

# การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

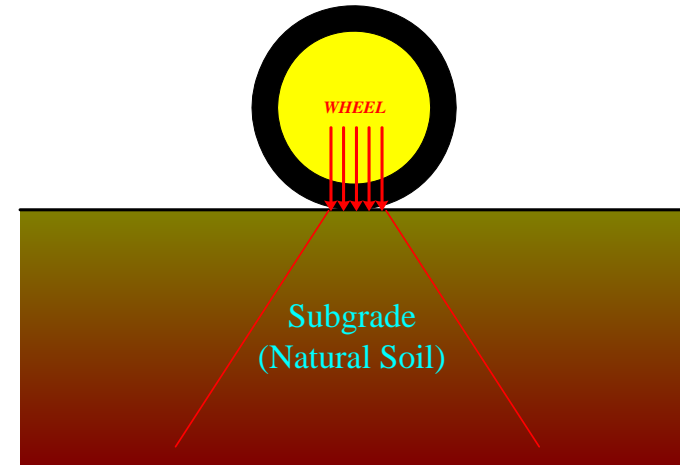
## (Pavement Design)



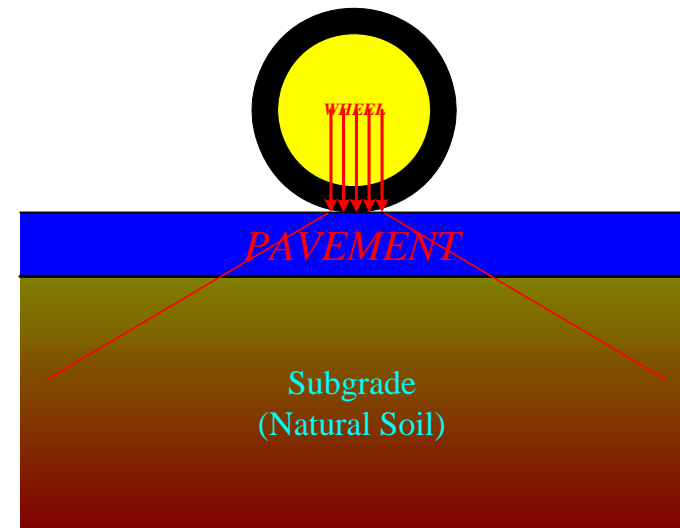
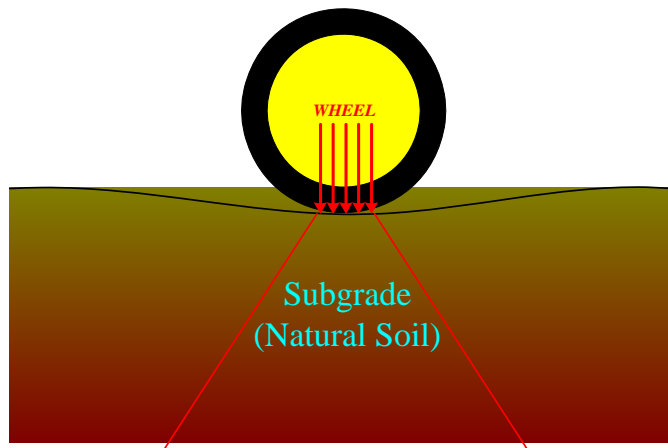
ดร. ขงยุทธ เต๋ศิริ ดร.ชนศักดิ์ วงศ์ธนากิจเจริญ  
ส่วนออกแบบและแนะนำโครงสร้างชั้นทาง  
สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

### ความสำคัญของการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

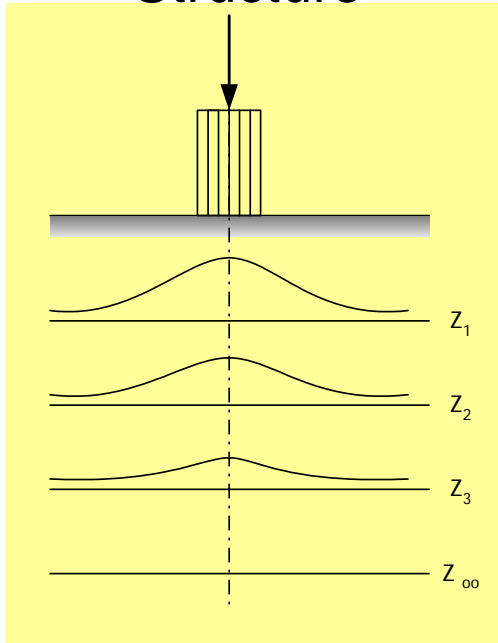
ดินเดิม (Subgrade) ส่วนใหญ่ไม่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักที่เกิดจากล้อของยานพาหนะได้



**Pavement** คือชั้นของวัสดุที่จะทำให้หน้าที่ลดหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักล้อรถยนต์ให้มีขนาดน้อยลงจนกระทั่งถึงค่าที่ดิน **Subgrade** จะสามารถรับได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

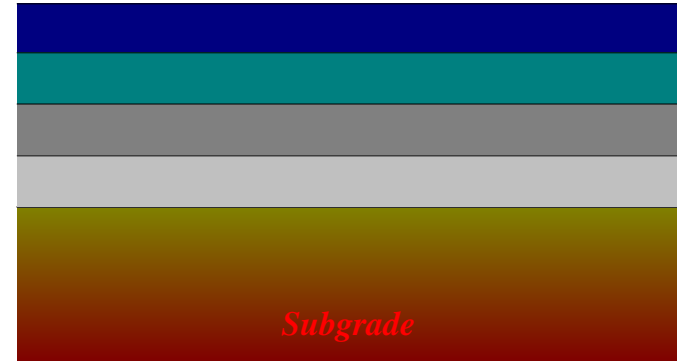


# Stress Distribution in Pavement Structure

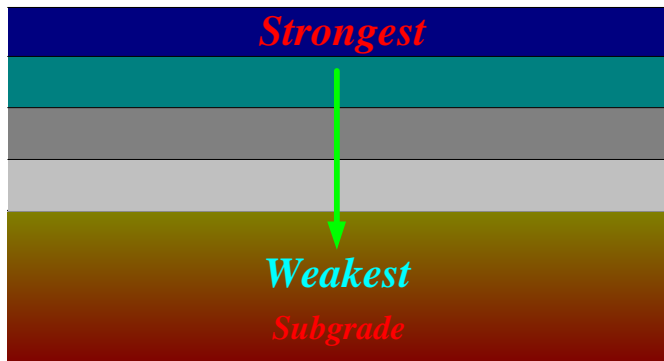


โดยปกติ **Pavement** ประกอบด้วยชั้นของวัสดุ  
(**Layers** หรือ **Courses**)

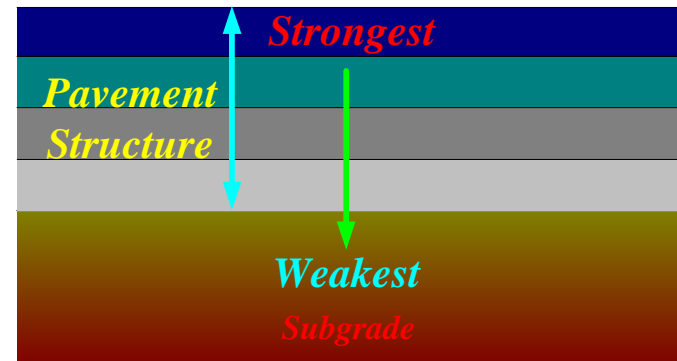
วางเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ อย่างมีระบบ



ความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชั้นจะเป็นไปในลักษณะที่  
วัสดุที่มีกำลังรับนน. ได้ดีกว่าจะอยู่ด้านบน วัสดุที่ค้อยกว่าจะอยู่ด้านล่าง



ชั้นของวัสดุเหล่านี้รวมเรียกว่า  
**โครงสร้างชั้นทาง (Pavement Structure)**

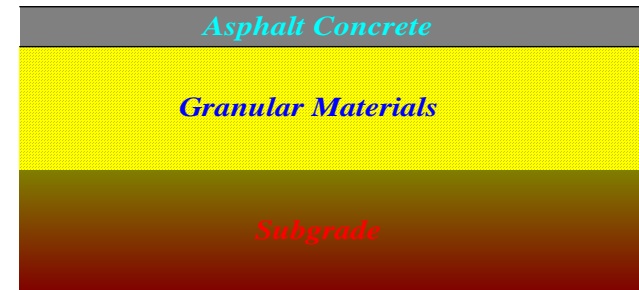


## หน้าที่ของทาง (Function of Pavement)

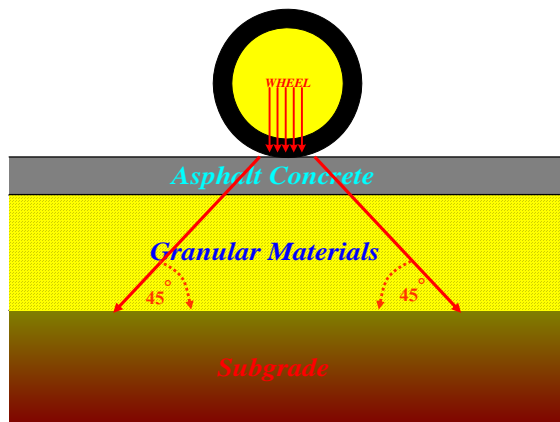
- ปกป้องดินคันทาง(ดินเดิม)มิให้เกิดการวิบัติของหน่วยแรงและการยุบตัวอันเนื่องมาจากน้ำหนักล้อ
- โดยรับน้ำหนักจากล้อของยานพาหนะแล้วถ่ายลงสู่พื้นทาง รองพื้นทางและดินคันทาง
- ป้องกันความชื้นหรือน้ำฝนซึมลงไปทำลายโครงสร้างทาง

## โครงสร้างชั้นทางหยุ่นตัว (Flexible Pavement)

เป็นโครงสร้างชั้นทางประกอบไปด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) และวัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่น (Granular Materials) เช่น หินคลุก กรวด ลูกกรัง ดังนั้นจึงมักเรียก โครงสร้างชั้นทางประเภทนี้ว่า ถนนลาดยางหรือถนนแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมีระยะทางคิดเป็นร้อยละ 95 ของถนนทั่วประเทศ



## พฤติกรรมการแผ่กระจายน้ำหนักในโครงสร้างชั้นทางหยุ่นตัว (Flexible Pavement)



## วิธีการออกแบบถนนลาดยางของ Asphalt Institute (1970)

(วิธีที่กรมทางหลวงใช้ออกแบบถนนลาดยางในปัจจุบัน)

- องค์ประกอบที่ใช้ในการออกแบบ
- ขั้นตอนการออกแบบ
- ตัวอย่างการออกแบบ
- ข้อจำกัดในการออกแบบด้วยวิธีของ Asphalt Institute

## องค์ประกอบที่ใช้ในการออกแบบ

- จำนวนและน้ำหนักเพลาทันหมดที่คาดคะเนไว้ในช่วงเวลา ออกแบบ
- ความแข็งแรงของดินชั้น Subgrade
- ค่า Substitution Ratio หรือ ความแข็งแรงสัมพัทธ์ของชั้น Surface , Base และ Subbase
- สภาพแวดล้อมในพื้นที่ที่ออกแบบ

## ขั้นตอนการออกแบบโดยใช้วิธีของ Asphalt Institute

วิเคราะห์ข้อมูลด้านปริมาณการจราจร เพื่อหาค่า Design Traffic Number (DTN)

วิเคราะห์ข้อมูลความแข็งแรงของชั้นดินเดิม เพื่อหาค่า Subgrade CBR

ออกแบบความหนาของโครงสร้างทางในลักษณะของ Full Depth Asphalt ( $T_A$ ) โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบเชิงประสบการณ์ หรือใช้ Nomograph

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97(\log DTN)}{(CBR)^{0.4}}$$

แปลงค่าความหนาในลักษณะของ  $T_A$  ไปเป็นโครงสร้างชั้นทางที่ประกอบด้วยวัสดุชั้นทางในลักษณะต่างๆ โดยใช้ค่า Substitution Ratio ตามที่ AI กำหนดไว้

รูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่เหมาะสม

## การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการจราจรเพื่อหาค่า DTN

## ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

- **Equivalent Single-Axle Load (ESAL)** คือ จำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลาคือ เดียวมาตรฐาน 18,000 ปอนด์ ที่แปลงมาจากจำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลามีขนาดและชนิดต่างๆกัน
- **Design Lane** คือ ช่องจราจรที่มีจำนวน ESAL มากที่สุด มักกำหนดให้ช่องซ้ายสุดที่ติดกับไหล่ทางเป็น Design Lane เนื่องจากเป็นช่องจราจรที่รถบรรทุกหนักผ่านมากที่สุด
- **Design Period** คือ จำนวนปีนับตั้งแต่เปิดจราจรถึงปีที่เราคาดว่าจะต้องทำการปรับปรุงบูรณะ โครงสร้างชั้นทาง

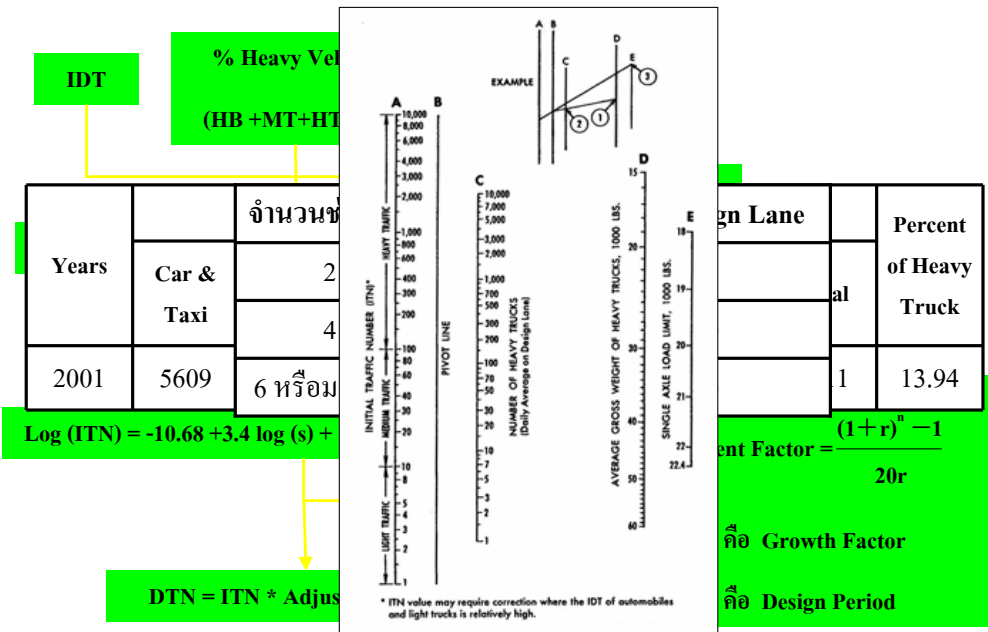
## ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

- **Initial Daily Traffic (IDT)** คือ ปริมาณยานพาหนะเฉลี่ยต่อวันที่คาดว่าจะผ่านถนนที่ออกแบบในปีแรกที่เปิดการจราจร (ทั้งสองทิศทางจราจร)
- **Initial Traffic Number (ITN)** คือ ปริมาณการจราจรที่เทียบเท่าเป็นจำนวนเพลาเดี่ยวมาตรฐานซึ่งรับน้ำหนักขนาด 18,000 ปอนด์ (ESAL) ที่ผ่าน Design Lane เฉลี่ยต่อวันในปีแรกที่เปิดการจราจร
- **Design Traffic Number (DTN)** คือ ปริมาณการจราจรที่เทียบเท่าเป็นจำนวนเพลาเดี่ยวมาตรฐานซึ่งรับน้ำหนักขนาด 18,000 ปอนด์ (ESAL) ที่คาดว่าจะมาใช้ Design Lane ตลอดช่วง Design Period

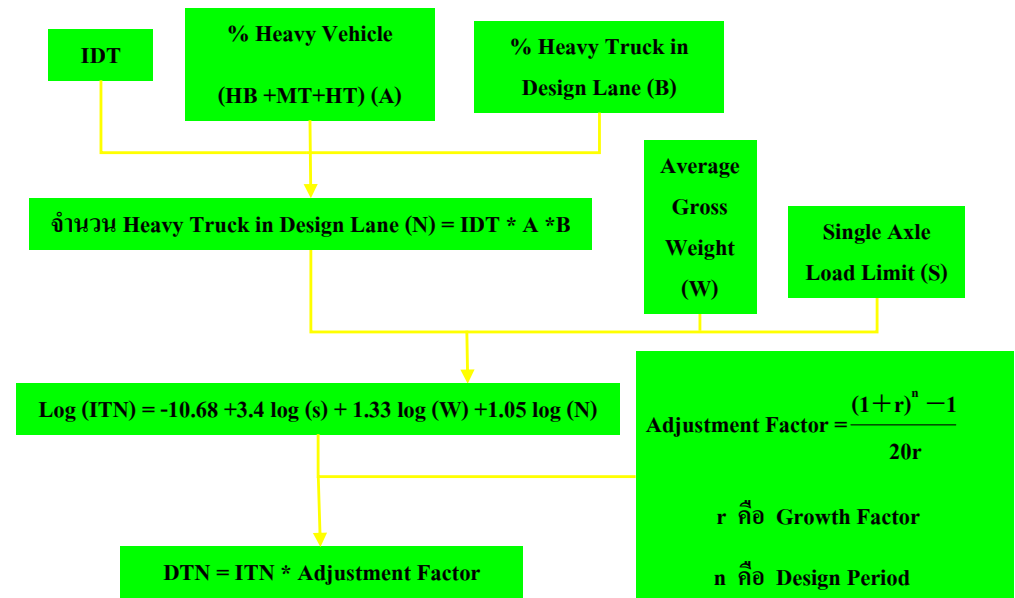
## ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

- **รถบรรทุกหนัก (Heavy Vehicles)** คือ ชนิดของยานพาหนะที่พิจารณาในการออกแบบ ประกอบด้วยยานพาหนะที่มีตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป คือ Heavy Bus, HB (10 ล้อ 3 เพลา) Medium Truck, MT ( 6 ล้อ 2 เพลา) และ Heavy Truck, HT (10 ล้อ 3 เพลา)
- **Average Gross Weight of Heavy Truck** คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของรถบรรทุกหนัก ตั้งแต่ 2 เพลา 6 ล้อ ขึ้นไป (ปอนด์)
- **Single Axle Load Limit** คือ น้ำหนักเพลาเดี่ยวสูงสุดจากน้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกหนัก (คิดในหน่วย 1000 ปอนด์)

### ขั้นตอนการหาค่า Design Traffic Number (DTN)



### ขั้นตอนการหาค่า Design Traffic Number (DTN)

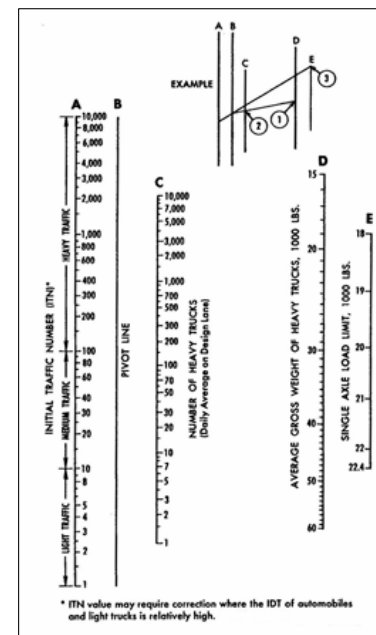


## ขั้นตอนการหาค่า Design Traffic Number (DTN)

Years	Average Daily Traffic by Type							Percent of Heavy Truck
	Car & Taxi	Light Bus	Heavy Bus	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Total	
2001	5609	500	261	2248	473	620	9711	13.94

จำนวนช่องทาง	% Heavy Truck in Design Lane
2	50
4	45 (หรือ 35 – 48)
6 หรือมากกว่า	40 (หรือ 25 – 48)

## ขั้นตอนการหาค่า Design Traffic Number (DTN)



## การประเมินความแข็งแรงของ Subgrade

## การประเมินความแข็งแรงของดิน Subgrade

**จุดประสงค์:** เพื่อทดสอบความแข็งแรงของดิน Subgrade เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

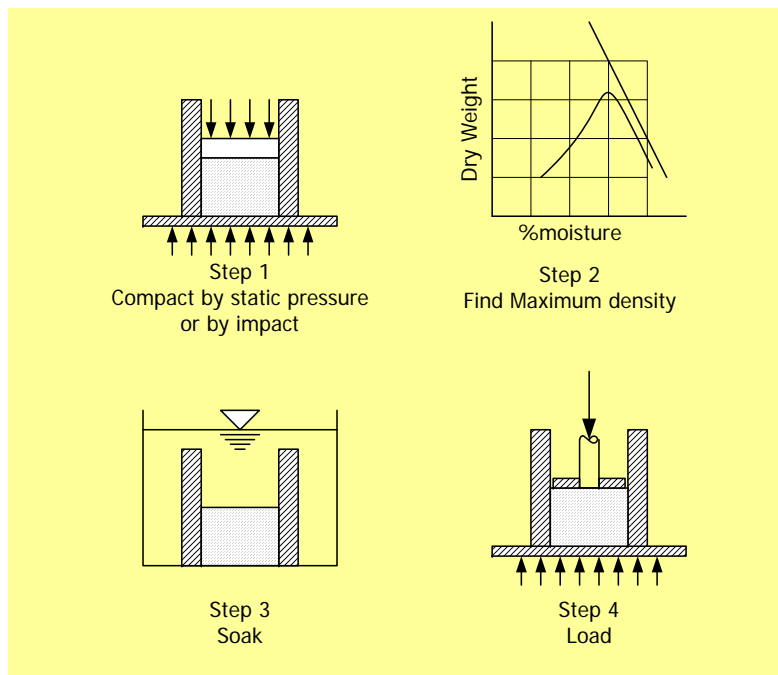
**วิธีการ:** ใช้การทดสอบเพื่อหาค่า California Bearing Ratio (CBR)

## California Bearing Ratio (CBR)

- ASSHTO T – 193 หรือ ทล. – ท. 109/2517
- เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของดิน Subgrade
- CBR เป็นค่าเปรียบเทียบความแข็งแรงของวัสดุใดๆ กับวัสดุมาตรฐาน แสดงค่าเป็นร้อยละ (%)
- สามารถทดลองได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ทำได้รวดเร็ว
- ตัวอย่างที่จะนำมาทดลองจะถูกลดอัดเหมือนกับวัสดุในสนาม แล้วแช่น้ำเป็นเวลา 4 วันก่อนนำมาทดลอง

## การเก็บตัวอย่าง Subgrade

1. กรณี Subgrade เป็นคันทางดินถม
  - เก็บตัวอย่างจาก Borrow Pit, แหล่งวัสดุ
  - ตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ
2. กรณี Subgrade เป็นดินเดิม
  - เก็บตัวอย่างตามแนวถนนทุกระยะ 250 – 500 เมตร
  - ตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ, ความสม่ำเสมอ
  - แบ่งช่วงการออกแบบเป็นช่วงๆ ตามความแข็งแรงของ Subgrade



## ความแข็งแรงของดินฐานราก

- การทดสอบ CBR: ค่าอัตราส่วนความแข็งแรงของวัสดุ ทดสอบต่อความแข็งแรงของหินที่บดอัดแน่น มาตรฐาน
- $$\%CBR = 100 \times \text{test unit load} / \text{standard unit load}$$
- standard unit load
    - = 1,000 psi at 0.1 inch settlement
    - = 1,500 psi at 0.2 inch settlement

## ค่าแรงกดมาตรฐาน ที่ระยะกดต่างๆ

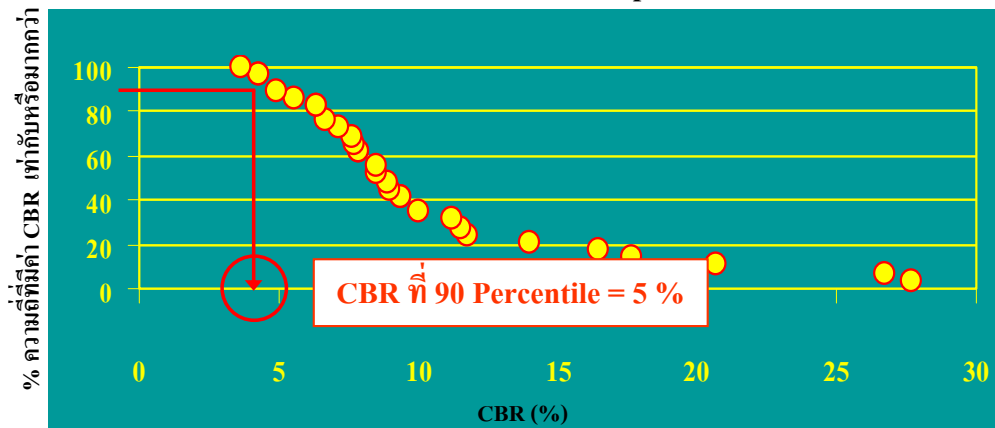
ระยะกดลึก (นิ้ว)	Standard Unit Load (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

## ตัวอย่างการเลือกค่าCBRมาออกแบบ

KM	%CBR	KM	%CBR	KM	%CBR	KM	%CBR
0+000	-	6+000	8.5	14+000	7.9	22+300	11.4
1+000	-	7+000	6.4	15+000	5.6	23+400	16.5
2+000	-	8+000	8.55	16+000	7.7	24+000	4.3
3+200	6.4	9+000	11.5	17+000	3.7	25+000	16.8
4+000	8.9	10+000	10	18+000	9.4	26+000	4.9
4+500	20.7	11+000	9	19+000	7.6	27+000	6.7
5+000	7.9	12+000	9.4	20+000	27.7	28+000	7.2
5+800	4.3	13+000	17.7	21+000	11.2	29+000	26.7

## ค่า CBR สำหรับออกแบบ

คือ ค่า CBR ที่ 90 Percentile หรือ ค่า CBR ที่ร้อยละ 90 ของผลการทดสอบทั้งหมดมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า CBR นั้น (Asphalt Institute 1970)



## ขั้นตอนการออกแบบโดยใช้วิธีของ Asphalt Institute

วิเคราะห์ข้อมูลด้านปริมาณการจราจร เพื่อหาค่า Design Traffic Number (DTN)

วิเคราะห์ข้อมูลความแข็งแรงของชั้นดินเดิม เพื่อหาค่า Subgrade CBR

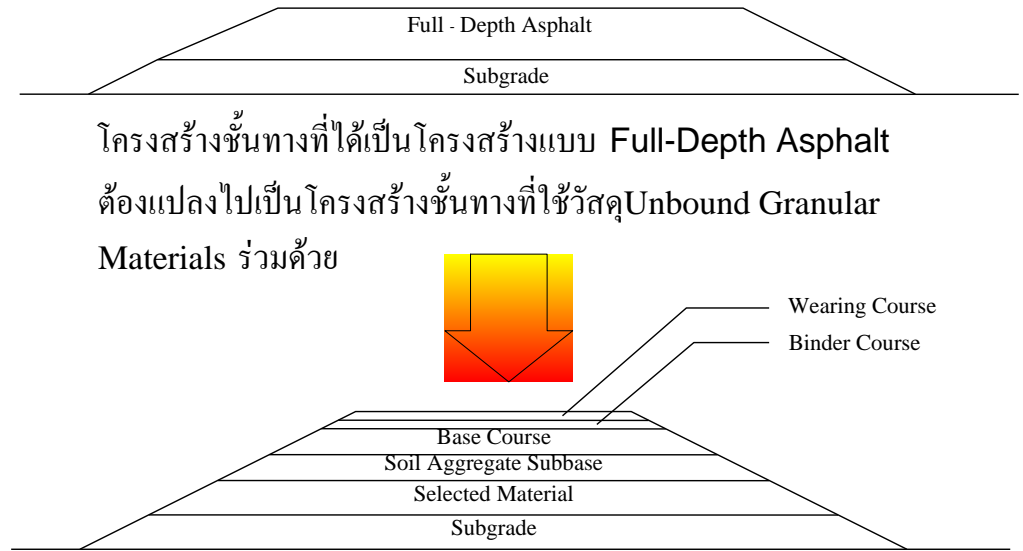
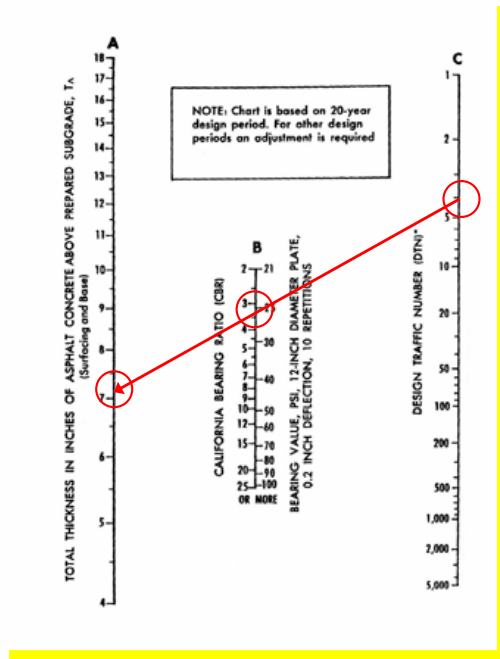
ออกแบบความหนาของโครงสร้างทางในลักษณะของ Full Depth Asphalt ( $T_A$ ) โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบเชิงประสบการณ์ หรือใช้ Nomograph

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97(\log DTN)}{(CBR)^{0.4}}$$

แปลงค่าความหนาในลักษณะของ  $T_A$  ไปเป็นโครงสร้างชั้นทางที่ประกอบด้วยวัสดุชั้นทางในลักษณะต่างๆ โดยใช้ค่า Substitution Ratio ตามที่ AI กำหนดไว้

รูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่เหมาะสม





## การแทนที่แอสฟัลต์ด้วยวัสดุ Unbound Granular Materials

### Substitution Ratio

- แอสฟัลต์ : พื้นทางหินคลุก 1 : 2.0
- แอสฟัลต์ : รองพื้นทางวัสดุผสมรวม 1 : 2.7
- แอสฟัลต์ : วัสดุคัดเลือก “ก” 1 : 3.0
- แอสฟัลต์ : วัสดุคัดเลือก “ข” 1 : 3.5

## ข้อกำหนดสำหรับคุณสมบัติของวัสดุพื้นทางหินคลุก

Properties	Standard	Requirement Base
Los Angeles Abrasion (%)	ASTM C131	≤ 40
Soundness (%)	AASHTO T-104	≤ 9
Liquid Limit (%)	AASHTO T-89	≤ 25
Plastic Index (%)	AASHTO T-90	≤ 6
CBR* (%)	AASHTO T-193	≥ 80

ข้อกำหนดสำหรับคุณสมบัติของวัสดุรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

Properties	Standard	Requirement
		Subbase
Los Angeles Abrasion (%)	ASTM C131	≤ 60
Soundness (%)	AASHTO T-104	Not Specific
Liquid Limit (%)	AASHTO T-89	≤ 35
Plastic Index(%)	AASHTO T-90	≤ 6
CBR* (%)	AASHTO T-193	≥ 25

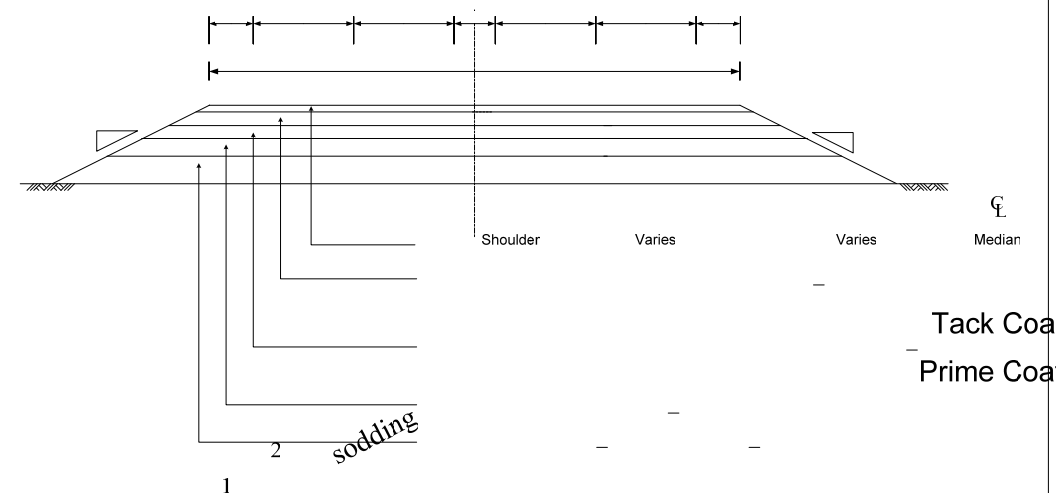
ข้อกำหนดสำหรับคุณสมบัติของวัสดุคัดเลือก “ก”

Properties	Standard	Requirement Selected Material “A”
Maximum Size (mm)	AASHTO T-27	50
Passing Sieve No.200 (%)	AASHTO T-27	≤ 30
Liquid Limit (%)	AASHTO T-89	≤ 40
Plastic Index(%)	AASHTO T-90	≤ 20
CBR* (%)	AASHTO T-193	≥ 10
Swelling (%)	AASHTO T-193	≤ 3

ข้อกำหนดสำหรับคุณสมบัติของวัสดุคัดเลือก “ข”

Properties	Standard	Requirement Selected Material “B”
Maximum Size (mm)	AASHTO T-27	50
Passing Sieve No.200 (%)	AASHTO T-27	≤ 35
Liquid Limit (%)	AASHTO T-89	Not specific
Plastic Index (%)	AASHTO T-90	Not specific
CBR* (%)	AASHTO T-193	≥ 6
Swelling (%)	AASHTO T-193	≤ 3

รูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่ได้จากการออกแบบ



## ตัวอย่างการออกแบบ

- ถนนสี่ช่องจราจร
- CBR ของ Subgrade ที่ใช้ออกแบบ = 5 %
- อายุการออกแบบ 15 ปี
- น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของรถบรรทุกหนัก (Average Gross Weight of Heavy Truck) = 26 ตัน (57,000 lbs)
- น้ำหนักลงเพลาคือ (Single Axle Load Limit) = 10.4 ตัน
- Traffic Growth Rate = 6.5 %
- คาดว่าถนนจะเปิดให้บริการในอีก 3 ปีข้างหน้า

### วิเคราะห์ปริมาณการจราจร

Years	Average Daily Traffic by Type							Percent of Heavy Truck	
	Car & Taxi	Light Bus	Heavy Bus	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Total		
2001	5609	500	261	2248	473	620	9711	13.94	
2002	ปีที่ถนนก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดใช้งาน								
2003							?		

1) ข้อมูลปริมาณการจราจรที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ (ข้อมูลปี 2001)

IDT ของ ปี 2001 = 9711 vpd

$$\% \text{ ของรถบรรทุกหนัก} = \frac{\text{HB} + \text{MT} + \text{HT}}{\text{Total}} \times 100 = \frac{261 + 473 + 620}{9711} \times 100 = 13.94\%$$

Years	Average Daily Traffic by Type							Percent of Heavy Truck
	Car & Taxi	Light Bus	Heavy Bus	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Total	
2001	5609	500	261	2248	473	620	9711	13.94
2002								
2003							11730	

2) กำหนดปริมาณการจราจรในปี 2003 โดยที่ Traffic Growth Rate = 6.5 %

จากสมการ  $y = x(1+r)^n = 9711(1+0.065)^3 = 11730$  vpd

เมื่อ  $y =$  ปริมาณการจราจรในปี 2003

$x =$  ปริมาณการจราจรในปี 2001 = 9711 vpd

$r =$  Traffic Growth Rate = 6.5%

$n =$  จำนวนปีที่คาดว่าจะต้องรอกการก่อสร้าง = 3 ปี

3) ข้อมูลจราจรและน้ำหนักรถบรรทุกที่ใช้วิเคราะห์และออกแบบในปี 2003

ปริมาณการจราจรในปี 2003 = 11730 vpd

% ของรถบรรทุกหนัก = 13.94 %

Lane distribution factor (4 lanes) = 0.45

ปริมาณรถบรรทุกหนักใน Design Lane (N) =  $11730 \times \frac{13.94}{100} \times \frac{45}{100} = 736$  vpd

Average Gross Weight of Heavy Truck (W) = 26 ตัน = 57000 ปอนด์

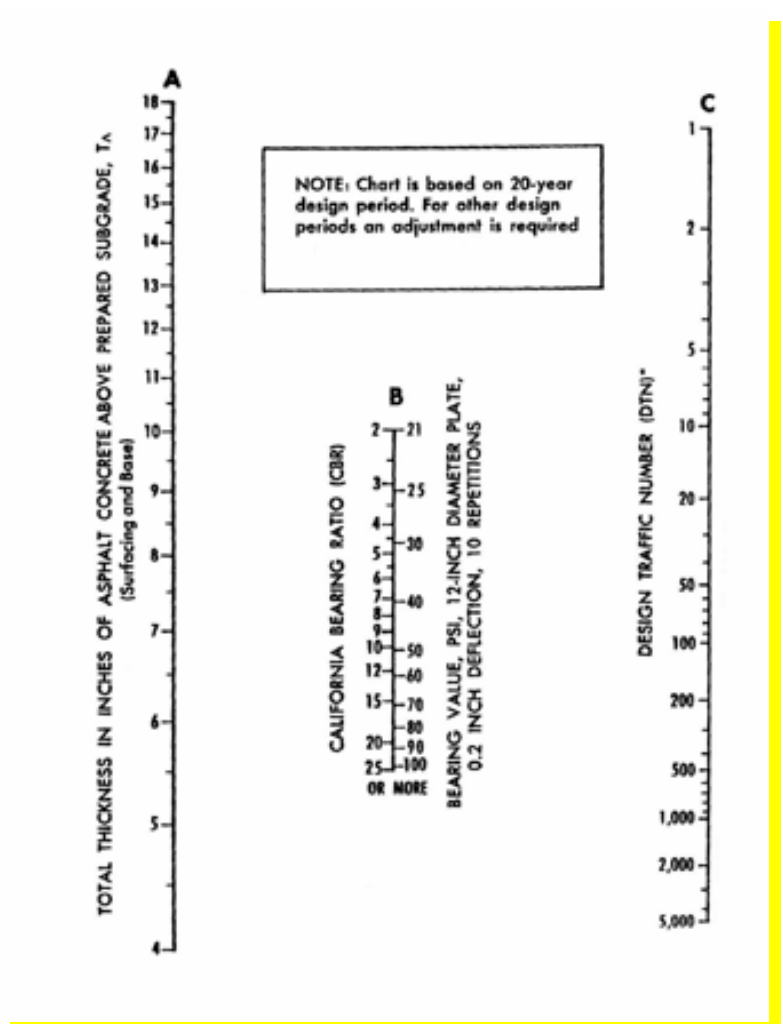
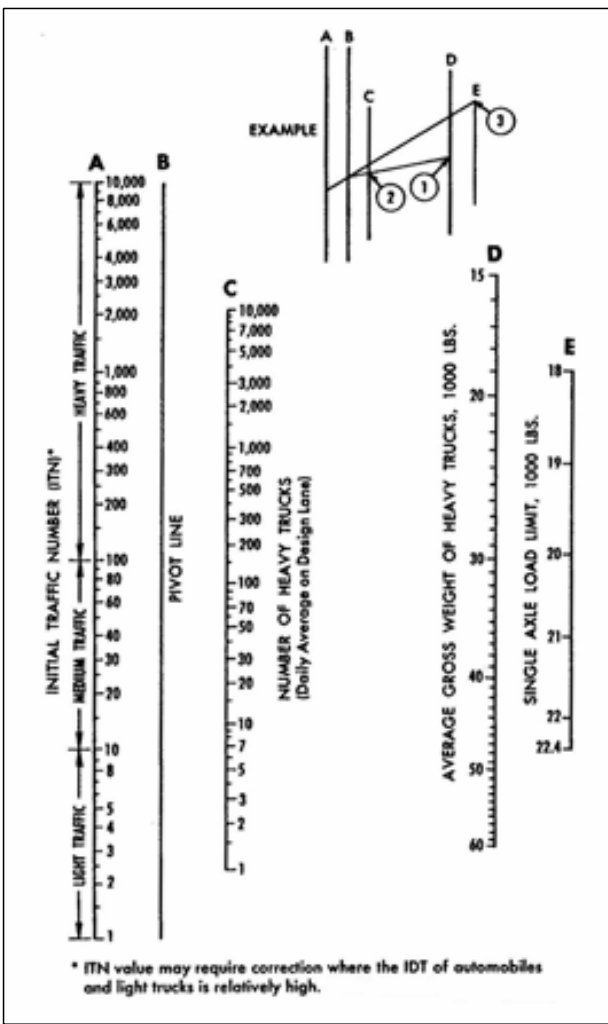
Single Axle Load Limit (S) = 26 \* 0.8 \* 0.5 = 10.4 ตัน = 22920 ปอนด์

Log (ITN) = -10.68 + 3.40 log(S) + 1.33 log (W) + 1.05 log (N)

= -10.68 + 3.40 log(22.92) + 1.33 log (57000) + 1.05 log (736)

ITN = 1900

DTN = 1900 \*  $\frac{(1+r)^n - 1}{20r} = 1900 * \frac{(1+0.065)^{15} - 1}{20 \times 0.065} = 1900 * 1.21 = 2299$



#### 4) การออกแบบโครงสร้างถนนตามวิธีของ Asphalt Institute

- Design Subgrade CBR = 5%
- DTN = 2299

$$\begin{aligned}
 \text{Full - Depth Asphalt Thickness (T}_A) &= \frac{9.19 + 3.97 \log(\text{DTN})}{5^{0.4}} \\
 &= \frac{9.19 + 3.97 \log(2299)}{5^{0.4}} \\
 &= \underline{11.84 \text{ นิ้ว} = 300.7 \text{ มม.}}
 \end{aligned}$$

# Minimum Requirements

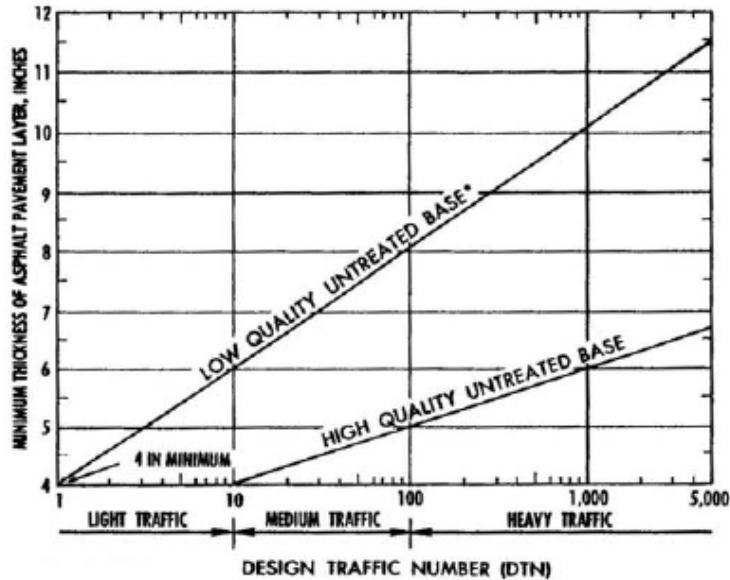
## 1. Minimum $T_A$

Table 4.4: Minimum  $T_A$

Design Traffic Number (DTN)	Minimum $T_A$ , Inches
Less than 10	4
10 – 100	5
100 – 1000	6
More than 1000	7

\* 1 inch = 25.4 mm.

## 2. Minimum AC Thickness



## การคำนวณความหนาโครงสร้างชั้นทาง

ทดลองออกแบบความหนาของโครงสร้างทาง คือ

Materials	Thickness (mm)	$S_f$	$T_A$
Asphalt surface and binder course	80	1.0	80
Crushed rock base	200	2.0	100
Granular subbase	150	2.7	55.56
Selected materials "A"	200	3.0	66.67
			302.23

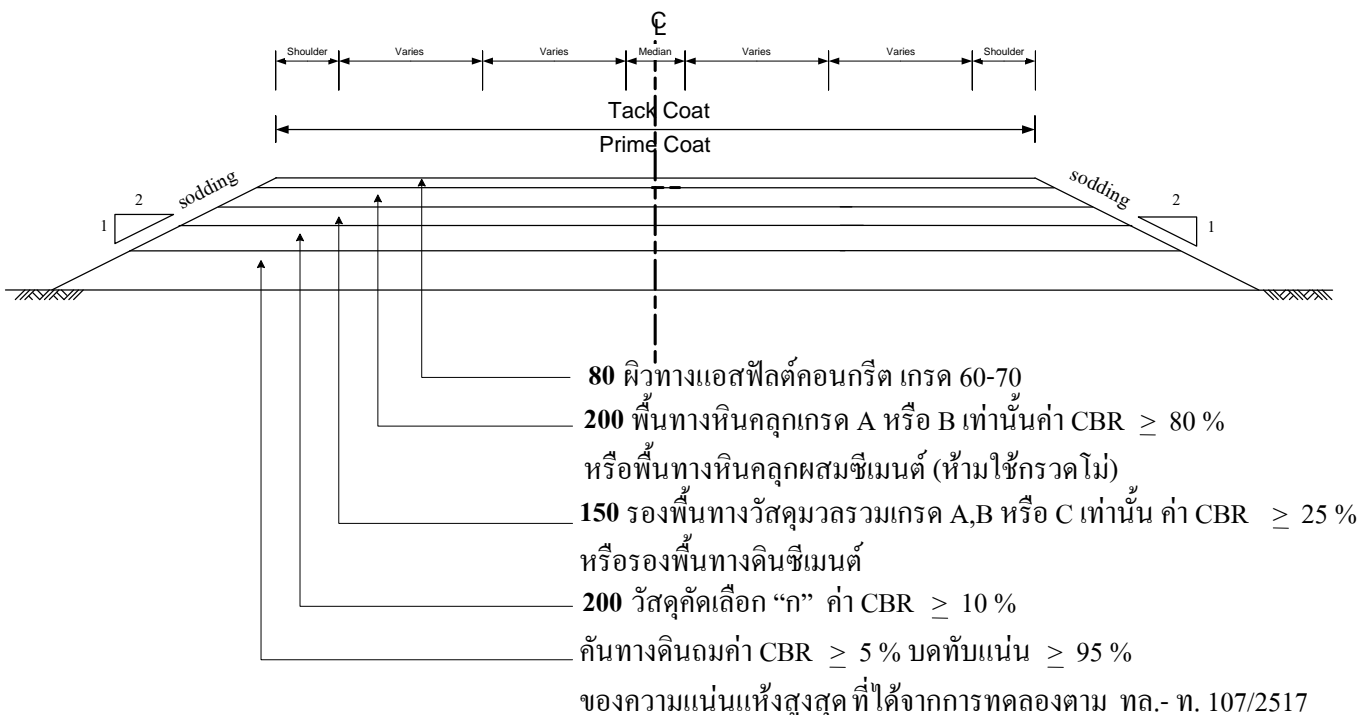
$T_A$  ที่ได้จากโครงสร้างชั้นทางที่ออกแบบ = 302.23 มม. ซึ่งมากกว่าค่าที่คำนวณได้ คือ 300.7 มม. แสดงว่าโครงสร้างชั้นทางที่ออกแบบมีความหนาเพียงพอ

# ตรวจสอบว่าวัสดุและรองพื้นทางจะเสียหายหรือไม่

## Further Checking of Pavement Structure

1. ใช้ค่า CBR<sub>selected A</sub> กำหนดหา required  $T_A$  over the selected A
  - เปรียบเทียบ  $T_A$  of surface+base+subbase  $\geq$  required ( $T_A$ )<sub>selected A</sub>
2. ใช้ค่า CBR<sub>subbase</sub> กำหนดหา required  $T_A$  over the subbase
  - เปรียบเทียบ  $T_A$  of surface+base  $\geq$  required ( $T_A$ )<sub>subbase</sub>

## รูปแบบโครงสร้างชั้นทางที่ได้จากการออกแบบ



## ข้อจำกัดในการออกแบบด้วยวิธีของ Asphalt Institute

- ไม่เหมาะกับถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงมากกว่า  $10 * 10^6$  ESAL เนื่องจากข้อมูลของจำนวนเที่ยวของ ESAL ที่ใช้ใน Test Road จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน  $10 * 10^6$  ESAL
- มีข้อจำกัดในการเลือกใช้วัสดุชั้นทาง เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุต้องตรงตามมาตรฐานและมีคุณภาพที่ไม่ด้อยกว่าวัสดุที่ใช้ใน Test Road