

บันทึกวิชาการฉบับที่ 17

การออกแบบความหนาถนนคอนกรีต
โดยวิธีของ
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

บันทึกวิชาการฉบับที่ 17
การออกแบบความหนาถนนคอนกรีต
โดยวิธีของ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

สารบัญ

	หน้า
การออกแบบความหนาถนนคอนกรีต โดยวิธีของ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION	1
ตารางที่ 1 : ค่า Modulus of Subgrade Reaction, k	2
ตารางที่ 2 : การคำนวณความหนาผิวทางคอนกรีต	6
ตารางที่ 3 : แรงเค้นเทียบเท่า - ไม่มีไหล่คอนกรีต (เพลาดียว / เพลาคู่)	7
ตารางที่ 4 : องค์ประกอบการกัดเซาะ รอยต่อมีเหล็กเดือย ไม่มีไหล่คอนกรีต (เพลาดียว / เพลาคู่)	10
รูปที่ 1 : NOMOGRAPH สำหรับการวิเคราะห์ความล้า	8
รูปที่ 2 : NOMOGRAPH สำหรับการวิเคราะห์การกัดเซาะ	11

คำนำ

บันทึกวิชาการฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการพิจารณาความหนาถนนคอนกรีตที่เหมาะสม โดยวิธีการของ Portland Cement Association ซึ่ง Input Parameters ที่ใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าคือ Traffic Loading ได้แก่ปริมาณจราจร, น้ำหนักเพลา ฯลฯ และคุณสมบัติของชั้น Subgrade วัดโดยค่า Modulus of Subgrade Reaction นอกจากนี้ความแข็งแรงของคอนกรีต (กำลังคอนกรีต) สะท้อนในค่า Modulus of Rupture นำมาใช้ในการคำนวณเพื่อพิจารณาความหนาด้วย ดังนั้นวิธีการนี้จึงค่อนข้างจะควบคุมตัวแปรโดยตรงที่มีผลต่อความหนาของผิวคอนกรีตต่อสภาพการใช้ รวมทั้งคุณสมบัติของวัสดุด้วย

การออกแบบความหนาถนนคอนกรีต โดยวิธีของ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

วัตถุประสงค์ของเอกสารฉบับนี้เพื่อใช้เป็นเอกสารสำหรับการทำงานหรือการอ้างอิงเพื่อพิจารณาความหนาของผิวถนนคอนกรีต

โดยบรรทัดฐานผิวทางคอนกรีต จะต้องมีความหนาเพียงพอ เพื่อรับน้ำหนักล้อรถที่กระทำซ้ำ ๆ กันในช่วงอายุการออกแบบ (Design Period) และการออกแบบจะต้องประหยัด

สำหรับการออกแบบผิวทางคอนกรีต ได้มีการพัฒนาปรับปรุงวิธีการมาตลอดเป็นระยะเวลาประมาณ 50 ปี สำหรับวิธีการนำเสนอในเอกสารฉบับนี้ เป็นเอกสารที่นำเสนอในชื่อ “Thickness Design for Concrete Pavements” เผยแพร่โดย Portland Cement Association (PCA) ในปี ค.ศ. 1984

ในเอกสารดังกล่าว การพิจารณาซึ่งเป็นหัวใจสำคัญต่อสภาพการใช้งานของผิวคอนกรีต รวมทั้งอายุการใช้งานที่ยืนยาว ได้แก่ สภาพการรองรับโดยชั้นงานดินรองรับหรือชั้นรองพื้นทางต้องมีความสม่ำเสมอพอสมควร การขจัดการเกิด Pumping (เศษวัสดุละเอียดใต้พื้นคอนกรีตถูกดูดขึ้นมาบริเวณรอยต่อหรือบริเวณที่แผ่นพื้นแตกร้าว) โดยการใช้ชั้นพื้นทางบาง ๆ ทั้งนี้พื้นที่อาจเป็นได้ทั้งปรับสภาพ (Treated) และไม่ปรับสภาพ (Untreated) การปรับสภาพคงเป็นการผสมปูนซีเมนต์เข้ากับชั้นพื้นทางและบดอัด เป็นลักษณะของ Cement Modified Crushed Rock Base นอกจากนี้จะต้องพิจารณาออกแบบรอยต่อต่าง ๆ และความหนาผิวคอนกรีตต้องหนาพอที่จะควบคุมแรงเค้น (Stress) ให้อยู่ในขีดความปลอดภัย

สรุปวัตถุประสงค์ของการออกแบบผิวถนนคอนกรีต โดยทั่วไปก็คือพิจารณาความหนาขั้นต่ำ ซึ่งราคารายปีต่ำสุด (Least Annual Cost)

เนื่องจากแรงเค้นโดยตรงซึ่งเป็นแรงเค้นอัด (Direct Compressive Stress) ในผิวของคอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักล้อรถนั้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดของวัสดุคือคอนกรีต ดังนั้นจึงไม่นำส่วนดังกล่าวนี้มาพิจารณาในการออกแบบความหนา กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) มีความสำคัญยิ่งในการออกแบบความหนา ทั้งนี้เนื่องจากแรงเค้นดัด (Flexural Stress) ที่เกิดจากน้ำหนักล้อรถ เป็นปริมาณมากกว่าครึ่งหนึ่งของกำลังรับแรงดัด

กำลังรับแรงดัดวัดโดยการทดสอบหา Modulus of Rupture กับคานทดสอบโดยให้แรงกระทำจุดที่สาม (Third - point Loading) PCA แนะนำให้ใช้กำลังที่ 28 ถึง 90 วัน ทั้งนี้เนื่องจากในระยะแรก ๆ ของอายุคอนกรีตจะเกิดแรงเค้นที่กระทำซ้ำ ๆ กันน้อยมาก เปรียบเทียบกับที่จะเกิดขึ้นอีกนับเป็นล้าน ๆ เทียวหลังจากนั้น นอกจากนี้ยังเป็นเหตุผลมาจากกำลังคอนกรีต เพิ่มขึ้นตามอายุอีกด้วย

องค์ประกอบสำคัญอีกประการหนึ่ง ในการออกแบบหรือพิจารณาความหนาผิวคอนกรีต คือการรองรับของดินชั้นคันทาง (Subgrade) หรือชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ซึ่งวัดโดย Westergaad Modulus of Subgrade Reaction, k การพิจารณาค่า k ใช้การทดสอบ Plate Bearing Test ส่วนใหญ่ใช้ Plate ขนาด 30 นิ้ว ค่า k สำหรับกลุ่มดินตามระบบแยกประเภทของ AASHTO แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ค่า Modulus of Subgrade Reaction, k

กลุ่มดินตามระบบ AASHTO	k (lb/in ³)
A-1-a	400 +
A-1-b	250 +
A-2-4, A-2-5	300 +
A-2-6, A-2-7	175 - 325
A-3	200 - 325
A-4	100 - 300
A-5	50 - 175
A-6	50 - 225
A-7-5, A-7-6	50 - 225

PCA แนะนำเกณฑ์การออกแบบ 2 ประการคือ

1. ความล้า (Fatigue) เพื่อควบคุมแรงเค้นในผิวถนนเกิดจากน้ำหนักล้อรถกระทำซ้ำ ๆ กัน ให้อยู่ในขีดจำกัดหนึ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าว จากความล้า (Fatigue Cracking)
2. การกัดเซาะ (Erosion) เพื่อจำกัดผลการแอ่นตัว (Deflection) ของผิวทาง บริเวณรอยต่อ, มุม และขอบของแผ่นพื้น เพื่อควบคุมการกัดเซาะวัสดุฐานราก

คอนกรีตจะเกิดความล้า เช่นเดียวกับวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ในกรณีความคิด (Concept) การออกแบบของ PCA ความวิบัติจากความล้าเกิดขึ้นเมื่อวัสดุแยกขาด (Rupture) จากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก่อให้เกิดอัตราส่วนแรงเค้นน้อยกว่า 1 ในที่นี้อัตราส่วนแรงเค้น คือ อัตราส่วนระหว่างแรงเค้นดัด ต่อ Modulus of Rupture

การวิจัยความล้าจากแรงดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นคอนกรีตพบว่า จำนวนแรงเค้นที่กระทำซ้ำ ๆ กัน จะเพิ่มขึ้นได้ เมื่ออัตราส่วนแรงเค้นต่ำลง การวิจัยยังพบความจริงอีกว่าถ้าอัตราส่วนแรงเค้นต่ำกว่า 0.55 คอนกรีตสามารถทนแรงเค้นที่กระทำซ้ำ ๆ กันได้ไม่จำกัดจำนวน โดยปราศจากการสูญเสียสมรรถนะการรองรับน้ำหนัก PCA กำหนดให้อัตราส่วนดังกล่าวไม่เกิน 0.5

ในอดีตวิธีการออกแบบความหนาสำหรับผิวคอนกรีตจะรวมถึงการเผื่อสำหรับแรงกระแทก (Impact) จากน้ำหนักเคลื่อนที่ (Moving Load) วิธีการของ PCA จะไม่นำส่วนดังกล่าวมาพิจารณา แต่จะทดแทนด้วย “ตัวคูณน้ำหนักความปลอดภัย” (Load Safety Factor) ในการออกแบบสำหรับตัวคูณน้ำหนักความปลอดภัย PCA แนะนำไว้ดังนี้คือ

- สำหรับถนนสายหลักระหว่างเมืองในลักษณะของ Interstate Highway ในสหรัฐอเมริกา และเป็นถนนหลายช่องทาง (Multi - lane Highway) ซึ่งมีปริมาณรถบรรทุกหนักเป็นจำนวนมาก ให้ใช้ตัวคูณน้ำหนักความปลอดภัยเท่ากับ 1.2
- ทางหลวงหรือถนนสายรองที่มีปริมาณรถบรรทุกพอสมควร ให้ใช้ตัวคูณน้ำหนักความปลอดภัยเท่ากับ 1.1
- ทางหลวงหรือถนนสายย่อยที่มีปริมาณรถบรรทุกน้อยมาก ให้ใช้ตัวคูณน้ำหนักความปลอดภัยเท่ากับ 1.0

การวิเคราะห์แรงเค้นในผิวคอนกรีต และการเอนตัวบริเวณรอยต่อมุมและขอบของผิวทาง ได้กำหนดบริเวณวิกฤติตำแหน่งน้ำหนักเพลารถไว้ดังนี้

1. สำหรับแรงเค้น เมื่อล้อรถบรรทุกอยู่ที่หรือใกล้ขอบผิวทาง และกึ่งกลางระหว่างรอยต่อ
2. สำหรับการเอนตัวของผิวทางที่มุมของแผ่นพื้น เมื่อเพลาล้อรถอยู่ตรงรอยต่อและล้อรถอยู่ที่มุม

รถบรรทุกส่วนใหญ่ ล้อรถด้านนอกจะอยู่ห่างจากขอบทางประมาณ 2 ฟุต วิธีการออกแบบของ PCA สมมติให้รถบรรทุกจำนวนร้อยละ 6 วิ่งโดยล้อรถด้านนอกอยู่ที่ขอบผิวทาง ทั้งนี้แรงเค้นและการแอ่นตัวสูงสุดเกิดขึ้นจากตำแหน่งล้อรถดังกล่าว เมื่อระยะทางจากล้อรถไปยังขอบผิวทางเพิ่มขึ้นขนาดของแรงเค้นและการแอ่นตัวจะลดลง แต่ความถี่ของน้ำหนักล้อรถจะเพิ่มขึ้น

PCA ได้วิเคราะห์ตำแหน่งการกระจายน้ำหนักล้อรถบรรทุก และได้แสดงผลการวิเคราะห์ในตารางตัวเลขหรือแผนภูมิการออกแบบ การวิเคราะห์ยังรวมถึงความล้าที่สัมพันธ์กับตำแหน่งน้ำหนักล้อรถต่าง ๆ กัน โดยแสดงผลในรูปของตัวคูณน้ำหนักเทียบเท่า ซึ่งเมื่อคูณด้วยแรงเค้นขณะน้ำหนักล้อรถอยู่ที่ขอบทางจะได้อัตราความล้าขนาดเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลจากการกระจายน้ำหนัก ในลักษณะเดียวกันได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการแอ่นตัว จากผลของตำแหน่งน้ำหนักล้อรถ

วิธีการออกแบบของ PCA มีช่วงเวลาการออกแบบ (Design Period) เท่ากับ 20 ปี

นอกจากนี้ วิธีการออกแบบของ PCA ได้นำผลการวิเคราะห์เรื่องการกัดเซาะวัสดุฐานรากและที่ไหล่ทาง เกิดจากการแอ่นตัวของผิวทาง บริเวณขอบ, รอยต่อและมุมมารวมด้วย การวิเคราะห์ดังกล่าวสำนึกถึงสาเหตุความเสียหายที่เกิดกับผิวทาง อาทิเช่น Pumping, Faulting และปัญหาบริเวณไหล่ทาง ซึ่งไม่เกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์กับความล้า

องค์ประกอบสำคัญอีกประการหนึ่งในการออกแบบ ก็คือ ปริมาณซึ่งผิวทางจะต้องรองรับระหว่างอายุการให้บริการหรือช่วงเวลาการออกแบบ ซึ่งในองค์ประกอบนี้ จุดวิกฤติอยู่ที่ขนาดและจำนวนของน้ำหนักบรรทุกทุกหนักร

คู่มือการออกแบบของ PCA ได้ให้รายละเอียดวิธีพิจารณาปริมาณการจราจร จำนวนและขนาดของน้ำหนักล้อรถบรรทุกทุกหนักรที่กระทำซ้ำ ๆ กันไว้ 2 วิธี วิธีการแรกจะใช้ตัวเลขมาจากการแจกแจงปริมาณการจราจร โดยแยกประเภทรถ รวมกับการสำรวจน้ำหนักล้อรถ อีกวิธีการหนึ่งจะมีพื้นฐานจากสมรรถนะรองรับปริมาณจราจร ซึ่งกำหนดขึ้นสำหรับถนนที่จะทำการออกแบบนั้น

ตัวอย่างการออกแบบความหนาผิวถนนคอนกรีต

ถนนระหว่างเมือง 4 ช่องจราจร สร้างในที่เนิน (Rolling Terrain) ช่วงเวลาออกแบบสำหรับผิวคอนกรีตเท่ากับ 20 ปี ปริมาณการจราจรในปัจจุบันเท่ากับ 12,900 คัน/วัน (ADT) และตัวคูณสำหรับการขยายตัว (Projection Factor) = 1.5 ประเมินปริมาณรถบรรทุกร้อยละ 19% ของปริมาณทั้งหมด

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณการจราจรต่อวันเพื่อการออกแบบ} &= 12,900 \times 1.5 \\
 &= 19,350 \text{ คัน/วัน} \\
 \text{ปริมาณรถบรรทุก} &= 19,350 \times 0.19 = 3,680 \text{ คัน/วัน} \\
 \text{แต่ละด้าน} &= \frac{3,680}{2} = 1,840 \text{ คัน/วัน}
 \end{aligned}$$

ปริมาณรถบรรทุกจะอยู่ช่องเดินรถซ้ายมือ ร้อยละ 81
 ดังนั้นปริมาณรถบรรทุกในช่องซ้าย ตลอด 20 ปี เท่ากับ
 $1,840 \times 0.81 \times 365 \times 20 = 10.85 \text{ ล้านคัน}$

สมมติค่า k ของชั้นดินรองรับ เท่ากับ 100 ปอนด์/นิ้ว³ โดยมีชั้นรองพื้นทางที่ไม่ปรับสภาพหนา 4 นิ้ว ค่า k โดยรวมเท่ากับ 130 ปอนด์/นิ้ว³

ตัวคูณน้ำหนักความปลอดภัย (Load Safety Factor) เท่ากับ 1.2 Modulus of Rupture ของคอนกรีต เท่ากับ 650 ปอนด์/นิ้ว² สมมติความหนาเท่ากับ 9.5 นิ้ว

การคำนวณแสดงในตารางที่ 2

สำหรับการวิเคราะห์ความล้า แรงเค้นเทียบเท่าพิจารณาจากตารางที่ 3 สำหรับเพลลาเดี่ยวและเพลาคู่ และลงในช่องว่าง รายการที่ ⑧ และ ⑪ ตามลำดับ แรงเค้นเทียบเท่าหารด้วย Modulus of Rupture ลงในรายการที่ ⑨ และ ⑫ เป็นตัวคูณอัตราส่วนแรงเค้น

ต่อไปพิจารณาจำนวนการกระทำซ้ำที่ยินยอม (Allowable Repetitions) สำหรับแต่ละน้ำหนัก จากรูปที่ 1 ความล้าเป็นร้อยละคำนวณโดยการหารปริมาณการกระทำซ้ำที่คาดการณ์ (Expected Repetition) (ช่อง ③) ด้วยจำนวนการกระทำซ้ำที่ยินยอม (ช่อง ④) ผลรวมของความล้าเป็นร้อยละที่ใช้ไปคือผลรวมของช่อง ⑤ ในตัวอย่างเท่ากับ 62.8 เปอร์เซ็นต์

ในลักษณะเดียวกัน การวิเคราะห์การกัดเซาะจะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาการกระทำซ้ำ ๆ กันที่ยินยอมได้ ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่า การกัดเซาะที่เกิดผลเสียหายต่อวัสดุฐานรากและไหล่ทางจะไม่เกิดขึ้นจากการแอ่นตัวของผิวทางบริเวณขอบ, รอยต่อและมุม

ตารางที่ 2

การคำนวณความหนาผิวทางคอนกรีต

Trial thickness 9.5 inDoweled joints : yes ☒ no ☐Subbase -subgrade k 130 pciConcrete shoulder : yes ☐ no ☒Modulus of rupture, MR 650 pciLoad safety factor, LSF 1.2

Axle load. kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue percent	Allowable repetitions	Damage percent
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦

⑧ Equivalent stress 206 ⑩ Erosion factor 2.59⑨ Stress ratio factor 0.317

Single Axles

30	36.0	6,310	27,000	23.3	1,500,000	0.4
28	33.6	14,690	77,000	19.1	2,200,000	0.7
26	31.2	30,140	230,000	13.1	3,500,000	0.9
24	28.8	64,410	1,200,000	5.4	5,900,000	1.1
22	26.4	106,900	Unlimited	0	11,000,000	1.0
20	24.0	235,800	"	0	23,000,000	1.0
18	21.6	307,200	"	0	64,000,000	0.5
16	19.2	422,500	"		Unlimited	0
14	16.8	586,900	"		"	0
12	14.4	1,837,000	"		"	0

⑪ Equivalent stress 192 ⑬ Erosion factor 2.79⑫ Stress ratio factor 0.295

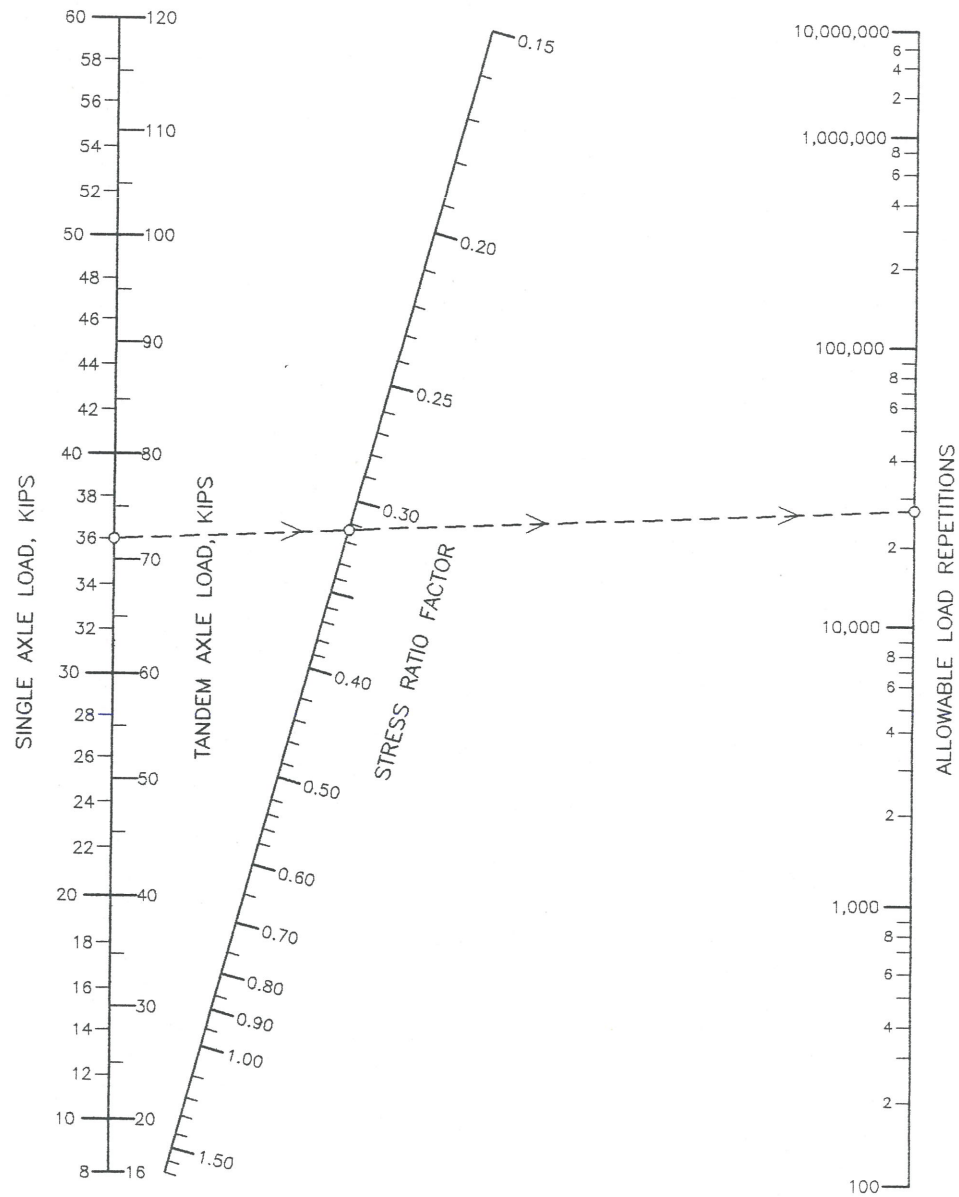
Tandem Axles

52	62.4	21,320	1,100,000	1.9	920,000	2.3
48	57.6	42,870	Unlimited	0	1,500,000	2.9
44	52.8	124,900	"	0	2,500,000	5.0
40	48.0	372,900	"	0	4,600,000	8.1
36	43.2	885,800			9,500,000	9.3
32	38.4	930,700			24,000,000	3.9
28	33.6	1,656,000			92,000,000	1.8
24	28.8	984,900			Unlimited	0
20	24.0	1,227,000			"	0
16	19.2	1,356,000				
			Total	62.8	Total	38.9

ตารางที่ 3

แรงเค้นเทียบเท่า - ไม่มีไหล่คอนกรีต (เพลาดียว / เพลาคู่)

ความหนา แผ่นพื้น (นิ้ว)	k - of Subgrade - Subbase (lb/in ³)						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825 / 679	726 / 585	671 / 542	634 / 516	584 / 486	523 / 457	484 / 443
4.5	699 / 586	616 / 500	571 / 460	540 / 435	498 / 406	448 / 378	417 / 363
5	602 / 516	531 / 436	493 / 399	467 / 376	432 / 349	390 / 321	363 / 307
5.5	526 / 461	464 / 387	431 / 353	409 / 331	379 / 305	343 / 278	320 / 264
6	465 / 416	411 / 348	382 / 316	362 / 296	336 / 271	304 / 246	285 / 232
6.5	417 / 380	367 / 317	341 / 286	324 / 267	300 / 244	273 / 220	256 / 207
7	375 / 349	331 / 290	307 / 262	292 / 244	271 / 222	246 / 119	231 / 186
7.5	340 / 323	300 / 268	279 / 241	265 / 224	246 / 203	224 / 181	210 / 169
8	311 / 300	274 / 249	255 / 223	242 / 208	225 / 188	205 / 167	192 / 155
8.5	285 / 281	252 / 232	234 / 208	222 / 193	206 / 174	188 / 154	177 / 143
9	264 / 264	232 / 218	216 / 195	205 / 181	190 / 163	174 / 144	163 / 133
9.5	245 / 248	215 / 205	200 / 183	190 / 170	176 / 153	161 / 134	151 / 124
10	228 / 235	200 / 193	186 / 173	177 / 160	164 / 144	150 / 126	141 / 117
10.5	213 / 222	187 / 183	174 / 164	165 / 151	153 / 136	140 / 119	132 / 110
11	200 / 211	175 / 174	163 / 155	154 / 143	144 / 129	131 / 113	123 / 104
11.5	188 / 201	165 / 165	153 / 148	145 / 136	135 / 122	123 / 107	116 / 98
12	177 / 192	155 / 158	144 / 141	137 / 130	127 / 116	116 / 102	109 / 93
12.5	168 / 183	147 / 151	136 / 135	129 / 124	120 / 111	109 / 97	103 / 89
13	159 / 176	139 / 144	129 / 129	122 / 119	113 / 106	103 / 93	97 / 85
13.5	152 / 168	132 / 138	122 / 123	116 / 114	107 / 102	98 / 89	62 / 81
14	144 / 162	125 / 133	116 / 118	110 / 100	102 / 98	93 / 85	88 / 78



รูปที่ 1 NOMOGRAPH สำหรับการวิเคราะห์ความถ้

การวิเคราะห์ พิจารณาค่าตัวคูณการกัดเซาะ (Erosion Factors) จากตารางที่ 4 และลงในช่องที่ ⑩ และ ⑬ สำหรับเพลาดิเอวและเพลาคู่ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาจำนวนการกระทำซ้ำ ๆ กันที่ยินยอมได้ ในรูปที่ 2 และลงในช่องที่ ⑥ สำหรับแต่ละน้ำหนักเพลารถ

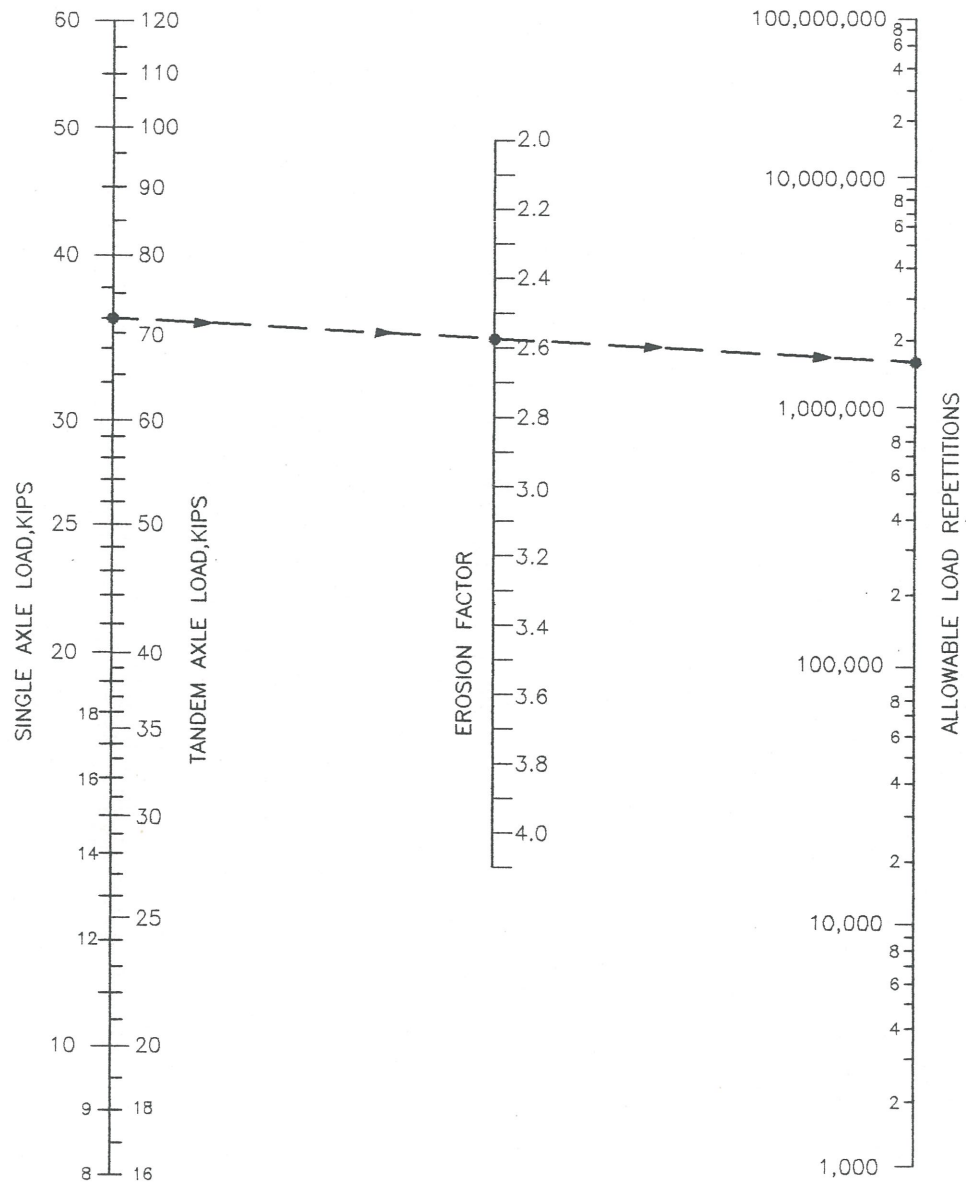
ผลเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะของแต่ละน้ำหนักเพลารถ คำนวณจากการหารตัวเลขในช่อง ③ ด้วยตัวเลขในช่อง ⑥ แสดงในหน่วยร้อยละลงในช่อง ⑦ การกัดเซาะรวมเป็นร้อยละคือผลรวมของช่อง ⑦ ซึ่งเท่ากับร้อยละ 38.9

สรุปว่าความหนา 9.5 นิ้ว เพียงพอ จากการวิเคราะห์ความล้าได้เท่ากับร้อยละ 62.8 และการวิเคราะห์การกัดเซาะได้เท่ากับร้อยละ 38.9

ตารางที่ 4

องค์ประกอบการกััดเซาะ รอยต่อมีเหล็กเดือย ไม่มีโหล่คอนกรีต (เพลาดือย / เพลาคู่)

ความหนา แผ่นพื้น (นิ้ว)	k - of Subgrade - Subbase (lb/in ³)					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74 / 3.83	3.73 / 3.79	3.72 / 3.75	3.71 / 3.73	3.70 / 3.79	3.68 / 3.67
4.5	3.59 / 3.70	3.57 / 3.65	3.56 / 3.61	3.55 / 3.58	3.54 / 3.55	3.52 / 3.53
5	3.45 / 3.58	3.43 / 3.52	3.42 / 3.48	3.41 / 3.45	3.40 / 3.42	3.38 / 3.40
5.5	3.33 / 3.47	3.31 / 3.41	3.29 / 3.36	3.28 / 3.33	3.27 / 3.30	3.26 / 3.28
6	3.22 / 3.38	3.19 / 3.31	3.18 / 3.26	3.17 / 3.23	3.15 / 3.20	3.14 / 3.17
6.5	3.11 / 3.29	3.09 / 3.22	3.07 / 3.16	3.06 / 3.13	3.05 / 3.10	3.03 / 3.07
7	3.02 / 3.21	2.99 / 3.14	2.97 / 3.08	2.96 / 3.05	2.95 / 3.01	2.94 / 2.98
7.5	2.93 / 3.14	2.91 / 3.06	2.88 / 3.00	2.87 / 2.97	2.86 / 2.93	2.84 / 2.90
8	2.85 / 3.07	2.82 / 2.99	2.80 / 2.93	2.79 / 2.89	2.77 / 2.85	2.76 / 2.82
8.5	2.77 / 3.01	2.74 / 2.93	2.72 / 2.86	2.71 / 2.82	2.69 / 2.78	2.68 / 2.75
9	2.70 / 2.96	2.67 / 2.87	2.65 / 2.80	2.63 / 2.76	2.62 / 2.71	2.61 / 2.68
9.5	2.63 / 2.90	2.60 / 2.81	2.58 / 2.74	2.56 / 2.70	2.55 / 2.65	2.54 / 2.62
10	2.56 / 2.85	2.54 / 2.76	2.51 / 2.68	2.50 / 2.64	2.48 / 2.59	2.47 / 2.56
10.5	2.50 / 2.81	2.47 / 2.71	2.45 / 2.63	2.44 / 2.59	2.42 / 2.54	2.41 / 2.51
11	2.44 / 2.76	2.42 / 2.67	2.39 / 2.58	2.38 / 2.54	2.36 / 2.49	2.35 / 2.45
11.5	2.38 / 2.72	2.36 / 2.62	2.33 / 2.54	2.32 / 2.49	2.30 / 2.44	2.29 / 2.40
12	2.33 / 2.68	2.30 / 2.58	2.28 / 2.49	2.26 / 2.44	2.25 / 2.39	2.23 / 2.36
12.5	2.28 / 2.64	2.25 / 2.54	2.23 / 2.45	2.21 / 2.40	2.19 / 2.35	2.18 / 2.31
13	2.23 / 2.61	2.20 / 2.50	2.18 / 2.41	2.16 / 2.36	2.14 / 2.30	2.13 / 2.27
13.5	2.18 / 2.57	2.15 / 2.47	2.13 / 2.37	2.11 / 2.32	2.09 / 2.26	2.08 / 2.23
14	2.13 / 2.54	2.11 / 2.43	2.08 / 2.34	2.07 / 2.29	2.05 / 2.23	2.03 / 2.19



รูปที่ 2 NOMOGRAPH สำหรับการวิเคราะห์การกัดเซาะ