

บทที่ 5

การวิเคราะห์โครงสร้างถนนด้วยโปรแกรม KENLAYER

5.1 โปรแกรม KENLAYER

KENLAYER เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่า Stress , Strain และ Deflection ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างถนนลาดยางแบบต่างๆ ซึ่งโปรแกรมนี้ผู้พัฒนาได้แก่ Yang H. Huang จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย Kentucky โดยลักษณะเด่นของโปรแกรมนี้คือ มีความหลากหลายในการกำหนดค่าที่ใช้ในการออกแบบ Design Chart เช่น สามารถเลือกตำแหน่งจุดที่จะเกิดการวิบัติได้ว่าจะเกิดที่ตำแหน่งใด สามารถกำหนด Criteria ของการวิบัติของวัสดุได้ และสามารถกำหนดพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุแต่ละชั้นได้อย่างอิสระ เป็นต้น ซึ่งส่วนสำคัญจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

น้ำหนักระยะทำต่อผิวของโครงสร้างถนนสามารถกำหนดได้หลายแบบด้วยกัน ได้แก่ แบบเพลลาเดี่ยวล้อเดี่ยว แบบเพลลาเดี่ยวล้อคู่ แบบสองเพลลา และแบบสามเพลลา นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดขนาดของแรงดันยางได้ว่าเป็นเท่าไร ซึ่งน้ำหนักล้อที่ใช้ในการออกแบบนี้ได้สมมติให้มีรูปร่างเป็นวงกลม โดยมีสมมติฐานว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสมมติน้ำหนักล้อเป็นวงกลมมีค่าน้อยมาก

คุณสมบัติของวัสดุในโครงสร้างถนนสามารถกำหนดได้ทั้งแบบ Linear Elastic และ Non-Linear Elastic โดยวัสดุประเภท Linear Elastic จะมีค่า Resilient Modulus (M_r) คงที่ตลอดความหนาของชั้นทางนั้นๆ ส่วนวัสดุประเภท Non-Linear Elastic จะมีค่า M_r ไม่คงที่ โดยจะมีค่าแปรผันตามความหนาของชั้นทาง เนื่องจากเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นค่า Stress ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนไปด้วย ตัวอย่างวัสดุประเภทนี้ได้แก่ วัสดุประเภท Granular

โปรแกรม KENLAYER สามารถวิเคราะห์การถูกทำลายของถนน (Damage Analysis) ได้ โดยสามารถแบ่งเป็นช่วงเวลาต่างๆที่มีค่า M_r ต่างกัน สามารถวิเคราะห์ได้ว่าโครงสร้างถนนจะพังทลายเนื่องจากสาเหตุอะไร และการวิบัติจะเกิดที่ชั้นไหน และสามารถคำนวณหาอายุการใช้งานของถนนได้จาก Criteria ที่กำหนดไว้ได้

5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.2.1 คุณสมบัติของวัสดุ

ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างถนนด้วยวิธี Analytical ได้แก่ค่า Resilient Modulus (M_r) และค่า Poisson's Ratio (μ) ของแต่ละชั้นทาง ซึ่งชั้นทางที่ทำการวิเคราะห์จะใช้วัสดุ 4 ประเภทด้วยกันได้แก่ ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (Cemented Base) ชั้นรองพื้นทางดินลูกรังซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุประเภท Granular และ ชั้นดิน Subgrade โดยจะมีการกำหนดค่า M_r และ μ ของวัสดุแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางที่ใช้ในการออกแบบ

วัสดุ	คุณสมบัติ	ขนาด	หมายเหตุ
Asphalt Concrete	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,200	เป็นค่าที่คำนวณจากสมการที่ 2.2 ซึ่งเสนอโดย Asphalt Institute โดยกำหนดให้ อุณหภูมิเฉลี่ยของแอสฟัลท์คอนกรีต เท่ากับ 37.8°C (100°F) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสำหรับประเทศไทย ซึ่งแนะนำโดย ประสิทธิ์ ภูประทุม (2539)
	Poisson's Ratio (μ)	0.4	แนะนำโดย NAASRA (1987)
Cemented Materials	Resilient Modulus (M_r), MPa	1,600	เป็นค่าที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 ซึ่งหาจาก Unconfined Compressive Strength ที่ 7 วัน เท่ากับ 250 psi ซึ่งเป็นค่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับวัสดุพื้นทางดินซีเมนต์กำหนดโดยกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย
	Poisson's Ratio (μ)	0.2	แนะนำโดย NAASRA (1987)
Granular Materials	Resilient Modulus (M_r), MPa	$380 \theta^{0.35}$ $450 \theta^{0.25}$	ได้จากการทดสอบดินลูกรังที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสภาพพลาสติก ซึ่งได้จากดินลูกรังแหล่งชลบุรี และมีความเป็นพลาสติกเล็กน้อยถึงปานกลาง ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของดินลูกรังแหล่ง ฉะเชิงเทราและปราจีนบุรี ตามลำดับ
	Poisson's Ratio (μ)	0.35	แนะนำโดย NAASRA (1987)
Subgrade Soil	Resilient Modulus (M_r), MPa	20 , 50 , 70 และ 100	เป็นค่าที่กำหนดเพื่อใช้ในการออกแบบ Design Chart
	Poisson's Ratio (μ)	0.45	แนะนำโดย NAASRA (1987)

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า Resilient Modulus (M_r) ของดินลูกรังประเภท Granular จะกำหนดในรูปของสมการ โดยค่า M_r จะมีค่าแปรผันตามค่า Stress ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง ดังนั้นค่า M_r จึงมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากวัสดุประเภท Granular เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็น Non-Linear Elastic นั่นเอง อย่างไรก็ตามจะต้องระบุตำแหน่งที่จะใช้ในการคำนวณค่า Stress ในชั้นทางนี้โดยใช้โปรแกรม KENLAYER ซึ่งจะพิจารณาที่ตำแหน่งได้ผิวบนของชั้น Granular เท่ากับ 1 ใน 4 ของความหนาชั้น Granular นี้ ส่วนวัสดุประเภทอื่นๆจะถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแบบ Linear Elastic คือมีค่า M_r คงที่เสมอ

นอกจากนี้แล้วค่า Poisson's Ratio (μ) ของวัสดุแต่ละชั้นจะกำหนดให้ใช้ตามคำแนะนำของ NAASRA (1987 อ้างถึงใน ดิเรก ลาวัญศิริ 2540)

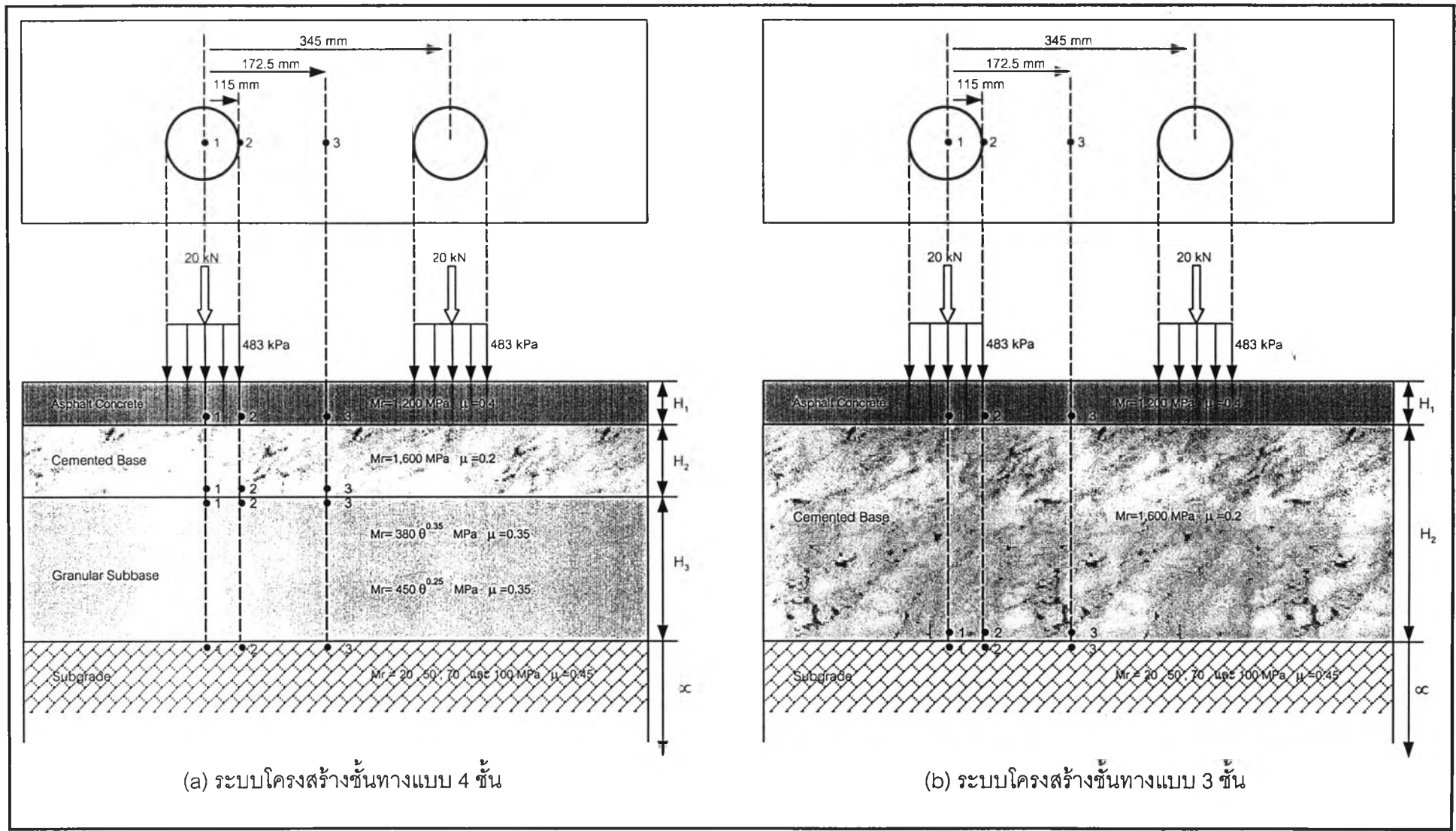
5.2.2 รูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่ทำการวิเคราะห์

ระบบโครงสร้างชั้นทางที่ทำการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ระบบด้วยกันได้แก่ ระบบโครงสร้างชั้นทาง 4 ชั้น และระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้น เพราะจะทำให้สามารถออกแบบได้กว้างขวางมากขึ้น ซึ่งแต่ละระบบจะรายละเอียดดังนี้

1. ระบบโครงสร้างชั้นทาง 4 ชั้น

ระบบชั้นทางแบบ 4 ชั้นจะประกอบไปด้วยชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ชั้นรองพื้นทางดินลูกรังที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประเภท Granular และชั้น Subgrade ซึ่งลักษณะของโครงสร้างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1a

ระบบโครงสร้างชั้นทางแบบ 4 ชั้นนี้สามารถแบ่งเป็นรูปแบบย่อยๆได้ 4 รูปแบบด้วยกัน โดยทุกรูปแบบชั้นทางจะถูกกระทำด้วยน้ำหนักที่เทียบเท่าเป็นน้ำหนักเพลลาเดี่ยวเทียบเท่า 80 kN (18,000 lb) ซึ่ง Asphalt Institute (1991) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำหนักดังกล่าวเป็นแบบเพลลาเดี่ยวล้อคู่ (Single Axle with Dual Tires) มีน้ำหนักเพลลาเท่ากับ 80 kN (18,000 lb) โดยมีน้ำหนักกระทำเป็นรูปวงกลมรัศมี 115 mm ระยะห่างล้อคู่ 345 mm ความดันลมเท่ากับ 483 kPa ลักษณะของน้ำหนักกระทำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1a ซึ่งการกำหนดรูปแบบน้ำหนักกระทำเป็นวงกลมจะถือว่ามี ความคลาดเคลื่อนน้อยมาก รูปแบบโครงสร้างแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.1 รูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 5.2 รูปแบบโครงสร้างถนนที่ทำการวิเคราะห์สำหรับระบบโครงสร้างถนน 4 ชั้น

ชั้นทาง	รูปแบบ			
	1	2	3	4
Asphalt	หนา 50 mm	หนา 75 mm	หนา 50 mm	หนา 75 mm
Concrete	$M_r = 1,200$ MPa	$M_r = 1,200$ MPa	$M_r = 1,200$ MPa	$M_r = 1,200$ MPa
Surface	$\mu = 0.4$	$\mu = 0.4$	$\mu = 0.4$	$\mu = 0.4$
Cemented Base	หนา 200 mm , $M_r = 1,600$ MPa $\mu = 0.2$			
Lateritic Granular Subbase	หนา h : $\mu = 0.35$ $M_r = 380 \theta^{0.35}$ MPa		หนา h : $\mu = 0.35$ $M_r = 450 \theta^{0.25}$ MPa	
Subgrade	$M_r = 20, 50, 70, 100$ MPa $\mu = 0.45$			

2. ระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้น

ระบบชั้นทางแบบ 3 ชั้นจะประกอบไปด้วยชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ชั้นพื้นทางและรองพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ และชั้น Subgrade ซึ่งลักษณะของโครงสร้างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1b

ระบบโครงสร้างชั้นทางแบบ 3 ชั้นนี้สามารถแบ่งเป็นรูปแบบย่อยๆ ได้ 2 รูปแบบด้วยกัน โดยทั้งสองรูปแบบชั้นทางจะถูกกระทำด้วยน้ำหนักเหมือนกับกรณีระบบโครงสร้างชั้นทางแบบ 4 ชั้น ลักษณะของน้ำหนักกระทำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1b รูปแบบโครงสร้างแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5.3 รูปแบบที่ 5 และ 6 นี้ใช้สำหรับช่วยให้สามารถออกแบบเมื่อความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เป็นค่าต่างๆตามต้องการได้ โดยจะใช้ควบคู่กับรูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 4

ตารางที่ 5.3 รูปแบบโครงสร้างถนนที่ทำการวิเคราะห์สำหรับระบบโครงสร้างถนน 3 ชั้น

ชั้นทาง	รูปแบบ	
	5	6
Asphalt Concrete Surface	หนา 50 mm $M_r = 1,200$ MPa $\mu = 0.4$	หนา 75 mm $M_r = 1,200$ MPa $\mu = 0.4$
Cemented Base and Subbase	หนา h $M_r = 1,600$ MPa $\mu = 0.2$	
Subgrade	$M_r = 20, 50, 70, 100$ MPa $\mu = 0.45$	

5.2.3 Design Criteria สำหรับโครงสร้างทาง

Criteria สำหรับการออกแบบโครงสร้างถนนโดยวิธี Analytical 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 สำหรับชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ซึ่งในการวิเคราะห์สามารถแยกพิจารณาตามระบบชั้นทางดังนี้

1. การพิจารณา Design Criteria สำหรับระบบชั้นทาง 4 ชั้น

สำหรับรูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่ 1 ถึง 4 ซึ่งเป็นระบบชั้นทาง 4 ชั้นได้ทำการพิจารณา Fatigue Crack Criteria สำหรับแอสฟัลท์คอนกรีต และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ โดยทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่ด้านล่างของชั้นแอสฟัลท์คอนกรีต และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ นอกจากนี้ได้ทำการพิจารณา Permanent Deformation Criteria ที่เกิดขึ้นที่ชั้นรองพื้นทาง และชั้น Subgrade โดยทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทางและชั้น Subgrade ทั้งนี้สาเหตุที่ต้องทำการตรวจสอบค่า ϵ_c ที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทางด้วยเพราะว่าวัสดุที่นำมาใช้เป็นชั้นรองพื้นทางคือวัสดุท้องถิ่นที่มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน คุณภาพต่ำจึงเป็นไปได้ที่จะเกิดการวิบัติโดยเกิด Critical ϵ_c ที่ชั้นรองพื้นทาง

ตำแหน่งที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่า ϵ_t และ ϵ_c ตามชั้นทางที่ได้กล่าวไว้แล้ว แต่ละชั้นจะต้องทำการพิจารณาใน 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1 จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว ตำแหน่งที่ 2 จุดขอบล้อด้านใน และตำแหน่งที่ 3 จุดกึ่งกลางล้อคู่ ดังแสดงในรูปที่ 5.1a เนื่องจากที่ 3 ตำแหน่งนี้จะเป็นตำแหน่งที่จะเกิดค่าที่วิกฤตที่สุดในแต่ละชั้น เมื่อน้ำหนักล้อเป็นแบบเพลลาเดี่ยวล้อคู่

เมื่อได้ค่า Strain ที่วิกฤตที่สุดในแต่ละชั้นแล้วให้นำไปคำนวณหาจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ (Allowable Number of Load Repetition) ตาม Criteria แต่ละประเภท เช่น ค่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ด้านล่างของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ นำไปแทนค่าในสมการที่ 2.8 และ Model ที่ได้จากตารางที่ 2.23 เมื่อค่า Modulus ประมาณ 2,000 MPa ตามลำดับ ซึ่งเป็นสมการสำหรับ Fatigue Criteria ส่วนค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทาง และชั้น Subgrade จะนำไปแทนค่าในสมการที่ 2.10 ซึ่งเป็นสมการสำหรับ Permanent Deformation Criteria ดังนั้นจะทำให้ได้ค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้จาก Criteria ทั้งสอง ค่าที่ต่ำที่สุดจะเป็นค่าวิกฤตเพื่อนำไปกำหนดจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ และกำหนดอายุการใช้งานของโครงสร้างถนนต่อไป

2. การพิจารณา Design Criteria สำหรับระบบชั้นทาง 3 ชั้น

สำหรับรูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นระบบชั้นทาง 3 ชั้นได้ทำการพิจารณา Fatigue Crack Criteria สำหรับแอสฟัลท์คอนกรีต และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ โดยทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่ด้านล่างของชั้นแอสฟัลท์คอนกรีต และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ นอกจากนี้ได้ทำการพิจารณา Permanent Deformation Criteria ที่เกิดขึ้นที่ชั้น Subgrade โดยทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่ด้านบนของชั้น Subgrade

เมื่อพิจารณาดำแหน่งที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่า ϵ_t และ ϵ_c ตามชั้นทางที่ได้กล่าวไว้แล้ว แต่ละชั้นจะต้องทำการพิจารณาใน 3 ตำแหน่ง เช่นเดียวกับกรณีระบบชั้นทาง 4 ชั้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1b เนื่องจากที่ 3 ตำแหน่งนี้จะเป็นตำแหน่งที่จะเกิดค่าที่วิกฤตที่สุดในแต่ละชั้น เมื่อนำหนักล้อเป็นแบบเพลลาเดี่ยวล้อคู่

เมื่อได้ค่าวิกฤตที่สุดในแต่ละชั้นแล้วให้นำไปคำนวณหาจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ (Allowable Number of Load Repetition) ตาม Criteria แต่ละประเภท เช่นเดียวกับกรณีระบบชั้นทาง 4 ชั้น ดังนั้นจะทำให้ได้ค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้จาก Criteria ทั้งสอง ค่าที่ต่ำที่สุดจะเป็นค่าวิกฤตเพื่อนำไปกำหนดจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ต่อไป

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางด้วยโปรแกรม KENLAYER

เนื่องจากวัสดุสามารถจะต้านทาน Stress ได้มากกว่า Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางด้วยวิธี Analytical จึงมักจะใช้ Strain เป็นตัวกำหนดความวิบัติของชั้นทางแต่ละชั้น การเกิด Strain ที่เกินพิกัดที่ชั้นทางจะทนได้จะก่อให้เกิดรอยแตก (Fatigue Crack) และรอยร่องล้อ (Rut) ในชั้นทางโดยค่า Tensile Strain จะก่อให้เกิดรอยแตก และ Compressive Strain จะก่อให้เกิดรอยร่องล้อ ค่า Tensile Strain และ Compressive Strain ของโครงสร้างทางแต่ละรูปแบบสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.3.1 โครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 1

1. Tensile Strain

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า Tensile Strain , ϵ_t ของโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 1 พบว่าได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจะไม่มีแรงดึงเกิดขึ้นแต่จะมีเฉพาะแรงอัด ซึ่งแอสฟัลท์คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้ดี ค่า Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นนี้จึงไม่ถูกนำมาพิจารณา ส่วนค่า ϵ_t ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

จะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางล้อคู่) ดังนั้นค่า Critical ϵ_c ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้เนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

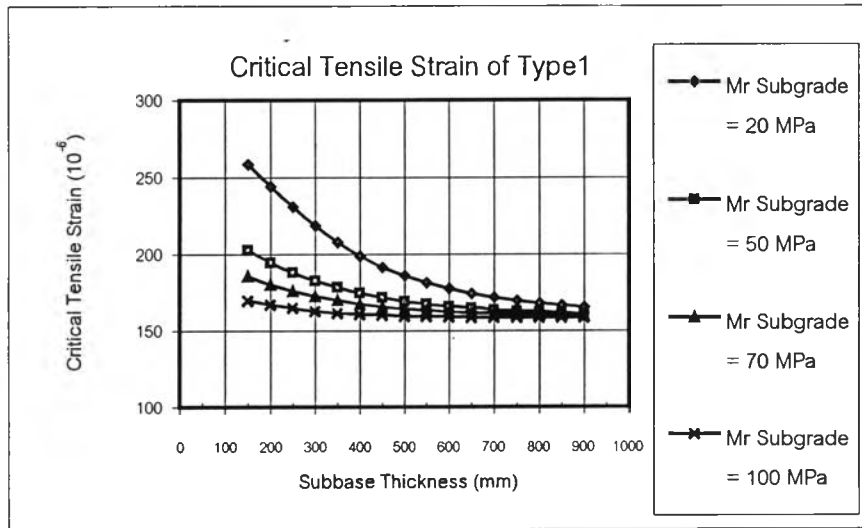
จากรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทาง ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ซึ่งแสดงโดยค่า Resilient Modulus (M_r) จะเห็นว่าที่กำลังของ Subgrade แต่ละค่า เมื่อความหนาของชั้นรองพื้นทางเพิ่มขึ้น ค่า Critical ϵ_c จะมีค่าลดลง โดยจะมีค่าลดลงมากในช่วงแรกที่มีความหนาของชั้นรองพื้นทางไม่มากนัก แต่เมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้น ค่า Critical ϵ_c มีแนวโน้มที่จะคงที่ นอกจากนี้แล้วเมื่อกำลังของ Subgrade เพิ่มขึ้น Critical ϵ_c จะมีค่าลดลง แต่จะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อความหนาชั้นรองพื้นทางมีค่ามาก

2. Compressive Strain

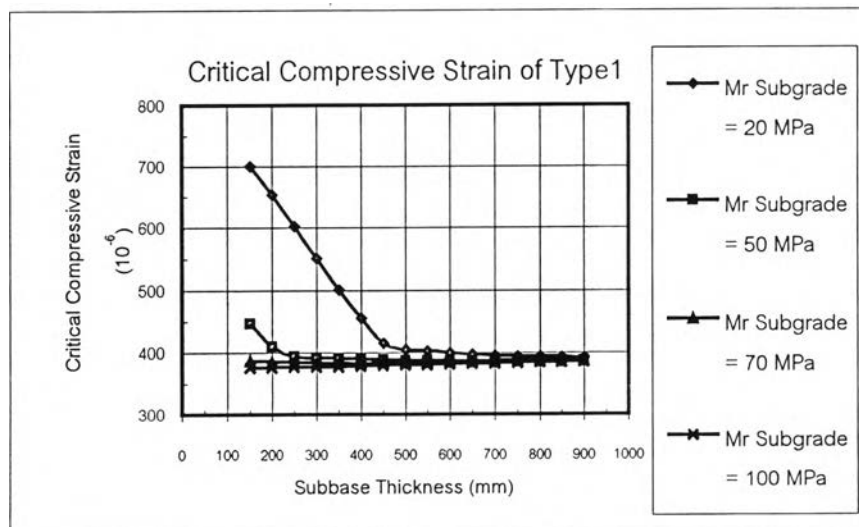
เมื่อพิจารณาค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 1 พบว่าค่า ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทางจะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1a (จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว) ส่วนค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นบนชั้น Subgrade จะเกิดที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (จุดกึ่งกลางล้อคู่) ค่า Critical ϵ_c ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จะเกิดขึ้นได้ทั้งชั้นรองพื้นทางและชั้น Subgrade โดยเมื่อพิจารณากำลังของ Subgrade ค่าหนึ่งๆ ถ้าความหนาของชั้นรองพื้นทางมีค่าต่ำจะเกิด Critical ϵ_c ที่ชั้น Subgrade แต่เมื่อค่าความหนาของชั้นรองพื้นทางมีค่ามากขึ้นจะเกิด Critical ϵ_c ที่ชั้นรองพื้นทาง เช่นเดียวกับเมื่อกำลังของชั้น Subgrade มากๆก็มีโอกาสทำให้เกิด Critical ϵ_c ที่ชั้นรองพื้นทางด้วยเช่นกัน ทั้งนี้การที่ชั้นรองพื้นทางมีโอกาสเกิดค่า Critical ϵ_c เพราะกำลังของวัสดุท้องถื่นดินลูกรังที่ใช้เป็นชั้นรองพื้นทางมีค่าต่ำกว่ากำลังของชั้น Subgrade

รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทาง ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้จะคล้ายกับกรณี Tensile Strain แต่จะเห็นว่าที่กำลังของชั้น Subgrade สูงๆ ค่า Critical ϵ_c จะลดลงไม่มากนัก คือค่อนข้างจะคงที่ ถึงแม้ความหนาของชั้นรองพื้นทางจะเพิ่มขึ้นก็ตาม

จากค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ และค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นรองพื้นทางหรือชั้น Subgrade สามารถนำมาคำนวณหาจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จาก Model ที่ได้จากรายที่ 2.23 เมื่อค่า Modulus ประมาณ 2,000 MPa และสมการที่ 2.10 ตามลำดับ ค่า Critical ϵ_c และจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จะแสดงไว้ในภาคผนวก ข. และพบว่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเป็นตัวควบคุมการวิบัติของชั้นทาง เนื่องจากมีค่าจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้ต่ำกว่ากรณี Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นรองพื้นทางหรือชั้น Subgrade



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 1

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้สามารถสรุปเป็น Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีค่าต่างๆสอดคล้องกับโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 1 นี้ได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค. ซึ่งจาก Chart จะบอกความหนาของชั้นรองพื้นทางเมื่อทราบค่า Resilient Modulus (M) ของ Subgrade และค่า EAL ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่ง Chart ดังกล่าวจะมีช่วงของค่า EAL น้อยกว่า 10^6 เทียว ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำโดย Asphalt Institute (1991) สำหรับปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลาง

จาก Design Chart 1 ในภาคผนวก ค. จะพบว่าความหนาชั้นรองพื้นทางที่ต่ำที่สุดที่ยอมให้มีค่าเท่ากับ 150 mm ถ้าความหนาดังกล่าวนี้จะเกิด Tensile Stress ขึ้นในชั้นรองพื้นทาง ทำให้โครงสร้างชั้นทางวิบัติได้ นอกจากนี้แล้วเมื่อเพิ่มความหนาชั้นรองพื้นทางถึงจุดหนึ่ง ค่าจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก เนื่องจากความหนาชั้นรองพื้นทางที่เพิ่มขึ้นจะไม่ทำให้ค่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์มีค่าลดลงนั่นเอง

5.3.2 โครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 2

1. Tensile Strain

ค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 2 พบว่าที่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจะเกิดแรงอัด แต่เมื่อกำลังของชั้น Subgrade และความหนาของชั้นรองพื้นทางมากขึ้นจะเกิดแรงดึงที่ด้านล่างของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต โดยจะมีค่า Critical ϵ_t ที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางล้อเดี่ยว) ส่วนค่า ϵ_t ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะมีค่า Critical ϵ_t เกิดขึ้นที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางล้อคู่) จากผลการวิเคราะห์จะพบว่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต จะน้อยกว่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์มาก และเมื่อพิจารณาจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จาก สมการที่ 2.8 และ Model ที่ได้จากรางที่ 2.23 เมื่อค่า Modulus ประมาณ 2,000 MPa ตามลำดับ พบว่าจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้ของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะน้อยกว่าของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมาก ดังนั้นค่า Critical ϵ_t ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้เนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

จากรูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นรองพื้นทาง ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 1 แต่ค่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 1

2. Compressive Strain

เมื่อพิจารณาค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 2 พบว่าค่า ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทางจะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 2 ของรูปที่ 5.1a (ขอบลัดด้านใน) ส่วนค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นบนชั้น Subgrade จะเกิดที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (จุดกึ่งกลางลัดคู่) ค่า Critical ϵ_c ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้จะมีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 1

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 1 แต่ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 1

ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นรองพื้นทางหรือชั้น Subgrade และจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ที่คำนวณได้ สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ข. ซึ่งจะพบว่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเป็นตัวควบคุมการวิบัติของชั้นทาง

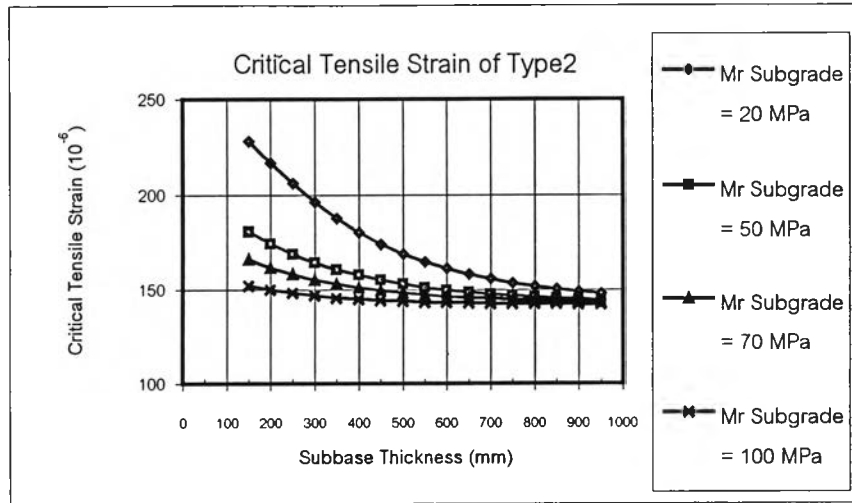
จากผลการวิเคราะห์จำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้สามารถสรุปเป็น Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีค่าต่างๆสอดคล้องกับโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 2 นี้ได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค.

จาก Design Chart 2 ในภาคผนวก ค. จะพบว่าความหนาชั้นรองพื้นทางที่ต่ำที่สุดที่ยอมให้มีค่าเท่ากับ 150 mm ถ้าความหนาดังกล่าวนี้จะเกิด Tensile Stress ขึ้นในชั้นรองพื้นทาง ทำให้โครงสร้างชั้นทางวิบัติได้ นอกจากนี้แล้วเมื่อเพิ่มความหนาชั้นรองพื้นทางถึงจุดหนึ่ง ค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้จะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก เช่นเดียวกับ Design Chart 1

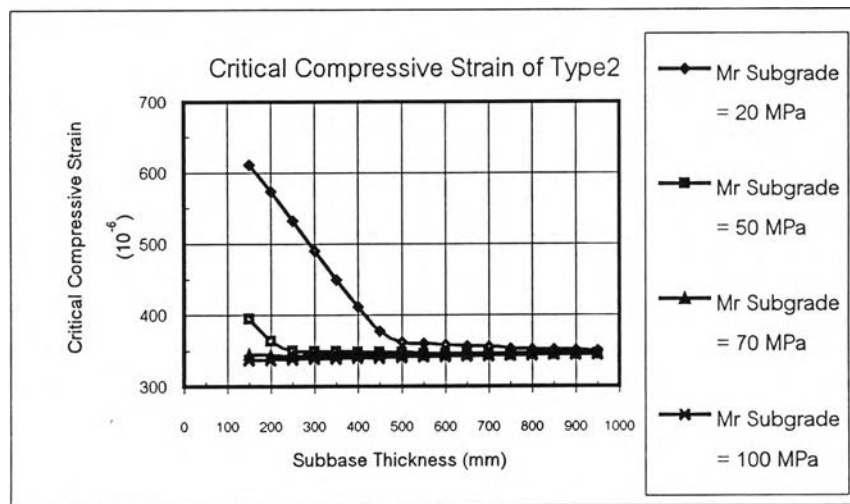
5.3.3 โครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 3

1. Tensile Strain

เมื่อพิจารณาค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 3 พบว่า ϵ_t จะเกิดขึ้นเฉพาะใต้ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ โดยจะมีค่า Critical ϵ_t เกิดขึ้นที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางลัดคู่) แต่เมื่อความหนาของชั้นรองพื้นทางมากๆ จะเกิด Critical ϵ_t ที่จุดที่ 2 ของรูปที่ 5.1a (ขอบลัดด้านใน) เช่นเดียวกับเมื่อกำลังของชั้น Subgrade เพิ่มขึ้นจะมีโอกาสเกิด Critical ϵ_t ที่จุดที่ 2 เช่นกัน ดังนั้นค่า Critical ϵ_t ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้เนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 2



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ จะเห็นว่าผลที่ได้จะมีแนวโน้มเหมือนกับกรณี ϵ_c ของโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 1 แต่ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 1

2. Compressive Strain

เมื่อพิจารณาค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 3 พบว่าค่า ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทางจะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1a (จุดกึ่งกลางล้อเดี่ยว) ส่วนค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นบนชั้น Subgrade จะเกิดที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (จุดกึ่งกลางล้อคู่) ค่า Critical ϵ_c ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จะมีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 1

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 1 แต่ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 1

ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นรองพื้นทางหรือชั้น Subgrade และจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้ที่คำนวณได้ สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ข. ซึ่งจะพบว่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเป็นตัวควบคุมการวิบัติของชั้นทาง

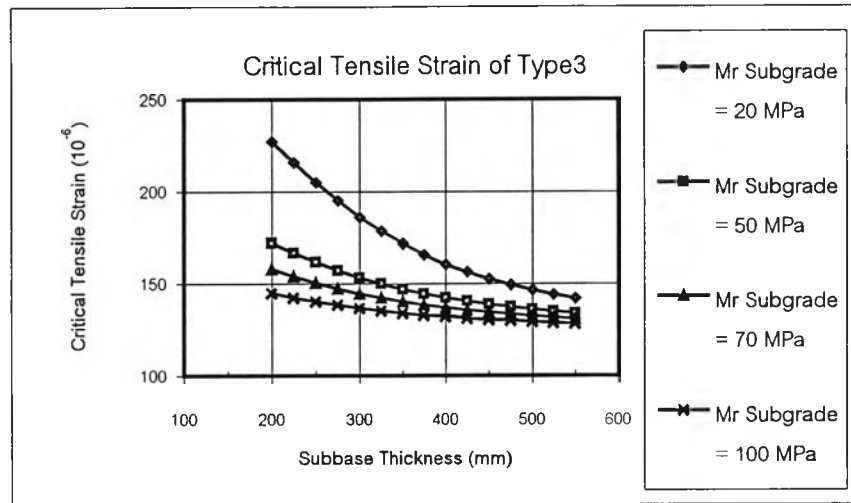
จากผลการวิเคราะห์จำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้สามารถสรุปเป็น Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีค่าต่างๆ สอดคล้องกับโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 3 นี้ได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค.

จาก Design Chart 3 ในภาคผนวก ค. จะพบว่าความหนาชั้นรองพื้นทางที่ต่ำที่สุดที่ยอมให้มีค่าเท่ากับ 200 mm ถ้าความหนาดังกล่าวนี้จะเกิด Tensile Stress ขึ้นในชั้นรองพื้นทาง ทำให้โครงสร้างชั้นทางวิบัติได้

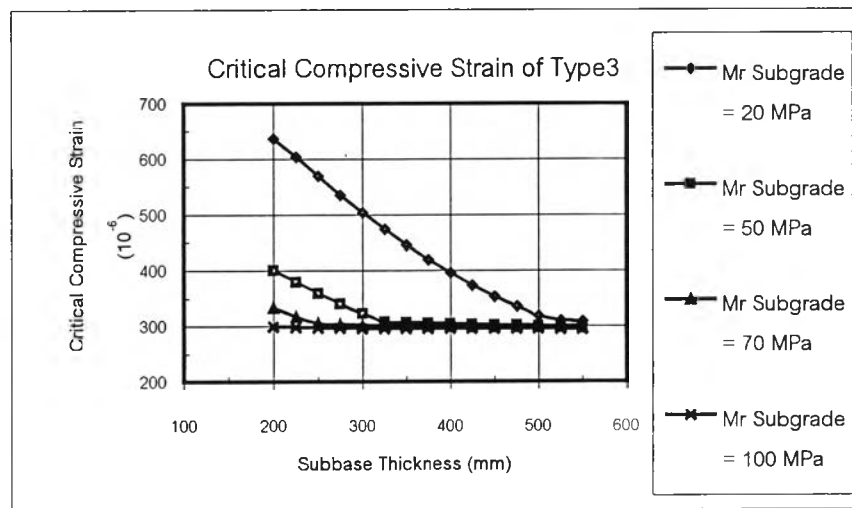
5.3.4 โครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 4

1. Tensile Strain

เมื่อพิจารณาค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 4 พบว่าจะเกิด ϵ_t ได้ทั้งชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต และชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ โดยชั้นผิวทางจะเกิดแรงดึงเมื่อกำลัง



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 3



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 3

ของชั้น Subgrade และความหนาของชั้นรองพื้นทางหลายๆ ซึ่งจะมีค่า Critical ϵ_t เกิดขึ้นที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางล้อเดี่ยว) ส่วนค่า ϵ_t ที่เกิดขึ้นใต้ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะมีค่า Critical ϵ_t เกิดขึ้นที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางล้อคู่) และเช่นเดียวกับโครงสร้างรูปแบบที่ 2 จำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะน้อยกว่าของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมาก ดังนั้นค่า Critical ϵ_t ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้เนื่องจากแรงดึงจึงเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

จากรูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นรองพื้นทาง ที่ค่า กำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับรูปแบบโครงสร้างที่ 2 และ 3 แต่ค่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 2 และ 3

2. Compressive Strain

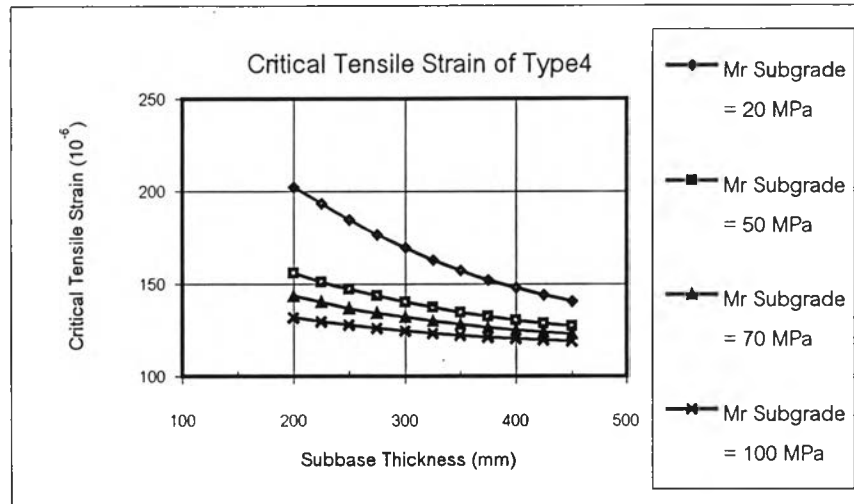
ค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 4 พบว่าค่า ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของชั้นรองพื้นทางจะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1a (กึ่งกลางล้อเดี่ยว) ส่วนค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นบนชั้น Subgrade จะเกิดที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1a (จุดกึ่งกลางล้อคู่) ค่า Critical ϵ_c ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้จะมีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 2

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่า กำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 2 และ 3 แต่ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 2 และ 3

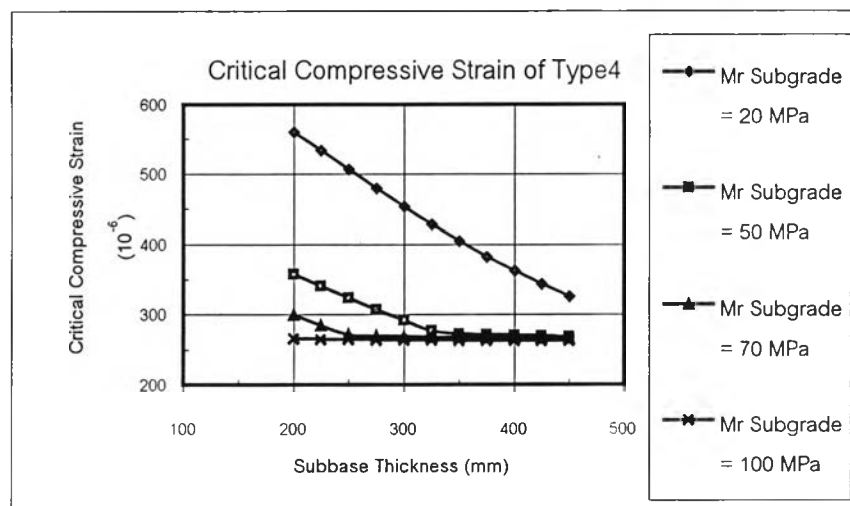
ค่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นรองพื้นทางหรือชั้น Subgrade และจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ที่คำนวณได้ สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ข. ซึ่งจะพบว่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเป็นตัวควบคุมการวิบัติของชั้นทาง

จากผลการวิเคราะห์จำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้สามารถสรุปเป็น Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีค่าต่างๆ สอดคล้องกับโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 4 นี้ได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค.

จาก Design Chart 4 ในภาคผนวก ค. จะพบว่าความหนาชั้นรองพื้นทางที่ต่ำที่สุดที่ยอมให้มีค่าเท่ากับ 200 mm ถ้าความหนาดังกล่าวนี้จะเกิด Tensile Stress ขึ้นในชั้นรองพื้นทาง ทำให้โครงสร้างชั้นทางวิบัติได้



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 4



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นรองพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 4

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงใน Design Chart 1 ถึง Design Chart 4 ในภาคผนวก ค. เมื่อพิจารณา Design Chart 1 กับ Design Chart 3 และ Design Chart 2 กับ Design Chart 4 พบว่าเมื่อกำลังของชั้นรองพื้นทางมีค่ามากขึ้น จะมีผลทำให้ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นด้านล่างของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะมีค่าลดลงไปด้วย มีผลทำให้โครงสร้างถนนสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น ดังนั้นกำลังของชั้นทางที่อยู่ด้านล่างจะมีผลต่อการวิบัติของถนนด้วยเช่นกัน นอกจากนี้แล้วเมื่อพิจารณา Design Chart 1 กับ Design Chart 2 และ Design Chart 3 กับ Design Chart 4 พบว่าเมื่อความหนาชั้นผิวทางเพิ่มขึ้นก็จะมีผลทำให้โครงสร้างถนนสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นด้วย

5.3.5 โครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 5

1. Tensile Strain

เมื่อพิจารณาค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 5 พบว่า ϵ_t จะเกิดขึ้นเฉพาะใต้ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ โดยจะมีค่า Critical ϵ_t เกิดขึ้นที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1b (กึ่งกลางล้อคู่) ดังนั้นค่า Critical ϵ_t ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้เนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

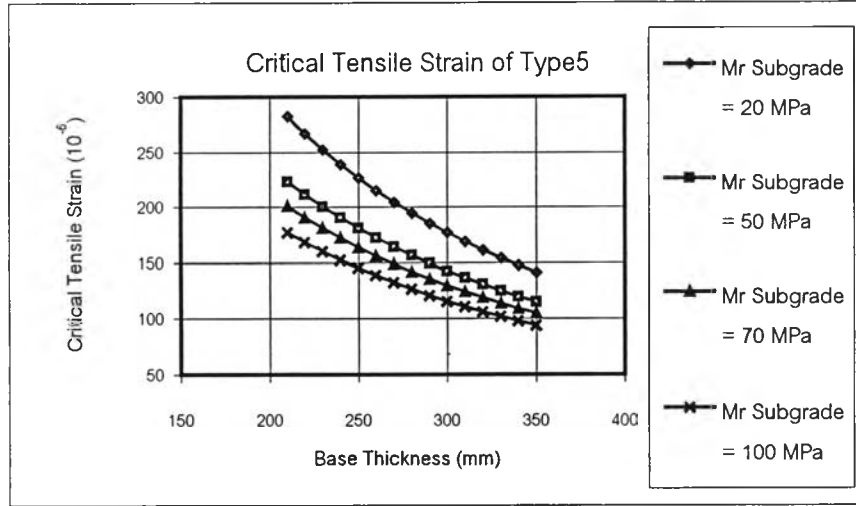
จากรูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าที่ค่ากำลังของ Subgrade แต่ละค่า ค่า Critical ϵ_t จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เพิ่มขึ้น

2. Compressive Strain

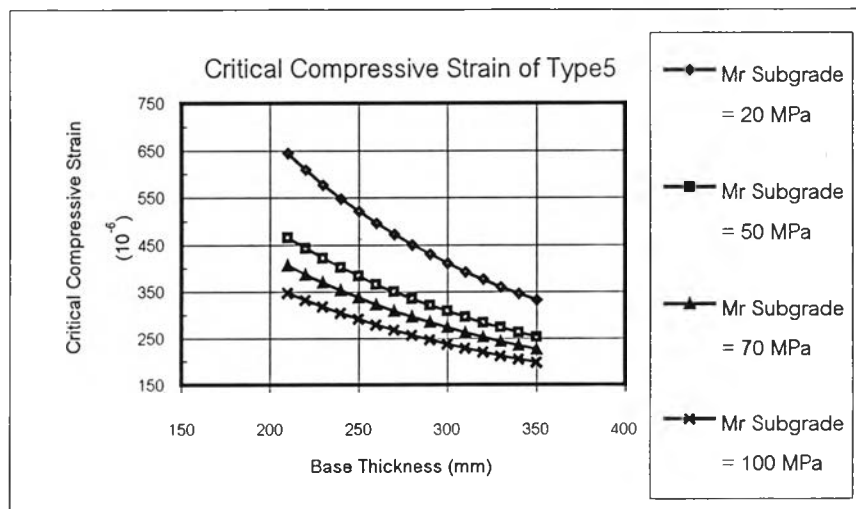
ค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 5 พบว่าค่า Critical ϵ_c ของ Subgrade จะเกิดที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1b (กึ่งกลางล้อเดี่ยว) เมื่อความหนาดำๆ และจะเลื่อนไปเกิดที่จุดที่ 2 ของรูปที่ 5.1b (ขอบล้อเดี่ยว) และจุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1b (กึ่งกลางล้อคู่) เมื่อความหนาของชั้นพื้นทางเพิ่มขึ้นตามลำดับ

รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าค่า Critical ϵ_c จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เพิ่มขึ้น

ค่า Critical ϵ_t ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้น Subgrade และจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้ที่คำนวณได้ สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ข. และจะพบว่าใน



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 5



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 5

ช่วงปริมาณจราจรที่พิจารณา (น้อยกว่า 10^6 เที่ยว สำหรับปริมาณรถน้อยถึงสูงปานกลาง) ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเป็นตัวควบคุมการวิบัติของชั้นทาง

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้สามารถสรุปเป็น Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีค่าต่างๆสอดคล้องกับโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 5 นี้ได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค.

5.3.6 โครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 6

1. Tensile Strain

เมื่อพิจารณาค่า Tensile Strain , ϵ_t ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 6 พบว่าที่ได้ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจะเกิดแรงอัด แต่เมื่อกำลังของชั้น Subgrade และความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์มากๆ จะเกิดแรงดึงที่ด้านล่างของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต โดยจะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.1b (กึ่งกลางล้อเดี่ยว) ส่วนค่า ϵ_c ที่เกิดขึ้นได้ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะมีค่า Critical ϵ_c เกิดขึ้นที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1b (กึ่งกลางล้อคู่) จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจะน้อยกว่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์มาก และเมื่อพิจารณาจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้จากสมการที่ 2.8 และ Model ที่ได้จากรายที่ 2.23 เมื่อค่า Modulus ประมาณ 2,000 MPa ตามลำดับ พบว่าจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้ของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะน้อยกว่าของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมาก ดังนั้นค่า Critical ϵ_c ที่ใช้กำหนดจำนวนน้ำหนักระทำซ้ำที่ยอมให้เนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

จากรูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 5 แต่ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 5

2. Compressive Strain

ค่า Compressive Strain , ϵ_c ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 6 พบว่าค่า Critical ϵ_c ของ Subgrade จะเกิดที่จุดที่ 2 ของรูปที่ 5.1b (ขอบล้อเดี่ยว) เมื่อความหนาไม่มากนัก แต่ตำแหน่งของการวิบัติจะเลื่อนไปเกิดที่จุดที่ 3 ของรูปที่ 5.1b (กึ่งกลางล้อคู่) เมื่อความหนาของชั้นพื้นทางเพิ่มขึ้น

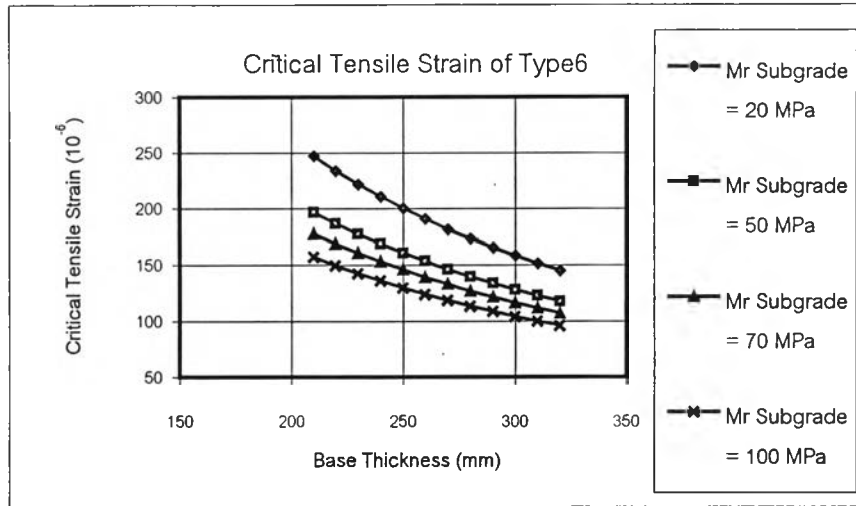
รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับโครงสร้างรูปแบบที่ 5 แต่ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างรูปแบบที่ 5

ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้น Subgrade และจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ที่คำนวณได้ สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ข. และจะพบว่าในช่วงปริมาณจราจรที่พิจารณา (น้อยกว่า 10^6 เทียบ สำหรับปริมาณรถน้อยถึงสูงปานกลาง) ค่า Critical ϵ_c ที่เกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเป็นตัวควบคุมการวิบัติของชั้นทาง เช่นเดียวกับโครงสร้างรูปแบบที่ 5

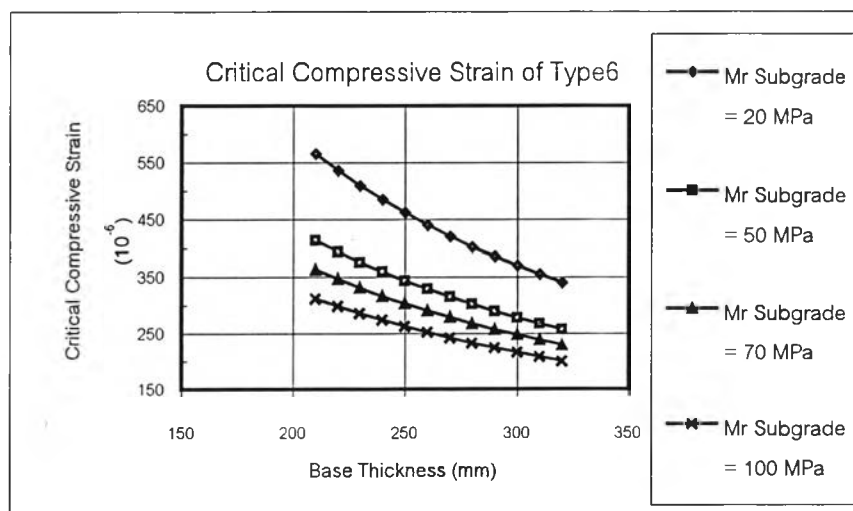
ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จำนวนน้ำหนักรกระทำซ้ำที่ยอมให้สามารถสรุปเป็น Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนที่มีค่าต่างๆสอดคล้องกับโครงสร้างชั้นทางรูปแบบที่ 6 นี้ได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค.

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงใน Chart 5 และ Chart 6 ในภาคผนวก ค. พบว่าเมื่อความหนาของชั้นผิวทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Critical ϵ_c มีค่าลดลง มีผลทำให้โครงสร้างชั้นทางสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น

ตัวอย่างการใช้ Design Chart ในการออกแบบโครงสร้างถนนสามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ง.



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_t กับความหนาของชั้นพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 6



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical ϵ_c กับความหนาของชั้นพื้นทางที่ค่ากำลังของ Subgrade เป็นค่าต่างๆ ของโครงสร้างรูปแบบที่ 6