

# 203477 Pavement structure

## การออกแบบทางลาดยางของสนามบิน

### DESIGN OF FLEXIBLE AIRPORT PAVEMENT

Weerakaset Suanpaga  
(D.ENG-Candidate)  
Department of Civil Engineering  
Faculty of Engineering, Kasetsart University  
Bangkok, Thailand  
<http://pirun.ku.ac.th/~fengwks/pavement>



### ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบผิวทางของสนามบิน

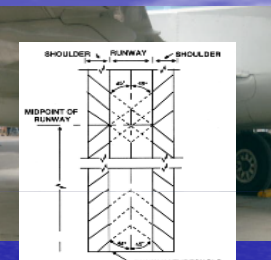
ในการออกแบบผิวทางของสนามบินมีทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบหลายวิธีสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ใช้วิธีคำนวณทางทฤษฎี และกึ่งทฤษฎี เช่นการใช้ plate bearing test หากค่า E ของดินและนำมาคำนวณหาแรงกระทำจากน้ำหนักล้อภายในดิน
2. ใช้วิธีเอมไพริคัล ใช้ผลจากการทดลองในห้องทดลอง นำมาคำนวณหาความสัมพันธ์กับการรับน้ำหนักของผิวทาง เช่น การทดลองกำลังของวัสดุโดยวิธี CBR และนำมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้งานจริง
3. ใช้วิธีจําแนกคุณลักษณะของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง โดยพิจารณาสภาพดิน ฟ้า อากาศ และระดับน้ำใต้ดินมาช่วยในการออกแบบ

### ความแตกต่างของการออกแบบพื้นผิวของสนามบินและถนน

การออกแบบผิวทางของทางวิ่งและทางขึ้นสนามบินจะมีข้อแตกต่างกับการออกแบบผิวทางของถนนอยู่หลายประการเช่น

- ปริมาณน้ำหนักบรรทุกของล้อ (Wheel load) ผิวทางต้องสามารถรับน้ำหนักของเครื่องบินซึ่งสูงกว่าของรถยนต์มาก
- แรงดันลมในล้อ แรงดันลมของล้อเครื่องบินสูงกว่าของรถยนต์มาก
- จำนวนและลักษณะของรถขึ้นล้อเครื่องบิน (landing gear) จะแตกต่างกับของรถยนต์
- ต้องออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดชั้นผิวของผิวทางหรือสิ่งแปลกปลอมใดๆ สามารถเข้ายึดหรือกีดขวางล้อของเครื่องบินได้ โดยการตรวจสอบสภาพพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอและก่อสร้างให้กว้าง (runway shoulder)
- ผิวทางและรอยต่อต้องสามารถทนความร้อนจากไอความร้อนของเครื่องยนต์จะทำการบินขึ้นได้




### ....วิธี Corps of Engineers....

### ใช้วิธี CBR กำหนดความหนาของชั้นต่างๆของ Pavement ซึ่งทางทหารช่างของกองทัพอเมริกาได้ทำการศึกษามีสมมติฐานว่า

1. ง่ายต่อการทดสอบคุณภาพของวัสดุที่จะใช้ก่อสร้าง
2. มีข้อมูลที่เชื่อถือได้ว่าใช้ได้ผลดี
3. นำมาใช้กับสนามบินได้ง่ายและรวดเร็ว

### ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และความหนาของทาง

จากกรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของทางลาดยาง น้ำหนักล้อ ความดันลมยาง และ CBR จะได้ความหนาของทาง (t) คือ

$$t = [ P / (8.1 * CBR) - 1 / (8.1) ]^{1/2}$$

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการจราจร (Traffic Repetition) ใช้กับดินที่มี CBR 10-20 %

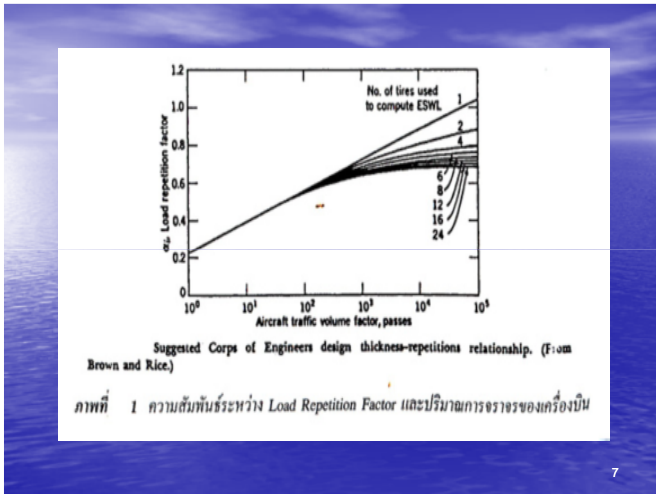
$$t = (23.1 \log C + 14.4) \cdot 100 * [ P / (8.1 * CBR) - 1 / (8.1) ]^{1/2}$$

ถ้าล้อเครื่องบินมีน้ำหนักสูงมาก

$$t = 0.1 ( A_1 / 2 [ 0.0480 - 1.1562 ( \log CBR / P_e ) - 0.6414 ( \log CBR / P_e )^2 - 0.4738 ( \log CBR / P_e )^3 ] )$$

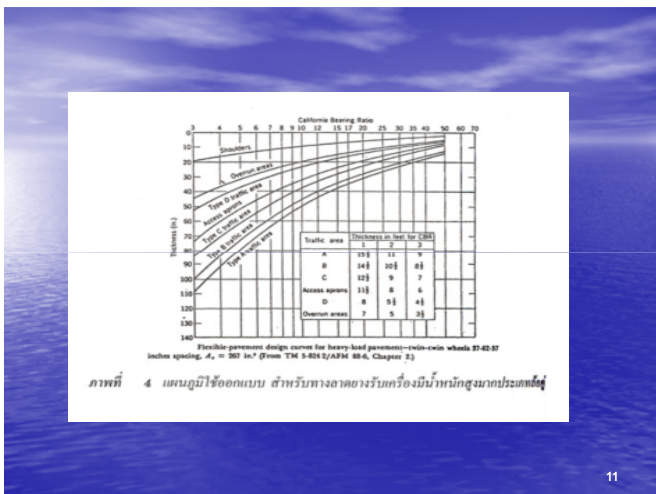
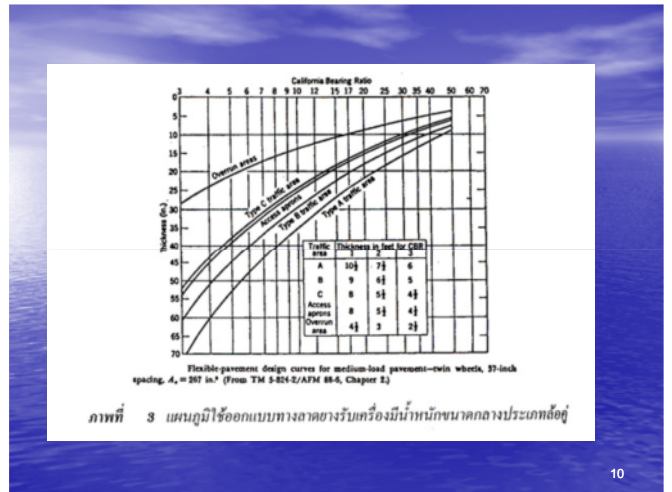
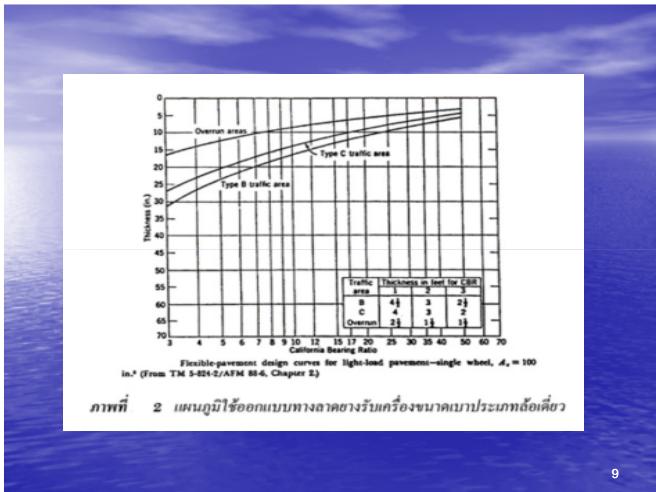
### กำหนดให้

- t = ความหนาของทาง, นิ้ว
- $\alpha_1$  = Load Repetition factor หาได้จากภาพที่ 1
- A = พื้นที่สัมผัสของล้อใดล้อหนึ่ง, ตร.นิ้ว
- C = จำนวน Coverage
- CBR = ความแข็งแรงของวัสดุชั้นที่พิจารณา
- $P_e$  = ESWL/A



**แผนภูมิที่ใช้ในการออกแบบ**

ภาพที่ 2, 3, 4 ค่าความหนาที่อ่านได้จากแผนภูมิดังกล่าวเป็นความหนาเหนือชั้นวัสดุที่กำหนด ค่า CBR ให้และค่า CBR ที่กำหนดไม่เกิน 50% ถ้าดินมีค่า CBR สูงกว่า 50% ให้ใช้ความหนาต่ำสุดของพื้นทางและผิวทางที่กำหนด ถ้าดินพื้นทางเป็นดินอ่อน มี CBR ประมาณ 1-3% ให้ใช้ความหนาตามตารางด้านขวามือของแผนภูมิ



**การเลือกใช้ค่า CBR ของดินชั้นทาง**  
เลือกใช้ค่า CBR ค่าต่ำสุด

**พื้นทางและรองพื้นทาง**  
อาจใช้วัสดุหลายชนิด ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าดินชั้นทาง หรืออาจใช้ดินชั้นทางมาทำการปรับปรุงคุณภาพ ใช้ตารางที่ 1 และ 2



ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุถมชั้นวาง

Material	Maximum Design		Maximum Permissible Value Gradation requirements, % passing			
	CBR	Size (in.)	No. 10	No. 200	LL	PI
Subbase	50	3	30	15	25	5
Subbase	40	3	40	15	25	5
Subbase	30	3	100	15	25	5
Subgrade material	20	3	-	25	35	12

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุถมชั้นวาง

Type	Design CBR
Crack crushed aggregate	100
Water bound macadam	100
Dry-bound macadam	100
Bituminous intermediate and surface courses, central plant, hot mix	100
Leanrock	80
Stabilized aggregate	50

Crack crushed aggregate  
Water bound macadam  
Dry-

### ความหนาของผิวทางและพื้นทาง

ความหนาต่ำสุดของพื้นทางและผิวทางใช้ตารางที่ 3 ประกอบกับค่าที่อ่านได้จากภาพที่ 2, 3, 4

### พื้นที่ต่อจากปลายทางวิ่งของสนามบิน

ยาวประมาณ 350 เมตร กว้างเสมอไหล่ทางวิ่งทั้ง 2 ข้าง ลาดขวาทำกับความกว้างของทางวิ่ง และมีความหนาเท่ากับครึ่งหนึ่งของทางวิ่ง เนื่องจากปริมาณการจราจรบนพื้นที่มีน้อยมาก ใช้สำหรับรถบรรทุกดินเท่านั้น

ตารางที่ 3 ความหนาของผิวทางและพื้นทาง

Traffic area	Heavy Load Design Twin-twin assembly, bicycle spacing, 37'-62'-37" in. center-to-center Contact area, 267 in. each wheel					
	Minimum thickness (in.)					
	100-CBR base			80-CBR base		
	Pavement	Base	Total	Pavement	Base	Total
A	5	10	15	6	9	15
B	4	9	13	5	8	13
C	4	9	13	5	8	13
D	3	6	9	3	6	9
Access apron	3	6	9	3	6	9
Shoulders	2	6	8	2	6	8

Traffic area	Medium Load Design Twin-assembly, bicycle spacing, 37" in. center-to-center Contact area, 267 in. each wheel					
	Minimum thickness (in.)					
	100-CBR base			80-CBR base		
	Pavement	Base	Total	Pavement	Base	Total
A	4	6	10	5	5	11
B	3	6	9	4	5	11
C	3	6	9	4	5	11
Access apron	3	6	9	3	6	9

Traffic area	Light Load Design Single wheel, bicycle, contact area, 100 in.					
	Minimum thickness (in.)					
	100-CBR base			80-CBR base		
	Pavement	Base	Total	Pavement	Base	Total
A	3	6	9	4	6	9
B	3	6	9	3	6	9
Access apron	3	6	9	3	6	9

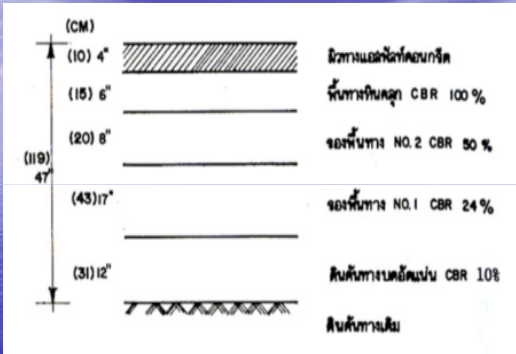
### Ex1 จงออกแบบสนามบินสำหรับเครื่องบินลำเลียง Traffic Area Type A โดยมีวัสดุมีคุณภาพและการบดอัดดังนี้

วัสดุ	Test CBR (%)	Percent Passing		LL (%)	PI (%)
		No. 10	No. 200		
ผิวชั้นวาง (ดิบ)	6	-	-	35	15
ผิวชั้นวาง (บดอัดแน่น)	10	-	-	35	15
ผิวชั้นวาง No.1	24	85	13	19	6
ผิวชั้นวาง No. 2	59	44	8	15	4
พื้นวาง (ชั้นสกรู)					
หินกรวด (บดอัด)					
		การบดอัด			
การบดอัด	100	95	90	85	80
ระดับการบดอัด (นิ้ว)	24	36	48	66	78

คุณสมบัติของชั้นต่างๆ

วัสดุ	Design CBR (%)	Thickness cm	Above Layer in.	From
ผิวชั้นวาง (ดิบ)	5	119	43	จากที่ 10.3
ผิวชั้นวาง (บดอัดแน่น)	10	89	35	จากที่ 10.3
ผิวชั้นวาง No.1	24 <sup>1</sup>	65	18	จากที่ 10.3
ผิวชั้นวาง No. 2	59 <sup>2</sup>	23	9	จากที่ 10.3
พื้นวาง	100 <sup>3</sup>	15	6 (min)	จากที่ 10.3
หินกรวด	NA	10	4 (min)	จากที่ 10.3

<sup>1</sup> Actual CBR test result control over 10.1  
<sup>2</sup> Maximum CBR from Table 10.1 control.  
<sup>3</sup> from Table 10.2



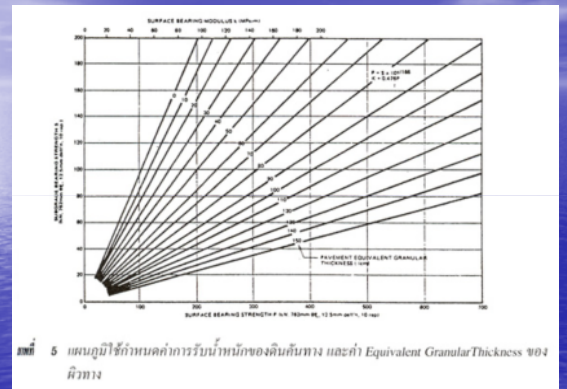
### วิธีของแคนาดา (Canadian Practice)

ใช้วิธี Transport Canadian Practice คุณสมบัติของดินคันทางต้องระบายน้ำได้ดี ป้องกันไม่ให้มีน้ำใต้ดินเป็นน้ำแข็ง คุณสมบัติของการรับน้ำหนักของดินคันทางหาโดยวิธี Plate Bearing Test บนผิวทางใช้แผ่นเหล็ก  $\phi$  762 มม. ออกแรงกดให้เกิดแรงทรุดตัว 12.5 มม. ซ้ำกัน 10 ครั้ง



### ขั้นตอนการออกแบบตามวิธีของแคนาดา

1. กำหนดกลุ่มน้ำหนักของเครื่องที่จะมาใช้สนามบินจากรางที่ 5
2. แลหาความสามารถของดินคันทางจากรทดสอบ Plate Bearing Test บนผิวทางเก่า แล้วนำไปหา Bearing Strength ของดินคันทาง จากรางที่ 5 หรือจากการจำแนกดินจากรางที่ 4
3. หาความหนาเทียบเท่าของวัสดุผลหยาบ (Equivalent Granular Thickness)
4. ในประเทศที่มีอากาศหนาวจัดมากจะต้องหาความหนาเพื่อป้องกันมิให้น้ำใต้ดินเป็นน้ำแข็งจากรางที่ 7
5. เลือกค่าความหนาของทางที่จะใช้จออกแบบตามข้อ 3 และ 4 โดยใช้ค่ามากเป็นค่าออกแบบและใช้ตารางที่ 6 สำหรับการเปลี่ยนแปลงของชนิดวัสดุ



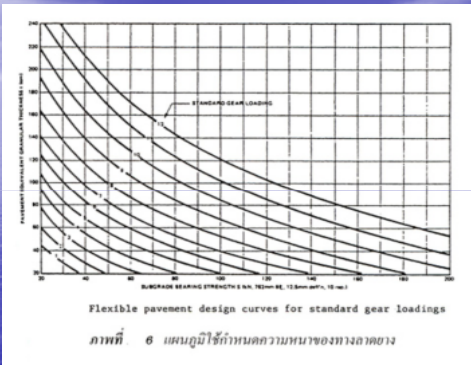
ตารางที่ 4 ค่าความหนาเปรียบเทียบของดินประเภทต่างๆ

Subgrade Soil Type	Usual Spring		Subgrade Bearing Strength (kN)	
	Reduction	Fall	Design Value	
			Fall	Spring
Good graded gravel	0	290-400	290	290
Goodly graded gravel	10	180-335	220	210
Goodly with silty fines	25	135-215	190	135
Goodly with clay fines	25	110-245	145	110
Well graded sand	10	135-335	180	160
Stoopy graded sand	20	110-250	135	110
Sand with silty fines	45	95-190	120	65
Sand with clay fines	25	65-155	85	65
Clay with low liquid limit	50	90-180	110	55
Clay with low liquid limit	25	65-135	85	65
Mud with high liquid limit	50	25-90	40	20
Mud with high liquid limit	45	25-90	55	30

ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักบรรทุกของเครื่องบินต่างๆ

Aircraft load ratings

Aircraft	Type	Weight (kN)	Nominal (kN/m²)	AIRCRAFT LOAD RATINGS (CLR)									
				Flexible Pavement at 15°C				Rigid Pavement at 15°C					
				10	15	20	25	30	35	40	45		
B70-320	1.24	1400	11.7	15.7	19.7	23.7	27.7	31.7	35.7	39.7	43.7	47.7	51.7
B727-300/320	1.76	1970	17.9	25.3	32.7	40.1	47.5	54.9	62.3	69.7	77.1	84.5	91.9
B737-300/320	1.82	2070	18.2	25.6	33.0	40.4	47.8	55.2	62.6	70.0	77.4	84.8	92.2
B747-300/320	3.48	3960	33.4	47.4	61.4	75.4	89.4	103.4	117.4	131.4	145.4	159.4	173.4
B767-300	2.28	2560	19.9	28.3	36.7	45.1	53.5	61.9	70.3	78.7	87.1	95.5	103.9
DC-8	0.73	820	7.3	10.3	13.3	16.3	19.3	22.3	25.3	28.3	31.3	34.3	37.3
DC-8-62/63	1.23	1380	12.2	17.2	22.2	27.2	32.2	37.2	42.2	47.2	52.2	57.2	62.2
DC-10-32	3.99	4470	44.7	63.1	81.5	100.0	118.4	136.8	155.2	173.6	192.0	210.4	228.8
DC-10-30/40	3.73	4170	41.7	58.1	74.5	91.0	107.4	123.8	140.2	156.6	173.0	189.4	205.8
A747-300	3.75	4180	41.5	57.9	74.3	90.7	107.1	123.5	139.9	156.3	172.7	189.1	205.5
A300	2.25	2500	22.5	31.5	40.5	49.5	58.5	67.5	76.5	85.5	94.5	103.5	112.5
A300-600	4.27	4740	42.7	59.1	75.5	91.9	108.3	124.7	141.1	157.5	173.9	190.3	206.7
A320neo	1.99	2200	19.9	27.9	35.9	43.9	51.9	59.9	67.9	75.9	83.9	91.9	99.9
A321neo	2.50	2750	25.0	35.0	45.0	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0	105.0	115.0	125.0
A320XLR	1.80	2000	18.0	25.0	32.0	39.0	46.0	53.0	60.0	67.0	74.0	81.0	88.0

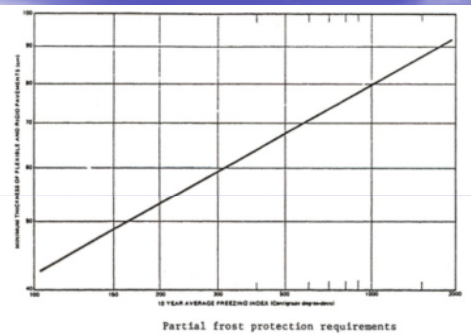


Flexible pavement design curves for standard gear loadings

ภาพที่ 6 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของทางลาดยาง

ภาพที่ 8 ตัวปรับเทียบที่เชื่อมโยงระหว่างชนิดวัสดุพื้นรองกับชนิดต่างๆ

Pavement Material	Granular Equivalency Factor
Selected granular sub-base	1
Crushed gravel or stone base	1
Wetbedded Macadam base	1-1/2
Bituminous stabilized base	1-1/2
Cement stabilized base	2
Asphaltic concrete (good condition)	2
Asphaltic concrete (poor condition)	1-1/2
Portland cement concrete (good condition)	3
Portland cement concrete (fair condition)	2-1/2
Portland cement concrete (poor condition)	2



Partial frost protection requirements

ภาพที่ 7 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาขั้นต่ำของชั้นทางเพื่อป้องกันน้ำใต้ดินเป็นน้ำแข็ง

ภาพที่ 9 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่ควรจะมีใช้กับผิวจราจร

Property	Min.	Max.
<b>ASPHALTIC CONCRETE</b>		
Marshall Stability (kN)	6.25	
Marshall Flow Index (mm)	2	4
Air Voids (%)	3	5
Voids in Mineral Aggregate (%)		
(1.75 mm max. sized aggregate)	13	
(25 mm max. sized aggregate)	13	
Immersion Loss (%)		25
<b>PORTLAND CEMENT CONCRETE</b>		
Cement Content (kg/m <sup>3</sup> )	280	310
Water/Cement Ratio		0.45
Avg. 28 Day Flexural Strength (MPa)	4.0	
Slump (mm)	10	50
Untrapped Air Content (%)	4	5

ความหนาของโครงสร้างชั้นต่างๆ ขึ้นอยู่กับแรงดันถนนในล้อ

ความหนาของชั้นทาง (ซม.)	แรงดันถนนในล้อ (MPa)			
	0.4 <	0.4-0.7	0.7-1.0	>10
ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต	5.0	6.5	9.0	10.5
พื้นทางหินหรือกรวด	15	23	23	30
รองพื้นทางวัสดุคัดเลือก	ความหนาที่ได้ตามความจำเป็น			

ภาพที่ 10 คุณสมบัติของวัสดุรองชั้นรองและพื้นเลน

Property	ASTM Test Method	Sub-Base	Base	Asphaltic Concrete	
				Lower Course	Upper Course
Gradation (mm max)	75	C136	100		
	50	C126	100		
	88.1	C136	70-100		
	25	C126		100	
	19	C136	50-75		
	12.5	C136		70-85	100
	0.5	C136	40-65		
	4.75	C136	30-50	40-65	55-75
	2.00	C136		30-50	35-55
	0.425	C136	0-30	10-30	15-30
0.150	C136		5-20	5-20	
0.075	C117	0-8	3-8	3-8	
Crushed Content (% min)	-	-	60 <sup>(1)</sup>	60	60
Liquid Limit (% max.)	D423	25	25	-	-
Plasticity Index (% max)	D424	6	6	-	-
Sand Equivalency (% max)	D2419	-	-	50	50
Moisture Loss (% max)	C131 <sup>(2)</sup>	50	45	25	25
Soundness Loss (% max)	C85 <sup>(2)</sup>			12 coarse agg.	16 fine agg.



## 13 Federal Aviation Administration Method (FAA)

ใช้วิธีทดสอบ CBR ในการหาความสามารถในการรับแรงของดินมา  
ประกอบกับรอกแบบความหนาของทาง โดยการจำแนกดินระบบ Unified  
System ในตารางที่ 9

### น้ำหนักของเครื่องบินที่ใช้ในการออกแบบ

ใช้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะเครื่องจะขึ้นบิน โดยกำหนดให้ 95% ของ  
น้ำหนักทั้งหมดลงตรง Main Gear และน้ำหนักอีก 5% ลงที่เพลาหน้า

### ปริมาณการจราจร

ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลการจราจรในอดีต ปัจจุบัน และคาดคะเนถึงอนาคต  
ของเครื่องบินแต่ละแบบที่จะมาใช้ในการสนามบิน เพื่อจะนำมาช่วยกำหนดชนิดและ  
แบบของเครื่องบินที่จะนำมาใช้ออกแบบและคำนวณความหนาของโครงสร้างทาง

31

## Design of Flexible Airport Pavement Federal Aviation Administration Method (FAA)



32

## Federal Aviation Administration Method

วิธีของ FAA กำหนดให้ใช้การจำแนกดินแบบ Unified System

Major Divisions		Groups symbols	
Coarse-grained Soils more than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No.4 sieve	Clean	GW
		Gravels	GP
	Sands less than 50% of coarse fraction retained on No.4 sieve	Gravels with	GM
		Fines	GC
		Clean	SW
		Sands	SP
		Sands with	SM
Fines	SC		
Fine-grained Soils 50% or less Retained on No.200 Sieve	Silts and clays liquid limit 50% or less		ML
			CL
			OL
	Silts and clays liquid limit greater than 50%		MH
			CH
	OH		
Highly organic soils		PT	

33

### Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests

				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name
Coarse-grained soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels	Clean gravels	$C_u \geq 4$ and $1 < C_c < 3^a$	GW	Well-graded gravel
	More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Less than 5% fines <sup>b</sup>	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^a$	GP	Poorly graded gravel
		Gravels with fines more than 12% fines <sup>a</sup>	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel
	Sands	Clean sands	$C_u \geq 6$ and $1 < C_c < 3^a$	GC	Clayey gravel
50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Sands with fines <sup>b</sup>	Less than 5% fines <sup>b</sup>	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^a$	SW	Well-graded sand
		More than 12% fines <sup>b</sup>	Fines classify as CL or CH	SP	Poorly graded sand
	Silts and Clays	Inorganic	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand
		Organic	Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand
Fine-grained soils 50% or more passes the No. 200 sieve	Liquid limit less than 50	PI > 7 and plots on or above "A" line <sup>d</sup>	CL	Lean clay	
		PI < 4 or plots below "A" line <sup>d</sup>	ML	Silt	
	Liquid limit 50 or more	Inorganic	Liquid limit – oven dried Liquid limit – not dried	OL	Organic clay Organic silt
		Organic	Liquid limit – oven dried Liquid limit – not dried	OH	Organic clay Organic silt
Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic color			PT	Peat

Major Division	Group Symbols	Field CBR	Subgrade Modulus, k		
Coarse-grained Soils more than 50% retained on no.200 Sieve	Gravels 50% or more of coarse fraction Retained on no.4 sieve	Clean gravels	GW	60-80	300 or more
		Gravels with fines	GP	35-60	300 or more
			GM	40-80	300 or more
	Sands less than 50% of coarse fraction Retain on no.4 sieve	Clean sands	GC	20-40	200-300
		Sands with fines	SW	20-40	200-300
			SP	15-25	200-300
			SM	20-40	200-300
SC	10-20	200-300			
Fine-grained Soils 50% or less retained on no.200sieve	Silts and Clays	ML	5-15	100-200	
		CL	5-15	100-200	
		OL	4-8	100-200	
	Silts and Clays	MH	4-8	100-200	
		CH	3-5	50-100	
		OH	3-5	50-100	
	Highly organic soil	PT			

35

การทดสอบคำนวณคุณสมบัติการรับแรงของดินเพื่อใช้ในการออกแบบความ  
หนาของผิวทางนั้นกำหนดให้ใช้วิธี CBR โดยดำเนินการทดสอบในห้องทดลอง  
ให้ใช้วิธีมาตรฐานแบบ ASTM D-1883 และดำเนินการทดสอบในสนามให้ใช้วิธี  
มาตรฐานของ The Asphalt Institute (MS-10)

36

### การออกแบบผิวทางของสนามบิน

สิ่งที่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบผิวทางได้แก่

- น้ำหนักสูงสุดขณะทำการบินขึ้นของเครื่องบิน(maximum takeoff weight)
- จำนวนและลักษณะของฐานล้อของเครื่องบิน(landing gear)
- แรงดันลมในล้อและ contact areas ของล้อ
- ปริมาณการใช้งาน

ซึ่งการออกแบบจะแตกต่างกันตามจำนวนและลักษณะของฐานล้อซึ่งได้แก่

- Single-gear
- Dual-gear
- Dual-tandem-gear
- Wide-body aircraft

### ขั้นตอนการออกแบบผิวทางของสนามบิน

- ทำการพยากรณ์ปริมาณการใช้งานต่อปีล่วงหน้า โดยต้องคาดการณ์ทั้งปริมาณการใช้งานและแบบของเครื่องบินที่จะมาใช้งาน การคาดการณ์ปริมาณการใช้งานนั้นสามารถนำข้อมูลในอดีตมาวิเคราะห์ตามความเหมาะสม
- หาแบบของเครื่องบินที่จะใช้เป็นเครื่องบินออกแบบ (design aircraft) ซึ่งเป็นแบบของเครื่องบินที่ต้องการความหนาของผิวทางมากที่สุด หากได้โหลดค่าแรงในตันที่คิดจาก 95%ของน้ำหนักของเครื่องบินต่อฐานล้อหลัก(main landing gear)ซึ่งจากการคำนวณนั้นสมมติว่าเป็นน้ำหนักตัวไปนั้นจะมีเครื่องบินแบบ Boeing 727-200
- หากำ equivalent annual departures หรือปริมาณการใช้งานต่อปีของเครื่องบินแต่ละรุ่นโดยจะปรับค่าปริมาณการใช้งานต่อปีโดยคิดจากลักษณะล้อเดียวกับของเครื่องบินออกแบบ โดยหาได้จากสูตร

$$\text{Log } R_1 = \text{log } R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2}$$

$$\text{Log } R_1 = \text{log } R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2}$$

$R_1$  = Equivalent annual departure by design aircraft  
 $R_2$  = Annual number of by departure by an aircraft in term of design aircraft landing gear configuration

$W_1$  = Wheel load of design aircraft  
 $W_2$  = Wheel load of aircraft being converted

โดยการหาค่า Annual number of by departure by an aircraft in term of design aircraft landing gear configuration ,  $R_2$  คิดโดยนำปริมาณการใช้งานต่อปีมาคูณกับค่าตามตารางต่อไปนี้

การกำหนด Equivalent Annual Departure ของเครื่องบินที่ใช้ออกแบบ เปลี่ยนค่าน้ำหนักล้อให้เข้าอยู่ในมาตรฐานเดียวกัน โดยใช้ตารางที่ 10 เปรียบเทียบกับเครื่องที่ใช้ออกแบบ

สูตรหา Equivalent Annual Departures ของเครื่องบินจตุรถ

$$\text{Log } R_1 = \text{log } R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2}$$

กำหนดให้

$R_1$  = Equivalent annual departures by the design aircraft

$R_2$  = Annual departure expressed in design aircraft landing gear

$W_1$  = Wheel load of the design aircraft

$W_2$  = Wheel load of the aircraft in question

### การออกแบบความหนาของผิวทางลาดยาง

ใช้แผนภูมิออกแบบ ตามภาพที่ 8-16 โดยพิจารณาจากค่า CBR ของดินชั้นทางและพื้นทางน้ำหนักของเครื่องบินออกแบบ จำนวนของเครื่องบินขึ้นต่อปี (annual departures) อายุการใช้งาน 20 ปี ค่าความหนาที่คำนวณได้จากแผนภูมิที่ออกแบบเป็นความหนารวมของผิวทางและพื้นทางเหนือดินชั้นทางในบริเวณ Critical Area และเท่ากับ 0.9t ในบริเวณ Non-Critical Area ภาพที่ 7 ใช้กำหนดความหนาของชั้นพื้นทางจากค่า CBR และค่าความหนาของโครงสร้างทั้งหมด

ในสนามบินที่มีการจราจรสูงมากกว่า 25,000 ครั้งต่อปี จะต้องมีชั้นความหนาของโครงสร้างทางตามตารางที่ 11 และความหนาของผิวทางลาดยางจะถือจากชั้นอีก 3 มม.

ตาราง Annual number of by departure by an aircraft in term of design aircraft landing gear configuration

Actual aircraft landing gear	Design aircraft landing gear	Multiplies for actual to obtain equivalent departures
Single-wheel	Dual-wheel	0.8
	Dual-tandem	0.5
Dual-wheel	Single-wheel	1.3
	Dual-tandem	0.6
Dual-tandem	Single-wheel	2.0
	Dual-wheel	1.7
Double-dual-tandem	Dual-wheel	1.7
	Dual-tandem	1.0



ตัวอย่าง An airport pavement is to be design for the traffic mix tabulated below .  
Convert the traffic to equivalent DC-8-61 departure

Aircraft (Wheel Configuration)	Annual Departure	Load per Wheel, W
CV-880(Dual-tandem wheel)	3300	21800
DC-9-32(Dual wheel)	11000	25200
DC-8-61(Dual-tandem) (ใช้เป็น design aircraft)	3000	39400

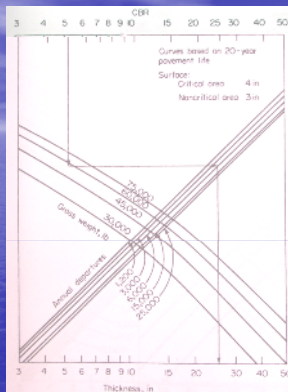
For the CV-880 group  
 $\log R_i = \log(1 \times 3000) (21800/39400)^{1/2} = 2.5966$   
 $R_i = 395$

For the DC-9-32 group  
 $\log R_i = \log(0.6 \times 11000) (25200/39400)^{1/2} = 3.0547$   
 $R_i = 1134$

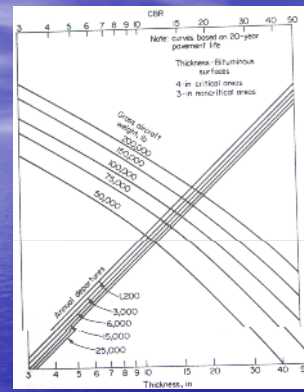
For the DC-8-61 group and total equivalent  
 DC-8-61 annual departure =  $395 + 1134 + 3000 = 4529$

### การออกแบบผิวทางของลาดยางของสนามบิน

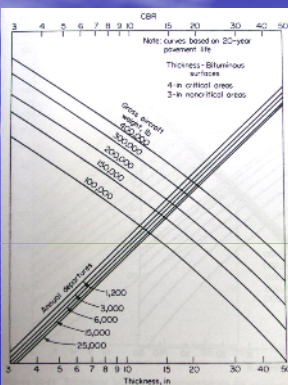
- เมื่อทราบค่า CBR ของดินชั้นทางและพื้นทาง , น้ำหนักสูงสุดขณะทำการบินขึ้นของเครื่องบินออกแบบ และ equivalent annual departures ของเครื่องบินออกแบบแล้ว สามารถนำค่าเหล่านั้นมาหาความหนาของผิวที่ต่ำที่สุดของพื้นทาง(T) โดยดูจากกราฟ โดยค่าความหนาของพื้นทางที่ได้จะเป็นค่าความหนาที่บริเวณ critical area และถ้าเป็นบริเวณ non-critical area ให้ใช้  $0.7 T$  ได้ โดยบริเวณ non-critical area ได้แก่บริเวณที่รับน้ำหนักจากเครื่องบินเป็นช่วงเวลาสั้นๆเช่น บริเวณขอบทางวิ่งและทางขับ และค่าความหนาของผิวทางในบริเวณ critical area และบริเวณ non-critical area จะมีค่าไม่เท่ากัน



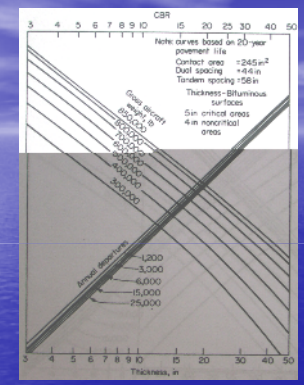
ภาพ แผนภูมิสำหรับออกแบบความหนาของทางลาดยางสำหรับเครื่องบินออกแบบที่มีฐานล้อ แบบ single-wheel



ภาพ แผนภูมิสำหรับออกแบบความหนาของทางลาดยางสำหรับเครื่องบินออกแบบที่มีฐานล้อ แบบ dual-wheel

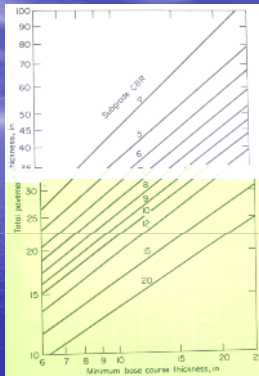


ภาพ แผนภูมิสำหรับออกแบบความหนาของทางลาดยางสำหรับเครื่องบินออกแบบที่มีฐานล้อ แบบ dual-tandem



ภาพ แผนภูมิสำหรับออกแบบความหนาของทางลาดยางสำหรับเครื่องบินออกแบบแบบ wide body aircraft





ภาพ แผนภูมิสำหรับออกแบบความหนาของทางลาดยางสำหรับเครื่องบินออกแบบแบบ wide body aircraft

### การใช้ Stabilized Sub-base และ Base

สนามบินที่ออกแบบให้เครื่องบินที่หนักมากมาใช้ทางวิ่งพื้นทาง และรองพื้นทาง ต้องใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีมากหรือใช้วัสดุปรับปรุงคุณภาพ กำหนดอัตราส่วนเปรียบเทียบเปลี่ยนความหนาของวัสดุประเภทปรับปรุงคุณภาพกับวัสดุอื่นๆ ตารางที่ 12 และ 13 ความหนาของผิวทางลาดยางอย่างน้อย 10 ซม. เพื่อป้องกันความเสียหายของพื้นทาง



ตารางที่ 9 การจำแนกดินตาม Unified System ที่ใช้ในระบบออกแบบอากาศยาน

MAJOR DIVISIONS		Group symbols	
Clayey silt Silts more than 5% retained on No. 4 sieve No. 20 sieve U)	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clayey gravels	GW
	Sands less than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Gravels with fines	GM
		Clean sands	SW
		Sands	SP
Fine-grained Silt 50% or less Liquid limit Shrinkage on No. 200 sieve U)	Silts and clays	Silts with fines	SM
	Silt 50% or less Liquid limit Greater than 50%	Clean silts	ML
		Silts	CL
		Clays	OL
		Clays	OH
Highly organic silt		PT	

Note: U) Used on the maximum passing the 3 in (75 mm) sieve.

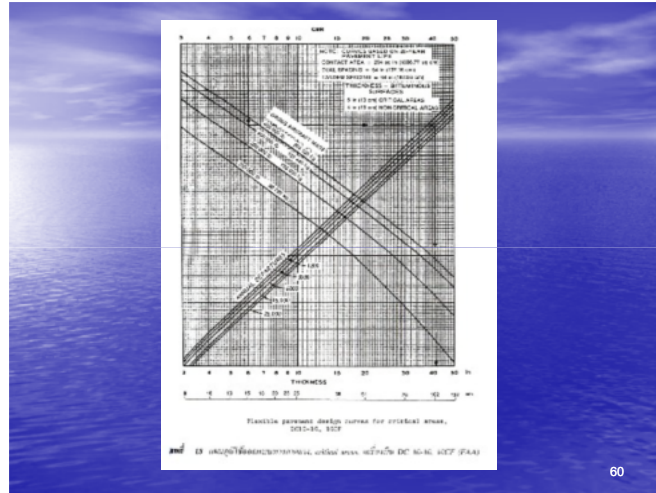
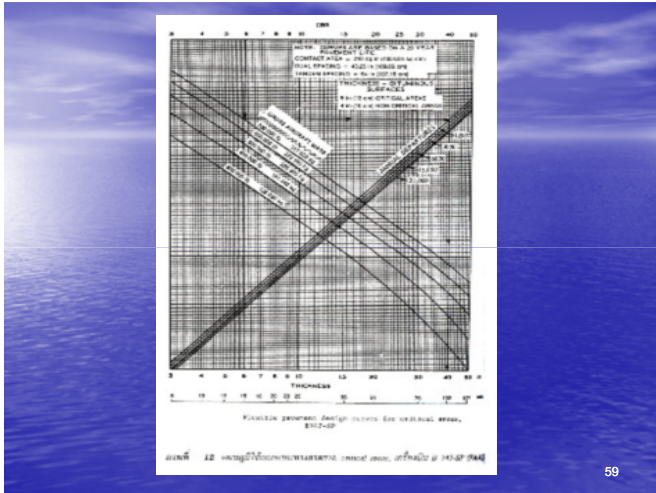
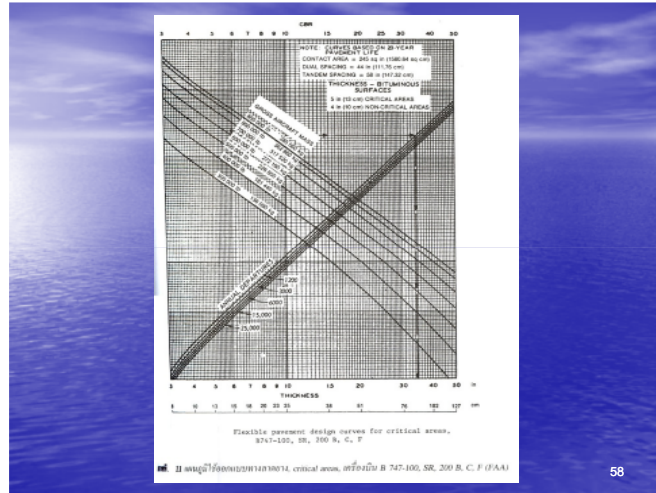
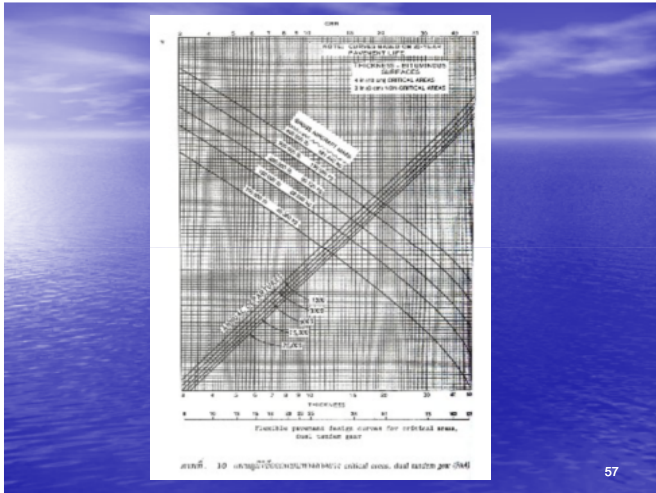
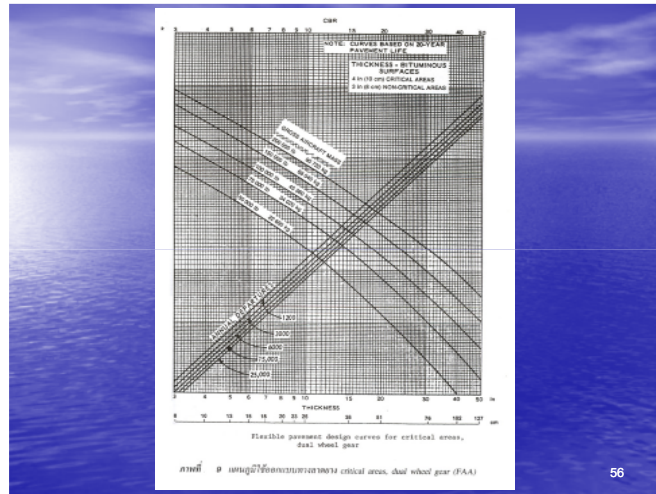
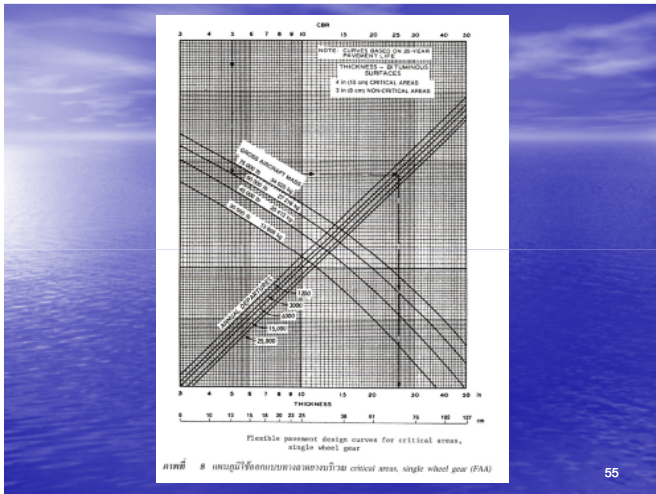
ตารางที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์เปรียบเทียบสำหรับล้อรถหรือรถบรรทุกของเครื่องบินขนาดต่างๆ ใช้เป็นวิธีตั้งน้ำหนักบรรทุก

To convert from	To	Multiply departures by
single wheel	dual wheel	0.6
single wheel	dual tandem	0.5
dual wheel	dual tandem	0.6
single dual system	dual tandem	1.0
dual tandem	single wheel	2.0
dual tandem	dual wheel	1.7
dual wheel	single wheel	1.3
double dual tandem	dual wheel	1.7

ประเภทเครื่องบิน	ลักษณะของชุดล้อ	ค่าคะแนนปริมาณการขึ้นขึ้นปี	น้ำหนักสูงสุดขณะขึ้นปี ค.
727-100	dual wheel	3 760	72 600
727-200	dual wheel	9 080	86 500
707-320B	dual tandem wheel	3 050	148 500
DC-9-30	dual wheel	5 800	49 000
CV-880	dual tandem wheel	400	83 948
737-200	dual wheel	2 650	52 440
L-1011-100	dual tandem wheel	1 710	204 120
747-100	double dual tandem wheel	85	317 800

เครื่องบินลำเช่าอยู่	น้ำหนักเฉลี่ยการขึ้นปี	น้ำหนักล้อ ร.ค.	น้ำหนักต่อถนนของเครื่องอากาศยาน	สัมประสิทธิ์การวางเครื่อง
727-100	3,760	17,240	20,520	1,891
727-200	9,080	20,520	20,520	9,280
707-320B	5,285	17,610	20,520	2,764
DC-9-30	5,800	11,630	20,520	682
CV-880	400	9,940	20,520	96
737-200	2,650	12,440	20,520	463
L-1011-100	1,710	16,150*	20,520	83
747-100	2,507	16,150*	20,520	1,184
			53%	16,241

\* น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของตัวเครื่องขึ้นปีเป็น 200,000 ปอนด์ (90,720 กก.) เมื่อใช้ในการคำนวณ (average load on the departure)







ตารางที่ 28 แบบของวิธีวัดแรงเบียดอัดของวัสดุชั้นฐาน (Soil/Wed test)

วัสดุ	ค่าของวิธีเบียดอัด
Bituminous surface course	1.2-1.6
Bituminous base course	1.2-1.6
Cold bit. bituminous base course	1.0-1.2
Mixal in-place base course	1.0-1.2
Centric treated base course	1.2-1.6
Soil cement base course	N/A
Crushed aggregate base course	1.0
Gravel sub-base course	N/A

ค่า CBR ของชั้นฐานควรอยู่ที่ 10.12 นี้ก็หมายถึงประมาณ 30%

### วิธี McLeod

McLeod ใช้ข้อมูลจากการสำรวจ และทดสอบทางลาดภายในสนามบินที่มีอยู่ ในประเทศแคนาดา โดยใช้ Plate Bearing Test การทดลองได้กระทำที่ผิวทาง พื้นทางและดินคันทาง ขณะเดียวกันก็ใช้วิธี Cone Bearing Penetrometer, CBR และ Triaxial ทดสอบดินคันทางควบคู่กัน เพื่อจะหาความสัมพันธ์กับ ค่าที่ได้จาก Plate Bearing Test การทำ Plate Bearing Test กระทำซ้ำกันหลาย ครั้ง (Repetition Load Test) โดย

1. ออกแรงกดแผ่นเหล็กจนกระทั่งมีการทรุดตัว  $\Delta = 0.05''$  และรอให้อัตราการ ทรุดตัว  $\Delta$  มีไม่เกิน  $0.001''/นาท$  ติดต่อกัน 3 นาที แล้วปล่อยแรงกดจนค่าทรุด ตัว  $\Delta$  เปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $0.001''/นาท$  ติดต่อกัน 3 นาที
2. ออกแรงกระทำตามข้อ 1 อีก 6 ครั้ง
3. เพิ่มแรงกดให้  $\Delta = 0.2''$  แล้วปล่อยแรงกด กระทำด้วยแรงกดขนาด เดียวกันซ้ำ 6 ครั้ง

4. เพิ่มแรงกดให้  $\Delta = 0.4''$  แล้วปล่อยแรงกด กระทำซ้ำกันอีก 6 ครั้งด้วยแรงขนาดเดียวกัน
5. ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเขียนกราฟ  $\Delta$  VS. log no.of Repetition ลากเส้นตรงผ่านจุด 6 จุด แล้วต่อเส้นตรงผ่านจุด 10, 100, 1000 ครั้ง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ในสนาม และจากการศึกษาข้อมูล ของวิศวกรในสนามบิน พบว่า ค่า  $\Delta$  ที่เหมาะสมในการออกแบบ ทางวิ่งของสนามบิน (Runway) ควรกำหนดให้ออกแรงกดแผ่นเหล็ก 10 ครั้ง ให้แผ่นเหล็กทรุดตัว  $\Delta = 0.5''$  และทางขับ ลานจอด ให้ ออกแรงกดแผ่นเหล็ก 10 ครั้ง  $\Delta = 0.35''$

McLeod กำหนดสมการสำหรับใช้ออกแบบความหนาของทางลาดยาง ดังนี้

- T = ความหนาของพื้นทางที่ต้องการ (Granular Base), นิ้ว
- B = น้ำหนักล้อเครื่องบิน, ปอนด์
- S = แรงดันของดินคันทางเนื่องจากแรง P, ปอนด์
- K = ค่าคงที่ของพื้นทาง

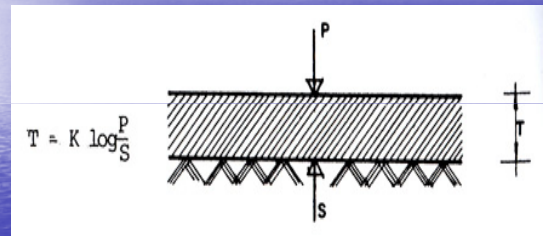
ค่าคงที่ K คำนวณ ได้จากข้อมูล Plate Bearing Test ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม ขนาดของแผ่นเหล็กที่ใช้ทดสอบ คูภาพที่ 19

#### การทดสอบเพื่อการออกแบบ

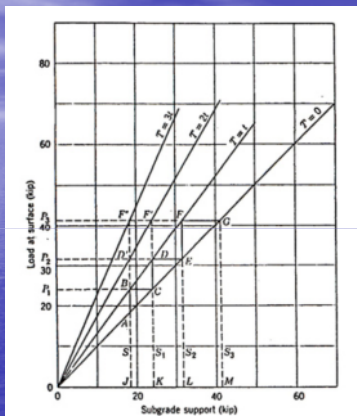
- ใช้แผ่นเหล็ก  $\phi 30''$  ทดสอบการทรุดตัว
1. ทางวิ่ง กำหนดให้  $\Delta = 0.5''$  ทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง
  2. ทางขับ กำหนดให้  $\Delta = 0.35''$  ทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง

### สรุปวิธีการออกแบบ

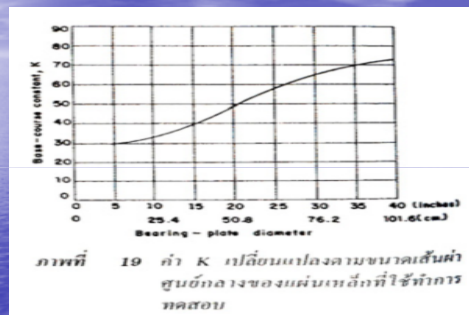
1. คำนวณพื้นที่สัมผัส  $A = (\text{น้ำหนักล้อ/แรงดันลม} \times \epsilon)^{1/2}$
2. หาอัตราส่วน  $P/A = \epsilon d^4 \epsilon d^2 = 4/d$
3. หาอัตราส่วน Subgrade Support/Unit Support  $\phi 30''$  plate @ 0.2" จากภาพที่ 20
4. HI Design Unit Support จากค่า Ratio ในข้อ 3 คูณด้วย Unit Support  $\phi 30''$ ,  $\Delta = 0.2''$
5. HI Total Support จากน้ำหนักล้อ หรือประมาณจาก  $S = \text{Modulus of subgrade Reaction (K)}/0.00777$
6. ใช้สูตร  $T = K \log(P/S)$  คำนวณหาค่า ความหนาของโครงสร้างทาง
7. ค่าความหนาที่คำนวณได้ คือความหนาของ Granular Base
8. ความหนาขั้นต่ำของผิวทางและพื้นทาง สำหรับล้อที่มีลมยางต่ำกว่า 150 ปอนด์/ตร.นิ้ว เท่ากับ 2.5 " และ 9" สำหรับล้อที่มีลมยางสูงกว่า 150 ปอนด์/ตร.นิ้ว เท่ากับ 4" และ 12" ตามลำดับ



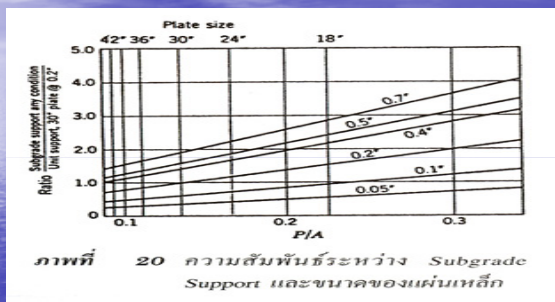




ภาพที่ 18 แผนภูมิใช้ในการคำนวณสูตรของ McLeod



ภาพที่ 19 ค่า K เปลี่ยนแปลงตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำการทดสอบ



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Subgrade Support และขนาดของแผ่นเหล็ก

ตัวอย่างที่ 4 จากการทดลอง Plate Bearing Test ซ้ำกัน 10 ครั้ง ด้วยแผ่นเหล็กขนาด  $\phi$  30",  $\Delta = 0.2$ " ออกแรงกด 36 ปอนด์/ตร.นิ้ว จงออกแบบ Runway ให้รับน้ำหนักล้อเดี่ยว 60,000 ปอนด์ มีแรงดันลมในล้อ 150 ปอนด์/ตร.นิ้ว

วิธีทำ

$$A = (60,000/150)^{1/2} = 11.3 \text{ นิ้ว}$$

$$P/A = 4/d = 4/22.6$$

$$= 0.177$$

จากภาพที่ 20, Plate  $\phi = 22.6$ ",  $P/A = 0.177$

Subgrade Support at  $\Delta = 0.5$ " / Unit Support,  $\phi$  30",  $\Delta = 0.2$ " = 2.1

ปัจจัยกำหนด Unit Support = 36 ปอนด์/ตร.นิ้ว

จะได้ Design Unit Support  $\Delta = 0.5$ " =  $2.1 \times 36$

$$= 75.5 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว}$$

$$\text{Total Support} = 75.5 \times \pi \times 22.6^2/4$$

$$S = 30,300 \text{ ปอนด์}$$

จากภาพที่ 19, Plate  $\phi = 22.6$ "

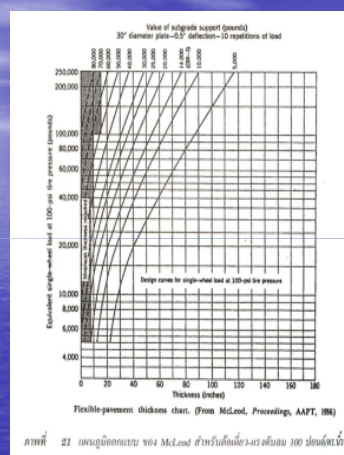
$$K = 55$$

$$T = K \log (P/S)$$

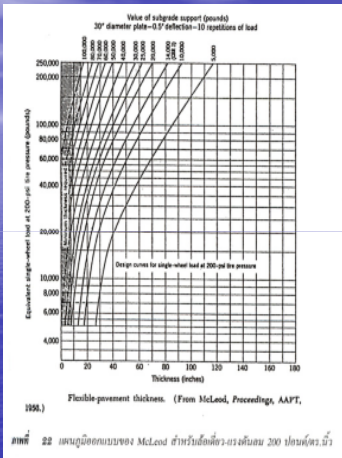
$$= 55 \log (60000/30300)$$

$$= 16.32 \text{ นิ้ว}$$

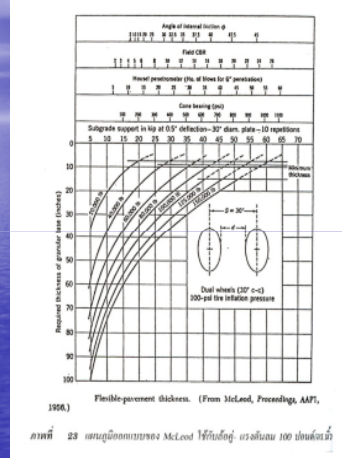
จากสูตรที่กำหนดให้ McLeod ได้กำหนด Design Chart เพื่อใช้ออกแบบทางลาดยาง สำหรับน้ำหนักล้อเดี่ยว ดังภาพที่ 21, 22 และล่อ 23



ภาพที่ 21 แผนภูมิต่อแบบของ McLeod สำหรับใช้คำนวณความหนาของยาง 100 ปอนด์/ตร.นิ้ว



แบบที่ 22 แผนภูมิออกแบบของ McLeod สำหรับใช้หาค่าความหนาของชั้น 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



แบบที่ 23 แผนภูมิออกแบบของ McLeod ใช้หาค่าหาค่าความหนาของชั้น 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



**The End .**