

**คู่มือการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง
โดยวิธี Asphalt Institute Method ฉบับที่ 8 (1970)**

จัดทำโดย

ส่วนออกแบบและแนะนำโครงสร้างชั้นทาง

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง

กรมทางหลวง

สารบัญ

สารบัญ.....	2
บทที่ 1 บทนำ.....	3
หลักการออกแบบ	3
องค์ประกอบข้อมูลในการออกแบบ.....	4
บทที่ 2 ปริมาณการจราจร.....	5
ขั้นตอนการหา DTN.....	6
บทที่ 3 ความแข็งแรงของดินฐานราก	12
การทดสอบ CBR.....	12
บทที่ 4 การออกแบบความหนาโครงสร้างถนนลาดยาง	15
การออกแบบความหนา T_A	15
การแปลงความหนาโครงสร้างถนน	16
ความหนาขั้นต่ำของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต	19
บทที่ 5 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง	21
บรรณานุกรม	24

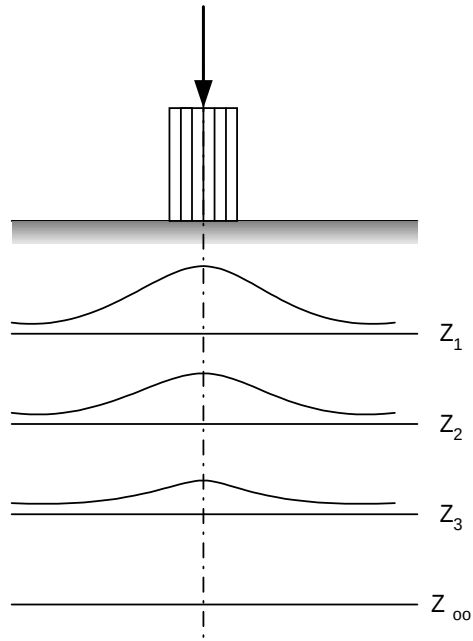
บทที่ 1 บทนำ

โครงสร้างถนนลาดยางสามารถออกแบบได้หลากหลายวิธี โดยสามารถแบ่งอย่างกว้างๆ ได้ 2 ประเภท คือ การออกแบบเชิงประสบการณ์ และการออกแบบเชิงวิเคราะห์ การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามวิธีของ Asphalt Institute ฉบับที่ 8 (ค.ศ. 1970) นี้เป็นวิธีเชิงประสบการณ์วิธีหนึ่ง ซึ่งกรมทางหลวงได้เลือกใช้ออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางในประเทศไทย มาช้านานกว่า 25 ปี เพราะสามารถออกแบบได้สะดวก รวดเร็ว และต้องการ การทดสอบวัสดุที่ไม่ยุ่งยากมากนัก ดังนั้นคู่มือฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ที่สนใจ และเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางเข้าใจตรงกันถึงหลักการและกระบวนการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางในประเทศไทย และให้สามารถออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางได้อย่างมั่นใจ

หลักการออกแบบ

การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี ของ Asphalt Institute ฉบับที่ 8 เป็นวิธีเชิงประสบการณ์ ซึ่งนำเอาข้อมูลจากผลการทดลองในถนนทดสอบ AASHTO Road Test, WASHO Road Test, British Road Test, และประสบการณ์จากงานจริง มาสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับ ความหนาของชั้นพื้นทางที่ต้องการ โดยวัสดุในชั้นพื้นทางที่ได้ตามความสัมพันธ์นี้จะ เป็น Asphalt ทั้งหมด หรือที่เรียกว่า Full-Depth Asphalt Thickness (T_A)

อย่างไรก็ตาม ราคาค่าก่อสร้าง Full-Depth Asphalt Pavement ค่อนข้างสูงมาก และไม่สามารถเลือกใช้วัสดุท้องถิ่นได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น Asphalt Institute จึงได้กำหนดค่าคงที่มาจำนวนหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Substitution Ratio เพื่อใช้แปลงความหนาของวัสดุทดแทนอื่นให้เป็นความหนาของชั้น Asphalt ทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วัสดุอื่นที่ถูกลงกว่าทดแทนและสามารถกำหนดให้โครงสร้างถนนลาดยางให้มีลักษณะเป็นชั้นๆ ได้ จากการศึกษาพบว่า ขนาดหน่วยแรงอัดในแนวตั้งที่เกิดในโครงสร้างชั้นทางจะมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับความลึก ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยหน่วยแรงอัดในแนวตั้งดังกล่าวจะมีความเข้มข้นสูงบริเวณที่ใกล้กับผิวจราจร และจะลดน้อยลงตามลำดับเมื่อระดับความลึกมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางให้คุ้มค่า จึงมักออกแบบใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีที่สุดไว้ใกล้กับผิวจราจร และวัสดุที่มีคุณภาพรองลงมาให้ใช้ชั้นลึกลงไป



รูปที่ 1 การแผ่กระจายของหน่วยแรงในแนวดิ่งที่เกิดจากล้อรถที่ระดับความลึกต่างๆ กัน

องค์ประกอบข้อมูลในการออกแบบ

องค์ประกอบข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามวิธีของ Asphalt Institute ฉบับที่ 8 ประกอบด้วย ปริมาณการจราจร และ ความแข็งแรงของดินฐานราก ปริมาณการจราจรจัดให้อยู่ในรูปของ Design Traffic Number (DTN) และความแข็งแรงของดินฐานรากให้อยู่ในรูปของค่า CBR, Plate Bearing k-value, หรือ ค่า R-value ค่าใดค่าหนึ่ง องค์ประกอบข้อมูลทั้งสองนี้จะกล่าวอย่างละเอียดในบทที่ 2 และบทที่ 3 ตามลำดับ นอกจากนั้นอัตราส่วนความแข็งแรงของวัสดุต่างๆ ในโครงสร้างชั้นทาง (Substitution Ratios) ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ที่ใช้ในการแปลงความหนาของ Full Depth Asphalt Pavement ให้เป็นถนนที่มีโครงสร้างทางเป็นชั้นๆ โดย Substitution Ratios จะกล่าวในส่วนของการแปลงความหนาโครงสร้างชั้นทางในบทที่ 4

บทที่ 2 ปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจรที่ใช้ในการออกแบบตามวิธี Asphalt Institute ฉบับที่ 8 จะอยู่ในรูปของ Design Traffic Number (DTN) โดยค่า DTN นั้นหมายถึง จำนวนเที่ยวเฉลี่ยต่อวัน ของจำนวนรถที่มีน้ำหนักเพลามาตรฐานเท่ากับ 18,000 ปอนด์ (Equivalent Single Axle Loads, ESAL) ที่แปลงมาจากจำนวนรถที่มีชนิดและน้ำหนักเพลาดังกล่าวกัน ซึ่งคาดว่าจะมาไว้ในช่องจราจรที่ออกแบบตลอดช่วงระยะเวลาที่ออกแบบ การประมาณค่าของ DTN ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน เช่น ระยะเวลาออกแบบ จำนวนรถบรรทุกหนัก อัตราการเพิ่มของรถบรรทุก ฯลฯ ดังนั้นเพื่อให้ทำความเข้าใจในการหาค่า DTN ง่ายยิ่งขึ้นจึงขอให้คำจำกัดความของตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็นต้องทราบดังนี้

Equivalent 18,000-Pound Single-Axle Loads (ESAL) คือ จำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์ ที่เทียบแปลงมาจากจำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลามีขนาดและชนิดต่างๆ กัน โดยที่น้ำหนักเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อความเสียหายของโครงสร้างชั้นทางเท่ากัน

Design Lane คือ ช่องจราจรที่มี จำนวน ESAL มากที่สุด โดยปกติแล้ว Design Lane คือ ช่องทางใดช่องทางหนึ่งในถนน 2 ช่องจราจร แต่ถ้าเป็นถนนที่มีช่องจราจรมากกว่า 2 ช่อง มักจะกำหนดช่องซ้ายสุดเป็น Design Lane เนื่องจากในประเทศไทย ช่องซ้ายสุดเป็นช่องจราจรที่รถหนักแล่นผ่านมากที่สุด

Design Period คือ จำนวนปีนับตั้งแต่เปิดจราจรจนถึงปีที่จะต้องปรับปรุงบูรณะโครงสร้างชั้นทางเพื่อให้ถนนใช้การได้ดีอีกครั้ง ผู้ออกแบบไม่ควรสับสนว่า Design Period นี้คือ Pavement Life เนื่องจาก Pavement Life นั้นจะไม่สิ้นสุดหากมีการปรับปรุงหรือบูรณะโครงสร้าง แต่ Pavement Life จะหมดไปเมื่อถนนทางหมดสภาพไปแล้วหรือ แนวคันทางเปลี่ยนไปเท่านั้น

Initial Daily Traffic (IDT) คือ จำนวนของรถทุกชนิดที่คาดว่าจะมาใช้ถนนในปีแรกที่เปิดการจราจร เฉลี่ยต่อวันทั้งสองทิศทาง ค่า IDT ที่ใช้ในปัจจุบันได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร และเก็บสถิติเป็นระยะเวลานาน สามารถค้นหาข้อมูลนี้ได้จากกองวิศวกรรมจราจร กรมทางหลวง

Initial Traffic Number (ITN) จำนวนที่ขยับเฉลี่ยต่อวันของ ESAL ซึ่งคาดว่าจะมาใช้ Design Lane ในช่วงปีแรกที่เปิดการจราจร

Design Traffic Number (DTN) คือ จำนวนที่ขยับเฉลี่ยต่อวันของ ESAL ที่คาดว่าจะมาใช้ Design Lane ตลอดช่วงระยะเวลา Design Period

ขั้นตอนการหา DTN

ขั้นตอนในการหา DTN สามารถสรุปได้ดัง รูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ประเมินค่า IDT จากการสำรวจปริมาณการจราจรหรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี หรือหาได้จากการศึกษาวิเคราะห์ความต้องการการใช้โครงข่ายถนน ตามแบบจำลองทางจราจร
2. ประเมินค่าเปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกหนัก (A) ของปริมาณการจราจรทั้งหมด (เฉพาะ 6 ล้อขึ้นไป) โดยการนับสำรวจจากการจราจรจริงๆ หรือจากสถิติของกองวิศวกรรมจราจร กรมทางหลวง หรือจากการศึกษา วิเคราะห์ จากแบบจำลองทางจราจร หรือหากไม่สามารถหาตัวเลขการจราจรจริงได้ อาจใช้ค่าประมาณดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าประมาณของเปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนักของปริมาณการจราจรทั้งหมด

ประเภทถนน	เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก
ถนนในเมืองอยู่ต่างจังหวัด	5%
ถนนในเมืองหลวง	5-15%
ถนนระหว่างจังหวัดสำคัญ	10-25%

3. ค้นหาเปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก (B) ใน Design Lane โดยไม่รวมถึงรถบรรทุกเล็ก เช่น รถสองแถว ในประเทศไทยรถบรรทุกหนักเล่นช่องซ้ายมากกว่าช่องขวาดังนั้นให้กำหนดช่องซ้ายสุดเป็น Design Lane ตารางที่ 2 แสดงค่าประมาณของเปอร์เซ็นต์รถบรรทุกที่เล่นใน Design Lane

ตารางที่ 2 ค่าประมาณของเปอร์เซ็นต์รถบรรทุกที่เล่นใน Design Lane

จำนวนช่องทาง	เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกใน Design Lane
2	50
4	45 (หรือ 35-48)
6 หรือมากกว่า	40 (หรือ 25-48)

4. กำหนดหาจำนวนรถบรรทุกหนักใน Design Lane จำนวนรถบรรทุกหนัก (N) = $(IDT) \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$ แล้วกำหนดค่าจำนวนรถบรรทุกหนักที่คำนวณได้ลงบนเส้น C ใน กราฟรูปที่ 3 หรือ แทนค่าในสมการที่ 1
5. ประมวลค่าเฉลี่ยน้ำหนักรถบรรทุก (Average Gross Weight of Heavy Truck) จากข้อมูลการสำรวจน้ำหนักบรรทุก สำหรับมาตรฐานน้ำหนักบรรทุกของกรมทางหลวงกำหนดให้รถบรรทุก 2 เพลา บรรทุกหนักได้ไม่เกิน 21 ตัน กำหนดค่าที่ได้นี้ลงบนเส้น D หรือในสมการที่ 1
6. กำหนดน้ำหนักเพลาเดี่ยวสูงสุด (Single Axle Load Limit) จากน้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุก สมมติน้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกเท่ากับ 21.0 ตัน จะได้น้ำหนักเพลาเดี่ยวเท่ากับ $21.0 \times 0.8 \times 0.5 = 8.4$ ตัน หรือ 18,000 ปอนด์ กำหนดค่าที่ได้นี้ลงบนเส้น E หรือในสมการที่ 1
7. ใช้ข้อมูลจากข้อ 1 ถึง 6 กำหนดหา ITN โดยใช้ Nomograph **รูปที่ 3** และวิธีการหาได้แสดงรายละเอียดในภาพตามขั้นตอนดังที่แสดงในรูป หรืออาจจะหาได้จากสมการที่ 1 ดังต่อไปนี้

$$\text{Log (ITN)} = -10.68 + 3.4 \log (S) + 1.33 \log (W) + 1.05 \log (N) \quad (1)$$

เมื่อ

S = น้ำหนักพิกัดเพลาเดี่ยว, ในหน่วย 1,000 ปอนด์

W = น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกตั้งแต่ 2 เพลา (6 ล้อขึ้นไป), ปอนด์

N = จำนวนรถบรรทุก (Number of Heavy Trucks), คัน

8. ค่า ITN ที่อ่านได้จาก Nomograph ดังกล่าวถ้ามีค่าต่ำกว่า 10 หมายถึงมีจำนวนรถนั่งและรถบรรทุกเล็กมีเปอร์เซ็นต์สูงมาก ดังนั้นค่า ITN ที่ได้จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้โดยใช้รูปที่ 4
9. ประมาณอัตราการเพิ่มปริมาณการจราจร r หรือแนวโน้มการเพิ่มปริมาณการจราจรได้จากสถิติข้อมูลที่เก็บมาจากการนับรถในถนนสายต่างๆ
10. กำหนด Design Period โดยปกติแล้ว Asphalt Institute กำหนดอายุการออกแบบไว้ที่ 20 ปี แต่หากต้องการลดอายุการออกแบบลง เช่น ทางหลวงจังหวัดมีอายุการใช้งาน 7 ปี แล้วจึงบูรณะ หรือทางหลวงแผ่นดินมีอายุการใช้งานกำหนดไว้ไม่เกิน 15 ปี (ระหว่าง 7-15 ปี) จำเป็นต้องปรับแก้ค่า ITN เพื่อลดความหนา T_A ลง โดยการใช้ Adjustment Factor ซึ่งมีค่า $= \frac{(1+r)^n - 1}{20r}$

โดยที่

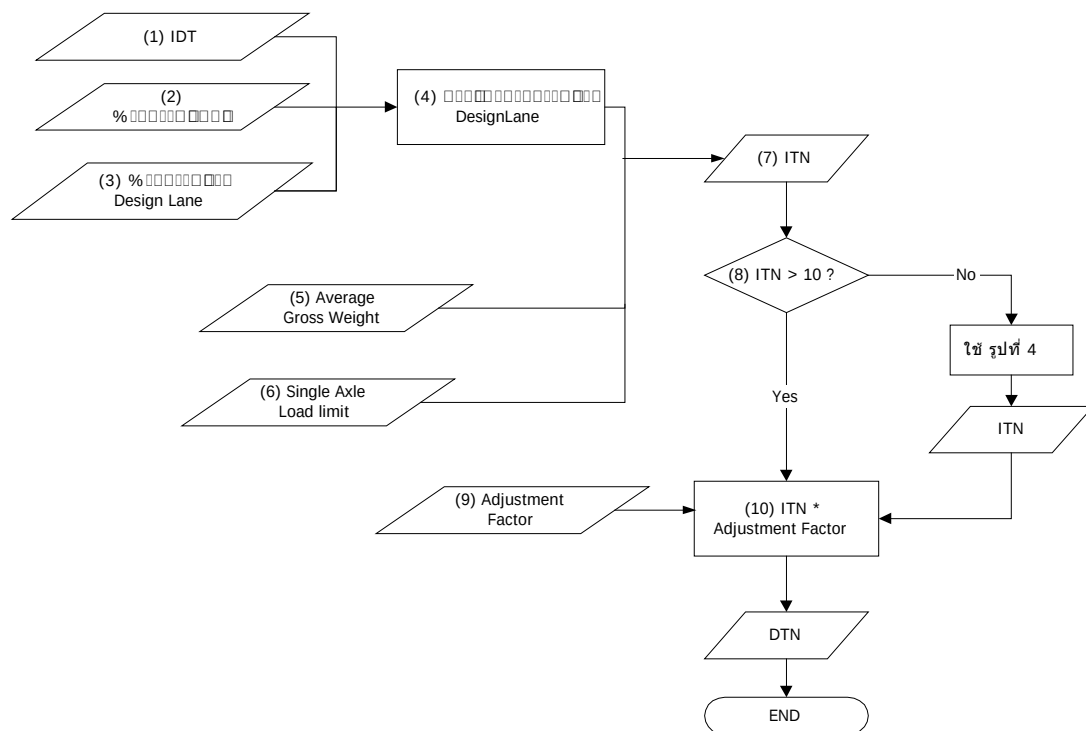
r คือ Growth Factor

n คือ Design Period

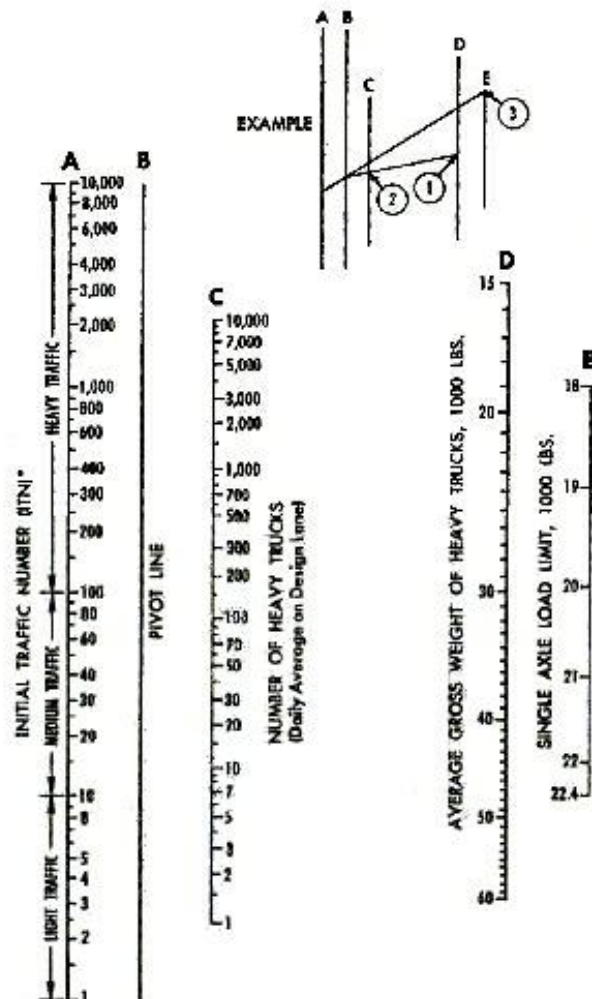
11. คำนวณ DTN ได้จากสมการ (2)

$$DTN = \frac{(1+r)^n - 1}{20r} \times ITN \quad (2)$$

ด้วยขั้นตอนดังกล่าว ผู้ออกแบบจะได้ค่า DTN ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ต้องใช้ในการออกแบบ โดยปกติแล้วเนื่องจากกรมทางหลวงจะใช้ปริมาณการจราจรจริงที่สำรวจโดยกองวิศวกรรมจราจร ดังนั้น จึงทำให้ ค่า IDT, % ของจำนวนรถบรรทุกหนัก และ แนวโน้มการเพิ่มของการจราจร จะมีความถูกต้องค่อนข้างสูง ทำให้ผู้ออกแบบได้ค่า DTN ที่ได้จากขั้นตอนดังกล่าวมีความถูกต้องเชื่อถือได้



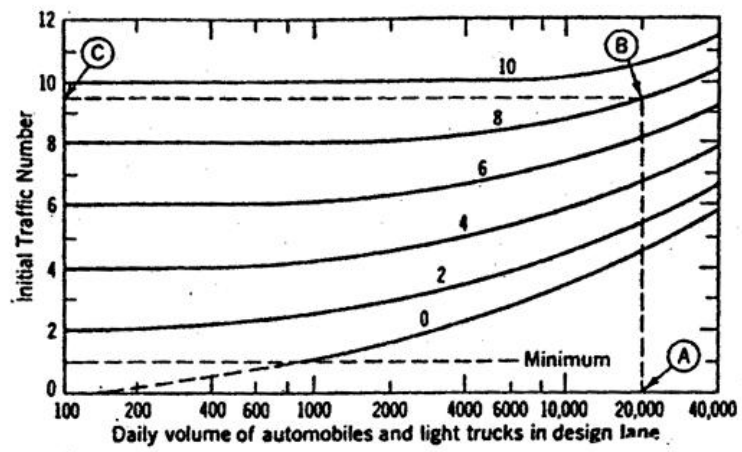
รูปที่ 2 ฟังก์ชันตอนการหา DTN



* ITN values may require correction where the IDT of automobiles and light trucks is relatively high. See Figure III-2

Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

รูปที่ 3 Nomograph สำหรับประมาณค่า ITN



รูปที่ 4 การปรับแก้ค่า Initial Traffic Number (ITN)

บทที่ 3 ความแข็งแรงของดินฐานราก

ตามคู่มือการออกแบบของ Asphalt Institute ฉบับที่ 8 นั้น ปัจจัยที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของดินฐานรากจะอยู่ในรูปของ CBR, Plate Bearing K-value, หรือ R value อย่างใดอย่างหนึ่ง ในทั้ง 3 พารามิเตอร์นี้ ค่า CBR เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากการทดสอบความแข็งแรงของดินฐานรากเป็นเปอร์เซ็นต์ CBR นั้นไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้รวดเร็ว ดังนั้นกรมทางหลวงจึงได้เลือกใช้เปอร์เซ็นต์ CBR ของดินฐานรากเป็นตัวแปรในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี Asphalt Institute ฉบับที่ 8 ในบทนี้จึงขอกล่าวถึงวิธีการทดสอบ CBR อย่างละเอียด ส่วนการทดสอบ Plate Bearing และการทดสอบหาค่า R-value ผู้ที่สนใจสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ในหนังสือที่เกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติของดินทั่วไป

การทดสอบ CBR

การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ CBR เป็นการทดสอบหาค่าอัตราส่วนความแข็งแรงของวัสดุทดสอบต่อความแข็งแรงของหินที่บดอัดแน่นมาตรฐาน การทดสอบนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถทำการทดสอบได้ง่าย ไม่ต้องการบุคลากรที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญมากนัก

การทดสอบสามารถทำได้ด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 5

1. บดอัดดินที่ต้องการทดสอบที่ Optimum Moisture Content (OMC)
2. หาค่า Maximum Dry Density (γ_d) ของดินนั้น
3. นำไปแช่น้ำ 4 วัน เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพที่ Soaked
4. นำดินไปกดด้วยท่อนเหล็กมาตรฐาน และวัดค่าแรงเฉือนของดิน ณ ระยะกดต่าง ๆ กัน

ค่าเปอร์เซ็นต์ CBR สามารถทำการคำนวณได้โดยการวัด อ่านค่าแรงเฉือนของดินที่บดอัดแน่นที่ γ_d สูงสุด เมื่อใช้ท่อนเหล็กทดสอบมาตรฐานที่มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินดังกล่าว ด้วยอัตราการทรุดตัวเท่ากับ 0.5 นิ้วต่อนาที จากนั้นนำค่าแรงเฉือนที่อ่านได้ ณ ระยะกดลึกที่กำหนด หาค่าด้วยค่าแรงเฉือนมาตรฐานที่ได้จากการกดท่อนเหล็กดังกล่าวบนหินที่บดอัดแน่น ตามระยะการทรุดตัวที่เท่ากัน ค่าตัวเลขที่ได้เรียกว่า เปอร์เซ็นต์ CBR ดังสมการที่ 3 ต่อไปนี้

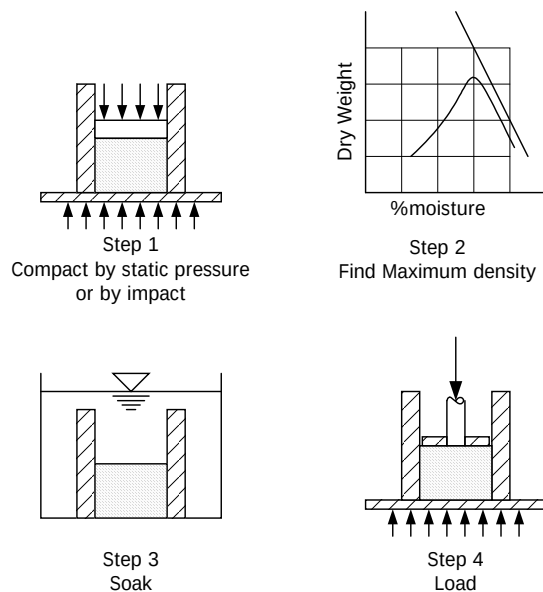
$$CBR = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100\% \quad (3)$$

Standard Unit Load ซึ่งคือแรงกดต่อพื้นที่ ได้จากการทดลองกดท่อนเหล็กมาตรฐานดังกล่าว บนหินบดอัดแน่นมาตรฐาน มีค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าแรงกดมาตรฐาน ที่ระยะกดต่างๆ

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

ค่าเปอร์เซ็นต์ CBR โดยทั่วไปแล้วใช้ค่าอัตราส่วนของแรงกดที่ความลึก 0.1 นิ้ว แต่ถ้าผลปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์ CBR ของแรงกดที่ 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ 0.1 นิ้ว การทดลองควรจะกระทำซ้ำอีกครั้ง และถ้าเปอร์เซ็นต์ CBR ยังคงเป็นเช่นเดิม ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่ความลึก 0.2 นิ้ว



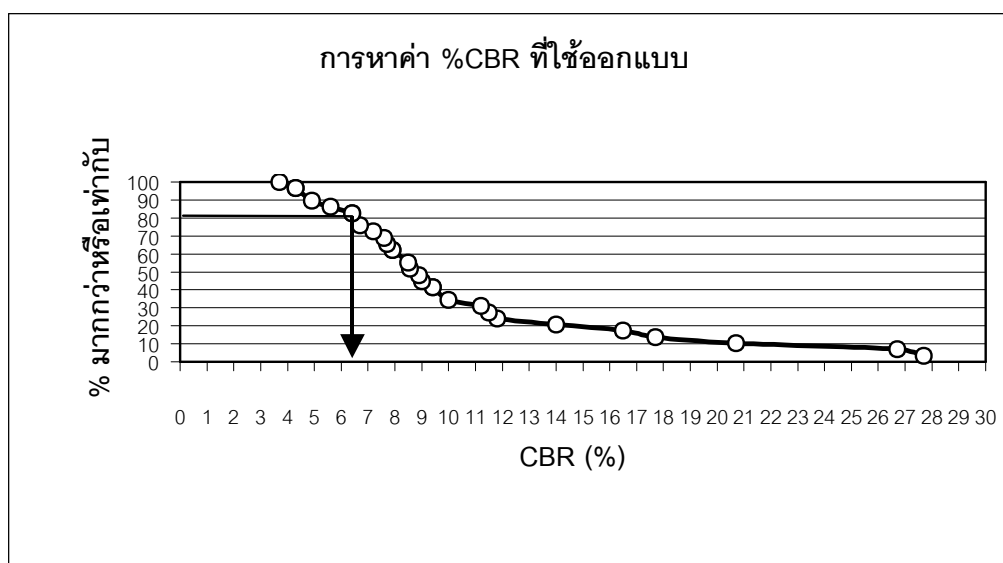
รูปที่ 5 ขั้นตอนการหาค่า % CBR

อนึ่ง ค่า CBR ที่ทดสอบได้ในแต่ละสายทางมักจะมีค่าแปรปรวนอยู่เสมอ Asphalt Institute แนะนำให้ใช้ค่า 90 Percentile ของค่าที่ทดสอบได้ทั้งหมดในถนนช่วงนั้นๆ อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์การออกแบบของกรมทางหลวง แนะนำให้ใช้ที่ ค่า 80 Percentile

ต่อไปนี้จะแสดงตัวอย่างการหาค่า %CBR ที่ใช้ออกแบบ จากข้อมูลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ CBR ดินฐานรากของทางหลวงสายหนึ่ง โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

KM	%CBR	KM	%CBR	KM	%CBR	KM	%CBR
0+000	-	6+000	8.5	14+000	7.9	22+300	114
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

นำข้อมูลในตารางไปพล็อตหาค่า %CBR ที่ค่า Percentile ต่างๆ จะได้ค่า %CBR สำหรับใช้ออกแบบที่ 80 Percentile เท่ากับ 6.0%



บทที่ 4 การออกแบบความหนาโครงสร้างถนนลาดยาง

การออกแบบความหนา T_A

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าความหนาที่ออกแบบได้จะเป็นความหนาของ Full Depth Asphalt Thickness (T_A) แล้วจึงแปลงความหนาของพื้นทางที่ได้นี้เป็นโครงสร้างชั้นทางที่มีหลายชั้น การออกแบบความหนาดังกล่าวตามวิธี Asphalt Institute ฉบับที่ 8 สามารถทำได้โดยง่าย หากเพียงผู้ออกแบบทราบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัว คือ DTN และ ความสามารถในการรับแรงของดินฐานราก ซึ่งตัวแปรทั้ง 2 นี้ได้กล่าวอย่างละเอียดแล้วในบทที่ผ่านมา

ความหนา T_A สามารถหาได้จาก การใช้สมการพื้นฐานที่พัฒนามาจากการทดลอง หรือ ใช้ Nomograph ที่สร้างขึ้นมาจากสมการข้างต้น สมการพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบมีอยู่ 3 สมการด้วยกัน ดังแสดงในสมการ 4 ถึง 6 การที่จะเลือกใช้สมการใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ว่าทราบความสามารถในการรับแรงของดินฐานรากในรูปแบบใด ถ้าผู้ออกแบบความแข็งแรงของดินฐานรากในรูปของ เปอร์เซ็นต์ CBR ให้ใช้สมการที่ 4 แต่ถ้าอยู่ในรูปของ R-value ก็ใช้สมการที่ 5 หรือ 6 ขึ้นอยู่กับค่า DTN โดยค่าที่ได้จากสมการ (5)-(6) จะมีหน่วยเป็นนิ้ว

➤ เมื่อทราบค่า CBR

$$\square T_A = \frac{9.19 + 3.97 \log DTN}{(CBR)^{0.4}} \quad (\text{นิ้ว}) \quad (4.)$$

➤ เมื่อทราบค่า R-value

- ในกรณีที่ค่า $DTN \leq 20$

$$T_A = 6.37 + 2.75 \log DTN - 0.0893 DTN^{0.119} \quad (R - 12) \quad (\text{นิ้ว}) \quad (5)$$

- ในกรณีที่ค่า $DTN > 20$

$$T_A = 6.37 + 2.75 \log DTN - 0.117 DTN^{0.0279} \quad (R - 12) \quad (\text{นิ้ว}) \quad (6)$$

$$T_A = \text{ความหนาของแอสฟัลท์คอนกรีตเหนือดินคันทาง}$$

นอกจากสมการดังกล่าว ผู้ออกแบบสามารถใช้ Nomograph ในรูปที่ 6-7 ออกแบบความหนา T_A ได้เช่นกัน เช่นเดียวกับการเลือกใช้สมการ การเลือกใช้ Nomograph นั้นก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของค่าความสามารถในการรับแรงของดินฐานรากที่ผู้ออกแบบทราบ หากว่าผู้ออกแบบทราบค่า CBR ให้ใช้รูปที่ 6 และถ้าทราบค่า R-value ให้ใช้รูปที่ 7 การออกแบบโดยการใช้ Nomograph นี้สะดวกมาก ไม่จำเป็นต้องใช้การคำนวณใดๆ เพียงแต่ผู้ออกแบบกำหนดค่า DTN และความสามารถในการรับแรงของดินฐานราก ลงไปใน Nomograph จากนั้นลากเส้นตัดจุดที่ได้กำหนดทั้ง 2 จุดนี้ ผ่านไปตัดแกนค่า T_A ก็จะได้ค่าความหนาออกมา

T_A ที่ได้จากทั้งการใช้สมการและการใช้ Nomographs จะอยู่ในหน่วยนิ้ว ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรเปลี่ยนเป็นหน่วย SI นั่นคือเป็น เซนติเมตร โดยการคูณผลที่ได้จาก กราฟ หรือสมการ ด้วย 2.54 ก็จะได้ T_A ในหน่วยเซนติเมตรตามต้องการ เมื่อได้ค่า T_A แล้วผู้ออกแบบจำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างที่เป็นชั้นเดียวนี้เป็นโครงสร้างถนนหลายชั้น การแปลงความหนาดังกล่าวจะกล่าวถึงต่อไป

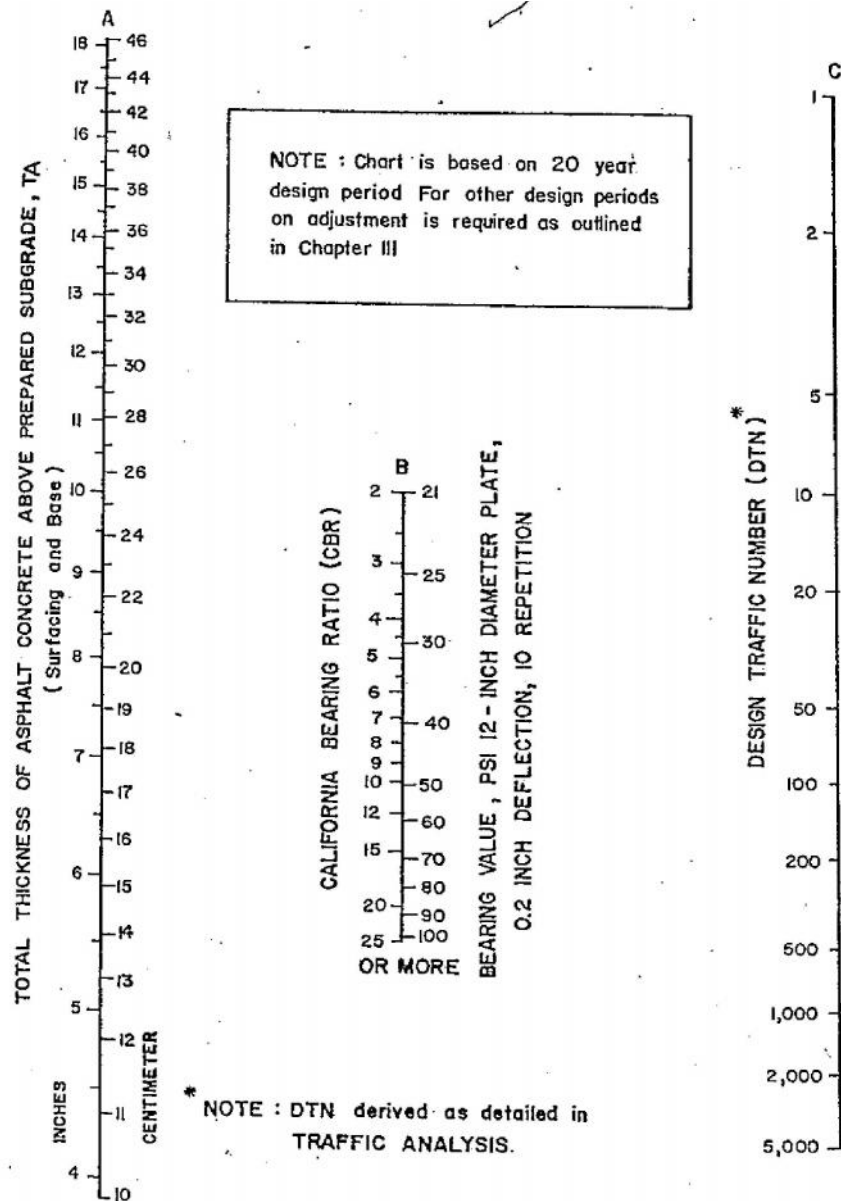
การแปลงความหนาโครงสร้างถนน

การแปลงความหนาของ T_A ทำได้โดยการใช้ Substitution Ratios ซึ่งแสดงในตารางที่ 4 Substitution Ratios นี้เป็นอัตราส่วนที่ Asphalt Institute แนะนำเพื่อใช้แปลงความหนาของวัสดุทดแทนอื่นๆ เป็นความหนาของ T_A โดยใช้อัตราส่วนเหล่านี้หารความหนาของวัสดุทดแทน เพื่อแปลงให้เป็นความหนาของ T_A

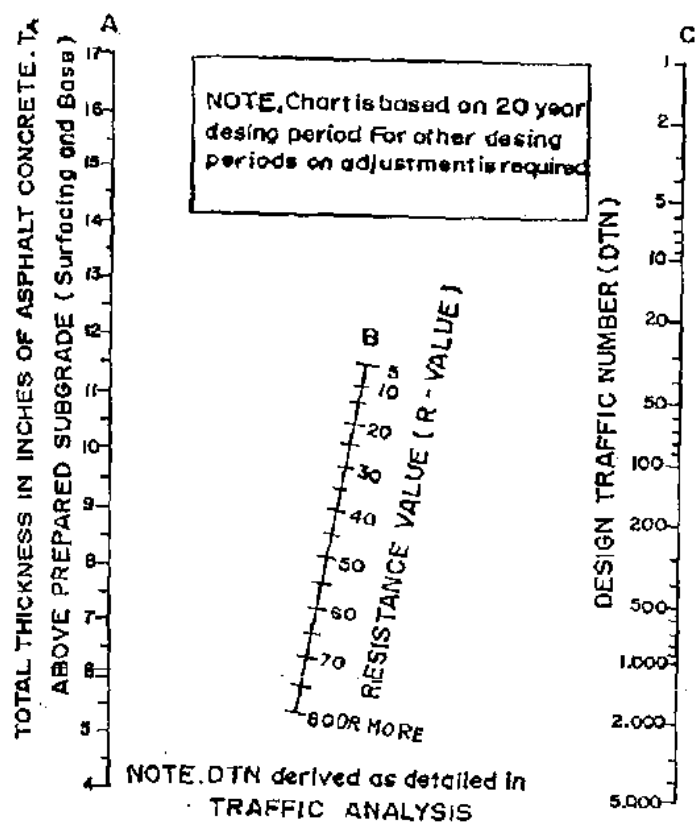
ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการใช้วัสดุพื้นทางหินคลุกที่มี $CBR \geq 80\%$ แทน วัสดุ Asphalt โดยที่ชั้นหินคลุกนี้มีความหนาเท่ากับ 20 นิ้ว จากตารางที่ 4 Substitution Ratio ของวัสดุชนิดนี้เท่ากับ 2 ดังนั้น ชั้นหินคลุกนี้จะสามารถแทน T_A ได้เท่ากับ $20/2 = 10$ นิ้ว นั่นเอง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วจะไม่ได้แทน T_A ด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียว ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะสมมติความหนาของโครงสร้างชั้นทางที่เหมาะสม ที่ประกอบด้วยชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง ชั้นวัสดุคัดเลือกแล้วจึงทำการตรวจสอบว่าเพียงพอหรือไม่

การตรวจสอบดังกล่าวสามารถทำได้โดยนำเอาความหนาของชั้นทางที่ได้ออกแบบไว้ของแต่ละชั้นหารด้วย Substitution Ratio ของแต่ละวัสดุ จากนั้นนำเอาผลรวมของความหนาของวัสดุ

ที่หารด้วย Substitution Ratio แล้วนั้น เปรียบเทียบกับค่า T_A ที่ได้จากสมการหรือ Nomographs หากว่าผลรวมดังกล่าวมากกว่า T_A แสดงว่าโครงสร้างชั้นทางที่ได้ออกแบบมีความแข็งแรงเพียงพอ โดยจะต้องทำการตรวจสอบเช่นนี้เหนือทุกชั้นความหนา



รูปที่ 6 Nomograph สำหรับใช้ประมาณค่าความหนาของ T_A จากค่า %CBR หรือ Plate Bearing Value



รูปที่ 7 Nomograph สำหรับใช้ประมาณค่า T_A จากค่า R-Value

ตารางที่ 4 แสดงค่า Substitution Ratios ของวัสดุคุณภาพต่างๆ กัน

วัสดุ	Substitution Ratio
แอสฟัลท์คอนกรีต	1.0
Hot-mix Sand Asphalt Base	1.3
Emulsified Asphalt Base	1.4
หินคลุกชั้นพื้นทาง (CBR $\geq 80\%$)	2.0
วัสดุมวลรวม (CBR $\geq 25\%$)	2.7
วัสดุคัดเลือก ก (CBR $\geq 10\%$)*	3.0
วัสดุคัดเลือก ข (CBR $\geq 6\%$)*	3.5

*ค่าสำหรับวัสดุคัดเลือก ก และ ข ทาง AI มิได้แนะนำ แต่เป็นค่าที่กรมทางหลวงเลือกใช้จากประสบการณ์

ความหนาแน่นต่ำของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต

AI ได้กำหนดความหนาแน่นต่ำสุดของ Asphalt Concrete (T_A)ตามปริมาณการจราจรต่างๆ (DTN) ดังตารางต่อไปนี้

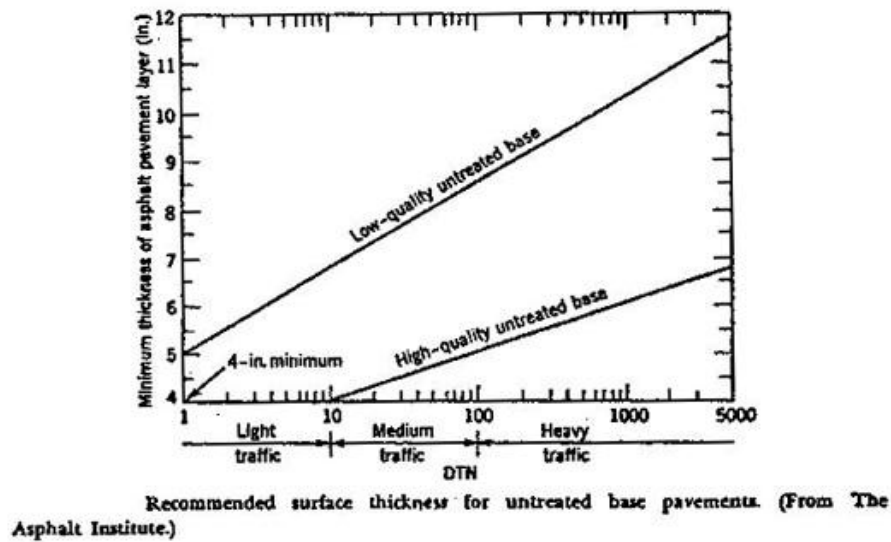
ตารางที่ 5 ความหนาแน่นต่ำของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ที่ Asphalt Institute กำหนด

Design Traffic Number	ความหนาแน่นต่ำสุดที่ต้องการ (T_A) (นิ้ว)
10 (Light Traffic)	4
10-100 (Medium Traffic)	5
100-1000 (Heavy Traffic)	6
>1000 (Heavy Traffic)	7

นอกจากนั้น AI ได้กำหนดความหนาแน่นต่ำของผิวทางซึ่งมีพื้นทางเป็นวัสดุแทนแอสฟัลท์ **ดังรูปที่ 8** ซึ่งคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำพื้นทางแสดงใน**ตารางที่ 6**

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำพื้นทาง

วิธีการทดสอบ	ค่าผลทดลองที่กำหนด	
	วัสดุคุณภาพต่ำ	วัสดุคุณภาพสูง
CBR , Min	20	100
R-value, Min	55	80
Liquid Limit, Max	25	25
Plasticity Index, Max	6	NP
Sand Equivalent, Min	25	50
Passing No.200 Sieve, Max	12	7



รูปที่ 8 ความหนาขั้นต่ำของผิวทางซึ่งมีพื้นทางเป็นหินคลุก

อย่างไรก็ตาม หากออกแบบตามข้อกำหนดดังกล่าว ค่าก่อสร้างจะมีราคาสูงมาก จากการพิจารณาออกแบบก่อสร้างของกรมทางหลวงและพิจารณาเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบของ อังกฤษ ออสเตรเลีย และ AASHTO เห็นควรให้พิจารณาลดข้อกำหนดที่สูงเกินไป โดยให้พิจารณาออกแบบระยะสั้นแทน โดยทั่วไปลักษณะของโครงสร้างชั้นทางในประเทศไทยจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 5-10 ซม.

พื้นทางหินคลุก 20 ซม.

รองพื้นทาง 15-30 ซม.

ขนาดความหนาของแต่ละชั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรและสภาพความแข็งแรงของ ดินฐานรากเป็นสำคัญ แล้วย้นำข้อมูลทั้งสองไปออกแบบตามขั้นตอนที่แสดงที่ได้กล่าวมาในคู่มือ เพื่อให้เข้าใจถึงการออกแบบโครงสร้างชั้นทางตามวิธีของ Asphalt Institute ฉบับที่ 8 มากยิ่งขึ้น จึงขอกล่าวถึงตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างชั้นทางต่อไป

บทที่ 5 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการออกแบบของถนนสายหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณการจราจรดังแสดงในตาราง เป็นถนน 4 ช่องจราจร จากการสำรวจดินฐานรากพบว่า CBR สำหรับออกแบบเท่ากับ 5% ต้องการออกแบบให้ใช้งานได้ 15 ปี โดยคาดว่าจะมีช่วงที่ต้องรอการก่อสร้างประมาณ 3 ปี หลังจากออกแบบ ซึ่งสามารถพิจารณาออกแบบได้ดังต่อไปนี้

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							10342	
2003							11014	

(Traffic Growth Rate = 6.50%)

คำนวณ Design Traffic Number (ดูตามขั้นตอนในบทที่ 2)

- | | | | |
|--|---|---------------------------|------------------------|
| (1) Initial Daily Traffic (IDT) | = | 11,014 | คัน/วัน |
| (2) Percent of Heavy Trucks | = | 13.94 | % |
| (3) Percent of Traffic in Design Lane | = | 0.45 | (จากตารางที่ 2) |
| (4) Number of Heavy Trucks | = | 11,014 x 13.94/100 x 0.45 | |
| | = | 691 | คัน |
| (5) Average Gross Weight of Heavy Trucks | = | 25.5 | ตัน (ปกติใช้ 21.0 ตัน) |
| | = | 56,202 | ปอนด์ |
| (6) Single Axle Load Limit | = | 10.2 | ตัน |
| | = | 22,480 | ปอนด์ |
| (7) จากสมการที่ 1 หรือ รูปที่ 3 | | | |
| Initial Traffic Number (ITN) | = | 1798 | |
| (8) ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ | | | |
| (9) จากข้อมูลจะได้ Traffic Growth Rate | = | 6.5 % | |

$$\begin{aligned}
 (10) \text{ ITN Adjustment Factor} &= 1.209 \\
 \text{Design Traffic Number (DTN)} &= 1798 \times 1.209 \\
 &= \underline{2,174}
 \end{aligned}$$

ประมาณค่าความหนา T_A (อ้างอิงจากบทที่ 4)

ความหนาของแอสฟัลท์คอนกรีตทั้งหมดที่ต้องการ จากรูปที่ 6 หรือ สมการที่ 4 ได้

$$T_A = 29.94 \text{ นิ้ว}$$

แปลงความหนา

ทดลองออกแบบโครงสร้างชั้นทาง ดังต่อไปนี้

ชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต	8	ซม.
ชั้นพื้นทางหินคลุก, CBR $\geq 80\%$	20	ซม.
ชั้นรองพื้นทาง, CBR $\geq 25\%$	15	ซม.
ชั้นวัสดุคัดเลือก ก., CBR $\geq 10\%$	20	ซม.

แปลงความหนาชั้นต่างๆ ให้เป็นความหนาแอสฟัลท์ โดยใช้ Substitution Ratio ดังแสดงในตาราง

ชั้น (1)	วัสดุ (2)	Designed Thickness (cm.), (3)	Substitution Ratio (4)	Equivalent AC Thickness (cm), (3)/(4)
ผิวทาง	AC	8	1	8
ชั้นพื้นทาง	หินคลุก, CBR $\geq 80\%$	20	2	10
ชั้นรองพื้นทาง	วัสดุผสมรวม, CBR $\geq 25\%$	15	2.7	5.56
ชั้นวัสดุคัดเลือก ก	ดินถมกันทาง, CBR $\geq 10\%$	20	3.0	6.67

ตรวจสอบความหนาของ T_A เทนือ ชั้นดินเดิม (Subgrade), CBR=5%

T_A ที่ต้องการ

$$\begin{aligned}
 T_A &= 2.54 \times \left(\frac{9.19 + 3.97 \log 2174}{(5)^{0.4}} \right) \\
 &= 29.94 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

T_A ที่โครงสร้างชั้นทางที่ออกแบบเหนือชั้น Subgrade มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 T_A &= 8 + 10 + 5.56 + 6.67 \\
 &= 30.22 \text{ cm} > 29.94 \text{ cm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

ตรวจสอบความหนาของ T_A เนื้อชั้นวัสดุคัดเลือก ก, $CBR \geq 10\%$

T_A ที่ต้องการ

$$T_A = 2.54 \times \left(\frac{9.19 + 3.97 \log 2174}{(10)^{0.4}} \right)$$

$$= 22.69 \text{ cm}$$

T_A ที่โครงสร้างชั้นทางที่ออกแบบเนื้อชั้นวัสดุคัดเลือก ก มีค่าดังนี้

$$T_A = 8 + 10 + 5.56$$

$$= 23.56 \text{ cm} > 22.69 \text{ cm OK}$$

ตรวจสอบความหนาของ T_A เนื้อชั้นรองพื้นทาง (Subbase), $CBR \geq 25\%$

T_A ที่ต้องการ

$$T_A = 2.54 \times \left(\frac{9.19 + 3.97 \log 2174}{(25)^{0.4}} \right)$$

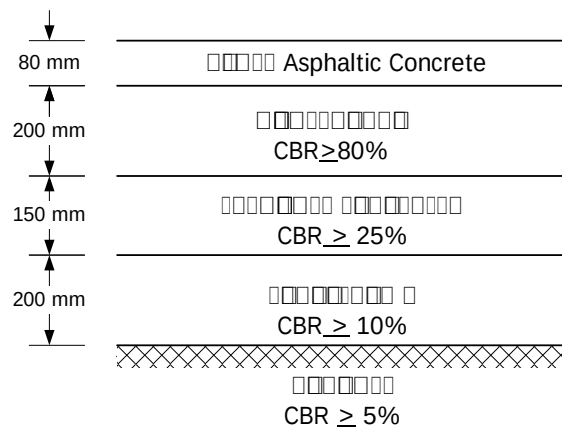
$$= 15.73 \text{ cm}$$

T_A ที่โครงสร้างชั้นทางที่ออกแบบเนื้อชั้น Subbase มีค่าดังนี้

$$T_A = 8 + 10$$

$$= 18.00 \text{ cm} > 15.73 \text{ cm OK}$$

จากการตรวจสอบความหนา T_A ที่ต้องการเนื้อแต่ละชั้น พบว่า โครงสร้างชั้นทางที่ออกแบบไว้มีความหนาเพียงพอ โดยสรุปการออกแบบโครงสร้างชั้นทางเป็นดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 รูปตัดความหนาชั้นทางของตัวอย่างถนนที่ออกแบบ

บรรณานุกรม

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, *การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง (Flexible Pavement Design)*, ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

จิรพัฒน์ โชติโกกร, *การออกแบบทาง Pavement Design*, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2, พ.ศ. 2543

The Asphalt Institute, *Thickness Design (MS-1)*, 1970