



การรับปริมาณการจราจร
ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตก่อสร้างบนชั้นพื้นทางมวลรวม
และชั้นพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

โดย

จุฑา สุนิตย์สกุล
ปรณิก จิตต์อารีกุล
ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์
สรวงแสง ชัยเกษตรสิน
สุพรรณวดี ศิริโสม

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

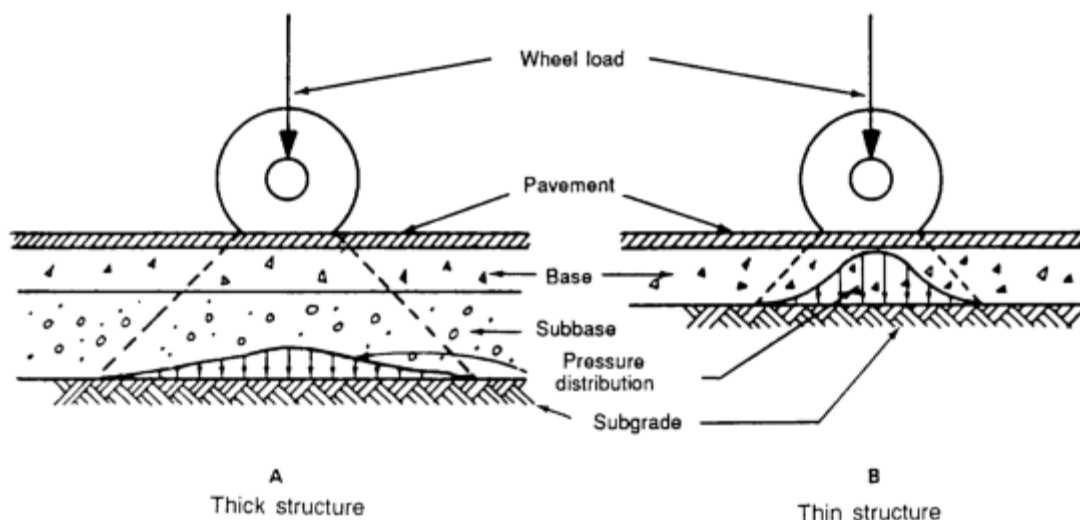
การรับปริมาณการจราจรของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตก่อสร้าง
บนชั้นพื้นทางมวลรวมและชั้นพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จุฑา สุนิตย์สกุล
ปรนิก จิตต์อารีกุล
ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์
สรวงแสง ชัยเกษตรสิน
สุพรรณวดี ศิริโสม

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

1. บทนำ

ถนนลาดยางเป็นที่ก่อสร้างบนชั้นดินเดิมมีวัสดุผิวทางเป็นวัสดุแอสฟัลต์ที่มีความยืดหยุ่น (Flexible Pavement) โดยมีหลักการถ่ายน้ำหนักจากล้อรถบนชั้นบนผิวทางสู่ชั้นดินเดิมตามรูปที่ 1 ซึ่งสามารถก่อสร้างชั้นผิวทางแอสฟัลต์บนชั้นดินเดิม (Full Depth) แต่เพื่อลดค่าก่อสร้าง กรมทางหลวงจึงใช้วัสดุที่มีคุณภาพด้อยกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแทนในชั้นล่างแต่จะต้องมีความหนาที่เหมาะสม เพื่อให้ถนนมีอายุการใช้งานตามที่กำหนดไว้ ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง สามารถดำเนินการได้ 2 วิธีการหลัก (1) วิธีการออกแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical Design) และ (2) วิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางแบบเชิงวิเคราะห์ (Analytical Empirical Method หรือ Mechanistic Empirical Method)



รูปที่ 1 รูปภาพแสดงการกระจายน้ำหนักจากล้อรถสู่ชั้นทาง

วิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางแบบ Analytical Empirical Method เริ่มมีวิวัฒนาการมาตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 1960 และมีพัฒนาการตลอดมา จนปัจจุบันใช้เป็นมาตรฐานในการออกแบบถนนลาดยางในหลายรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งประเทศออสเตรเลียและหลายประเทศในทวีปยุโรป ขั้นตอนสำคัญขั้นหนึ่งของการออกแบบในแนวทางนี้คือจะต้องวิเคราะห์ค่า Stress, Strain และ Deflection (รวมเรียกว่า Pavement Responses) ที่เกิดขึ้นในระบบชั้นทางโดยใช้หลักวิชากลศาสตร์ของวัสดุ ในการออกแบบที่ต้องปรับความหนาของชั้นทางชั้นต่างๆ หลายครั้งเพื่อให้ได้ความหนาที่เหมาะสม การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ จะทำให้การดำเนินการออกแบบฯ สามารถดำเนินการได้รวดเร็ว

2. การออกแบบโครงสร้างชั้นทางในแนว Analytical Method

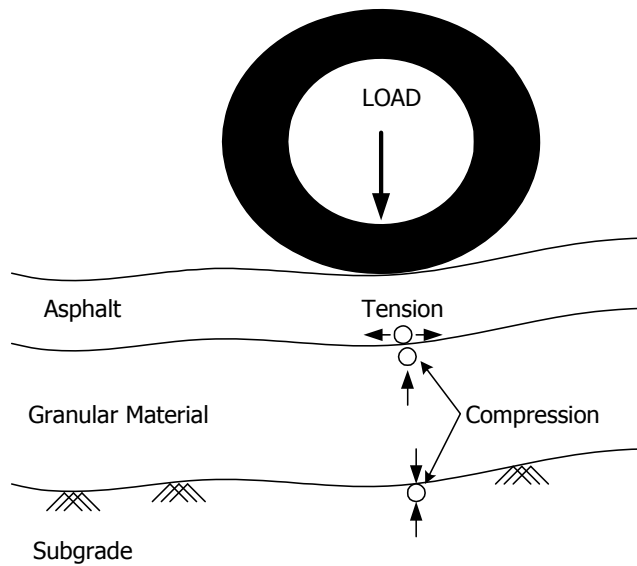
เป็นการออกแบบโครงสร้างชั้นทางโดยคำนึงถึงพฤติกรรมทางวิศวกรรมของวัสดุโครงสร้างทางเป็นหลัก เมื่อชั้นทางถูกน้ำหนักกระทำจากล้อรถ จะเกิดความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และการเคลื่อนตัว Deflection ขึ้นในวัสดุชั้นทาง เมื่อล้อรถผ่านโครงสร้างชั้นทางมากครั้งขึ้น หน่วยแรงเหล่านั้นจะสะสมตัวจนมีขนาดที่จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างชั้นทางได้ ดังนั้นการออกแบบในแนวทาง Analytical ชั้นทางจะถูกออกแบบให้มีความหนาเพียงพอที่จะไม่ให้เกิด Stress, Strain หรือ Deflection เนื่องจากน้ำหนักล้อรถมากเกินไปที่กำหนด การออกแบบจะต้องใช้ความรู้ทางกลศาสตร์ของวัสดุจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างชั้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ Stress และ Strain ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะถือว่าวัสดุชั้นทางเป็นวัสดุ Linear Elastic มีคุณสมบัติเป็นไปตามกฎของ Hooke จากนี้การศึกษาในประเทศเดนมาร์กพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Odemark – Boussinesq มีค่าสอดคล้องใกล้เคียงเป็นอย่างดีกับ Pavement Responses ที่เกิดขึ้นในชั้นทางจริง [1]

การคำนวณ Pavement Responses ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางที่กำหนดจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อการนี้โดยเฉพาะ เช่น BISAR, CIRCLY, KENLAYER, MICHPAVE, ILLIPAVE เป็นต้น หลังจากนั้นจึงนำผลที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาอายุการใช้งานของถนน ถ้าโครงสร้างชั้นทางไม่สามารถรองรับจำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลามาตรฐานที่ต้องการได้ ให้เพิ่มความหนาหรือเปลี่ยนวัสดุโครงสร้างชั้นทางที่มีคุณสมบัติฯ ดีขึ้น จนได้ความหนาที่เหมาะสม

การออกแบบในแนวทางนี้ สามารถออกแบบถนนได้ตามน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการและสามารถใช้วัสดุสร้างทางได้หลากหลาย นอกจากนี้รูปแบบของโครงสร้างชั้นทางสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยไม่ถูกจำกัดตามวิธีการออกแบบในแนวทาง Empirical

3. หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทาง

ในการออกแบบในแนว Analytical นิยมใช้ Strain เป็นตัวควบคุมและกำหนดอายุการใช้งานของถนน [2] เมื่อโครงสร้างชั้นทางถูกน้ำหนักจากล้อรถกดทับที่ผิวทาง จะเกิด Strain ขึ้นในโครงสร้างชั้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทาง

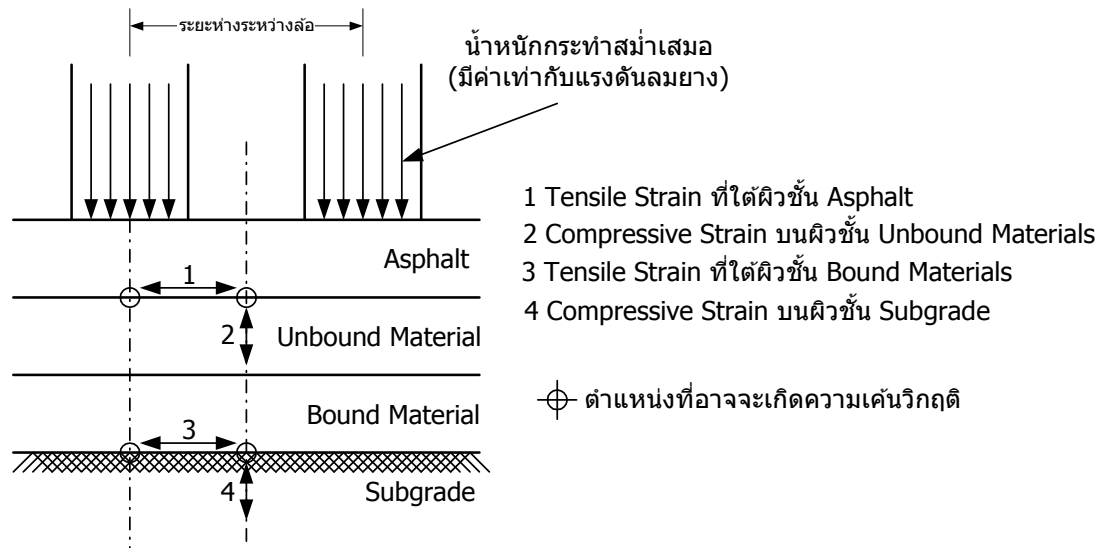
Pavement Responses ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางมีดังนี้

1. Horizontal Tensile Strain ที่ผิวทางชั้นแอสฟัลต์ เกิดขึ้นเนื่องจากชั้นแอสฟัลต์แอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำ เมื่อมีรถบรรทุกแล่นผ่านมากเที่ยวขึ้น จะเกิดการสะสมของ Strain ถ้าขนาดของ Strain เกินกำหนดที่แอสฟัลต์จะรับได้จะทำให้แอสฟัลต์เกิดรอยแตก (Crack) โดยจะเริ่มเกิดที่ผิวด้านล่างก่อน ก่อนที่จะลามขึ้นไปสู่ผิวด้านบน Horizontal Tensile Strain จะเกิดในชั้นวัสดุที่มีการเชื่อมแน่น เช่น วัสดุคินซีเมนต์ด้วย แต่จะไม่เกิดในชั้นวัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่น (Unbound Materials) เช่น ชั้นหินคลุกหรือวัสดุมวลรวม
2. Vertical Compressive Strain บนผิววัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่นเช่น ชั้นหินคลุกหรือวัสดุมวลรวมเกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุถูกกดทับจากน้ำหนักล้อรถ การเกิด Vertical Compressive Strain มากเกินกำหนดจะทำให้โครงสร้างชั้นทางวิบัติในลักษณะของรอยร่องล้อ เนื่องจากดินถมมีความแข็งแรงน้อยที่สุด ค่าโมดูลัสต่ำที่สุด สัดส่วนของ Vertical Compressive Strain ในชั้นถมจึงสูงที่สุด ดังนั้นบางครั้งจึงใช้ Vertical Compressive Strain ที่เกิดขึ้นในชั้นถมเพียงชั้นเดียวในการออกแบบ

4. ลักษณะของน้ำหนักกระทำและตำแหน่งของ Critical Strain

แรงภายนอกที่กระทำต่อโครงสร้างชั้นทางคือน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะที่ถ่ายลงสู่ล้อรถ ซึ่งจะสมมติให้เป็นน้ำหนักกระทำสถิตย์กระทำแผ่สม่ำเสมอขนาดเท่ากับความดันลมยาง พื้นที่สัมผัสของแรงเป็นรูปร่างกลม โดยปกติขนาดของน้ำหนักลงเพลลาที่ใช้ในการออกแบบจะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักเพลลามาตรฐาน ในประเทศไทยเพลลามาตรฐานเป็นเพลลาเดี่ยว ล้อคู่ (Single Axle, Dual Wheels) ล้อคู่หนึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อประมาณ 330 มิลลิเมตร มีน้ำหนักลงเพลลา 10 ตัน หรือล้อรถหนึ่งล้อรับน้ำหนักประมาณ 2.5 ตัน

ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างชั้นทาง จะสมมติให้ชั้นทางถูกน้ำหนักกดทับจากล้อคู่หนึ่ง ของเพลามาตรฐาน จากนั้นตรวจสอบ Strain ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักระทำดังกล่าว ตำแหน่งที่ตรวจสอบ Critical Strain เพื่อใช้กำหนดอายุของชั้นทางแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของแรงกระทำและตำแหน่งที่ตรวจสอบ Critical Strain

5. ค่าโมดูลัสที่ใช้ในการวิเคราะห์

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง สามารถพิจารณาได้จากการทดลองในสนามหรือห้องปฏิบัติการ หรือสามารถพิจารณาเลือกได้จากตารางที่ 1 [3] และค่าโมดูลัสของวัสดุดินถมและวัสดุคัดเลือก สามารถประมาณจากค่า CBR ตามสมการที่ 1

$$\text{Modulus (MPa)} = 10 * \text{CBR (\%)} \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทาง

วัสดุ	โมดูลัส (MPa)
แอสฟัลต์	2000 – 3000
พื้นทางวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์	400 - 1000
พื้นทางหินคลุก	300 – 400
รองพื้นทางวัสดุมวลรวม	150 – 300

6. อายุการใช้งานของถนน

น้ำหนักจากเพลาล้อรถเพียงเที่ยวเดียวจะก่อให้เกิด Strain น้อยมากกับโครงสร้างชั้นทาง แต่เมื่อมีจำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลามากขึ้น Strain ที่เกิดในชั้นทางจะสะสมตัวจนมีขนาดมากเกินกว่าที่ชั้นทางจะรับได้ ถนนก็จะวิบัติหรือหมดอายุในที่สุด ในปัจจุบัน กรมทางหลวง พิจารณาลักษณะการวิบัติของถนนแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือรอยแตก (Crack) และ รอยร่องล้อ (Rutting)

รอยแตกเกิดจากการสะสมของ Horizontal Tensile Strain ที่ผิวด้านล่างของชั้นแอสฟัลต์เกินค่าที่วัสดุชั้นทางจะสามารถรับได้ รอยร่องล้อจะเกิดในชั้นวัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่น เช่นชั้นหินคลุก ดินลูกรัง และดินถม เป็นต้น โดยสาเหตุมาจากการสะสมตัวของ Vertical Compressive Strain เกินค่าที่วัสดุจะยอมให้เกิดได้ ส่วนชั้นวัสดุที่มีการเชื่อมแน่น เช่นหินคลุกซีเมนต์หรือดินซีเมนต์ จะเกิดความเสียหายในรูปของการแตกเนื่องจาก Horizontal Tensile Strain เช่นเดียวกับชั้นแอสฟัลต์ การแตกของวัสดุชั้นดังกล่าวจะเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงของชั้นทางลดลง

ถนนจะหมดอายุเมื่อเกิดรอยแตก และ/หรือ รอยร่องล้อมากจนทำให้ประสิทธิภาพในการขับขี่ของผู้ใช้ถนนลดน้อยลงเกินกว่าที่กำหนด อายุของถนนจึงสามารถบอกได้ในรูปของจำนวนเที่ยวของยานพาหนะที่วิ่งผ่านถนนก่อนที่ถนนจะเกิดการวิบัติในลักษณะใดลักษณะหนึ่งขึ้น ในทางปฏิบัติ จำนวนเที่ยวของยานพาหนะจะอยู่ในรูปของจำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลามาตรฐาน

7. Strain Criteria

ขั้นตอนการออกแบบ เริ่มจากการทดลองออกแบบโครงสร้างชั้นทาง ให้แต่ละชั้นก่อสร้าง ด้วยวัสดุประเภทต่างๆ ที่ทราบถึงคุณสมบัติยืดหยุ่นเชิงเส้น โดยแต่ละชั้นกำหนดให้มีความหนา ที่เหมาะสม โดยมากแล้วมักจะเริ่มต้นอ้างอิงมาจากการออกแบบเชิงประสบการณ์ก่อน หลังจากนั้นนำโครงสร้างชั้นทางดังกล่าวไปวิเคราะห์หาหน่วยแรง ความเครียด และการเสียรูป จากแรงกระทำเพลาล้อที่น้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน ที่ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างชั้นทาง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ เพื่อนำไปใช้กับแบบจำลองคาดการณ์ความเสียหายต่อไป ซึ่งประกอบไปด้วย 3 รูปแบบความเสียหาย คือ

7.1 Asphalt Fatigue Cracking Criteria




การแตกร้าวจากความล้าของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยความเสียหายรูปแบบนี้จะสัมพันธ์ กับความเครียดสูงสุดจากหน่วยแรงดึงที่ด้านล่างของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งแบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของน้ำหนักกระทำ (N_f) กับความเสียหายที่เกิดขึ้น จะมีรูปแบบพื้นฐาน ดังนี้

เมื่อวัสดุชั้นทางถูกกระทำจากแรงภายนอก จะเกิด Strain ขึ้นค่าหนึ่ง เมื่อ Strain ขนาดนี้เกิดขึ้นซ้ำไปซ้ำมาจนถึงจำนวนหนึ่งวัสดุนั้นก็จะเกิดการวิบัติ ขนาดของ Strain และจำนวนเที่ยวที่ Strain ขนาดนั้นจะทำให้วัสดุเกิดการวิบัติมีความสัมพันธ์กันเรียกว่า Strain Criteria ซึ่งหาจากผลการทดลองทั้งในสนามทดสอบและห้องทดลองและสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ ดังนี้

$$\epsilon_p = K \times \left(\frac{N}{10^6} \right)^a \times \left(\frac{E}{E_{Ref}} \right)^b \quad (2)$$

โดย ϵ_p = Strain ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักกระทำ 1 เทียว (Microstrain, $\mu\epsilon$)
 N = จำนวนเทียวของน้ำหนักกระทำที่ทำให้วัสดุเกิดการวิบัติ
 E = โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุชั้นทาง (MPa)

ส่วน K , a , b , และ E_{Ref} คือค่าคงที่ซึ่งได้มาจากการทดลอง ทั้งนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละสถาบันหรือผู้ที่พัฒนาความสัมพันธ์ขึ้นมา ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ที่เสนอโดย บริษัท Shell, Asphalt Institute (Analytical), กรมทางหลวงประเทศ Denmark, NAASRA และที่เสนอโดย Prof. Per Ullidtz [4] ดังแสดงในตารางที่ 2

	Asphalt Concrete
	Base Course
	Subgrade

รูปที่ 4 ความเสียหายแบบ Asphalt Fatigue Cracking

ดังนั้น จากสมการที่ (2) เมื่อทราบจำนวนเทียวของน้ำหนักกระทำก็จะสามารถคำนวณค่า Strain ที่ยอมให้เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางได้ หรือ เมื่อทราบขนาดของ Strain ที่เกิดจากน้ำหนักกระทำ 1 เทียว ก็จะสามารถคำนวณจำนวนเทียวของน้ำหนักกระทำนั้นที่ยอมให้เกิดกับวัสดุได้โดยพลอตภัย ดังนี้

$$N_p = \left[\frac{K}{\epsilon_p} \times \left(\frac{E}{E_{Ref}} \right)^b \right]^{-1/a} * 10^6 \quad (3)$$

เมื่อ N_p คือจำนวนเทียวของน้ำหนักกระทำที่ยอมให้เกิดกับวัสดุได้

ค่า K , a , b_1 , b_2 , และ E_{ref} ทั้งนี้ให้ถูกต้องตามลักษณะของวัสดุ (Bound หรือ Unbound) และข้อกำหนดของสถาบันที่เลือกใช้ ค่าคงที่ในส่วนนี้จะใช้เพื่อคำนวณอายุของโครงสร้างชั้นทางในตาราง 2 ส่วนการคำนวณ

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ในความสัมพันธ์ระหว่าง Strain และจำนวนเที่ยวของน้ำหนักระทำของแต่ละองค์กร [3]

องค์กร	K ($\mu\epsilon$)	a	b_1 ($E < E_{Ref}$)	b_2 ($E > E_{Ref}$)	E_{Ref} (Mpa)
<u>TAI</u>					
- Bound	216	-0.304	-0.25	-0.25	10000
- Unbound	482	-0.223	0	0	160
<u>Shell</u>					
- Bound	180	-0.200	-0.40	-0.40	10000
- Unbound	885	-0.25	0	0	160
<u>Denmark</u>					
- Bound	195	-0.180	0	0	10000
- Unbound	752	-0.307	0.16	0	160
<u>NAASRA</u>					
- Bound	225	-0.200	0	0	3000
- Unbound	1230	-0.140	0	0	160
<u>Ullidtz</u>					
- Bound	150	-0.200	-0.50	-0.50	10000
- Unbound	648	-0.138	0.56	0.56	17.6

7.2 Cracking Criteria of the Cement Stabilized Materials

ความเสียหายนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเครียดจากหน่วยแรงดึงในแนวราบ ที่ด้านล่างของโครงสร้างชั้นทางชั้นที่ก่อสร้างด้วยวัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ กรมทางหลวงได้นำเอาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของน้ำหนักระทำ (N_p) กับความเสียหายที่เกิดขึ้นจากต่างประเทศ โดยขึ้นกับดุลพินิจของผู้ออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานดังนี้

แบบจำลองของ Jameson และคณะ [5]

ชั้นทางที่หินคลุกซีเมนต์ ได้ชั้นทางที่พิจารณา หนาน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร

$$N_p = \left[\frac{28400}{\epsilon_t * E^{0.41}} \right]^{8.8} \quad (4)$$

ชั้นทางที่หินคลุกซีเมนต์ ได้ชั้นทางที่พิจารณา หนามากกว่า 100 มิลลิเมตร

$$N_p = \left[\frac{35000}{\epsilon_t * E^{0.45}} \right]^8 \quad (5)$$

โดย N_p = จำนวนครั้งของน้ำหนักกระทำ จนเกิดความเสียหายที่กำหนด
 E = Modulus ของวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์
 ϵ_t = ความเครียดจากหน่วยแรงตั้งในแนวราบจากน้ำหนักกระทำ 1 เทียว ($\mu\epsilon$)

แบบจำลองของ De Beer [6]

สำหรับชั้นทางลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์

$$N_p = 266 * \left[\frac{UCS}{\sigma_z} \right]^{7.69} \quad (6)$$

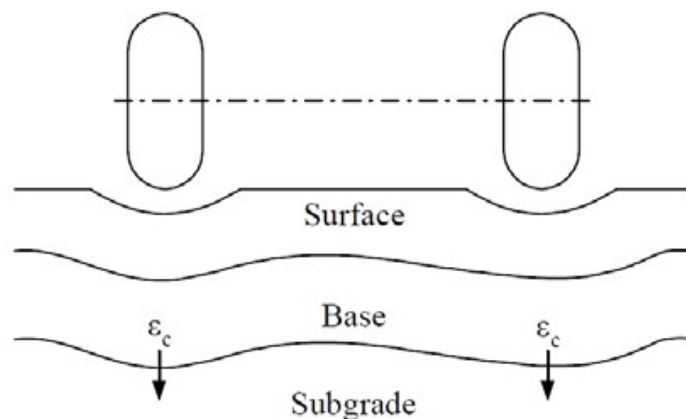
โดย N_p = จำนวนครั้งของน้ำหนักกระทำ จนเกิดความเสียหายที่กำหนด
 UCS = กำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่มีแรงดันด้านข้างของวัสดุ
 σ_z = หน่วยแรงอัดตั้งฉากแนวตั้งบนวัสดุ

7.3 Soil Aggregate and Subgrade Rutting Criteria

การวิบัติแบบยุบตัวตามแนวร่องล้อของวัสดุมวลรวมและวัสดุดินเดิมตามรูปที่ 5 นั้น ความเสียหายจะสัมพันธ์กับความเครียดสูงสุดจากหน่วยแรงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นด้านบนของดินเดิม ซึ่งแบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของน้ำหนักกระทำ (N_p) กับความเสียหายที่เกิดขึ้น จะมีรูปแบบพื้นฐาน ดังนี้

$$N_p = a * (\epsilon_c)^{-b} \quad (8)$$

โดย N_p = จำนวนครั้งของน้ำหนักกระทำ จนเกิดความเสียหายที่กำหนด
 ϵ_c = ความเครียดสูงสุดในแนวตั้งที่เกิดขึ้นด้านบนของชั้นวัสดุมวลรวมและดินเดิม



รูปที่ 5 รูปแสดงความเสียหายแบบร่องล้อของชั้นวัสดุมวลรวมและดินเดิม

กรมทางหลวง ได้นำแบบจำลองมาใช้งาน โดยค่าคงที่ a และ b นั้นได้นำจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการและสนามจากองค์กรต่างประเทศตามที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าคงที่สำหรับแบบจำลองความเสียหายร่องล้อของวัสดุมวลรวมและดินถมจากหน่วยงานต่างๆ

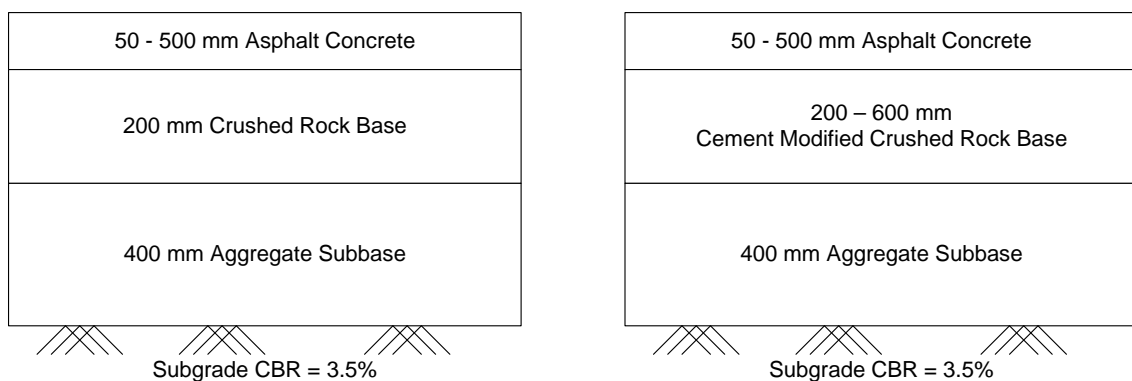
องค์กร	a	b	ความลึกของร่องล้อ (mm.)
The Asphalt Institute (9 th Edition)	1.365*10 ⁻⁹	4.477	12.5
Shell (1985)			
- 50% Reliability	6.15*10 ⁻⁷	4	12.5
- 85% Reliability	1.94*10 ⁻⁷	4	12.5
- 95% Reliability	1.05*10 ⁻⁷	4	1.25
TRRL	6.18*10 ⁻⁸		10.0

8 การวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างทาง

8.1 ผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างผิวทาง

โครงสร้างชั้นทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางแสดงในรูปที่ 6 และน้ำหนักบรรทุกตามประกาศของผู้อำนวยการทางหลวงน้ำหนักบรรทุกเพลาเดี่ยวล้อคู่ Tandem น้ำหนักบรรทุก 11 ตัน

ผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดิ่งใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดแสดงตามรูปที่ 7 8 และ 9 โดยรูปที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดิ่งใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดบนชั้นบนชั้นพื้นทางหินคลุก (E = 350 MPa) จากขนาดน้ำหนักบรรทุกเพลาต่างๆ



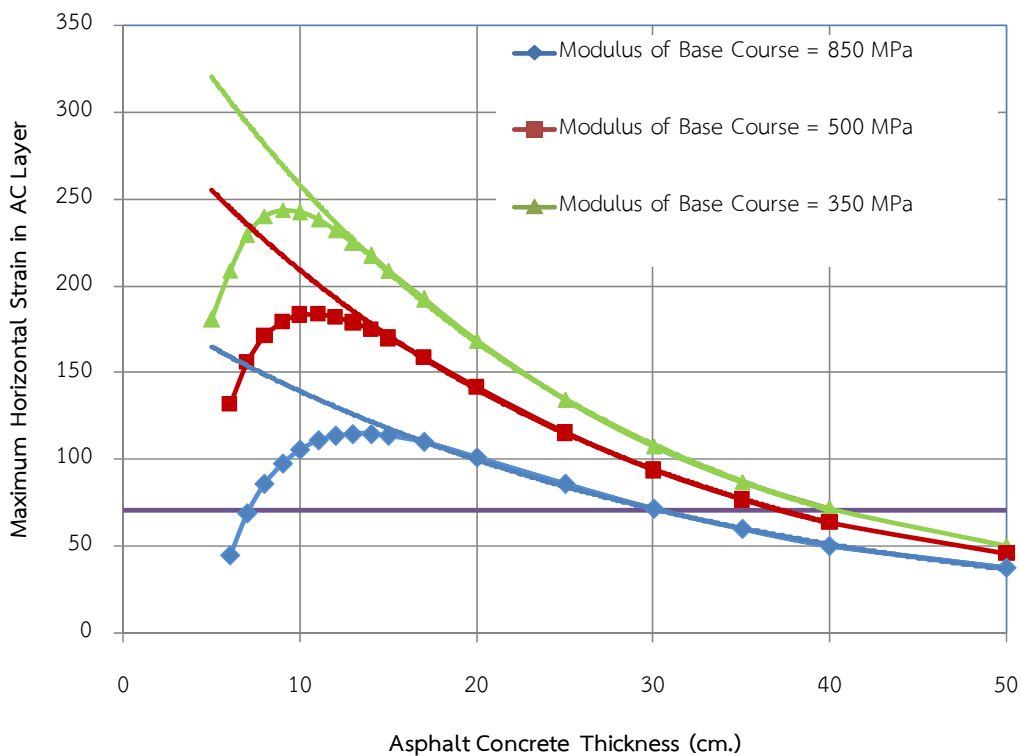
รูปที่ 6 โครงสร้างชั้นทางที่ใช้ในการศึกษา

8.2 การวิเคราะห์ความเครียดจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุด

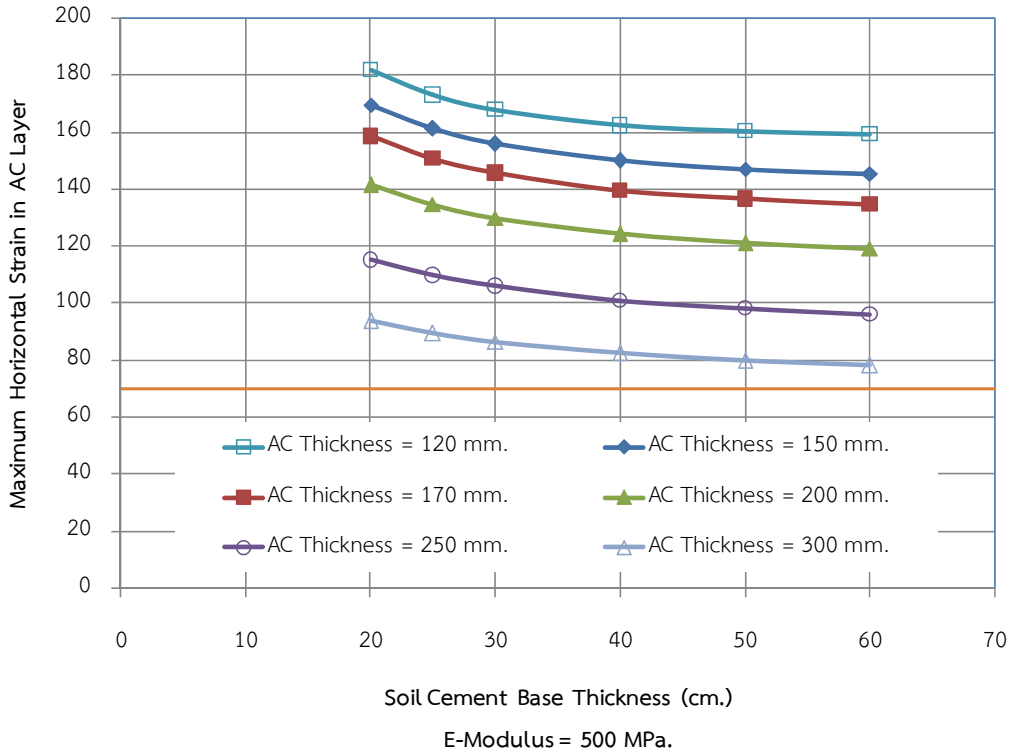
ผลการวิเคราะห์ความเครียดจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดตามรูปที่ 7 ที่มีค่าน้อยเมื่อความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์น้อย และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์สูงขึ้น จนมากที่สุดและจะลดลงเมื่อความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น นั้นสอดคล้องกันกับที่ [7] ได้นำเสนอและเกี่ยวข้องกันกับอิทธิพลของชั้นพื้นทาง ดังนั้นในการนำค่าความเครียดแรงดึงไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง [7] ได้ให้คำแนะนำ โดยดำเนินการการตามทีแสดงในรูปที่ 8

ผลการวิเคราะห์ความเครียดจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดตามรูปที่ 8 และ 9 พบว่าความหนาชั้นพื้นทางวัสดุฐานทางปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เพิ่มขึ้นนั้น มีผลต่อความความเครียดจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาชั้นแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น

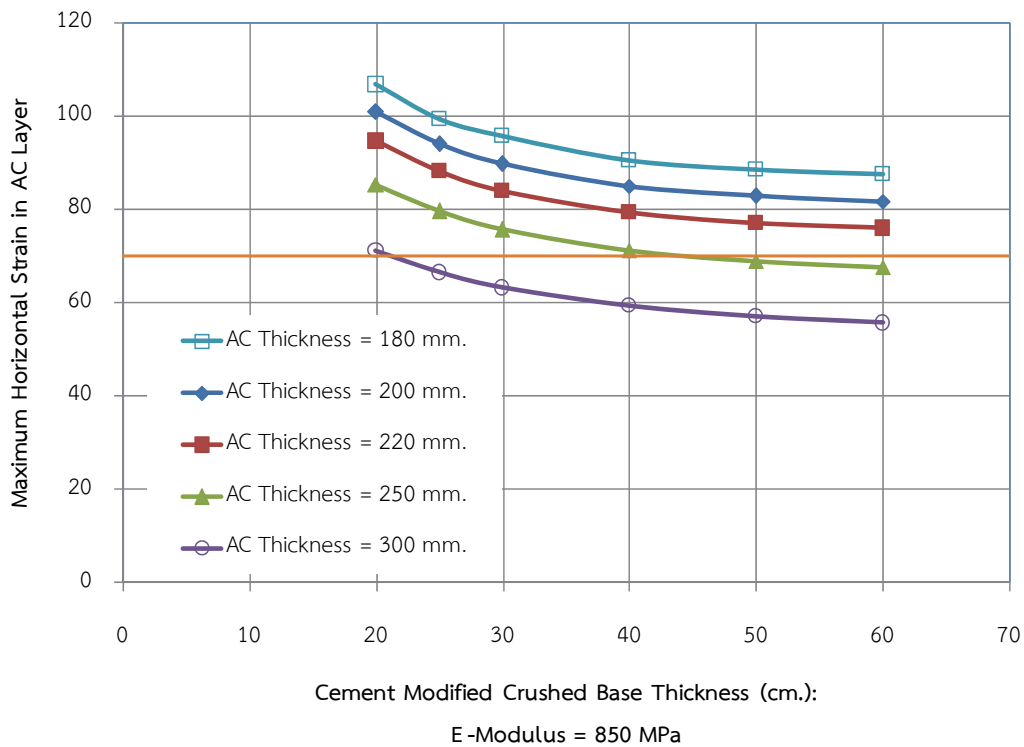
ผลการวิเคราะห์ความเครียดจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดตามรูปที่ 10 นั้นพบว่าการใช้ Elastic Model ของวัสดุชั้นทางให้การวิเคราะห์ที่น้อยกว่าความเป็นจริงเมื่อน้ำหนักลงเพลากกระทำต่อชั้นทางสูงเกิน 12 ตัน เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์เมื่อความหนาผิวทางแอสฟัลต์บาง



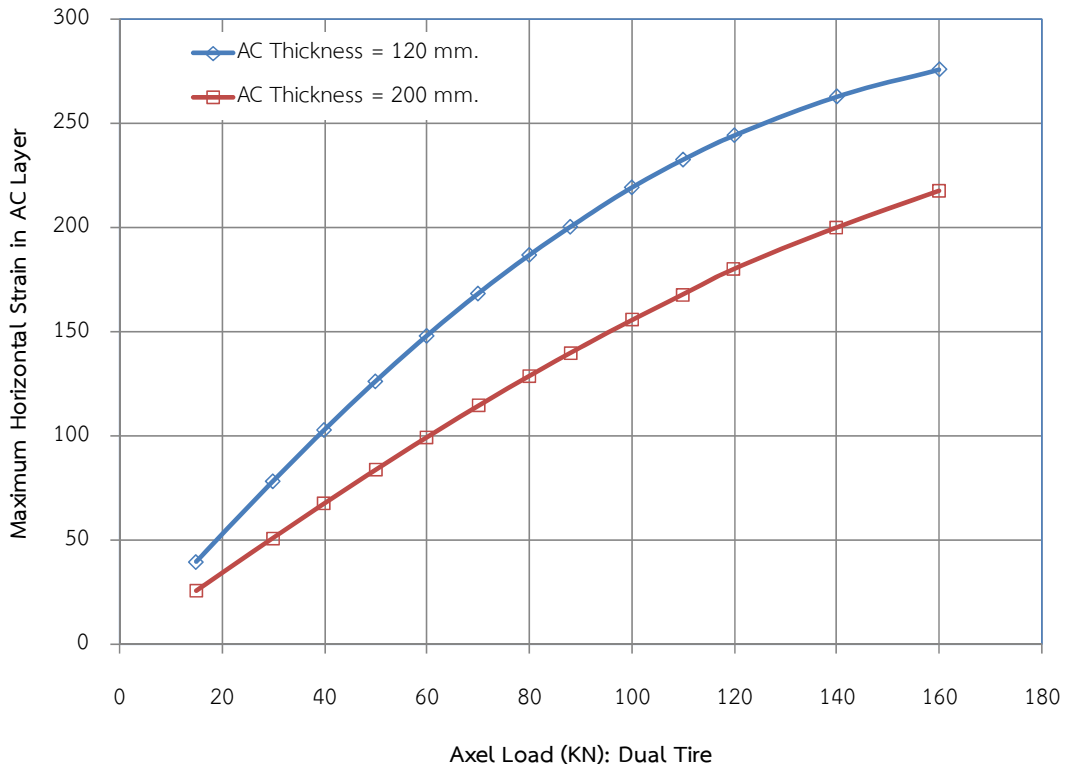
รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุด



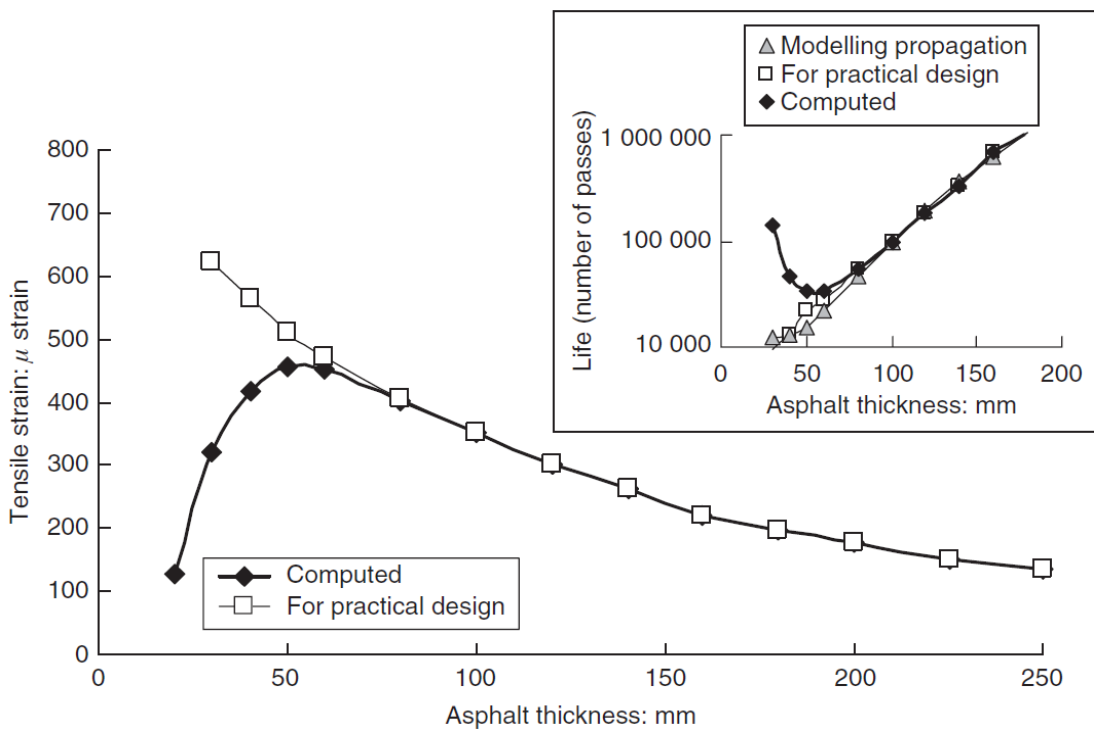
รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดบนชั้นพื้นทางดินซีเมนต์



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดึงใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุดบนชั้นพื้นทางหินคลุกซีเมนต์



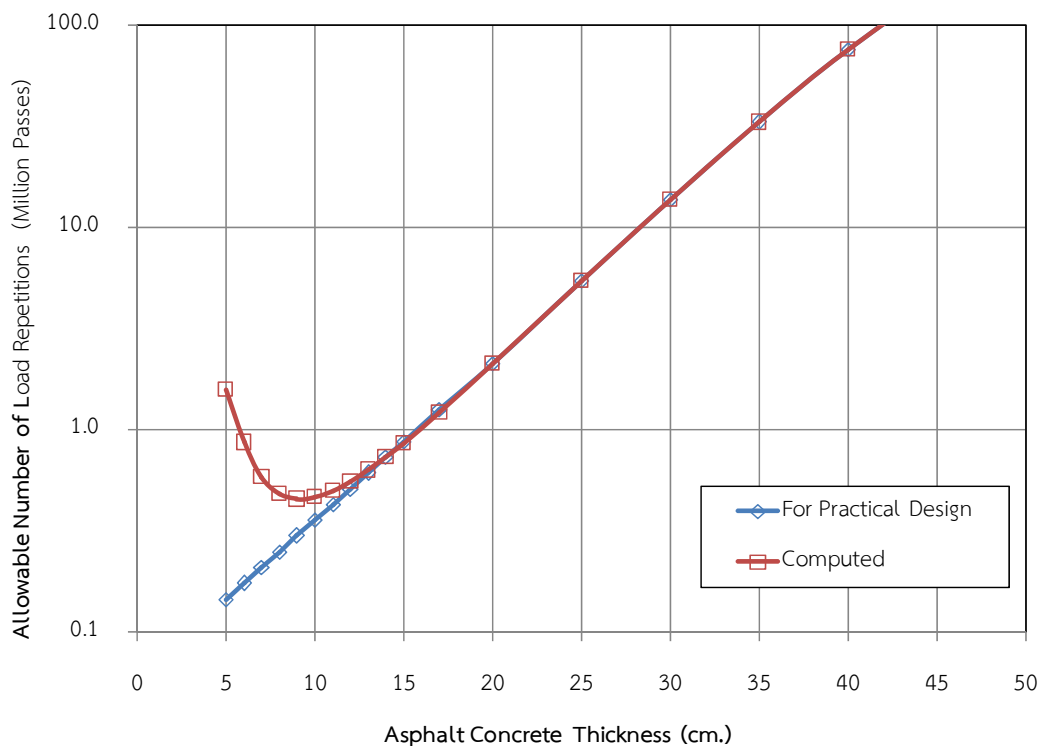
รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดิ่งใต้ผิวทางแอสฟัลต์สูงสุด บนชั้นพื้นหินคลุกที่น้ำหนักลงเพลลาแปรเปลี่ยน



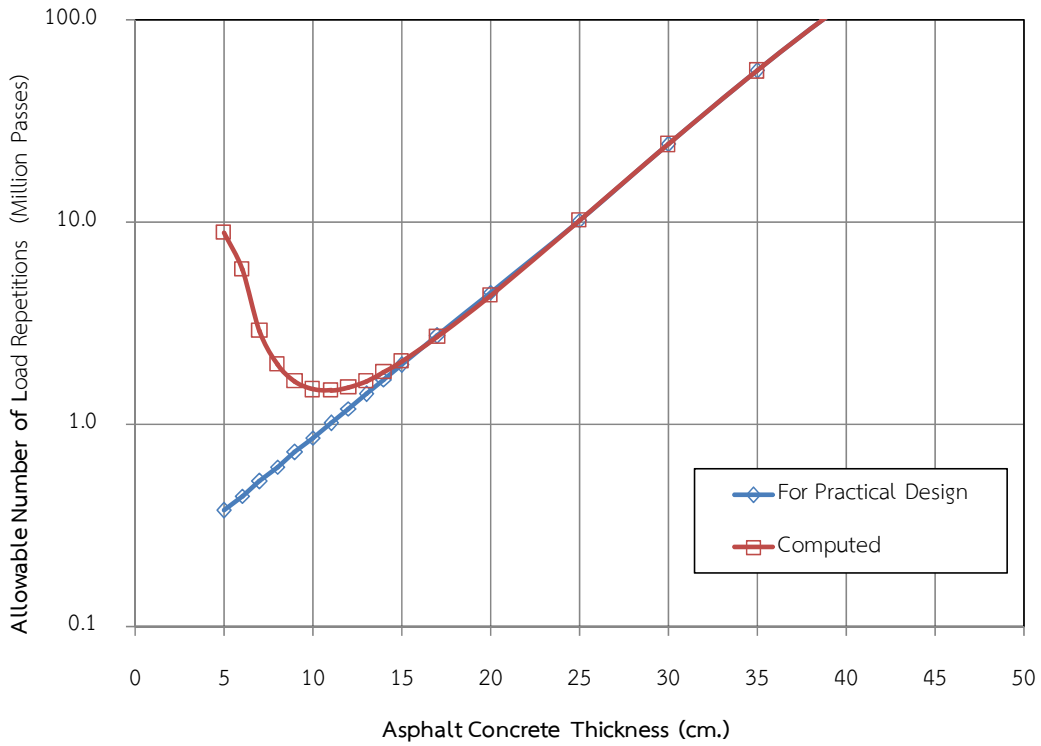
รูปที่ 11 รูปแสดงผลจากผิวแอสฟัลต์ที่บางต่อค่าความเครียดแรงดิ่งสูงสุดใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์

9 การประมาณการรับปริมาณการจราจร

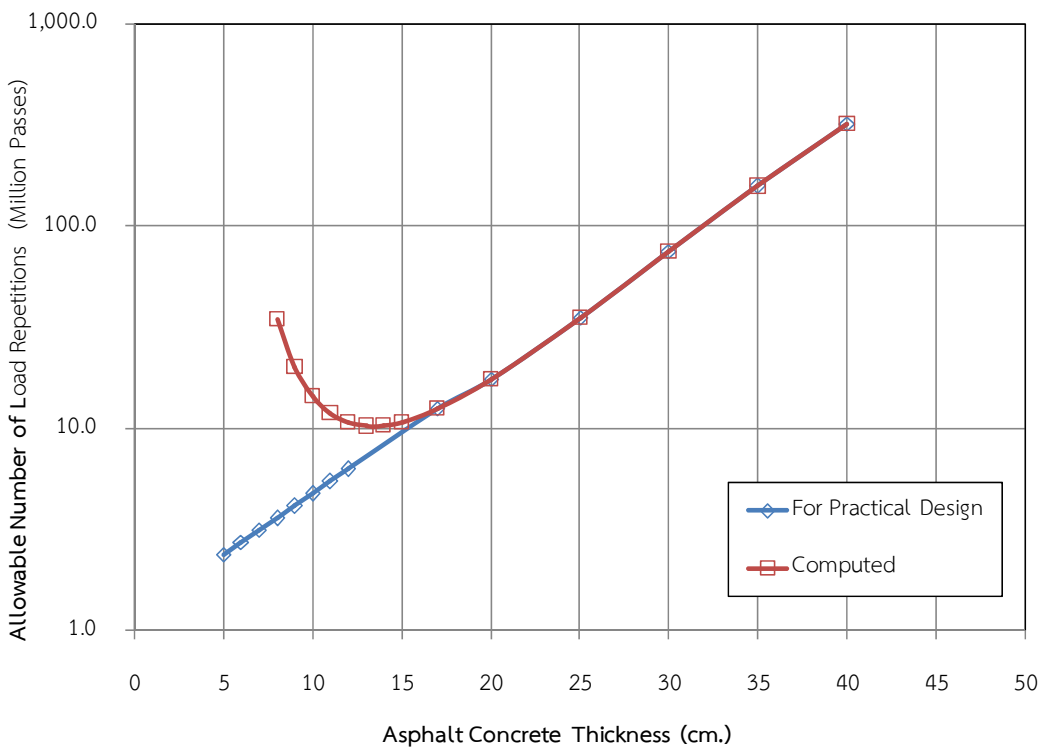
จำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลาเดี่ยวล้อคู่ขนาด 11.0 ตัน (24,200 lbs) ที่สามารถผ่านโครงสร้างชั้นทางได้ตามรูปที่ 6 และปริมาณการรับปริมาณการจราจรตาม [7] แนะนำ แสดงในรูปที่ 12 ถึง 14 การทำนายอายุการใช้งานและการออกแบบถนนนี้จะได้ผลแตกต่างกันไปตามแต่ Strain Criteria ของแต่ละสถาบันฯ เนื่องจากต่างพัฒนามาจากสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน นอกจากนี้คุณสมบัติของวัสดุก็มีผลมากต่อค่าที่คำนวณได้ ความถูกต้องของผลการคำนวณจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของ Strain Criteria และคุณสมบัติของวัสดุที่เลือกใช้



รูปที่ 14 ภาพแสดงปริมาณจำนวนจราจรที่โครงสร้างทางตามรูปที่ 6 สามารถรองรับได้ (พื้นทางซีเมนต์)



รูปที่ 14 ภาพแสดงปริมาณจำนวนจราจรที่โครงสร้างทางตามรูปที่ 6 สามารถรองรับได้ (พื้นทางดินซีเมนต์)



รูปที่ 14 ภาพแสดงปริมาณจำนวนจราจรที่โครงสร้างทางตามรูปที่ 6 สามารถรองรับได้ (พื้นทางหินคลุกซีเมนต์)

10. บทสรุป

บทความนี้ได้เสนอหลักการเบื้องต้นในการวิเคราะห์การรับปริมาณการจราจรของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตก่อสร้างบนชั้นพื้นทางมวลรวมและชั้นพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามวิธีการ Analytical Empirical Design ความสามารถในการรองรับปริมาณของโครงสร้างทาง โดยมีชั้นพื้นทางเป็นวัสดุชนิดต่างๆ กันนั้น ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวทาง และพื้นทาง รวมทั้งความแข็งแรงของชั้นพื้นทาง

อย่างไรก็ตามการออกแบบโครงสร้างทางตามแนวทาง Analytical Empirical Design จะถูกต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น คุณสมบัติของวัสดุที่สมมติให้เป็นวัสดุ Linear-Elastic ในความเป็นจริงวัสดุมวลรวม เช่นหินคลุก วัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ หรือวัสดุชั้นดินถม มีคุณสมบัติ Non-Linear การทดสอบค่าโมดูลัสของวัสดุทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ Strain Criteria ก็ไม่สามารถใช้ได้ทุกสภาพภูมิประเทศ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามภูมิอากาศและภูมิประเทศ ดังนั้นการจะนำวิธีการออกแบบแบบ Analytical Empirical มาใช้นั้น จะต้องมีการศึกษาเพื่อกำหนด Strain Criteria และการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุสร้างทางเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของประเทศไทย

10. เอกสารอ้างอิง

1. ULLIDTZ, P., (2000), Verification of Analytical Methods, Proceeding of the First Seminar on Pavement Technology, Department of Highways, Thailand
2. HUANG, Y., H., (1993), Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, New Jersey.
3. AUSTRROADS (1992), Pavement Design – A Guide to the Structural Design of Road Pavements, Sydney.
4. ULLIDTZ, P., (1998), Modeling Flexible Pavement Response and Performance, Polyteknisk Forlag, Denmark.
5. Jameson G., Sharp K. and Yeu R. (1992) “Cement-Treated Crushed Rock Pavement Fatigue Under Accelerated Loading” Australian Road Research, No. 229.
6. De Beer (1989) “Compression Failure of Lightly Cementitious Materials” Research Report DPVT 36, CSIR.
7. Thom N. (2008) Principles of Pavement Engineering, ICE Virtual Library.

