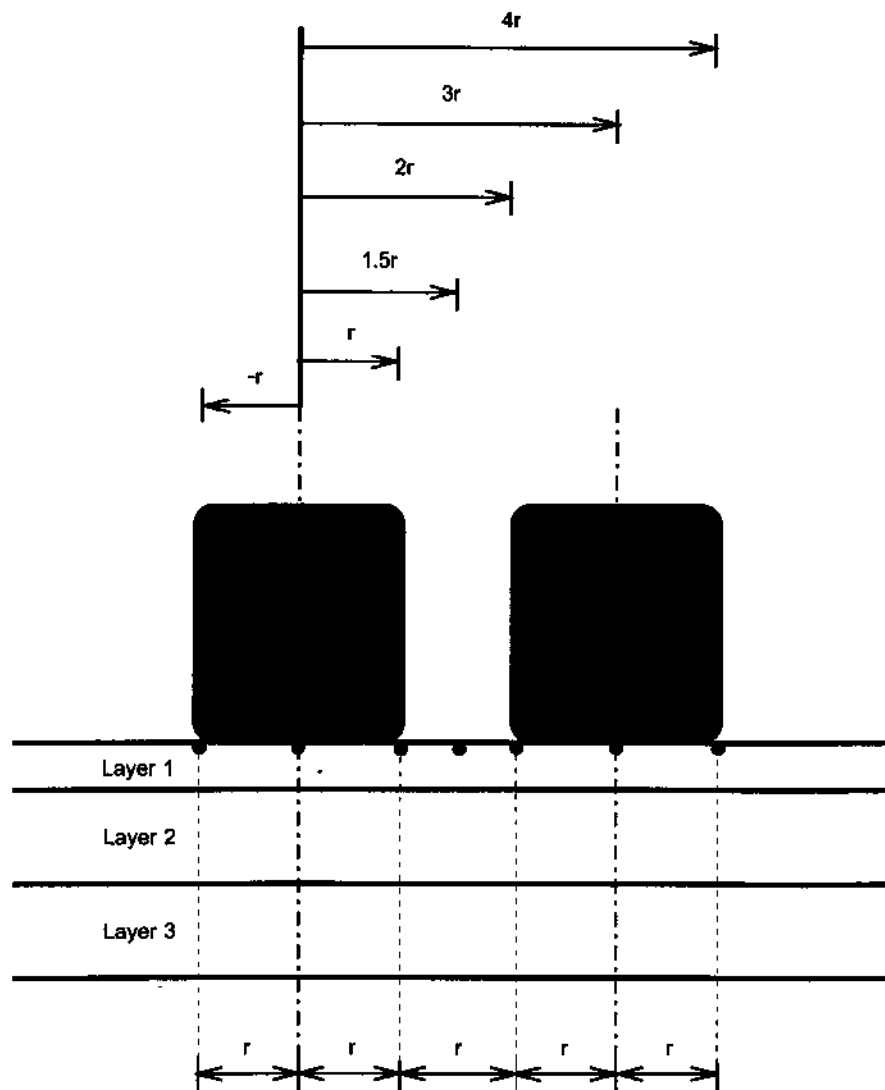
หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็น Tensile Strain
เครื่องหมายลบเป็น Compressive Strain

ภาคผนวก ค.

**แสดง Diagram ของ Dual Wheel Load และระยะ
ต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์**

ภาคผนวก ค

แสดง Diagram ของ Dual Wheel Load และระยะต่างๆที่ทำการวิเคราะห์



จุดที่ทำการวิเคราะห์ ที่ $-r$, 0 , r , $1.5r$, $2r$, $3r$, และ $4r$ จากจุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว โดยที่ r เป็นรัศมีของล้อ ส่วนความลึกนั้นที่จุดต่อเนื่องระหว่างชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างชั้นทาง และที่จุดกึ่งกลางชั้น

รายงานฉบับที่ : วพ. 176 ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง

ผู้เขียน : ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์
: สกิตยพงษ์ อภิเมธีธารัง

ชื่อเรื่อง : การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็น Soil-Cement และรองพื้นทางเป็นวัสดุมวลรวมภายใต้รถบรรทุกปกติดึงหนักมาก

บทคัดย่อ : ปัจจุบันปริมาณการจราจรได้เพิ่มมากขึ้นทั้งจำนวนและขนาดของน้ำหนักบรรทุก โดยปกติน้ำหนักบรรทุกตามกฎหมายกำหนดไว้ที่ 21 ตัน สำหรับรถบรรทุก 3 เพลา แต่ในสภาพความเป็นจริงรถบรรทุกที่สัญจรไปมาบนถนน มีน้ำหนักเกินพิกัดที่กฎหมายกำหนดเป็นจำนวนมาก ทำให้โครงสร้างชั้นทางเกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานสั้นลงถนนบางสายที่ออกแบบโดยกรมทางหลวงต้องรับปริมาณการจราจรสูงถึง 80-160 ล้านเที่ยว ตลอดช่วงอายุการใช้งาน 15-20 ปี ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางตามแนวทาง Empirical Method ที่ผ่าน พบว่าจะเชื่อถือได้สำหรับปริมาณการจราจรไม่เกิน 10 ล้านเที่ยว วิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทางให้รับปริมาณการจราจรได้สูงถึง 100-200 ล้านเที่ยว และมีรถบรรทุกหนักมากที่เหมาะสม ควรใช้วิธีการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method ซึ่งจะทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วัสดุปรับปรุงคุณภาพที่แข็งแรงกว่า ทำให้โครงสร้างชั้นทางมีความแข็งแรงสามารถรับปริมาณการจราจรที่สูงมากได้ และมีอายุการใช้งานได้นาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาถึงพฤติกรรมการเกิด Strain และ Deflection เปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างถนนที่มีดินซีเมนต์ปลอตรอยแตกเป็นพื้นทาง และวัสดุมวลรวมเป็นรองพื้นทาง ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกปกติ 21, 23 และ 25 ตัน และ น้ำหนัก บรรทุกหนักมาก 30, 35 และ 40 ตัน โดยมีค่า Subgrade CBR มีค่าเท่ากับ 2, 4 และ 6 โดยใช้โปรแกรม PSAD 2A-PC เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและสภาพของการจราจรในประเทศไทย

จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงค่า Radial tensile strain ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นพื้นทาง ดินซีเมนต์สำหรับถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ และค่า Vertical Compressive Strain บนผิวหน้าของชั้นดินคันทาง ตามสภาพน้ำหนักบรรทุกและค่า Subgrade CBR ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถือเป็นค่าวิกฤตสำหรับการออกแบบตามแนวทาง Analytical Method ของโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ ส่วนสาระสำคัญอื่นๆ สามารถสรุปได้จากการศึกษานี้

ศัพท์เฉพาะเรื่อง การออกแบบโดยการสังเกตและทดลอง, การออกแบบโดยวิธีวิเคราะห์, การวิเคราะห์โครงสร้างถนน, การบรรทุกเกินพิกัด, ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

ทล. วพ./ร/2541/ท.

ISSN 1025 - 8044

Report No. : RD. 176, Road Research and Development Center, Department of Highways

Author : Teeracharti Ruenkrairegsa
: Satitpong Apimeteetamrong

Title : Pavement Analysis of The Asphalt Road Containing Uncracked Soil-Cement Base and Soil Aggregate Subbase in Relation to Normal Trucks to Very Heavy Trucks

Abstract Today traffic volume and traffic loading tend to increase quite drastically. The legal loading for three axles are 21 ton. Actually, there are many overloaded trucks pass through the highway in the country which cause severe damage on pavement structure and reduce service life of road. Some roads or road sections have to tolerate the load repetitions as high as 80-160 million single axle (MSA) during the service life of 15-20 years. In designing the asphalt pavement following the empirical method it is generally found that design will be reliable for the traffic repetitions of not greater than 10 MSA. So asphalt pavement design for the heavy traffic volume road of 100-200 MSA should employ the analytical method. By this design method pavement engineer could select some stronger materials to make more stable pavement to carry very heavy traffic load.

The objective of this study is to conduct the comparative evaluation of strain and deflection in the asphalt pavement containing soil-cement base under the truck loads of 21, 23, 25 30 35 and 40 tons for the roads with subgrade CBR of 2,4 and 6. This will be investigated by the use of the PSAD2A-PC program for the save of serving as a guideline for developing the analytical pavement design for the climatic and traffic environments in Thailand.

Results of analysis tend to indicate that radial tensile strains under the soil-cement base as well as vertical compressive strain on subgrade are used as criteria to design the pavement structure by analytical methods. Details of strain and deflection developed in the pavement under different loads could be found from this study.

Keywords Empirical Design, Analytical Design, Pavement Analysis, Truck Overloading Soil-Cement Base

DH RD/F/1998/T

ISSN 0125 - 8044

คณะกรรมการบริหาร ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง

1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ	ประธานกรรมการ
2. ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
3. ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง	กรรมการ
4. ผู้อำนวยการกองบำรุง	กรรมการ
5. ผู้อำนวยการกองวิศวกรรมจราจร	กรรมการ
6. ผู้อำนวยการสำนักเครื่องกลและสื่อสาร	กรรมการ
7. นายสุนทร กังวานพนิชย์	กรรมการ
8. นายอร่าม ก้อนสมบัติ	กรรมการ
9. ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์	กรรมการและเลขานุการ