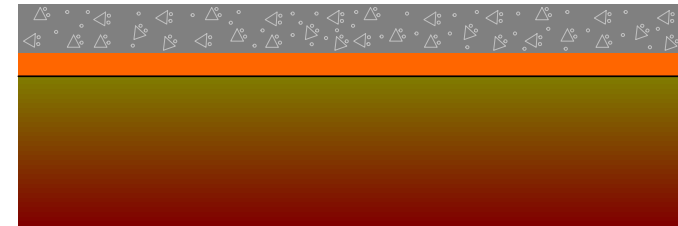


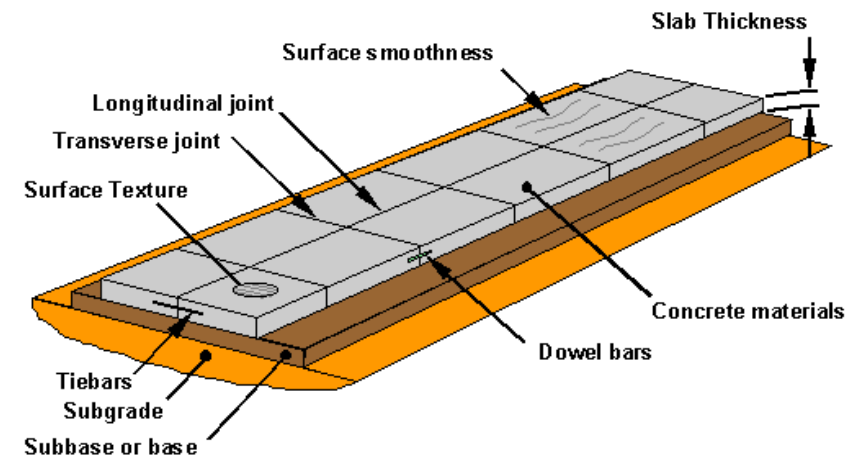
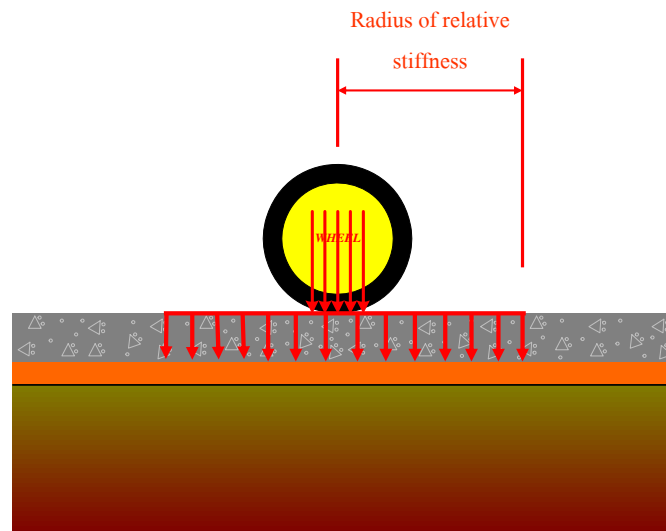
การออกแบบโครงสร้างถนนคอนกรีต

โครงสร้างชั้นทางแรงแ้งตัว (Rigid Pavement)

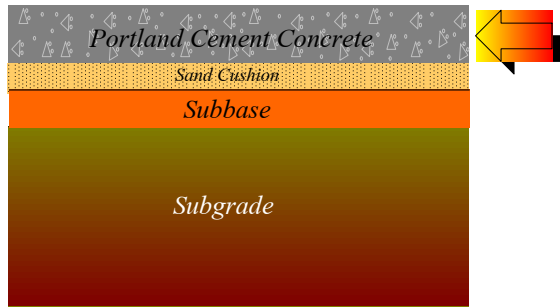
เป็นโครงสร้างชั้นทางที่ใช้วัสดุพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (Portland Cement Concrete) เป็นวัสดุทำผิวถนนและรับน้ำหนัก จึงมักเรียกโครงสร้างชั้นทางประเภทนี้ว่า ถนนคอนกรีต



พฤติกรรมการแผ่กระจายน้ำหนักในโครงสร้างชั้นทางแรงแ้งตัว (Rigid Pavement)



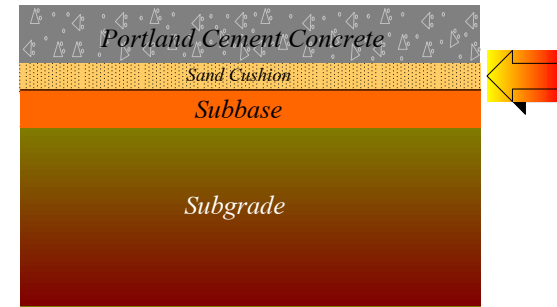
โครงสร้างของถนนคอนกรีต



Portland Cement Concrete

- ทำหน้าที่เป็นผิวการจราจร
- เป็นโครงสร้างหลักในการรับแรงกระทำจากน้ำหนักล้อ
- มีทั้งผิวทางคอนกรีตแบบเสริมเหล็กและไม่เสริมเหล็ก
- แบบมาตรฐานของกรมทางกำหนดให้มีความหนา 25 ซม.

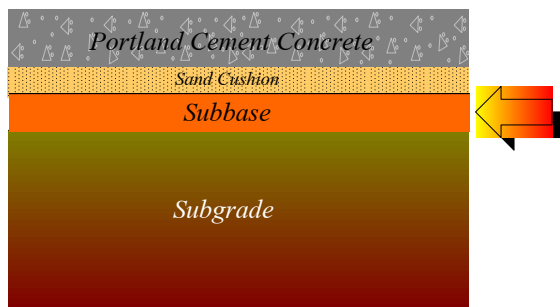
โครงสร้างของถนนคอนกรีต



ชั้นทรายระบายน้ำ

- เป็นรูปแบบมาตรฐานเฉพาะของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีความหนาประมาณ 10 ซม.
- ป้องกันไม่ให้เกิด pumping ตามแนวรอยต่อหรือรอยแตก
- ช่วยในการระบายน้ำ
- ต้องป้องกันไม่ให้ทรายได้แผ่บนพื้นคอนกรีตเกิดการเคลื่อนตัว

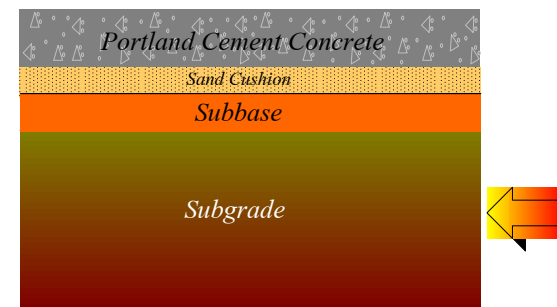
โครงสร้างของถนนคอนกรีต



รองพื้นทาง

- ไม่ได้ช่วยรับน้ำหนักจากการจราจร
- ใช้เป็น working platform สำหรับเครื่องจักรก่อสร้าง
- ช่วยให้เกิด uniform bearing surface ได้แก่พื้นคอนกรีต
- ช่วยบรรเทาปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินชั้น Subgrade

โครงสร้างของถนนคอนกรีต



ดินคั่นทาง

- เป็นดินเดิมหรือดินคั่นทาง
- สมมติว่าเป็น Elastic Foundation มีคุณสมบัติเป็น Supporting Power ที่เรียกว่า Modulus of Subgrade Reaction (k)
- ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับน้ำหนักให้แก่พื้นคอนกรีตและรองรับน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนถนน
- ต้องมีการบดอัดให้ได้ความแน่นสูงสุดตามที่กำหนดไว้ในแบบ

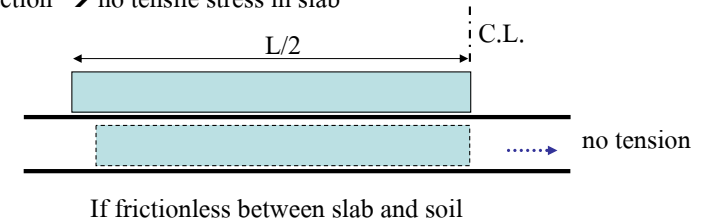
ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างถนนคอนกรีต

- Flexural strength of concrete (Modulus of Rupture ,MR)
- ความแข็งแรงของดินเดิม (Subgrade Strength)
- ช่วงอายุการใช้งานของถนน (Design Period)
- ปริมาณและน้ำหนักการจราจรที่ใช้ออกแบบ (Design Traffic)

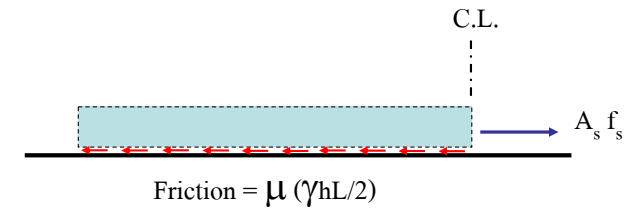
แรงในเหล็กเสริมกันแตกร้าว

Concrete slab contracts due to temperature drop or moisture loss shrinkage

1. Freely contraction → no tensile stress in slab



2. Partly restricted by soil friction → tensile stress in slab



การออกแบบเหล็กเสริมในคอนกรีต

$$A_s = \frac{\mu L \gamma_{conc} h}{2 f_s}$$

A_s = พื้นที่เหล็กที่ต้องการ (ต่อความยาว 1 หน่วยของแผ่นคอนกรีต)

f_s = หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริม

h = ความหนาของแผ่นพื้น

L = ระยะห่างระหว่างรอยต่อ

γ = unit weight ของคอนกรีต

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างคอนกรีตกับวัสดุใต้แผ่นคอนกรีต

วิธีการออกแบบผิวทางคอนกรีตของ Portland Cement Association (PCA)

$$f_f = 0.75\sqrt{f'_c}$$

วิธีการออกแบบผิวทางคอนกรีตของ PCA

- ในปี 1951 PCA ได้พัฒนาวิธีการออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตโดยยึดถือน้ำหนักล้อรถสูงสุด (Controlling Wheel Load) เป็นหลัก โดยมีได้คำนึงถึงจำนวนครั้งของแรงกระทำซ้ำจากน้ำหนักล้อ
- แต่จากการทดลองพบว่า การล้าของคอนกรีต เนื่องจากน้ำหนักของแรงกระทำซ้ำจำนวนหลายรอบ มีผลต่ออายุการใช้งานมาก ทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำลง
- ดังนั้น PCA จึงพัฒนาวิธีการออกแบบในปี 1966 โดยคำนึงถึงจำนวนครั้งของการบดทับของล้อรถ (Load Repetitions) ด้วย
- ต่อมาในปี 1984 PCA ได้นำเสนอวิธีการออกแบบโดยนำการวิเคราะห์การสึกหรอ (Erosion Analysis) มาใช้ในการออกแบบด้วย

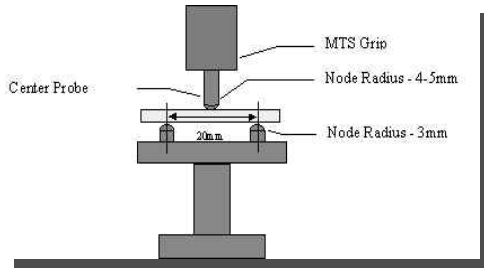
flexural strength ของคอนกรีตที่ 28 วัน

- คุณสมบัติของคอนกรีตสำหรับการออกแบบคือ ค่า Flexural Strength ที่ 28 วัน โดยปกติค่าที่เหมาะสมสำหรับถนนคอนกรีตอยู่ที่ประมาณ **3.0 – 5.0 MPa**
- ในทางปฏิบัติจะควบคุมคุณสมบัติคอนกรีตที่ค่า Compressive Strength ซึ่งทดสอบได้สะดวกกว่า ตามมาตรฐานกรมทางหลวงคอนกรีตที่จะนำมาสร้างถนนคอนกรีตจะต้องมี Compressive Strength ที่อายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า **32.5 MPa**
- ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compressive Strength และค่า Flexural Strength เป็นไปตามสมการ

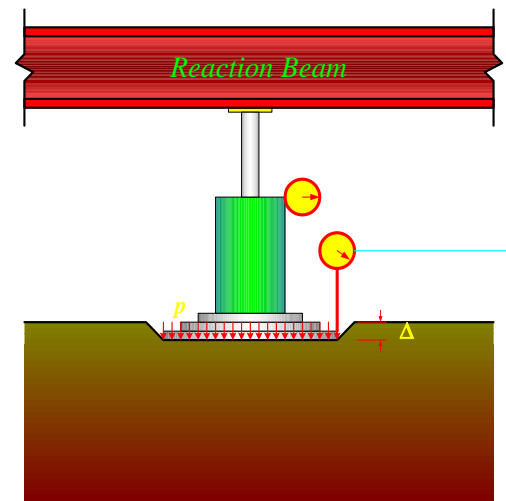
$$f_f = 0.75 \sqrt{f'_c}$$

เมื่อ f_f = Flexural Strength ของคอนกรีตที่ 28 วัน
 f'_c = Compressive Strength ของคอนกรีตที่ 28 วัน

การทดสอบเพื่อหาค่า Flexural Strength



Modulus of subgrade reaction (k)

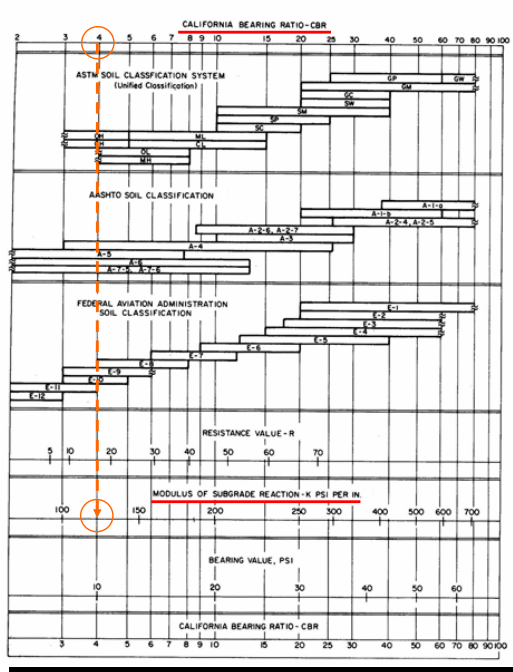


$$k = \frac{P}{\Delta}$$

P คือ แรงกดที่กระทำต่อดิน (10 psi)
 Δ คือ ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้น (นิ้ว)

- หน่วยของ k = pound per square inch per inch (psi/in²) หรือ pound per cubic inch (pci)
- ค่า k อาจเปรียบได้กับค่าคงที่ของสปริง
- ไม่ใช่ค่า Modulus ของวัสดุ

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K, CBR และ R ของดินประเภทต่างๆ (PCA 1966)



ตารางแสดงค่า k ของดินประเภทต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	k (pci)
ดินเหนียว (Plastic Clay)	50 - 100
ดินเหนียว (Silt and Silty Clay)	100 - 200
ทราย, ดินผสมกรวด (Sand, Clayey Gravels)	200 - 300
กรวด (Gravel)	300+
หินคลุกผสมซีเมนต์หรือผสมแอสฟัลต์ (CTB or ATB)	400+

อายุบริการของถนนที่ต้องการ

ถนนคอนกรีตอาจมีอายุยืนยาวถึง 40 ปี ถ้ามีการบำรุงรักษาที่ดีสม่ำเสมอ หรืออาจจะมีอายุการใช้งานต่ำกว่า 20 ปี ก็ได้หากมีการบรรทุกเกินน้ำหนักที่ได้คาดการณ์ไว้มาก อย่างไรก็ตามอายุการออกแบบของถนนคอนกรีตโดยปกติจะกำหนดที่ 20 ปี

การวิเคราะห์ปริมาณการจราจร

- ❑ พิจารณาเฉพาะปริมาณการจราจรของรถหนักที่มี 6 ล้อ ขึ้นไปเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วยรถบรรทุกขนาดกลาง (Medium Truck) รถบรรทุกขนาดใหญ่ (Heavy Truck) และ รถโดยสารขนาดใหญ่ (Heavy Bus)
- ❑ จำนวนและน้ำหนักของเพลาคาดว่าจะแล่นผ่านถนนในช่วงอายุการใช้งานประมาณจาก
 - **Average Daily Traffic (ADT)** - ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันของพาหนะทั้งหมดทั้งสองทิศทาง
 - **Average Daily Truck Traffic (ADTT)** - ปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวัน (ปกติจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของ ADT)
 - การกระจายน้ำหนักของรถบรรทุกบนเพลาคงของรถบรรทุก (Axle Load Distribution)

การหาปริมาณรถบรรทุกหนักที่ใช้ในการออกแบบ

$$\text{ปริมาณรถบรรทุกหนักใน Design Lane ในช่วงระยะเวลาการออกแบบ} = \text{ADT} \times \% \text{ADTT} \times \text{Lane Factor} \times \text{GF}$$

โดยที่

Lane Factor = สัดส่วนของรถบรรทุกหนักที่เล่นผ่าน Design Lane

$$\text{GF} = \text{growth factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

r = growth rate

n = อายุบริการของถนน (ปี)

Axle Load Distribution

- Axle Load Distribution คือ สัดส่วนของเพลานาขนาดต่างๆ ที่บรรทุกน้ำหนักต่างๆ กัน ที่คาดว่าจะเล่นผ่านถนนที่ต้องการออกแบบ (Design Lane) ในช่วงเวลาที่ออกแบบ
- ประมาณได้จากค่าน้ำหนักบรรทุก หรือ จากการวัดน้ำหนักแบบ Weight - In - Motion

ตัวอย่าง ข้อมูลน้ำหนักเพลานาขนาดต่างๆ ของสาย กรุงเทพฯ - สระบุรี

Table 6.1. Example distributions of loads on axle groups for rigid pavement design (Route Bangkok - Rangsit, Control section 1005)

Single - Axle, Dual Wheels (MT, HB)			Tandem Axles, Dual Wheels (HT)	
Axle Load Tons (kips)	%		Axle Load Tons (kips)	% HT
	MT	HB		
2.60 (5.73)	43.38		6.40 (14.11)	39.74
3.25 (7.16)	8.14		7.20 (15.87)	1.41
3.90 (8.60)	9.54		8.00 (17.63)	0.97
4.55 (10.03)	9.85		8.80 (19.40)	1.13
5.20 (11.46)	7.23	5.30	9.60 (21.16)	1.02
5.85 (12.89)	6.26	29.39	10.40 (22.92)	1.10
6.50 (14.33)	5.18	40.86	11.20 (24.68)	1.04
7.15 (15.76)	3.02	17.74	12.00 (26.45)	1.93
7.80 (17.19)	2.33	6.09	12.80 (28.21)	2.06
8.45 (18.62)	0.51	0.62	13.60 (29.97)	1.36
9.10 (20.06)	0.85		14.40 (31.74)	6.25
9.75 (21.49)	0.40		15.20 (33.50)	3.33
			16.00 (35.26)	7.66
			16.80 (37.03)	19.08
			17.60 (38.79)	2.34
			18.40 (40.55)	0.84
			19.20 (42.32)	0.35
			20.00 (44.08)	0.45
			20.80 (45.84)	0.71
			21.60 (47.61)	0.45
			22.40 (49.37)	1.36
			23.20 (51.13)	3.29
			24.00 (52.90)	0.22
			24.80 (54.66)	0.32
			25.60 (56.42)	0.41
			26.40 (58.19)	0.76
			27.20 (59.95)	0.22
			28.00 (61.71)	0.04
Total	100 %	100 %	Total	100 %

Note: MT = Medium Truck, HB = Heavy Bus, HT = Heavy Truck

เอกสารเพิ่มเติม

- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ “การออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตตามวิธีของPCA” วารสารวิศวกรรมโยธาและการก่อสร้าง, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 เดือนธันวาคม พ.ศ.2527 หน้า 245-294.

การออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตตามวิธีของ PCA Thickness Design of Concrete Pavement by PCA Method

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ Ph.D.*

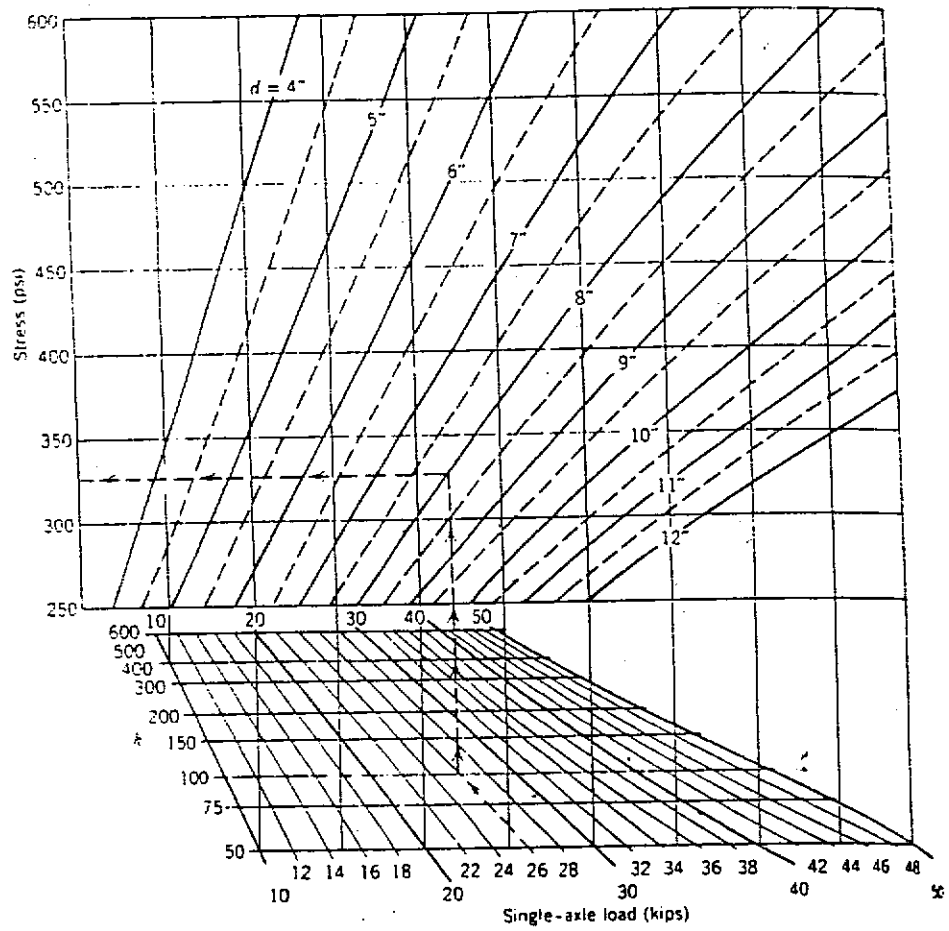
252

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์

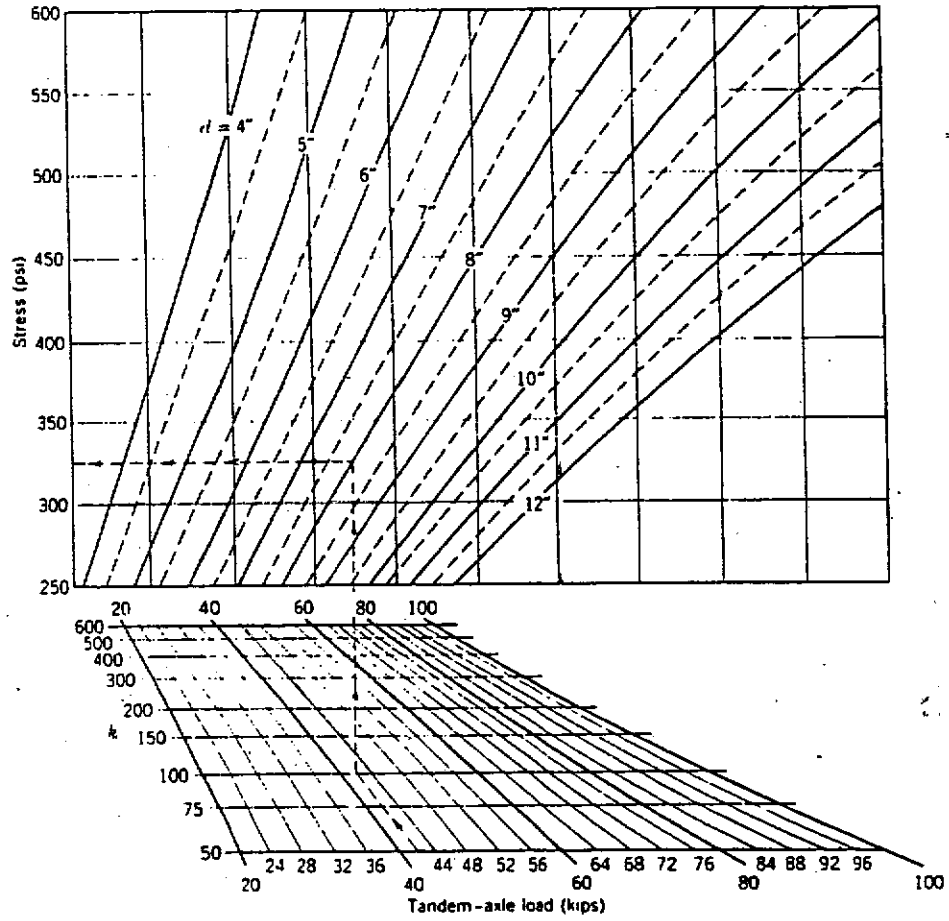
จะเห็นได้ว่าการออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตตาม 1951 - PCA Design Chart มิได้คำนึงถึง Load Repetitions เพราะจะเอา Design Wheel Load ซึ่ง เป็น Wheel Load เกือบจะมากที่สุดมาคิด แนวการออกแบบตามวิธีดังกล่าว จะ คล้าย ๆ กับการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตสำหรับท่าอากาศยานในยุคนั้น แต่ตามข้อเท็จจริง Wheel Load อาจจะมีมากหรือน้อยกว่า Design Wheel Load และจากผลการทำการ ทดลองในห้องปฏิบัติการและการทำ Model Test พบว่า ^{ความล้า} Fatigue อันเนื่องมาจาก Load Repetitions เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีต เช่นเดียวกับกับใน Asphalt Concrete ในกรณีที่มี Wheel Load สูงมาก (เช่นกรณีของ Over-Loaded Truck) ความเค้นที่ผิวของคอนกรีต จะสูงอันทำให้ค่า FS ต่ำกว่า 2 และจำนวนเที่ยวของ Load Repetitions ที่จะทำให้ คอนกรีตหมดอายุก็จะน้อยลง ตามนี้ให้นักบรรทุกที่สูงกว่า Design Wheel Load ด้วยเหตุ ผลต่าง ๆ ดังกล่าว PCA จึงได้พัฒนาวิธีออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยคำนึงถึง Load Repetitions เป็นหลัก อันเป็นแนวทางที่จะทำให้วิศวกรสามารถกำหนดอายุบริการ ของถนนได้ตามหลักวิชาดังจะได้อีกกล่าวต่อไป

3.2 การออกแบบโดยคำนึงถึง Load Repetitions เป็นหลัก PCA ได้พัฒนาวิธี ออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตโดยคำนึงถึง Load Repetitions ของ Wheel Load ขนาดต่าง ๆ เป็นหลัก ตามหลักการดังกล่าว PCA ได้จัดสร้าง Design Chart ออก มาดังแสดงในรูปที่ 3 และที่ 4 สำหรับน้ำหนักเพลาเดี่ยว และน้ำหนักเพลาคู่ตามลำดับ Design Chart ที่แสดงในรูปที่ 3 และที่ 4 นี้เรียกว่า 1966-PCA Design Chart ใน การใช้ Design Chart ชุดนี้จะต้องสมมุติค่าความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต เพื่อหาค่า Stress ที่เกิดขึ้นที่ผิวของแผ่นพื้นคอนกรีต อันเนื่องมาจากน้ำหนักเพลาขนาดต่าง ๆ และ จากค่า Stress ที่อ่านได้จาก Design Chart เมื่อหารด้วย MR ของคอนกรีต ก็จะได้ เทอมที่เรียกว่า Stress Ratio ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะสำหรับน้ำหนักเพลาตัวหนึ่ง ๆ ค่า Stress Ratio ที่ได้นี้ก็คือส่วนกลับของ Factor of Safety สำหรับน้ำหนักเพลาตัว หนึ่ง ๆ นั่นเอง ถ้าน้ำหนักเพลาสูง FS จะน้อย

จากผลการทดลองโดยการก่อสร้างถนนทดลอง การทดลองในห้องปฏิบัติการแ การทำ Model Test ของแผ่นพื้นคอนกรีต PCA สามารถจะพัฒนาตารางแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Stress Ratio (ส่วนกลับของ FS) และ Allowable Load Repetitions สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 3 1966 PCA Design Chart, เหล้าเดี่ยว (PCA, 1966)



รูปที่ 4 1966 PCA Design Chart, เพลาคู (PCA, 1966)

ตารางที่ 2 Stress Ratio vs Allowable Load Repetitions (PCA, 1966)

Stress Ratio	Allowable Repetitions
0.51	400,000
0.52	300,000
0.53	240,000
0.54	180,000
0.55	130,000
0.56	100,000
0.57	75,000
0.58	57,000
0.59	42,000
0.60	32,000
0.61	24,000
0.62	18,000
0.63	14,000
0.64	11,000
0.65	8,000
0.66	6,000
0.67	4,500
0.68	3,500
0.69	2,500
0.70	2,000
0.71	1,500
0.72	1,100
0.73	850
0.74	650

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Stress Ratio	Allowable Repetitions
0.75	490
0.76	360
0.77	270
0.78	210
0.79	160
0.80	120
0.81	90
0.82	70
0.83	50
0.84	40
0.85	30

- 1) Stress Ratio = Load Stress/Modulus of Rupture
- 2) Unlimited repetitions for stress ratio of 0.50 or less

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าถ้าค่า Stress Ratio ต่ำ (FS สูง) แสดงว่า น้ำหนักเพลาทหรือน้ำหนักล้อมีค่าต่ำ ดังนั้นแผ่นพื้นคอนกรีตจะรับ Load Repetitions ได้มาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่า Stress Ratio สูง (FS ต่ำ) แสดงว่าน้ำหนักเพลาทหรือน้ำหนัก ล้อมีค่าสูง อันมีผลทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตรับ Load Repetitions ได้น้อย

ในกรณีที่ Stress Ratio มีค่าเท่ากับ 0.50 ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในตาราง ค่า FS จะเท่ากับ 2 ซึ่งในกรณีเช่นนี้ แผ่นพื้นคอนกรีตจะรับจำนวนเที่ยวของ Load Repeti - tions ได้ไม่จำกัด หมายความว่า น้ำหนักเพลาทหรือน้ำหนักล้อที่กดลงบนแผ่นพื้นคอนกรีต ทำให้เกิด Stress ที่ผิวของแผ่นพื้น ซึ่ง Stress ที่เกิดขึ้นนี้เมื่อเอาไปหารค่า MR แล้ว จะ ให้ค่า FS เท่ากับ 2 ซึ่งเมื่อค่า FS เท่ากับ 2 แผ่นพื้นคอนกรีตจะรับน้ำหนักล้อ หรือน้ำหนัก เพลาทได้โดยไม่จำกัดจำนวนเที่ยว ผลอันนี้จะสอดคล้องกับกรณีของการออกแบบ โดยใช้ 1951-PCA Design Chart ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตัวอย่างการออกแบบโดยใช้ 1966-PCA Design Chart ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3 และ Design Chart นี้ ท่านผู้อ่านสามารถจะหาได้จากหนังสือ Principles of Pavement Design by E.J. Yoder and M.W. Witczak (1975) ซึ่งเป็นหนังสือ Second Edition ของฉบับที่พิมพ์ในปี 1959

ในประเทศสหรัฐอเมริกาแผ่นพื้นคอนกรีตจะออกแบบให้มีความหนา เป็นแบบ มาตรฐาน สำหรับถนนแต่ละประเภท ส่วนใหญ่แผ่นพื้นคอนกรีตจะหนา 8-10 นิ้ว ส่วนที่จะ แตกต่างกันมักจะเป็นชั้นรองพื้นทางซึ่งอาจจะมี ความหนา และใช้วัสดุต่างกัน ตามสภาพภูมิ- ประเทศ ภูมิอากาศ และวัสดุที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น (YODER, 1959, p.80; YODER and WITCZAK, 1975, p.124)

3.3 การเปรียบเทียบวิธีออกแบบตาม 1951-PCA Design Chart และ 1966-PCA Design Chart

3.3.1 1951-PCA Design Chart การออกแบบตามวิธีนี้ ทำให้วิศวกร สามารถจะรู้ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตได้โดยตรง เพราะว่าการออกแบบยึดเอา Con- trolling Wheel Load ซึ่งเป็นน้ำหนักล้อที่สูงกว่าน้ำหนักเฉลี่ยมาออกแบบโดยเผื่อ overload เอาไว้บ้างพอควร และเผื่อ Impact Factor เอาไว้มากพอ (ร้อยละ 20) อายุใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตที่ออกแบบตามวิธีนี้ ถือว่าไม่จำกัด และไม่สามารถจะคิดคำนวณ ได้จากข้อมูลที่มีอยู่ แม้ว่าโดยทั่ว ๆ ไปจะถืออายุใช้งานของถนนคอนกรีตประมาณ 20-40 ปี ก็ตาม การออกแบบตามวิธีนี้ไม่ต้องการข้อมูลปริมาณการจราจร อย่างละเอียดต้องการเพียง

ข้อมูลจากการทำ Random Loadometer Survey เท่านั้น ข้อดีของการออกแบบตามวิธีนี้ นอกจากจะสะดวก และประหยัดเวลาแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์การบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัด อันทำให้วิศวกรสามารถจะบอกได้ว่า แผ่นพื้นคอนกรีตควรจะรับน้ำหนักเกินพิกัดได้สูงสุดเท่าไร จึงจะไม่เกิดอันตราย (ดูวิธีการทำ Overload Analysis ตอนที่ ๓)

3.3.2 1966-PCA Design Chart การออกแบบตามวิธีนี้ใช้วิธีการ Trial-and-Error โดยการทดลองค่าความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตค่าใดค่าหนึ่งแล้วคำนวณหา Stress และ Stress Ratio ที่เกิดที่ผิวของแผ่นพื้นคอนกรีต อันเนื่องมาจากน้ำหนักเพลาต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการทำ Random Loadometer Survey โดยใช้ Design Chart ในรูปที่ 3 และที่ 4 จากค่า Stress Ratio ก็จะสามารถหาค่า Allowable Load Repetitions สำหรับน้ำหนักเพลาแต่ละค่าได้ จากข้อมูลปริมาณการจราจรและการเติบโตของปริมาณการจราจร ก็สามารถจะคิดคำนวณจำนวนเที่ยวของ Load Repetitions ที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในช่วงอายุของแผ่นพื้นคอนกรีตได้ (กำหนดอายุเอาเอง เช่น 20, 25 หรือ 30 ปี เป็นต้น) จากตัวเลข Load Repetitions ที่เกิดจริง ๆ กับ Allowable Load Repetitions ของน้ำหนักเพลาแต่ละค่าสามารถจะคิดคำนวณได้ว่า Load Repetitions ที่เกิดจริง ๆ คิดเป็นร้อยละเท่าใดของ Allowable Load Repetitions ในช่วงอายุของแผ่นพื้นคอนกรีต ถ้า Load Repetitions ที่เกิดจริง ๆ สูงกว่า Allowable Load Repetitions เกินร้อยละ 25 แสดงว่าแผ่นพื้นคอนกรีตบางไป ที่จะรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้มีอายุตามที่กำหนด จะต้องทดลองใหม่ โดยเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต หรือไม่ก็ต้องลดอายุบริการของแผ่นพื้นคอนกรีตให้น้อยลงกว่าที่ได้กำหนด

การออกแบบตามวิธีนี้ จะต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการจราจรปริมาณรถบรรทุกหนัก การเติบโตของปริมาณการจราจร และของรถบรรทุกหนัก ตลอดจนน้ำหนักเพลาของรถบรรทุกขนาดต่าง ๆ มากพอที่จะทำการวิเคราะห์หาจำนวน Load Repetitions ในช่วงอายุของถนนอย่างถูกต้องใกล้เคียงความจริง ซึ่งโดยปกติข้อมูลเหล่านี้มักจะหาได้ยาก การวิเคราะห์จึงมักจะกระทำโดยการตั้งสมมุติฐานต่าง ๆ อันมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของถนนที่ทำการก่อสร้างใหม่ โดยไม่มีถนนเดิมมาก่อน

คู่มือทางคอมพิวเตอร์วิธีของ PCA

ตารางที่ 3 การออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต ตามวิธี 1966 PCA Design Chart

ตารางที่ 3 นี้จากหนังสือ Principles of Pavement Design by E.J. Yoder and M.W. Witczak ฉบับพิมพ์เมื่อปี 1975 หน้า 604-607

ข้อมูล

ปริมาณการจราจร ADT = 400 vpd 2 ทิศทาง

ปริมาณรถบรรทุก = 20%

การเติบโตของ ADT = 2%

การกระจายของน้ำหนักเพลาของรถบรรทุก แสดงไว้ในตารางข้างใต้

ตารางแสดงการกระจายของน้ำหนักเพลาของรถบรรทุก

น.น. เพลา (1000 ปอนด์)	จำนวนเพลา/รถบรรทุก 100 คันบนถนน	
	เพลาเดี่ยว	เพลาคู่
12-14	8.0	
14-16	7.3	
16-18	5.4	
18-20	5.4	
20-22	3.2	5.2
22-24		7.6
24-26		8.4
26-28		9.0
28-30		11.2
30-32		9.4
32-34		1.8
34-36		1.4
36-38		0.9

ตารางแสดงการกระจายของน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุก (ต่อ)

น.น. เพลลา (100 ปอนด์)	จำนวนเพลลา/รถบรรทุก 100 คันบนถนน	
	เพลลาเดี่ยว	เพลลาคู่
38-40		1.0
40-42		0.1
42-44		0.1
44-46		0.1

วิเคราะห์เพื่อการออกแบบ

สมมุติอายุใช้งาน = 40 ปี See note:
 ปริมาตรรถบรรทุกที่เวลา 40 ปีในอนาคต = $\frac{20}{100} \times \frac{400}{2} \times 1.5$
 = 60 คัน/วัน/ช่องจราจร

ตัวเลข 1.5 เป็น Projection Factor ที่อายุ 40 ปี ได้มาจากตารางที่ 17.3 ในหนังสือของ YODER and WITCZAK (1975)

โมดูลัส Modulus of Rupture ของแผ่นพื้นคอนกรีต = 650 lb/in²
 Modulus of Subgrade Reaction = 150 lb/in³
 สมมุติความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต = 7 นิ้ว

∴ Fatigue ของแผ่นพื้นคอนกรีตสามารถจะประเมินได้ตามตารางในหน้าถัดไป.

Note:

Total Growth factor = $\frac{(1+r)^Y - 1}{r}$
 (รวมทุกปีถึง Y ปี)

Y = number of years

r = growth rate (%)

growth factor เปรียบเทียบ (Projection factor) = $\frac{\text{Total growth factor}}{Y}$

ตัวอย่างในใจนึก:

Total Growth factor = $\frac{(1+0.02)^{40} - 1}{0.02} = 60.4$

Avg. growth factor (Projection factor) = $\frac{60.4}{40} = 1.5$

Impact factor

นน. เพล (kips)	Repetition ในช่วง 40 ปี	นน. เพล × (1.2) (kips)	t = 7 in., k = 150 lb/in ³			
			Stress lb/in	Stress Ratio	Repetition ที่ยอมให้เกิด ได้	Percent Repet.
45 T	876	54.0 T	435	0.67	4,500	19
43 T	876	51.6 T	415	0.64	11,000	8
41 T	876	49.2 T	410	0.63	14,000	6
39 T	8,760	46.8 T	390	0.60	32,000	27
37 T	7,884	44.4 T	375	0.58	57,000	14
35 T	12,250	42.0 T	350	0.54	180,000	7
33 T	15,800	39.6 T	325	0.50	Unlimited	-
31 T	82,400	37.2 T	310	0.48	Unlimited	-
21 S	28,100	25.2 S	350	0.54	180,000	15
19 S	47,400	22.8 S	325	0.50	Unlimited	-
17 S	53,500	20.4 S	290	0.45	Unlimited	-

Total Fatigue Used = 96%

* Repetition ในช่วง 40 ปี = $\frac{(\text{จำนวนเพล/รถบรรทุก } 100 \text{ คัน}) \times 60}{100 \text{ คัน}} \times 365 \times 40$

24.
4.604.005

3.4 การใช้ PCA Chart ในการออกแบบ

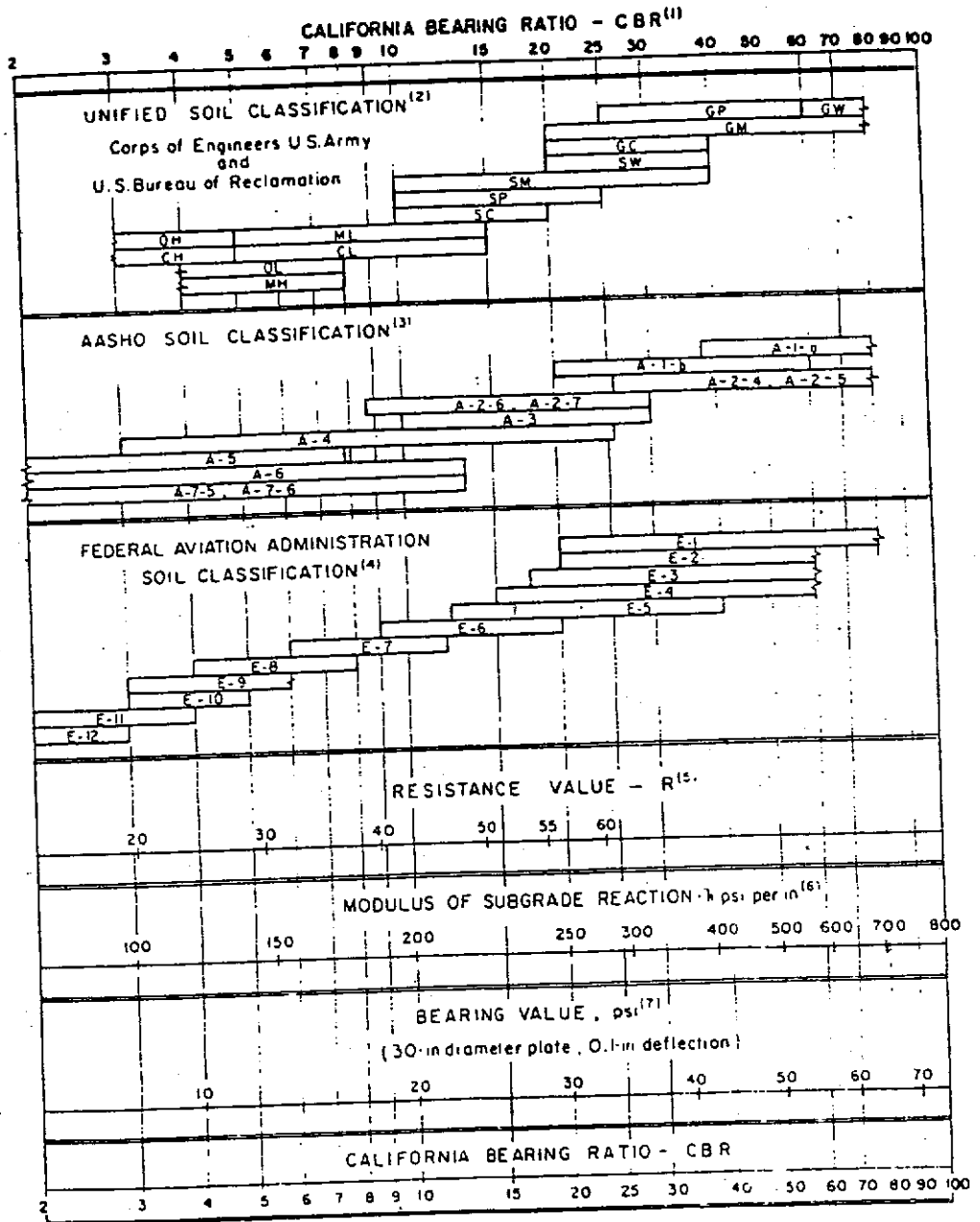
3.4.1 1951-PCA Design Chart การออกแบบตาม Design Chart แบบนี้สะดวก และรวดเร็ว ไม่ต้องอาศัยข้อมูลปริมาณการจราจร เหมาะสำหรับออกแบบถนนคอนกรีตในบริเวณศูนย์กลางการค้า บริเวณที่จะพัฒนาเป็นเมืองใหม่ โรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม หมู่บ้านจัดสรร ส่วนบริการของท่าอากาศยาน หรือถนนอื่นใดที่ไม่ได้ใช้เป็นเส้นทางคมนาคมต่อเนื่อง หรือทางสาธารณะ ในการออกแบบจะต้องเลือก Design Wheel Load ที่เหมาะสมตามสภาพของสิ่งแวดล้อมของบริเวณที่จะก่อสร้างถนน

3.4.2 1966-PCA Design Chart การออกแบบวิธีนี้ใช้สำหรับออกแบบทางหลวงที่เปิดเป็นทางคมนาคมต่อเนื่อง เช่น ถนนของกรมทางหลวง กรมโยธาธิการ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบควรใช้ 1951-Design Chart ตรวจสอบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตที่สามารถจะรับ Design Wheel Load ได้ แล้วจึงใช้ 1966-Design Chart ตรวจสอบอายุการใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตนั้นๆ เพราะในการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตจะต้องรับ Design Wheel Load ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย และจะต้องมีอายุใช้งานได้ตามที่กำหนดควบคู่กันไป

ความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน เห็นว่าในการออกแบบถนนคอนกรีตที่เปิดเป็นทางสาธารณะควรใช้ Design Chart ทั้งสองแบบควบคู่กันไป เพื่อให้ถนนรับน้ำหนักบรรทุกได้มากพอและให้มีอายุยืนยาว ซึ่งไม่ควรจะน้อยกว่า 20 ปี สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง

4. Design Parameters

4.1 Modulus of Subgrade Reaction (k) การทดลองหาค่า Modulus of Subgrade Reaction ในสนามเป็นงานทดลองที่ยุ่งยาก ไม่สะดวกในการทำงาน และเสียเวลาในการจัดเตรียมเครื่องมือ อีกประการหนึ่ง YODER and WITCZAK (1975, p. 601) ได้พบว่าค่า Modulus of Subgrade Reaction ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตอย่างเด่นชัด ดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะใช้ค่า Modulus of Subgrade Reaction เฉลี่ยจาก PCA Chart ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 5 (PCA, 1966) เนื่องจาก PCA Chart ให้ค่า k ของดินกลุ่มต่าง ๆ เป็นช่วง ๆ จึงอาจไม่สะดวกในการใช้งาน Illinois Department of Transportation จึงได้เสนอใช้ค่า k ของดินกลุ่มต่าง ๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 (THOMPSON and DEMPSEY, 1977) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของดินแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 5 Approximate interrelationships of soil classifications and bearing values. (PCA, 1966)

ตารางที่ 4

Illinois Department of Transportation CBR-AASHTO
 Classification and CBR-k Relations
 (THOMPSON and DEMPSEY, 1977)

<u>AASHTO Class</u>	<u>CBR</u>
A-1	20
A-2-4;A-2-5	15
A-2-6;A-2-7	12
A-3	10
A-4;A-5;A-6	3
A-7-5;A-7-6	2

<u>CBR</u>	<u>K</u>
50	500
20	250
10	200
5	140
3	100
2	70

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าถ้าเรารู้ว่าดิน Subgrade อยู่ในกลุ่มดินใด หรือ
 รู้ค่า CBR ของดิน Subgrade ก็สามารถจะบอกได้ทันทีว่าค่า Modulus of Subgrade
 Reaction ที่ใช้ในการออกแบบ ควรจะเป็นเท่าใด ถ้าค่า CBR ตกอยู่ในช่วงที่ไม่ได้แสดงไว้
 ในตาราง ก็สามารถจะ interpolate หาค่า Modulus of Subgrade Reaction ได้
 โดยง่าย

ในโครงการปรับปรุงท่าอากาศยานนานาชาติกรุงเทพฯ จากผลการทดลองเพื่อ
 หาค่า Modulus of Subgrade Reaction ของดินเหนียวกรุงเทพฯ บดอัดภายใต้ชั้นพื้น
 คอนกรีตของท่าอากาศยานกรุงเทพฯ พบว่าส่วนใหญ่จะมีค่าแปรเปลี่ยนในช่วง 60 - 140
 lb/in² ขึ้นกับปริมาณความชื้นในดิน

วันที่ 15/11/57
 วิชาสถิติ ชั้นโท