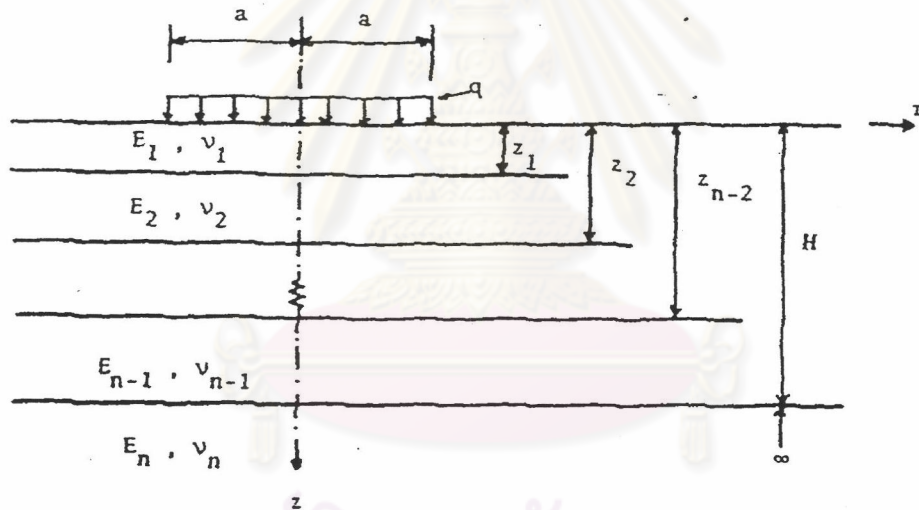


บทที่ 5

การวิเคราะห์โครงสร้างถนนโดยโปรแกรม Kenlayer

5.1 รายละเอียดของโปรแกรม Kenlayer

โปรแกรม Kenlayer เป็นโปรแกรมที่เขียนโดยภาษา FORTRAN 77 ได้พัฒนาขึ้นโดย Professor Yang H. Huang แห่งมหาวิทยาลัย Kentucky เพื่อการวิเคราะห์ห้ออกแบบโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่น (Flexible Pavement) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นวัสดุยืดหยุ่นหลายชั้นทาง (Elastic Multi Layer) ภายใต้พื้นที่รับ Load แบบวงกลม ทั้งแบบล้อเดี่ยว (Single Wheel Load) หรือแบบหลายล้อ (Multiple Wheels Load) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่นหลายชั้นทางในระบบพิกัดทรงกระบอก

ที่มา : Huang (1993)

โปรแกรม Kenlayer สามารถวิเคราะห์โครงสร้างถนนที่มีคุณสมบัติวัสดุเป็นแบบ Linear Elastic แบบ Nonlinear Elastic และแบบ Viscoelastic นอกจากนั้น โปรแกรม Kenlayer สามารถวิเคราะห์การถูกทำลายของถนน (Damage Analysis) เนื่องจาก Load ที่มีลักษณะแตกต่างกันภายในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละปี โดยสามารถกำหนดคุณสมบัติของวัสดุแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา ผลของการทำลายเนื่องจาก Fatigue Cracking และการทรุดตัวของชั้นทางเนื่องจาก Load ที่กระทำในแต่ละช่วงเวลา จะถูกรวบรวมเข้าด้วยกัน เพื่อประเมินอายุการใช้งานของถนน

สำหรับ โครงสร้างชั้นผิวทางนั้น ได้กำหนดคุณสมบัติวัสดุเป็น 3 แบบ คือ แบบ Linear Elastic ซึ่งโปรแกรม Kenlayer จะทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชั้นมีค่าคงที่ตลอดความหนาของชั้นวัสดุนั้น แบบ Nonlinear Elastic ซึ่งโปรแกรม Kenlayer จะทำการวิเคราะห์ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุชั้นรองพื้นทางมีค่าไม่คงที่ (แปรผันตามค่า Exponential of Bulk Stress) และแบบ Viscoelastic ซึ่งโปรแกรม Kenlayer จะทำการวิเคราะห์ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นผิวทางมีค่าไม่คงที่ (เนื่องจากพฤติกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์จะเปลี่ยนผันเนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่แรงกดกระทำต่อวัสดุ เมื่อมีการวิเคราะห์โดยมีแรงกดที่กระทำเป็นแบบหลายล้อ (Multiple Wheels Load)) แล้วโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์โดยรวมผลจากแรงกระทำของแต่ละล้อ โดยในตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 จะแสดงคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic แบบ Nonlinear Elastic และแบบ Viscoelastic ตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

วัสดุ	คุณสมบัติ	ขนาด	หมายเหตุ
Asphalt Concrete	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,000	ได้จากการทดสอบตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้มวลรวมจากจังหวัด กาญจนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี และสระบุรี ซึ่งค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับผลทดสอบที่ได้
	Poisson's Ratio (μ)	0.4	แนะนำโดย NAASRA (1987) และ AUSTROADS (1992)
Cemented Materials	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,000	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Soft Lateritic Soil-Cement (แหล่งจังหวัดสระแก้ว และจังหวัดปราจีนบุรี)
		3,000	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Hard Lateritic Soil - Cement (แหล่งจังหวัดชลบุรี)
	Poisson's Ratio (μ)	0.2	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Soft Lateritic Soil-Cement และ Hard Lateritic Soil-Cement
Untreated Granular Subbase	Resilient Modulus (M_r), MPa	90	ได้จากการทดสอบของนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับดินลูกรังกลุ่ม A-1-a (แหล่งจังหวัดชลบุรี) กลุ่ม A-2-4 และ A-2-6 (แหล่งจังหวัดสระแก้ว และจังหวัดปราจีนบุรี)
	Poisson's Ratio (μ)	0.35	ได้จากการทดสอบของนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับดินลูกรังกลุ่ม A-1-a , A-2-4 และ A-2-6
Subgrade Soil	Resilient Modulus (M_r), MPa	10, 20, 50 และ 100	เป็นค่าที่กำหนดเพื่อใช้ในการออกแบบ Design Chart
	Poisson's Ratio (μ)	0.45	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) และนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543)

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic

วัสดุ	คุณสมบัติ	ขนาด	หมายเหตุ
Asphalt Concrete	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,000	ได้จากการทดสอบตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้มวลรวมจากจังหวัด กาญจนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี และสระบุรี ซึ่งค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับผลทดสอบที่ได้
	Poisson's Ratio (μ)	0.4	แนะนำโดย NAASRA (1987) และ AUSTROADS (1992)
Cemented Materials	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,000	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Soft Lateritic Soil-Cement (แหล่งจังหวัดสระแก้ว และจังหวัดปราจีนบุรี)
		3,000	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Hard Lateritic Soil - Cement (แหล่งจังหวัดชลบุรี)
	Poisson's Ratio (μ)	0.2	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Soft Lateritic Soil-Cement และ Hard Lateritic Soil-Cement
Untreated Granular Subbase	Resilient Modulus (M_r), MPa	$380\theta^{0.35}$	ได้จากการทดสอบของนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับ ดินลูกรังกลุ่ม A-1-a (แหล่งจังหวัดชลบุรี)
		$450\theta^{0.25}$	ได้จากการทดสอบของนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับ ดินลูกรังกลุ่ม A-2-4 และ A-2-6 (แหล่งจังหวัดสระแก้ว และจังหวัดปราจีนบุรี)
	Poisson's Ratio (μ)	0.35	ได้จากการทดสอบของนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับ ดินลูกรังกลุ่ม A-1-a, A-2-4 และ A-2-6
Subgrade Soil	Resilient Modulus (M_r), MPa	10, 20, 50 และ 100	เป็นค่าที่กำหนดเพื่อใช้ในการออกแบบ Design Chart
	Poisson's Ratio (μ)	0.45	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) และนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ (2543)

โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบชั้นรองพื้นทางดังนี้

SLOPE OF LOAD DISTRIBUTION (SLD) = .00000

TOLERANCE (DELNOL) FOR NONLINEAR ANALYSIS = .01000

RELAXATION FACTORS (RELAX) FOR NONLINEAR ANALYSIS OF EACH PERIOD ARE:

.50000

UNIT WEIGHT OF LAYERS (GAM) ARE : 22.78900 (AC Surface) 22.78900 (Soil-Cement Base) 22.45800 (Granular Subbase) 19.53300 (Subgrade Soil)

LAYER NO.= 3 NCLAY= 0 K2= .35000 K0= .60000

FOR PERIOD 1 LAYER NO.= 3 NCLAY=0 EMIN= .7000E+05 K1= .3400E+05



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนแบบ Viscolastic

วัสดุ	คุณสมบัติ	ขนาด	หมายเหตุ
Asphalt Concrete	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,000	ได้จากการทดสอบตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้มวลรวมจากจังหวัด กาญจนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี และสระบุรี ซึ่งค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับผลทดสอบที่ได้
	Poisson's Ratio (μ)	0.4	แนะนำโดย NAASRA (1987) และ AUSTROADS (1992)
Cemented Materials	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,000	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Soft Lateritic Soil-Cement (แหล่งจังหวัดสระแก้ว และจังหวัดปราจีนบุรี)
		3,000	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Hard Lateritic Soil - Cement (แหล่งจังหวัดชลบุรี)
	Poisson's Ratio (μ)	0.2	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) สำหรับ Soft Lateritic Soil-Cement และ Hard Lateritic Soil-Cement
Untreated Granular Subbase	Resilient Modulus (M_r), MPa	$380\theta^{0.35}$	ได้จากการทดสอบของนายวรกร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับ ดินลูกรังกลุ่ม A-1-a (แหล่งจังหวัดชลบุรี)
		$450\theta^{0.25}$	ได้จากการทดสอบของนายวรกร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับ ดินลูกรังกลุ่ม A-2-4 และ A-2-6 (แหล่งจังหวัดสระแก้ว และจังหวัดปราจีนบุรี)
	Poisson's Ratio (μ)	0.35	ได้จากการทดสอบของนายวรกร กริมวงษ์รัตน์ (2543) สำหรับ ดินลูกรังกลุ่ม A-1-a, A-2-4 และ A-2-6
Subgrade Soil	Resilient Modulus (M_r), MPa	10, 20, 50, และ 100	เป็นค่าที่กำหนดเพื่อใช้ในการออกแบบ Design Chart
	Poisson's Ratio (μ)	0.45	ได้จากการทดสอบของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ (2543) และนายวรกร กริมวงษ์รัตน์ (2543)

โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและชั้นรองพื้น
ทางดินลูกรังดังนี้

LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) = 1

CREEP TIMES (TYME) ARE: .100E-02 .300E-02 .100E-01 .300E-01 .100E+00 .300E+00
.100E+01 .300E+01 .100E+02 .300E+02 .100E+03

FOR LAYER 1 TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) = .11300

REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) = 70.00000

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 70.00000
ARE: .126E-04 .131E-04 .148E-04 .153E-04 .175E-04 .230E-04 .388E-04 .701E-04
.134E-03 .232E-03 .572E-03

FOR PERIOD NO.1 LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1 .1011E+03

SLOPE OF LOAD DISTRIBUTION (SLD) = .00000

TOLERANCE (DELNOL) FOR NONLINEAR ANALYSIS = .01000

RELAXATION FACTORS (RELAX) FOR NONLINEAR ANALYSIS OF EACH PERIOD ARE:
.50000

UNIT WEIGHT OF LAYERS (GAM) ARE : 22.78900 (AC Surface) 22.78900 (Soil-Cement
Base) 22.45800 (Granular Subbase) 19.53300 (Subgrade Soil)

LAYER NO.= 3 NCLAY= 0 K2= .35000 K0= .60000

FOR PERIOD 1 LAYER NO.= 3 NCLAY= 0 EMIN= .7000E+05 K1= .3400E+05

5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.2.1 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ได้แก่ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (M_r) และค่าอัตราส่วนปัวซอง (ν) ของโครงสร้างแต่ละชั้นทาง ซึ่งค่าดังกล่าวที่ใช้การวิเคราะห์นี้จะแสดงไว้ในตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3

5.2.2 รูปแบบโครงสร้างทางที่ทำการวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ได้จัดรูปแบบโครงสร้างเป็น 3 รูปแบบดังนี้

1. รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement จะเป็นโครงสร้างถนนแบบที่มี 4 ชั้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 สำหรับโครงสร้างชั้นรองพื้นทางเป็นวัสดุ Unbound Granular และชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นดิน Subgrade โดยโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 1 และ 3 (Design chart 1 and 3) ในการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 1 (Design Chart 1) ในการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic จะกำหนดให้ชั้นรองพื้นทางมีความหนา 150 มิลลิเมตร ส่วนโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 2 และ 4 (Design Chart 2 and 4) ในการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 2 (Design Chart 2) ในการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic จะกำหนดให้ชั้นรองพื้นทางมีความหนา 300 มิลลิเมตร

Asphalt Concrete	$h = \text{vary}, M_r = 1,000 \text{ MPa}, \nu = 0.4$
Soft Lateritic Soil-Cement	$h = 200 \text{ mm.}, M_r = 1,000 \text{ MPa}, \nu = 0.2$
Unbound Granular	$h = 150,300 \text{ mm.}, M_r = 90 \text{ or } 380\theta^{0.35}, 450\theta^{0.25} \text{ MPa}, \nu = 0.35$
Subgrade Soil	$M_r = 10, 20, 50 \text{ or } 100 \text{ MPa}, \nu = 0.45$

รูปที่ 5.2 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement

สำหรับรูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement ได้จัดเป็น 2 รูปแบบและ 4 รูปแบบด้วยกัน โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 และ ตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.4 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement
ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

No.	Surface	Base	Subbase	Subgrade
รูปแบบที่ 1	Asphalt Concrete h = vary, $M_r = 1,000$ MPa, $\nu = 0.4$	Soft Lateritic Soil - Cement h = 200 mm., $M_r = 1,000$ MPa, $\nu = 0.2$	Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 90$ MPa, $\nu = 0.35$	Subgrade $M_r = 10, 20, 50$ or 100 MPa, $\nu = 0.45$
รูปแบบที่ 2			Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 90$ MPa, $\nu = 0.35$	

ตารางที่ 5.5 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement
ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic

No.	Surface	Base	Subbase	Subgrade
รูปแบบที่ 1	Asphalt Concrete h = vary, $M_r = 1,000$ MPa, $\nu = 0.4$	Soft Lateritic Soil - Cement h = 200 mm., $M_r = 1,000$ MPa, $\nu = 0.2$	Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 380\theta^{0.35}$ MPa, $\nu = 0.35$	Subgrade $M_r = 10, 20, 50$ or 100 MPa, $\nu = 0.45$
รูปแบบที่ 2			Unbound Granular h = 300 mm., $M_r = 380\theta^{0.35}$ MPa, $\nu = 0.35$	
รูปแบบที่ 3			Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 450\theta^{0.25}$ MPa, $\nu = 0.35$	
รูปแบบที่ 4			Unbound Granular h = 300 mm., $M_r = 450\theta^{0.25}$ MPa, $\nu = 0.35$	

2. รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement จะเป็น โครงสร้างถนนแบบที่มี 4 ชั้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 5.3 สำหรับโครงสร้างชั้นรองพื้นทางเป็นวัสดุ Unbound Granular และชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นดิน Subgrade โดยโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 5 และ 7 (Design chart 5 and 7) ในการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 3 (Design Chart 3) ในการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic จะกำหนดให้ชั้นรองพื้นทางมีความหนา 150 มิลลิเมตร ส่วน โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 6 และ 8 (Design Chart 6 and 8) ในการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 4 (Design Chart 4) ในการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic จะกำหนดให้ชั้นรองพื้นทางมีความหนา 300 มิลลิเมตร

Asphalt Concrete	$h = \text{vary}, M_r = 1,000 \text{ MPa}, \nu = 0.4$
Hard Lateritic Soil-Cement	$h = 200 \text{ mm.}, M_r = 3,000 \text{ MPa}, \nu = 0.2$
Unbound Granular	$h = 150,300\text{mm.}, M_r = 90\text{or}380\theta^{0.35}, 450\theta^{0.25} \text{ MPa}, \nu=0.35$
Subgrade Soil	$M_r = 10, 20, 50 \text{ or } 100 \text{ MPa}, \nu = 0.45$

รูปที่ 5.3 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement

สำหรับรูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement ได้จัดเป็น 2 รูปแบบและ 4 รูปแบบด้วยกัน โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 5.6 และตารางที่ 5.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

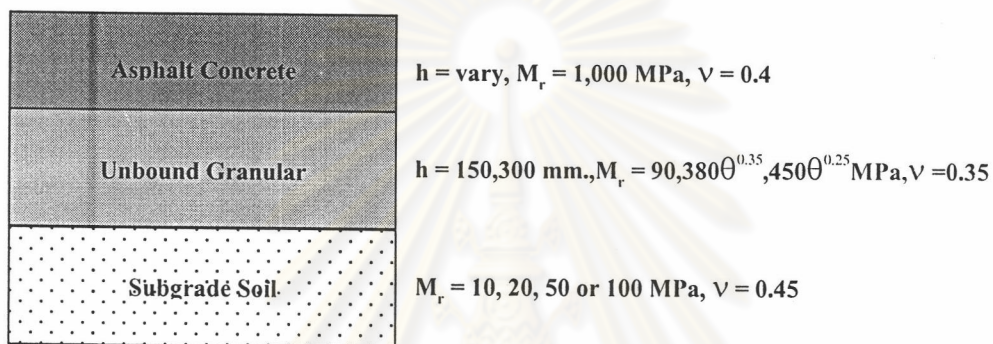
ตารางที่ 5.6 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement
ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

No.	Surface	Base	Subbase	Subgrade
รูปแบบที่ 3	Asphalt Concrete h = vary, $M_r = 1,000$ MPa, $\nu = 0.4$	Soft Lateritic Soil - Cement h = 200 mm., $M_r = 3,000$ MPa, $\nu = 0.2$	Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 90$ MPa, $\nu = 0.35$	Subgrade $M_r = 10, 20, 50$ or 100 MPa, $\nu = 0.45$
รูปแบบที่ 4			Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 90$ MPa, $\nu = 0.35$	

ตารางที่ 5.7 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement
ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic

No.	Surface	Base	Subbase	Subgrade
รูปแบบที่ 5	Asphalt Concrete h = vary, $M_r = 1,000$ MPa, $\nu = 0.4$	Hard Lateritic Soil - Cement h = 200 mm., $M_r = 3,000$ MPa, $\nu = 0.2$	Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 380\theta^{0.35}$ MPa, $\nu = 0.35$	Subgrade $M_r = 10, 20, 50,$ 100 or 150 MPa, $\nu = 0.45$
รูปแบบที่ 6			Unbound Granular h = 300 mm., $M_r = 380\theta^{0.35}$ MPa, $\nu = 0.35$	
รูปแบบที่ 7			Unbound Granular h = 150 mm., $M_r = 450\theta^{0.25}$ MPa, $\nu = 0.35$	
รูปแบบที่ 8			Unbound Granular h = 300 mm., $M_r = 450\theta^{0.25}$ MPa, $\nu = 0.35$	

3. รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต จะเป็น โครงสร้างถนนแบบที่มี 3 ชั้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 5.4 สำหรับโครงสร้างชั้นรองพื้นทางเป็นวัสดุ Unbound Granular และชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นดิน Subgrade โดยโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 9 และ 11 (Design chart 9 and 11) ในการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 5 (Design Chart 5) ในการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic จะกำหนดให้ชั้นรองพื้นทางมีความหนา 150 มิลลิเมตร ส่วนโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 10 และ 12 (Design Chart 10 and 12) ในการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 6 (Design Chart 6) ในการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic จะกำหนดให้ชั้นรองพื้นทางมีความหนา 300 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต

สำหรับรูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต ได้จัดเป็น 2 รูปแบบและ 4 รูปแบบด้วยกัน โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 และตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.8 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต
ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

No.	Surface	Subbase	Subgrade
รูปแบบที่ 5	Asphalt Concrete $h = \text{vary},$ $M_r = 1,000 \text{ MPa},$ $\nu = 0.4$	Unbound Granular $h = 150 \text{ mm.},$ $M_r = 90 \text{ MPa},$ $\nu = 0.35$	Subgrade $M_r = 10, 20, 50$ or 100 MPa, $\nu = 0.45$
รูปแบบที่ 6		Unbound Granular $h = 300 \text{ mm.},$ $M_r = 90 \text{ MPa},$ $\nu = 0.35$	

ตารางที่ 5.9 การจัดโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต
ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic

No.	Surface	Subbase	Subgrade
รูปแบบที่ 9	Asphalt Concrete h = vary, M _r = 1,000 MPa, v = 0.4	Unbound Granular h = 150 mm., M _r = 380θ ^{0.35} MPa, v = 0.35	Subgrade M _r = 10, 20, 50 or 100 MPa, v = 0.45
รูปแบบที่ 10		Unbound Granular h = 300 mm., M _r = 380θ ^{0.35} MPa, v = 0.35	
รูปแบบที่ 11		Unbound Granular h = 150 mm., M _r = 450θ ^{0.25} MPa, v = 0.35	
รูปแบบที่ 12		Unbound Granular h = 300 mm., M _r = 450θ ^{0.25} MPa, v = 0.35	

5.2.3 Fatigue Criteria สำหรับโครงสร้างทาง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางนี้จะพิจารณาค่าความเครียด (Strain) ซึ่งเป็นตัวกำหนดการวิบัติของชั้นทาง โดยเมื่อเกิดค่า Strain เกินพิกัดที่ชั้นทางจะทนได้จะก่อให้เกิดรอยแตก (Fatigue Crack) และรอยร่องล้อ (Rut) ในชั้นทาง สำหรับการเกิด Critical Strain ของโครงสร้างทางแต่ละแบบจะมีลักษณะดังนี้

1. **Fatigue Crack Criteria สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต** ใช้สมการที่ 2.23 ซึ่งเป็นสมการที่ Asphalt Institute (1982) แนะนำให้ใช้ในการหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกซ้ำของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตดังนี้

$$N_r = 0.0796 \epsilon_t^{-3.291} E^{-0.854}$$

2. **Fatigue Crack Criteria** สำหรับดินลูกรังผสมซีเมนต์ ใช้สมการที่ 2.32 ซึ่งเป็นสมการที่ AUSTROADS(1992) แนะนำให้ใช้ในการหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกซ้ำของวัสดุ Cemented Materials ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นประมาณ 2000 MPa ดังนี้

$$N_f = (280/\mu\varepsilon_c)^{18}$$

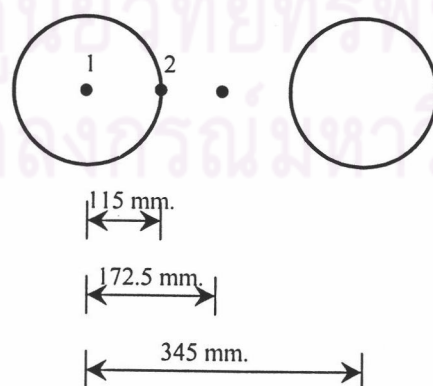
3. **Permanent Deformation Criteria** สำหรับชั้น Subgrade ใช้สมการที่ 2.35 โดยใช้ค่า f_4 และ f_5 ตามที่ Asphalt Institute ได้แนะนำไว้ดังนี้

$$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \varepsilon_c^{-4.477}$$

5.2.4 Load และตำแหน่งที่ใช้ในการวิเคราะห์

น้ำหนักกระทำที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นค่า Equivalent 18,000 lb Single Axle Load ซึ่ง Asphalt Institute (1982) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำหนักดังกล่าวเป็นแบบเพลาดูเดี่ยวล้อคู่ (Single Axle with Dual Tires) น้ำหนักเพลาท่อกับ 80kN (18,000 lb) โดยมีพื้นที่ Load กระทำเป็นวงกลมขนาดรัศมี 115 มิลลิเมตร (4.52 นิ้ว) ระยะห่างของล้อคู่ 345 มิลลิเมตร (13.57 นิ้ว) แรงดันลม (Tire Pressure) 483 กิโลปาสคาล (70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ในรูปที่ 5.5 จะแสดงขนาดและตำแหน่งของ Load ที่กระทำ และตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทาง ซึ่งได้กำหนดไว้ 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อ (จุดที่ 1 ในรูปที่ 5.5) ตำแหน่งขอบล้อด้านใน (จุดที่ 2 ในรูปที่ 5.5) และตำแหน่งกึ่งกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5)



รูปที่ 5.5 ขนาดของ Load ที่กระทำ และตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างทาง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางด้วยโปรแกรม Kenlayer โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซองของประเทศไทยตามข้อมูลของนายนิพนธ์ ตั้งศิริวัฒน์ และนายวรากร กริมวงษ์รัตน์ โดยผลการวิเคราะห์ที่ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำซ้ำของโครงสร้างชั้นทางด้วยโปรแกรม KENLAYER และคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางเพื่อการออกแบบในตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ที่ได้ สามารถสรุปได้ผลเป็นกราฟเพื่อใช้ในการออกแบบ (Design Chart) สำหรับโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ กัน กล่าวคือ จะแสดงใน Design Chart 1 - 6 ในภาคผนวก ค. (สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic) Design Chart 1 - 12 ในภาคผนวก ง. (สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic) และ Design Chart 1 - 12 ในภาคผนวก จ. (สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic) ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำซ้ำของโครงสร้างชั้นทางแยกเป็น 3 ประเภทตามรูปแบบโครงสร้างทางที่ทำการวิเคราะห์และแบ่งเป็น 3 ประเภทย่อยตามรูปแบบการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างทางดังนี้

5.3.1 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Soft Lateritic Soil-Cement

5.3.1.1 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

จาก Design Chart 1 – Design Chart 2 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และแต่ละเส้นจะมีความชันที่ใกล้เคียงกันมาก โดยผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 1 และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 2 พบว่าการวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมด และโครงสร้างทางจะเริ่มวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil เป็นอันดับแรกสุด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 2 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก และจะมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามากขึ้น

5.3.1.2 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic

จาก Design Chart 1 – Design Chart 2 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมี ลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าน้อย โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrades มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Soil-Cement Base แทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 1 และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 2 พบว่าการวิบัติ จะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมดยกเว้นกรณีที่มีความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่า 50 มิลลิเมตรและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ Subgrade Soil ตั้งแต่ 100 MPa ขึ้นไปสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 2 จะเกิดการวิบัติ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อคู่ (จุดที่ 2 ในรูปที่ 5.5)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 2 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงที่ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางไม่มากนัก แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อย ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางมีค่ามาก

จาก Design Chart 3 – Design Chart 4 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมี ลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าน้อย โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrades มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Soil-Cement Base แทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 3 และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 4 พบว่าการวิบัติ จะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมดยกเว้นกรณีที่มีความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่า 50 มิลลิเมตรและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ Subgrade Soil ตั้งแต่ 75 MPa ขึ้นไปสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 3 และกรณีที่ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่า 50 มิลลิเมตรและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ Subgrade Soil อยู่ระหว่าง 20 MPa และ 30 MPa สำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 4 จะเกิดการวิบัติ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อคู่ (จุดที่ 2 ในรูปที่ 5.5)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 3 กับ Design Chart 4 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงที่ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางไม่มากนัก แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อย ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางมีค่ามาก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 3 และ Design Chart 2 กับ Design Chart 4 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นประเภทของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินลูกรังจาก A-1-a เป็น A-2-4 หรือ A-2-6 แทบจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Design Chart โดยสังเกตได้ว่าดินลูกรังชั้นรองพื้นทางประเภท A-2-4 หรือ A-2-6 จะให้ค่า Equivalent Single Axle Load ที่สูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากัน)

5.3.1.3 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Viscoelastic

จาก Design Chart 1 – Design Chart 4 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าน้อย โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrades มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Soil-Cement Base แทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 2 และ Design Chart 3 กับ Design Chart 4 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงที่ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก (ประมาณน้อยกว่า 50 MPa) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ในช่วงที่ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก (ประมาณมากกว่า 50 MPa)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 3 และ Design Chart 2 กับ Design Chart 4 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นประเภทของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินลูกรังจาก A-1-a เป็น A-2-4 หรือ A-2-6 จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Design Chart มากนัก โดยสังเกตได้ว่าดินลูกรังชั้นรองพื้นทางประเภท A-2-4 หรือ A-2-6 จะให้ค่า Equivalent Single Axle Load ที่สูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากัน)

5.3.2 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นพื้นทางเป็น Hard Lateritic Soil-Cement

5.3.2.1 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

จาก Design Chart 3 – Design Chart 4 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์ค้อนกรีต ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และแต่ละเส้นจะมีความชันที่ใกล้เคียงกันมาก โดยผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 3 และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 4 พบว่าการวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมด และโครงสร้างทางจะเริ่มวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil เป็นอันดับแรกสุด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 3 กับ Design Chart 4 ซึ่งเป็น โครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก และจะมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามากขึ้น

5.3.2.2 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic

จาก Design Chart 5 – Design Chart 8 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์ค้อนกรีต ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าน้อย โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrades มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Soil-Cement Base แทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 5 แบบที่ 6 แบบที่ 7 และแบบที่ 8 พบว่าการวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 5 กับ Design Chart 6 ซึ่งเป็น โครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางไม่มากนัก แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางมีค่ามาก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 7 กับ Design Chart 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางไม่มากนัก แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และความหนาของผิวทางมีค่ามาก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 5 กับ Design Chart 7 และ Design Chart 6 กับ Design Chart 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นประเภทของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินลูกรังจาก A-1-a เป็น A-2-4 หรือ A-2-6 แทนจะไม่มีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Design Chart โดยสังเกตได้ว่าดินลูกรังชั้นรองพื้นทางประเภท A-2-4 หรือ A-2-6 จะให้ค่า Equivalent Single Axle Load ที่สูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากัน)

หากเราจะพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดของ Soil-Cement Base ที่มีต่อ Design Chart เราจะทำการเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 5, Design Chart 2 กับ Design Chart 6, Design Chart 3 กับ Design Chart 7 และ Design Chart 4 กับ Design Chart 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นชนิดของ Soil-Cement Base ทาง พบว่าการเปลี่ยนชนิดของ Soil-Cement Base จากชนิด Soft Lateritic เป็น Hard Lateritic (ซึ่งก็คือเพิ่มค่า Resilient Modulus จาก 1,000 MPa เป็น 3,000 MPa) จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในช่วงที่ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก (ประมาณน้อยกว่า 50 MPa) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นพอสมควร ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก (ประมาณมากกว่า 50 MPa) เราจึงอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนชั้นผิวทางมากที่สุด คือ ชนิด หรือค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของ Soil-Cement Base

5.3.2.3 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Viscoelastic

จาก Design Chart 5 – Design Chart 8 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าน้อย โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Soil-Cement Base แทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 5 กับ Design Chart 6 และ Design Chart 7 กับ Design Chart 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ โมดูลัสยึดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก (ประมาณน้อยกว่า 50 MPa) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ในช่วงที่โมดูลัสยึดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก (ประมาณมากกว่า 50 MPa)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 5 กับ Design Chart 7 และ Design Chart 6 กับ Design Chart 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นประเภทของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินลูกรังจาก A-1-a เป็น A-2-4 หรือ A-2-6 แทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงระหว่าง Design Chart 5 กับ Design Chart 7 เลย แต่จะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงระหว่าง Design Chart 6 กับ Design Chart 8 เล็กน้อย โดยสังเกตได้ว่าดินลูกรังชั้นรองพื้นทางประเภท A-2-4 หรือ A-2-6 จะให้ค่า Equivalent Single Axle Load ที่สูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อโมดูลัสยึดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากัน)

หากเราจะพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดของ Soil-Cement Base ที่มีต่อ Design Chart เราจะทำการเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 1 กับ Design Chart 5, Design Chart 2 กับ Design Chart 6, Design Chart 3 กับ Design Chart 7 และ Design Chart 4 กับ Design Chart 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นชนิดของ Soil-Cement Base ทาง พบว่าการเปลี่ยนชนิดของ Soil-Cement Base จากชนิด Soft Lateritic เป็น Hard Lateritic (ซึ่งก็คือเพิ่มค่าโมดูลัสยึดหยุ่นจาก 1,000 MPa เป็น 3,000 MPa) จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในช่วงที่ โมดูลัสยึดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก (ประมาณน้อยกว่า 50 MPa) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นพอสมควร ในช่วงที่โมดูลัสยึดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก (ประมาณมากกว่า 50 MPa) เราจึงอาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบความหนาของโครงสร้างถนนชั้นผิวทางมากที่สุดคือชนิด หรือค่าโมดูลัสยึดหยุ่นของ Soil-Cement Base

5.3.3 รูปแบบโครงสร้างถนนที่มีชั้นผิวทางและพื้นทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต

5.3.3.1 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic

จาก Design Chart 5 - Design Chart 6 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยึดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมี

ลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และแต่ละเส้นจะมีความชันที่ใกล้เคียงกันมาก โดยผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 5 และโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 6 พบว่าการวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมด

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 5 พบว่าการวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมด ยกเว้นกรณีที่มีความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่า 50 มิลลิเมตร (การวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งตรงกลางล้อ (จุดที่ 1 ในรูปที่ 5.5)) และกรณีที่ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่า 100 มิลลิเมตร (การวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อคู่ (จุดที่ 2 ในรูปที่ 5.5)) ในขณะที่โครงสร้างชั้นทางแบบที่ 6 พบว่าการวิบัติจะเกิด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อคู่ (จุดที่ 3 ในรูปที่ 5.5) ทั้งหมด ซึ่งการวิบัติของโครงสร้างชั้นทางแบบที่ 5 และแบบที่ 6 จะเริ่มวิบัติที่โครงสร้างชั้น Subgrade Soil ก่อนทั้งหมด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 5 กับ Design Chart 6 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงที่ค่า Equivalent Single Axle Load ไม่มากนัก และจะมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงที่ค่า Equivalent Single Axle Load มากขึ้น

5.3.3.2 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic

จาก Design Chart 9 - Design Chart 12 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load ค่อนข้างจะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น (แต่อาจจะเกิดนอก Design Chart ที่เห็น) สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าไม่มาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 9 กับ Design Chart 10 และ Design Chart 11 กับ Design Chart 12 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก (ประมาณน้อยกว่า 50 MPa) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก (ประมาณมากกว่า 50 MPa)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 9 กับ Design Chart 11 และ Design Chart 10 กับ Design Chart 12 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นประเภทของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินลูกรังจาก A-1-a เป็น A-2-4 หรือ A-2-6 แทนจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงระหว่าง Design Chart 9 กับ Design Chart 11 แต่จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงระหว่าง Design Chart 10 กับ Design Chart 12 บ้าง โดยสังเกตได้ว่าดินลูกรังชั้นรองพื้นทางประเภท A-2-4 หรือ A-2-6 จะให้ค่า Equivalent Single Axle Load ที่สูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากัน)

5.3.3.3 โดยการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Viscoelastic

จาก Design Chart 9 - Design Chart 12 พบว่ากราฟของความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade และ Equivalent Single Axle Load จะมีลักษณะเชิงเส้นตรงตาม log-scale และจะมีจุดหักงออยู่ในกราฟแต่ละเส้น (แต่อาจจะมีนอก Design Chart ที่เห็น) สาเหตุเพราะว่าในช่วงที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าไม่มาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้น Subgrade Soil ในขณะที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก โครงสร้างถนนจะมีเกิดการวิบัติ ณ ชั้นรองพื้นทางแทน ด้วยเหตุผลที่เป็นคนละวัสดุกันจึงทำให้กราฟทั้งสองช่วงมีความชันที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนใน Design Chart 10

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 9 กับ Design Chart 10 และ Design Chart 11 กับ Design Chart 12 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นความหนาของชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางจาก 150 มิลลิเมตรเป็น 300 มิลลิเมตร จะทำให้ค่า Equivalent Single Axle Load มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade ไม่มากนัก (ประมาณน้อยกว่า 50 MPa) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นพอสมควร ในช่วงที่โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่ามาก (ประมาณมากกว่า 50 MPa)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง Design Chart 9 กับ Design Chart 11 และ Design Chart 10 กับ Design Chart 12 ซึ่งเป็นโครงสร้างถนนที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการยกเว้นประเภทของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง พบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินลูกรังจาก A-1-a เป็น A-2-4 หรือ A-2-6 แทนจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงระหว่าง Design Chart 9 กับ Design Chart 11 เลย แต่จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงระหว่าง Design Chart 10 กับ Design Chart 12 พอสมควรในกรณีที่มีความหนาของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าน้อย และจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในกรณีที่มีความหนาของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่ามากขึ้น โดยสังเกตได้ว่าดินลูกรังชั้นรองพื้นทางประเภท A-2-4 หรือ A-2-6 จะให้ค่า Equivalent Single Axle Load ที่สูงกว่าเล็กน้อย (เมื่อ โมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade มีค่าเท่ากัน)

5.3.4 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของโครงสร้างชั้นทาง เปรียบเทียบกับกรออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

จากหลักการออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ในหัวข้อ 2.7 สามารถทำการออกแบบความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการคำนวณระหว่างวิธีเชิงวิเคราะห์และวิธีเชิงประสบการณ์ โดยการคำนวณความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์จะอาศัย Design Chart 1 - 6 ที่เราสร้างขึ้นในภาคผนวก ค. และ Design Chart 1 - 12 ที่เราสร้างขึ้นในภาคผนวก ง. และ ภาคผนวก จ. ส่วนการคำนวณความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงประสบการณ์จะอาศัยสมการที่ 2.26 หรือรูปที่ 2.23 ซึ่งเราจะสมมติค่า DTN 3 ค่าตามปริมาณจราจร คือ สมมติค่า DTN เท่ากับ 5 สำหรับ Light Traffic สมมติค่า DTN เท่ากับ 50 สำหรับ Medium Traffic และสมมติค่า DTN เท่ากับ 200 สำหรับ Heavy Traffic และกำหนดค่า CBR ของ Subgrade Soil คือ 1, 2, 5 และ 9 (เพื่อให้ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ที่กำหนดให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade เป็น 10, 20, 50 และ 100 MPa ตามลำดับ) โดยผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้เป็นตารางที่ 5.10 และตารางที่ 5.11 (แยกตามความหนาของชั้นรองพื้นทาง สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic) ตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.13 (แยกตามความหนาของชั้นรองพื้นทาง สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic) ตารางที่ 5.14 และตารางที่ 5.15 (แยกตามความหนาของชั้นรองพื้นทาง สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Viscoelastic)

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้
จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 150 มิลลิเมตร
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic

DTN	Subgrade CBR	ค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์ คอนกรีตที่ได้จาก (มิลลิเมตร)		
		วิธีเชิง ประสบการณ์	Design Chart 1	Design Chart 3
5	1	149	75**	50**
5	2	75	50**	50**
5	5	50	50*	50*
5	9	50	50*	50*
50	1	250	180**	90**
50	2	152	130**	50**
50	5	58	50*	50*
50	9	50	50*	50*
200	1	310	250**	155**
200	2	198	145**	105**
200	5	89	115	50**
200	9	50	50*	50*

* หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

** หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้
จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 300 มิลลิเมตร
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic

DTN	Subgrade CBR	ค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์ คอนกรีตที่ได้จาก (มิลลิเมตร)		
		วิธีเชิง ประสบการณ์	Design Chart 2	Design Chart 4
5	1	93	50**	50**
5	2	50	50*	50*
5	5	50	50*	50*
5	9	50	50*	50*
50	1	194	100**	50**
50	2	96	50**	50**
50	5	50	50*	50*
50	9	50	50*	50*
200	1	255	180**	105**
200	2	142	120**	50**
200	5	50	50*	50*
200	9	50	50*	50*

* หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

** หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้
จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 150 มิลลิเมตร
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic

DTN	Subgrade CBR	ค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จาก (มิลลิเมตร)				
		วิธีเชิง ประสบการณ์	Design Chart 1	Design Chart 3	Design Chart 5	Design Chart 7
5	1	149	75**	65**	50**	50**
5	2	75	50**	50**	50**	50**
5	5	50	50*	50*	50*	50*
5	9	50	50*	50*	50*	50*
50	1	250	180**	175**	85**	80**
50	2	152	115**	110**	50**	50**
50	5	58	50*	50*	50*	50*
50	9	50	50*	50*	50*	50*
200	1	310	255**	250**	165**	160**
200	2	198	210**	185*	130**	115**
200	5	89	145	125	80*	65**
200	9	50	105	65	50*	50*

* หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

** หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้
จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 300 มิลลิเมตร
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic

DTN	Subgrade CBR	ค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จาก (มิลลิเมตร)				
		วิธีเชิง ประสบการณ์	Design Chart 2	Design Chart 4	Design Chart 6	Design Chart 8
5	1	93	50**	50**	50**	50**
5	2	50	50*	50*	50*	50*
5	5	50	50*	50*	50*	50*
5	9	50	50*	50*	50*	50*
50	1	194	130**	105**	55**	50**
50	2	96	55**	50**	50**	50**
50	5	50	50*	50*	50*	50*
50	9	50	50*	50*	50*	50*
200	1	255	210**	185**	135**	120**
200	2	142	160	115**	100**	65**
200	5	50	120	60	65	50*
200	9	50	90	50*	50*	50*

* หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

** หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้
จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 150 มิลลิเมตร
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Viscoelastic

DTN	Subgrade CBR	ค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จาก (มิลลิเมตร)				
		วิธีเชิง ประสบการณ์	Design Chart 1	Design Chart 3	Design Chart 5	Design Chart 7
5	1	149	400	400	50**	50**
5	2	75	100	60**	50**	50**
5	5	50	50*	50*	50*	50*
5	9	50	50*	50*	50*	50*
50	1	250	820	760	410	400
50	2	152	480	440	100**	90**
50	5	58	85	60*	50**	50**
50	9	50	50*	50*	50*	50*
200	1	310	> 1000	> 1000	740	720
200	2	198	715	705	400	390
200	5	89	310	290	130	125
200	9	50	205	130	50*	50*

* หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

** หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

ตารางที่ 5.15 แสดงค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่คำนวณได้
จากโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทาง 300 มิลลิเมตร
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Viscoelastic

DTN	Subgrade CBR	ค่าความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จาก (มิลลิเมตร)				
		วิธีเชิง ประสบการณ์	Design Chart 2	Design Chart 4	Design Chart 6	Design Chart 8
5	1	93	100*	50**	50**	50**
5	2	50	50*	50*	50*	50*
5	5	50	50*	50*	50*	50*
5	9	50	50*	50*	50*	50*
50	1	194	575	425	250	150**
50	2	96	240	100*	50**	50**
50	5	50	50*	50*	50*	50*
50	9	50	50*	50*	50*	50*
200	1	255	900	740	640	500
200	2	142	700	400	240	90**
200	5	50	210	100	130	50*
200	9	50	170	60*	60*	50*

* หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

** หมายถึง การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์

จากตารางที่ 5.10, 5.11, 5.12 และตารางที่ 5.13 เราสามารถสรุปได้อย่างคร่าวๆ ได้ว่า การออกแบบความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์จะให้ค่าที่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ โดยสังเกตว่าเมื่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ Subgrade มีค่าน้อย การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์จะช่วยลดความหนาของผิวทางแอสฟัลต์ได้มากเมื่อเทียบกับวิธีเชิงประสบการณ์ ในขณะที่เมื่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ Subgrade มีค่ามาก การออกแบบด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์จะให้ผลใกล้เคียงหรือให้ค่าความหนาของผิวทางแอสฟัลต์ต่ำกว่าวิธีเชิงประสบการณ์เล็กน้อย และการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic และ Nonlinear Elastic จะให้ค่าความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใกล้เคียงกันมากสำหรับกรณีที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade มีค่าน้อย และการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Linear Elastic จะให้ค่าความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต่ำกว่าการวิเคราะห์โครงสร้างถนนแบบ Nonlinear Elastic สำหรับกรณีที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade มีค่ามาก

จากตารางที่ 5.14 และตารางที่ 5.15 เราสามารถสรุปอย่างคร่าวๆ ได้ว่า การออกแบบความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์จะให้ค่าที่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับการออกแบบด้วยวิธีเชิงประสบการณ์เมื่อความหนาของชั้นรองพื้นทางมีค่ามากขึ้น, การเพิ่มค่าโมดูลัสแก่ Soil-Cement Base, การเปลี่ยนชนิดของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง และการเพิ่มค่าโมดูลัสแก่ Subgrade Soil แต่ปัจจัยที่น่าจะส่งผลมากที่สุดก็คือ การเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแก่ Soil-Cement Base ตามมาด้วยการเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแก่ Subgrade Soil และตามมาด้วยการเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทาง ส่วนปัจจัยที่น่าจะส่งผลน้อยที่สุดก็คือ ชนิดของดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง เราจึงอาจสรุปได้ว่าการออกแบบความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ให้ได้ความหนาที่เหมาะสมและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการก่อสร้างจริง เราจำเป็นต้องพิจารณาสมบัติของโครงสร้างชั้นทางอื่นประกอบด้วย เพื่อจะได้ลดความหนาที่ไม่จำเป็นของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือหากวัสดุโครงสร้างชั้นทางอื่นๆ มีคุณสมบัติที่ต่ำกว่ามาตรฐาน เราควรจะมีการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุนั้น หรือเพิ่มความหนาของโครงสร้างชั้นทางขึ้น น่าจะเป็นวิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมกว่าการออกแบบโครงสร้างชั้นทางที่สนใจเฉพาะคุณสมบัติของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่เพียงอย่างเดียว

จากตารางการวิเคราะห์ทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์แบบใด เราจึงอาจสรุปได้ว่าการออกแบบความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์เป็นวิธีที่ให้ค่าความหนาที่เหมาะสมและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการก่อสร้างจริงตามสมบัติของโครงสร้างชั้นทางนั้น ซึ่งวิธีการออกแบบนี้เหมาะสำหรับการออกแบบโครงสร้างชั้นทางในชนบทที่วัสดุที่ใช้ทำทางอาจมีสมบัติต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้ได้ค่าความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่น้อยกว่าเดิม ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายรวมถึงสามารถประหยัดค่าขนส่งวัสดุจากท้องถิ่นอีกด้วย