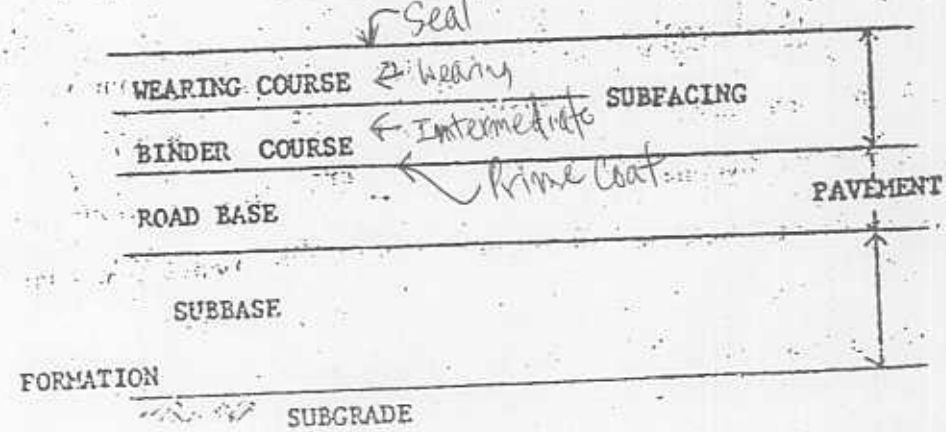
D:/transport/ หลักการ Flexible Pavement ออกแบบ

การออกแบบ FLEXIBLE PAVEMENT

Highway pavement คือ โครงสร้างซึ่งประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ที่ก่อสร้างขึ้น (จากวัสดุคัดเลือก และปรับปรุงคุณภาพ) เหนือชั้น Subgrade หรือ formation ทำหน้าที่เป็นตัวกลางกระจายน้ำหนักยานพาหนะบนผิวทาง ลงไปสู่ Subgrade ในลักษณะที่ Stresses ที่เกิดจากน้ำหนักรถ ที่ Subgrade จะไม่มากเกินความสามารถของ Subgrade จะรับได้ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ flexible pavement และ rigid pavement

ลักษณะเด่นของ flexible pavement อยู่ที่ Structural mechanic ของมัน และลักษณะการถ่ายน้ำหนักลงสู่ subgrade จากการกระจายน้ำหนักที่ได้รับออกไปทางด้านข้าง เมื่อระดับลึกลงไป stress จะลดลงตามความลึก ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของ Subgrade สิ่งมีอิทธิพลต่อความหนาของ flexible pavement โดยตรง ทั้งนี้เพราะเมื่อ Subgrade เกิด deflect ชั้นต่าง ๆ ที่อยู่บน Subgrade จะ deform ในรูปร่าง เช่นเดียวกับ subgrade ดังนั้นหลักเกณฑ์สำหรับออกแบบความหนาของ pavement คือ "ต้องการกระจายน้ำหนักจากที่ผิวทางไปสู่ subgrade โดยไม่เกิด overstressed จนทำให้ Subgrade เสียรูปมากพอที่จะทำให้ pavement ต้องเสียความมั่นคงแข็งแรงในตัวไป"

ส่วนประกอบของ Flexible pavement



แฟคเตอร์หลักในการออกแบบ

วิธีการออกแบบความหมายของ Flexible pavement ในปัจจุบันพิจารณาถึงแฟคเตอร์หลัก 3 ประการคือ

1. ปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนน (Traffic Loading)
2. กำลังรับน้ำหนักของ Subgrade (Subgrade Strength)
3. วัสดุที่จะใช้ก่อสร้าง Pavement (Pavement Materials)

นอกจากนี้อาจจะมีแฟคเตอร์เกี่ยวกับภาวะแวดล้อม ซึ่งอาจจะเป็นผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จาก Pavement และความต้องการพิเศษของเจ้าของถนนนั้น

ปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนน

ในการออกแบบความหมายของ Pavement การจราจรที่พูดถึง คือยานพาหนะ (commercial vehicles) หรือรถบรรทุกหนักนั่นเอง ปริมาณการจราจรนี้แปลงไปในรูปของจำนวนเพลามาตรฐานที่คาดว่าจะใช้ถนนในระหว่างอายุของการออกแบบ (design period) ซึ่งต้องการข้อมูลเหล่านี้

1. ปริมาณรถบรรทุกหนักในปัจจุบัน หรือปริมาณเริ่มต้นของรถบรรทุกหนัก
2. อัตราการเพิ่ม (ในแต่ละปี) ของรถบรรทุกหนักในอนาคต
3. น้ำหนักที่เพลา (axle-load) ของรถบรรทุกหนัก ในระยะเวลาที่จะออกแบบ
4. อำนาจของการทำลายของแต่ละขนาดของน้ำหนักลงเพลา

แม้ว่าในปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับ material fatique ในงานถนนจะไม่เป็นที่กระจ่างชัดนักก็ตาม แต่ความเสียหายของถนนเนื่องจาก fatique ก็เป็นที่ยอมรับ ปรากฏการณ์ที่แสดงออกที่ผิวถนนในรูปของ alligator หรือ map cracking อาจเกิดขึ้นได้จาก fatique characteristics ของวัสดุ Ritumineous ที่ผิวถนนเอง หรือสะท้อนขึ้นมาจากการรับน้ำหนัก

ซ้ำแล้วซ้ำเล่าของวัสดุที่ Road base, Subbase และ/หรือ subgrade ภายใต้ Kneading action ของการจราจร AASHTO Road Test ได้ทำการทดลองและศึกษาความเสียหายจากน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ นี้อย่างกว้างขวาง และแนะนำความหนาของ pavement ที่ต้องการในการรับน้ำหนักจาก axle-load ขนาดต่าง ๆ กัน เป็นหลักเกณฑ์การออกแบบและกำหนดอายุถนนในเวลาต่อมา (โปรดอ่านเพิ่มเติมจากวิชาการ ที่ วว. 19/2519)

การประมาณปริมาณรถบรรทุกหนักเริ่มต้น และอัตราการเพิ่มได้จากข้อมูลการทำ Traffic Survey ในถนนเดิม หรือ Origin-Destination Survey สำหรับทางที่จะก่อสร้างใหม่ axle-load distribution ได้จากการทำ axle-load survey และมักจะถือเอาว่า ข้อมูลที่หาได้ไม่เปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่จะออกแบบ ข้อมูลเหล่านี้ได้จากกองวางแผน

กำลังรับน้ำหนักของวัสดุ Subgrade

ค่า Subgrade strength ได้มาจากความรู้เกี่ยวกับกลศาสตร์ของดิน จะทำให้ทราบถึงความต้านทานต่อน้ำหนักที่กระทำต่อดินที่รองรับถนน อาจจะเป็นค่าได้จากการทดลอง Plate Bearing, CBR, Soil Classification หรือค่า Modulus of subgrade reaction ฯลฯ แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือ วิธี CBR. อย่างไรก็ตาม จะต้องคำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราที่น้ำเข้าไปเกี่ยวข้องทั้งในสภาวะแวดล้อม และการบดอัดให้แน่น (เรื่องนี้ขอแนะนำให้ค้นจากบทความทางวิชาการ ฉบับที่ วว. 9/2518)

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง Pavement

การเลือกสรรวัสดุที่จะนำมาใช้ก่อสร้าง Pavement เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ราคาของถนนถูกหรือแพง ทั้งนี้เพราะวัสดุก่อสร้างจะมีราคาแตกต่างกันอย่างมากระหว่างวัสดุที่มีผลิตได้ในท้องถิ่นกับวัสดุซึ่งต้องนำเข้าจากที่ห่างไกล และระหว่างวัสดุที่ "อาจจะใช้ได้" กับวัสดุที่ระบุว่า "ใช้ได้"

ในการตัดสินใจควรลองตั้งคำถามขึ้นถามตัวเองสัก 3 ข้อ

1. ข้อกำหนด (Specification) ที่จะกำหนดเหมาะสมกับสถานะ และสภาวะแวดล้อมของถนนนั้นหรือไม่?

2. วัสดุเป็นไปตามข้อกำหนดทุกประการ หรือยังเป็นปัญหาอยู่?

3. จะให้ความโน้มเอียงที่จะใช้วัสดุอย่างอื่น (alternative materials) ในสภาวะเดียวกันได้สักเท่าไร?

ตามข้อแรก ปัญหามีอยู่ว่าเราเลือกข้อกำหนดมาใช้ถูกต้องแล้วหรือในโครงการของเรา ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุดคือการนำเอาข้อกำหนดที่เขียนขึ้นใช้ในยุโรป หรืออเมริกา มาใช้ในประเทศไทย จะต้องให้แน่ใจว่าข้อกำหนดของผู้อาจกำหนดเพื่อต่อสู้กับสภาวะเช่น Frost หรือนำเอาข้อกำหนดซึ่งเขียนขึ้นไว้สำหรับก่อสร้างในบริเวณกรุงเทพฯ ไปใช้ในถนนทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นต้น อย่างไรก็ตามข้อยุติในทางปฏิบัติที่แน่นอนก็ยังไม่มี จะต้องพิจารณาให้ถี่ถ้วนเสียก่อน อาจปรึกษาหน่วยงานวิจัย หรือผู้มีประสบการณ์

ในข้อที่ 2 คำตอบควรจะให้แน่นอนได้ และเข้าใจในข้อความในข้อกำหนดให้ถูกต้องด้วย เช่น "อะไรคือ Equilibrium moisture content? หรือ "อะไรคือ Dry density ที่ 95% Mod. AASHTO"? เป็นต้น

ในข้อที่ 3 อาจจะเป็นสิ่งที่ยากที่สุดสำหรับผู้ออกแบบถ้ามีวัสดุธรรมชาติ (ข.) ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แต่ในประสบการณ์เป็นวัสดุที่ใช้ได้ผลดี จะเป็นการถูกต้องไหมถ้าจะใช้วัสดุ (ข.) หรือจะใช้วัสดุ (ก.) ที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ซึ่งจะต้องผ่านขบวนการผลิต หรือขนมาจากระยะไกล ทำให้ราคาแพงกว่าวัสดุ (ข.) ถึง 3 เท่า

วิธีการออกแบบความหนาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

งานวิจัยการ ทดวิเคราะห์และวิจัยได้นำเอาวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute มาดัดแปลงให้เหมาะสม สำหรับออกแบบความหนาของถนนในประเทศไทย จึงขอนำ

มาบันทึกไว้เพื่อเป็นแนวทางโดยสังเขปแก่ผู้ที่สนใจ หากมีที่สงสัยจะหาคำตอบได้จากหนังสือ "Thickness Design-Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highway and Streets" MS-1 ของ The Asphalt Institute และงานวิจัยการของกองวิเคราะห์และวิจัย

การหา Traffic Loading

ปริมาณการจราจรในถนนต่าง ๆ แตกต่างกันออกไปทั้งปริมาณและน้ำหนักบรรทุก แม้ว่าจะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับบรรทุกน้ำหนักประกาศเป็นกฎหมายอย่างแน่นอนก็ตาม ยังมีการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดอยู่เป็นประจำ จึงเป็นการยากที่จะหาค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาใช้

การประมาณการจราจร

การหาค่าปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนนในอนาคต อาจหาได้จากข้อมูลของปริมาณการจราจรในปัจจุบัน และประมาณอัตราการเพิ่มขึ้นของการจราจรในอนาคตจากกองวางแผนหรือทำการตรวจสอบเพิ่มเติมในส่วนที่จำเป็น เช่น น้ำหนักรถบรรทุกล้อใหญ่ ปริมาณรถบรรทุกหนัก ทิศทางที่รถบรรทุกหนักใช้ถนน

เพื่อความสะดวกขอให้คำจำกัดความของคำต่างที่ใช้เกี่ยวกับการจราจร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การจราจรและการใช้ Chart.

1. Design lane: ช่องทางที่คาดว่าจะมีปริมาณของ Equivalent 18,000 pound single-axle-load มากที่สุด โดยปกติคือช่องทางใดทางหนึ่งในถนน 2 ช่องจราจร

2. Design period: จำนวนปี นับจากการเปิดการจราจรในถนนที่ก่อสร้างขึ้นจนถึงการทำการเพิ่มความแข็งแรงครั้งใหม่แก่ถนนนั้น (อย่าสับสนกับคำว่า pavement life เพราะอาจยืดออกไปได้ไม่มีที่สิ้นสุดโดยการ Overlay)

3. Design Traffic Number (DTN): ค่าเฉลี่ยของปริมาณ Equivalent 18,000-pound single-axle-load ซึ่งประมาณไว้สำหรับ Design lane ในระหว่าง Design period

4. Equivalent 18,000-pound single-axle-load: แปลงผลของ axle-loads ขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อถนนเป็นจำนวนเทียบเท่า 18,000-pound single-axle-load ซึ่งทำให้เกิดผลเสียหายเท่ากัน แฟคเตอร์สำหรับเทียบนี้ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง (วิธีการ ทล. 19/2519)

5. Initial Daily Traffic (IDT): จำนวนยานพาหนะซึ่งคาดว่าจะใช้ถนนที่ต้องการออกแบบเฉลี่ยต่อวันในทั้งสองทางระหว่างปีแรกของการเปิดการจราจร

6. Initial Traffic Number (ITN): ค่าเฉลี่ยต่อวันของ Equivalent 18,000-pound single-axle-load ซึ่งคาดว่าจะมีใน Design lane ในระหว่างปีแรกของการเปิดจราจร

<u>วิธีหา Design Traffic Number (DTN)</u>

การหา DTN อาจจะได้จากการคำนวณ หรือใช้วิธีการประมาณง่าย ๆ จาก Traffic Analysis chart ที่แนบมาท้ายบทความนี้ โดย

1. ประมาณค่า IDT

2. ประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกหนัก, A, ของปริมาณการจราจรทั้งหมด ในประเทศไทย มีค่าค่อนข้างสูงให้ระวังการใช้ค่าที่ได้จาก Traffic Data จากกองวางแผน เพราะนับเอารถบรรทุก และรถโดยสารขนาดเล็กเข้าไปด้วย ควรนับเฉพาะรถที่มีขนาด 6 ล้อขึ้นไป

3. หาค่าเปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก B, ใน design lane อาจประมาณจากตารางข้างล่างนี้ได้โดยปกติในถนนที่มีช่องทางวิ่งในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าหนึ่งช่อง รถบรรทุกจะใช้ทางด้านนอกสุดมากกว่า) ให้สังเกตด้วยว่าในถนนบางสายรถบรรทุกอาจมีในทางเดียว เช่น ทางเข้าสู่เหมืองแร่ โรงงานบางชนิด ท่าเรือ

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกหนักใน Design lane

จำนวนช่องทางวิ่ง (2 ทิศทาง)	เปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกใน Design lane
2	50
4	45 หรือ 35-48
6 หรือมากกว่า	40 หรือ 25-48

4. ประมาณจำนวนรถบรรทุกหนักใน Design lane

$$= (IDT) \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$$

ค่า A และ B ได้จากข้อ 2 และ 3

5. จากข้อมูลการสำรวจน้ำหนักรถบรรทุก ประมาณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรถบรรทุกทั้งคัน (Average gross weight) ข้อมูลนี้หาได้จากกองวางแผน หรือหน่วยวิจัยวิศวกรรมจราจรหรือดำเนินการเอง

6. ข้อกำหนดสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เพลาสูงสุด (Legal single-axle-load limit) ไม่ 18,000 pounds

7. จากข้อมูลข้างบน หา ITN โดยใช้ Traffic Analysis chart ดังนี้

ก. เริ่มจาก "จุด" น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุก (จากข้อ 5) บนเส้น "D"

ข. หาจุดจำนวนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อ 1 วัน ใน Design lane (ข้อ 4) บนเส้น "C"

ค. ลากเส้นตรงผ่านจุดบน "D" และ "C" ต่อไปจนถึงเส้น "B" จุดตัดบนเส้น "B" คือเป็นจุดหมุน (Pivot)

ง. หาจุดข้อกำหนดสำหรับน้ำหนักที่เพลาสูงสุดของรถบรรทุก (ข้อ 6) บนเส้น "E"

จ. ลากเส้นตรงต่อจุดบนเส้น "E" และ จุดหมุนบนเส้น "B" ไปตัดเส้น "A"

ฉ. จุดบนเส้น "A" คือค่า ITN

8. กำหนด Design period โดยปกติในการก่อสร้างถนนใหม่ มาตรฐานยุโรปและอเมริกา เขาใช้ 20 ปี แต่สำหรับประเทศไทยกำหนดไว้ 7 ปี สำหรับทางหลวงจังหวัด ส่วนทางหลวงแผ่นดินกำหนดไว้ไม่เกิน 15 ปี (ระหว่าง 7-15 ปี)

9. ประมาณอัตราเพิ่มของปริมาณการจราจร ได้จากการคาดคะเนแนวโน้มของการจราจรที่มีอยู่เดิม หรืออัตราความเจริญทางเศรษฐกิจของบริเวณที่ถนนผ่านไป (ปรึกษากองวางแผน)

10. จากข้อ 8 และ 9 หาค่า DIN จากการคูณด้วย Adjustment factor (เพราะ ITN ในข้อ 7 เป็นค่า DIN สำหรับ Design period 20 ปี และอัตราการเพิ่มของการจราจรเป็นศูนย์)

$$\text{Adjustment factor} = \frac{(1 + r)^n - 1}{20r}$$

เมื่อ r = อัตราการเพิ่มของการจราจร

n = Design period

11. คูณ ITN (จากข้อ 7) กับ Adjustment factor (ข้อ 10) ได้ DTN_{20} นำไปหาความหนาจาก Thickness Design Charts.

ค่ากำลังรับน้ำหนักของ Subgrade ที่ใช้ในการออกแบบ

จากการสำรวจดิน Subgrade ทำการทดลองหากำลังรับน้ำหนักจะได้ข้อมูลจำนวนมากตามจำนวนตัวอย่างที่เก็บมา หรือจำนวนการทดลองในสนาม แล้วแต่วิธีดำเนินการทดลอง (โดยปกติจะทำการทดลอง "Mechanical Test" ได้แก่ CBR. หรือ Plate Bearing Test ส่วนการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน โดยใช้ Soil Classification System นั้นจะต้องใช้ Soil Engineer ผู้ชำนาญเป็นอย่างมาก) ค่าเหล่านั้นจะต้องคำนึงถึงภาวะแวดล้อมของถนนที่จะก่อสร้างจริง ๆ โดยเฉพาะสภาพน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ที่จะมีผลต่อความแข็งแรงของดิน Subgrade เหล่านั้นภายหลังการก่อสร้างเสร็จ

การเลือกค่า Design Strength

ค่ากำลังรับน้ำหนักของวัสดุ Subgrade ทั้งหลายที่ได้จากการทดลองจะต้องนำมาเลือกค่า (เป็นตัวแทน) ที่จะนำมาออกแบบความหนา เริ่มโดยการจัดแบ่งถนนที่มีค่าทดลองใกล้เคียงกันเป็นช่วง ๆ มีความยาวที่สามารถก่อสร้างได้สะดวกในทางปฏิบัติ ในแต่ละช่วงให้เลือกค่าที่เหมาะสมซึ่งเรียกว่า Design Subgrade Strength Value ตาม Asphalt Insyitute MS-1 หมายความถึง ค่า Subgrade Strength ซึ่งร้อยละ 90 ของค่าที่ทดลองได้ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า นั่นคือมีเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น ที่มีค่าต่ำกว่า นั่นคือค่าที่ 10 percentile ตามประสบการณ์ของกองวิเคราะห์และวิจัย ที่ได้ออกแบบมาใช้ค่าที่ 3 ใน 8 ค่า เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ซึ่งอยู่ประมาณ 32 percentile (ในความเห็นของผู้เขียนเห็นว่าควรจะใช้ต่ำกว่านี้คือระหว่าง 20-25 percentile น่าจะเหมาะสมกว่า) วิธีการเลือกให้ปฏิบัติดังนี้

1. จัดเรียงลำดับค่ากำลังรับน้ำหนักของ Subgrade ที่ทดลองได้ทุกค่าตามลำดับตัวเลขจากน้อยไปหามาก ถ้าซ้ำกันก็เขียนซ้ำ

2. เริ่มจากค่าต่ำสุดแต่ละค่าที่ทดลองมาได้คำนวณเปอร์เซ็นต์ของจำนวนค่าทั้งหมดที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าเดิม

3. พล็อตในกระดาษกราฟให้ค่ากำลังของ Subgrade เป็นแกนนอนและเปอร์เซ็นต์ของกำลังของ Subgrade ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าเป็นแกนตั้ง แล้วลาก Curve ที่ดีที่สุดผ่านจุดที่พล็อตไว้นั้น

4. อ่านค่า Design Subgrade Strength Value จากค่าที่ 80 เปอร์เซ็นต์

<u>ตัวอย่าง</u>

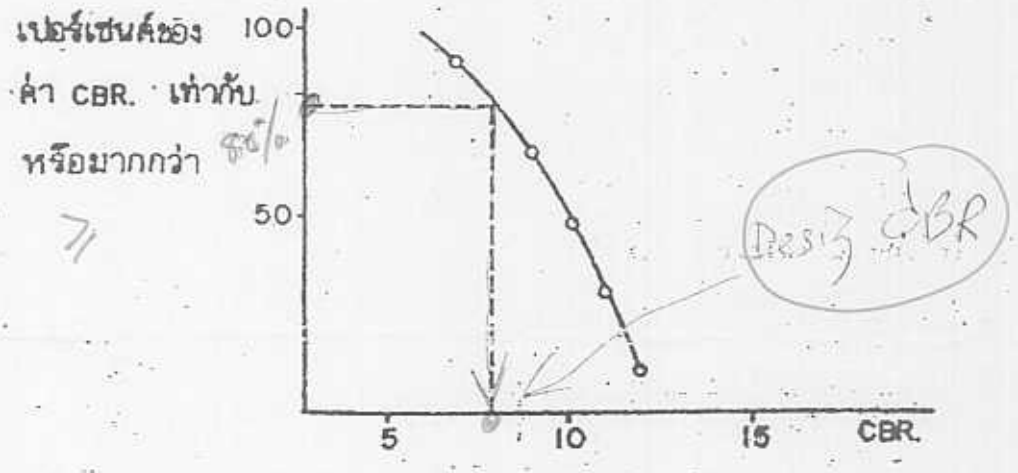
ถนนช่วงหนึ่งทดลองค่า CBR. ได้ค่าดังนี้ 9, 6, 12, 7, 8, 7, 10, 9, 11, 10 และ 11 ตามลำดับ ให้หาค่า Design CBR.

1. เรียงลำดับค่า CBR. ใหม่ได้ 6, 7, 7, 8, 9, 9, 10, 10, 11, 11, และ 12

2. เปอร์เซ็นต์ของค่า CBR. ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแต่ละค่าคือ

CBR.	จำนวนที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า	เปอร์เซ็นต์ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า
6	11	$\frac{11}{11} \times 100 = 100$
7		
7	10	$\frac{10}{11} \times 100 = 90.9$
8	8	$\frac{8}{11} \times 100 = 72.7$
9		
9	7	$\frac{7}{11} \times 100 = 63.6$
10		
10	5	$\frac{5}{11} \times 100 = 45.4$
11		
11	3	$\frac{3}{11} \times 100 = 27.3$
12	1	$\frac{1}{11} \times 100 = 9.1$

3. เปอร์เซ็นต์ของค่า CBR. เท่ากันหรือมากกว่า



4. Design Subgrade Strength Value, CBR = 8

ความหนาของ PAVEMENT STRUCTURE

การกำหนดความหนาของ Pavement รวมทั้งความหนาของชั้นต่าง ๆ มีวิธีการอยู่มากมาย โดยใช้ค่า Traffic loading และกำลังรับตัว Subgrade ที่หามาได้ ในที่นี้จะยึดหลักวิธีการของ Asphalt Institute ซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบัน วิธีการนี้ได้ให้ค่าความหนาอยู่ในเกณฑ์ของ Full-Depth Asphalt Thickness (T_A) คือ ใช้ Asphalt concrete เป็นชั้น Subgrade ซึ่งอาจจะคำนวณได้จากสูตร

$$T_A = \left(\frac{9.19 + 3.97 \log DTN}{(\%CBR)^{0.4}} \right) 2.54 \text{ cm.}$$

T_A = Asphalt Core
DTN 20
Subgrade CBR

หรือเพื่อความสะดวกหา T_A ได้จาก Thickness design chart (Chart 2 ท้ายเรื่อง)

โดยที่ราคา Asphalt concrete สูงมาก จึงมีการพิจารณาใช้ Granular Materials แทน โดยกำหนดค่าเทียบเท่าที่เรียกกันว่า Equivalent Thickness หรือ Substitution ratio (Sr) ขึ้น Asphalt Institute ได้กำหนด Sr. ไว้ดังนี้

1. สำหรับ High quality granular materials Sr. = 2.0

2. สำหรับ Low quality granular materials Sr. = 2.7

เมื่อเทียบกับ Asphaltic concrete = 1.0 โดยคุณภาพของวัสดุดังกล่าวเป็นไปตามตารางข้างล่าง

Test	Test requirement	
	Low quality	High quality
CBR., min or	20	100
R-value, min	55	80
LL., max.	25	25
PI., max.	6	NP.
Sand Equivalent, min.	85	50
Passing No. 200 Sieve, max.	12	7

นอกจากนี้ยังกำหนดความหนาต่ำสุดของชั้น Asphalt ไว้ไม่น้อยกว่า 10 ซม. จะเห็นว่าถ้าปฏิบัติตามข้อกำหนดดังกล่าว pavement จะมีราคาสูงกว่าที่ก่อสร้างกันในประเทศไทยอย่างมากมาย ตามประสบการณ์การออกแบบก่อสร้างที่ทำกันมาระยะหนึ่ง ประกอบกับวิธีการออกแบบจากแหล่งอื่น เช่น ของอังกฤษ, AASHTO, ออสเตรเลีย ฯลฯ จึงได้กำหนด Sr. ขึ้นใช้ให้เหมาะสมกับวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และลดข้อกำหนดที่สูงเกินความจำเป็นออก และพิจารณาการออกแบบระยะสั้น (ในลักษณะ Stage construction) โดยใช้ S_r สำหรับวัสดุคุณภาพสูง (CBR. 80 ขึ้นไป, Non-plastic, Los Angeles Abrasion Test ไม่เกิน 40% และ Gradation ที่เหมาะสม) S_r = 1.8-2.2 วัสดุคุณภาพรองลงมา เช่น วัสดุทางรองพื้นทาง

หรือวัสดุคัดเลือก S_r = 2.7-3.5 แล้วแต่คุณภาพที่ตรวจสอบได้ และคงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามผลของการวิจัยภายในหน่วยงานของกรมทางหลวงในอนาคตด้วย

การเสี่ยงในการตัดสินใจเกี่ยวกับการออกแบบ Pavement

ตามที่กล่าวมาตั้งแต่ต้น จะเห็นได้ว่าค่าต่าง ๆ ที่นำมาใช้ออกแบบล้วนแล้วแต่ "ไม่แน่นอน" ซึ่งหมายถึงว่าบางที่ถ้าให้หลาย ๆ คนใช้ข้อมูลที่ได้อันเดียวกันออกแบบ จะได้ผลลัพธ์ซึ่งไม่ตรงกันไปได้ตามความคำการออกแบบนั้นผิด แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีหลักการเสี่ยงกันแล้วจะได้ออกมาใกล้เคียงกันเป็นอันว่าใช้ได้

การตัดสินใจทางวิศวกรรมใด ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งที่ "Uncertainity" เปิดโอกาสให้ใช้ "Engineering Judgement" ซึ่งจะยิ่งลงไปไม่ได้ว่าของใครดีกว่ำ นอกจากมองดูประสบการณ์ในอาชีพ การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจในกรอบที่วิศวกรผู้นั้นจะเชี่ยวชาญในสาขาเฉพาะที่ใช้ "Judgement จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นจากการยึดถือข้อกำหนดทั่วไป ซึ่งในบางครั้งไม่เหมาะสมไปกับโครงการบางโครงการ"

ในแง่ของ Pavement design ไม่ควรคิดจากหนักไปในทาง "Success" หรือ "failure" ควรจะคิดจากถึงผลตอบแทนที่คุ้มค่าในการลงทุนมากกว่ำ ในการที่การตัดสินใจขึ้นอยู่กับการเสี่ยงทั้งทางเทคนิคและการเงินที่จะนำมาใช้จ่าย

หนังสืออ้างอิง

1. The Asphalt Institute MS-1 "Thickness design Full-depth asphalt pavement Structures for Highways and streets., 1970.

2. Ellis, C.I. "Risk and the pavement design decision in developing countrics" - LR 667. Transport and Road Research Laboratory, 1975.

3. ยงยุทธ ป้อมเย็น "ความมั่นสมดุลย์ในการออกแบบโครงสร้างถนนโดยวิธี CBR" วิชาการ ฉบับที่ วว. 9/2518 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง.

4. ยงยุทธ ป้อมเย็น และ ชวลิต ลุ่ยวรรณ "การพิจารณาประเภทและน้ำหนักของรถบรรทุกหนัก สำหรับการออกแบบโครงสร้างถนน" วิชาการ ฉบับที่ วว. 19/2519 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง.

ตัวอย่างการออกแบบความหนาของ Pavement

ทางสาย ทุ่งเสลี่ยม - สวรรคโลก - พิชัย

ทางสายนี้เป็นทางอยู่ทางภาคเหนือ อยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออกตัดผ่านที่ราบลุ่มแม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน เริ่มต้นจาก อำเภอทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย ซึ่งมีแนวทางต่อจาก อ.เถิน จ.ลำปาง ตรงไปทางทิศตะวันออกตัดแม่น้ำยมที่ อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย และต่อไปยัง อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์ ซึ่งตั้งอยู่ริมแม่น้ำน่าน ทางเส้นนี้เฉพาะช่วงทุ่งเสลี่ยม-สวรรคโลก เป็นทางลูกรังแคบ ๆ ต้นพานไม้ ส่วนช่วงสวรรคโลก-พิชัย ยังไม่มีทางเลย

การสำรวจดิน Subgrade และแหล่งวัสดุ

หน่วยสำรวจดินของกองวิเคราะห์และวิจัย ทำการสำรวจในปี 2518 โดยทำการเก็บดินตัวอย่างตามวิธีการของกองฯ เก็บตัวอย่างทุกระยะทาง 200 เมตร เข้าทำการทดลองคุณภาพในห้องทดลองส่วนกลาง โดยทำการทดลองหา Gradation, Atterberg limites ทุกตัวอย่าง เพื่อจัด Soil Classification ทำการทดลองค่า Compaction test และ CBR. Test ทุก ๆ 5 ตัวอย่าง (ระยะห่าง 1 กม. ต่อตัวอย่าง) ในขณะเดียวกันก็ทำการสำรวจแหล่งวัสดุสำหรับทำ Subbase, base และ Surface ด้วย

LL, PI

$A_1 \rightarrow A_7$

GI

A-4(GI)

การออกแบบ

1. Traffic loading analysis

   Traffic Data (กองวางแผน)

Group Index มาใช้

A-4(6)

Average Daily Traffic

	A D T vpd	B & T %
1968	172	91
1969	168	88
1970	209	89
1971	145	86
1972	222	75
1973	451	61
1974	441	83

เมื่อก่อสร้างทางเสร็จในปี 1978 คาดว่าจะมีการจราจรเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 800 คัน/วัน

Initial Daily IDT Traffic 800 vpd

B&T 80%

Growth rate 4%

Design period 7 years

ปริมาณรถบรรทุกหนักใน Design lane = 800x0.5x0.8

= 320 คัน/วัน

ITN (Chart 1) = 160

Adj. Factor = $\frac{(1 + 0.04)^7 - 1}{20 \times 0.04}$

$\frac{(1+r)^n - 1}{20r}$ = 0.4

DTN_{20} = 160x0.4 = 64

DESIGN TRAFFIC NUMBER

DTN_{20} = Adj. Factor * ITN

$T_A = \frac{DTN_{20}}{(\%\ CBR)^{0.4}}$

2. Subgrade strength

จาก data ของการทดลองและ Soil Classification สามารถแบ่งลักษณะประเภทดิน subgrade ในแนวทางที่ถมผ่านไปได้เป็นช่วง ๆ มีดินประเภท A-4, A-6, A-7-6 เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับค่า CBR. (Soaked 4 วัน) จัดแบ่ง Design section ออก (ดูรายละเอียดแนบท้าย) ดังนี้

กม. 0 - 5 + 000	Design CBR.	3
กม. 5 + 000 - 12 + 200	"	2
กม. 12 + 200 - 20 + 000	"	5
กม. 20 + 000 - 37 + 000	"	2
กม. 37 + 000 - 48 + 000	"	3
กม. 48 + 000 - 55 + 400	"	2
กม. 55 + 400 - 61 + 000	"	3

และอาจหาวัสดุ ดิน ในแนวทางเป็นวัสดุคัดเลือกบน Subgrade CBR. ไม่ต่ำกว่า 8 ได้ไม่ยาก

3. การออกแบบความหนา

จากการพิจารณาถึงลักษณะทั่วไปของแนวทางตัดเข้าที่ราบลุ่มแม่น้ำ 2 ฝั่ง มีน้ำท่วมในฤดูน้ำหลาก จำเป็นจะต้องมีการก่อสร้างคันทางให้สูงพ้นระดับน้ำสูงสุด และค่า CBR. ที่นำมาออกแบบ จะต้องเป็นค่า Soaked CBR.

หาค่า TA ได้จากค่า DIN. ในข้อ 1 และ CBR. ในข้อ 2 ใช้ใน Chart 2. (ตามที่แนบท้าย) ได้ความหนาดังนี้

Design CBR.	TA
2	32 ซม.
3	27 ซม.
5	22 ซม.
8	18 ซม.
25	11 ซม.

$$T_A = \left(\frac{9.19 + 3.97 \log DTN}{(\%CBR)^{0.4}} \right) \times 2.54 \text{ cm.}$$

จากการสำรวจและทดลองแหล่งวัสดุ พบว่าวัสดุ Subbase อาจใช้ค่า CBR. ไม่ต่ำกว่า 25 และวัสดุ Base อาจใช้ ค่าคุณ CBR. ไม่ต่ำกว่า 100% ดังในรายการที่ถูกกว่าวัสดุที่นิดขึ้น

ทางสายนี้จัดอยู่ในชั้น Class F 2 A ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ผิวจราจรเป็นแบบ Intermediate type กำหนดให้ใช้ผิวทางเป็นผิวแบบ Double Surface Treatment โดยใช้ค่า Sr. เทียบกับ Asphaltic concrete ดังนี้

วัสดุ base ที่มีคุณสมบัติมาตรฐาน Sr. = 2 = AC Base Sub & Sel 1 : 2 : 2.7

วัสดุ Subbase & Selected Materials

Sr. = 2.7

จะได้ความหนาของชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

สำหรับ Subgrade CBR. = 2 TA = 32 ซม.

ผิวทาง DBST Double Surface Treatment

พื้นทาง	20 ซม.	เทียบเท่า	TA = 10	ซม.
รองพื้นทาง	20 ซม.	"	= 7.4	ซม.
วัสดุคัดเลือก	35 ซม.	"	= 13.0	ซม.
			30.4	ซม.

Subgrade CBR. = 3, TA = 27

ผิวทาง DBST

พื้นทาง	20 ซม.	เทียบเท่า	TA = 10	ซม.
รองพื้นทาง	20 ซม.	"	= 7.4	ซม.
วัสดุคัดเลือก	25 ซม.	"	= 9.2	ซม.
			= 27.6	ซม.

Asphalt Concrete
Agg + AC

Subgrade CBR. = 5, TA = 22 ซม.

ผิวทาง	DBST			
พื้นทาง	20 ซม.	เทียบเท่า	TA = 10	ซม.
รองพื้นทาง	20 ซม.	"	= 7.4	ซม.
วัสดุคัดเลือก	15 ซม.	"	= 5.5	ซม.
			= 22.9	ซม.

Selected Material CBR. = 8, TA = 18

ผิวทาง	DBST			
พื้นทาง	20 ซม.	เทียบเท่า	TA = 10	ซม.
รองพื้นทาง	20 ซม.	"	= 7.4	ซม.
			= 17.4	ซม.

Subbase CBR. = 25, TA = 11

พื้นทาง	20 ซม.	เทียบเท่า	TA = 10	ซม.

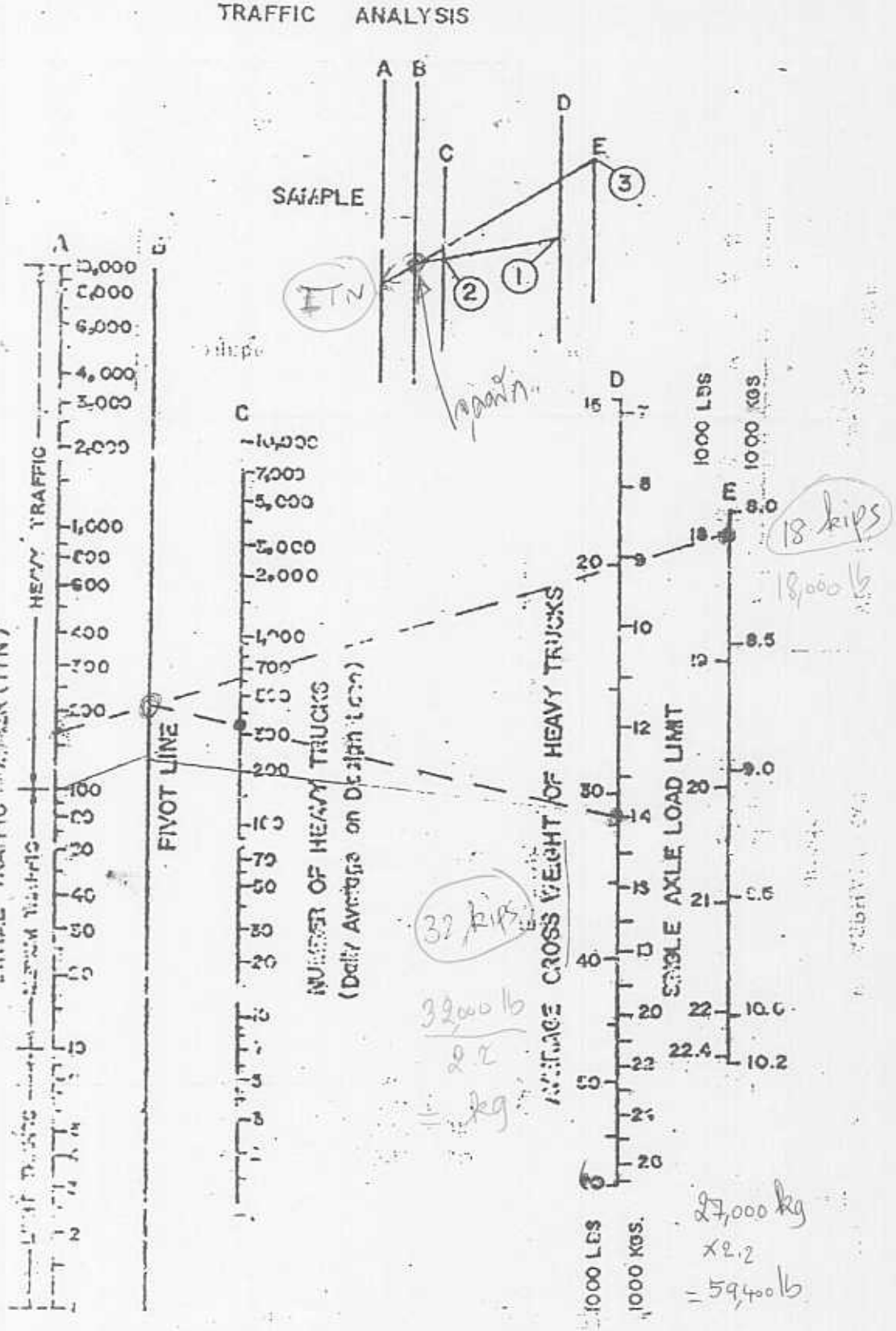
ส่วน Specification นั้น ใช้ตามมาตรฐานวัสดุก่อสร้างทั่วไปของกรมทางหลวง ได้ เนื่องจากวัสดุจากแหล่งใกล้เคียงสามารถผลิตให้เข้ามาตรฐานได้อยู่แล้ว

ทางค่าย ทุ่งเศรษฐ-อ่วรรคโสภา-ศิลับ

SUBGRADE CBR.

กม.	CBR.	Order/Design		OMC	PI	Passing # 200	AASHO Class
0-1	5.1	12		12	8.3	51	A-4
1-2	2.0	7		10.7	N.P.	69	A-4
2-3	12.0	6.5	(3)	9.0	19.6	19.8	A-6 (1+200)
3-4	2.7	5.1		22.8	15.7	99.6	A-7-6
4-5	4.3	2.7		21.3	10.8	99.5	A-6, A-7-6
5-6	6.5	5.7		21.9	10.6	99.6	A-6, A-7-6
6-7	1.3	4.0		13.4	12.2	60.4	A-6
7-8	4.0	4.0		11.6	19.0	34.5	A-6, A-7-6
8-9	2.3	2.6	(2)	20.3	13.5	99.0	A-7-6
9-10	2.0	2.3		20.6	14.4	99.4	A-6, A-7-6
10-11	4.0	2.0		22.9	20.8	98.4	A-7-5
11-12	5.7	1.3		19.2	9.2	99.3	A-4, A-6
12- +200	2.6			17.9	9.9	99.9	A-4
12 + 200-13	7.0	18.2		21.1	12.4	99.8	A-6, A-4
13-14	7.0	14.3		18.2	10	83.9	A-4 A-6
14-15	3.6	8.5		22.9	10.9	98.9	A-6 A-4
15-16	3.9	7.2		14.5	5.5	89.2	A-4 A-6
16-17	7.2	7.0	(5)	18.2	N.P.	73.6	A-4
17-18	14.3	5.8		17.2	7.0	77.3	A-4
18-19	5.8	3.9		13.5	N.P.	74.7	A-4
19-20	18.2	3.6		13.2	6.1	80.2	A-4
20-21	8.5						
21-22	2.0	7.0		17.4	7.4	86.3	A-4
22-23	2.7	5.7		17.6	4.8	92.2	A-4
23-24	5.7	5.5		17.6	11.5	94.3	A-6 A-4
24-25	5.5	5.2		17.3	9.0	93.6	A-4 A-6
25-26	2.4	4.5		21.5	15.8	97.8	A-7-6
26-27	2.1	4.0		21.0	21.8	95.4	A-7-6
27-28	4.5	3.9		21.5	8.9	83.0	A-4 A-7-6
28-29	5.2	3.8		19.4	9.4	94.3	A-4
29-30	2.0	2.7	(2)	19.6	5.9	98.9	A-4
30-31	4.0	2.4		15.2	15.9	96.4	A-7-6
31-32	3.9	2.3		19.5	17.3	99.0	A-7-6
32-33	2.0	2.1		23.0	6.3	95.1	A-4 A-6
33-34	2.3	2.0		19.6	13.4	98.9	A-6 A-4
34-35	2.0	2.0		27.0	25	99.6	A-7-5
35-36	7.0	2.0		24	28.6	99.8	A-7-5
36-37	3.8	2.0		20.9	11.0	84.7	A-6 A-7-5
37-38	1.9	1.9		19.9	17.3	97.6	A-6

m.	CBR Order/Design		OMC	PI	Passing # 200	AASHO Class	
38-39	4.2		21.4	17.3	99.3	A-6	
39-40	6.6		19.6	13.6	94.6	A-6	
40-41	5.3	(3)	20.6	13.9	94.4	A-6	
41-42	2.1		26	11	99.2	A-6	
42-43	2.8		24	17	99.1	A-6	A-7-6



ITN value may require correction when the ADT of automobiles and light trucks is relatively high.

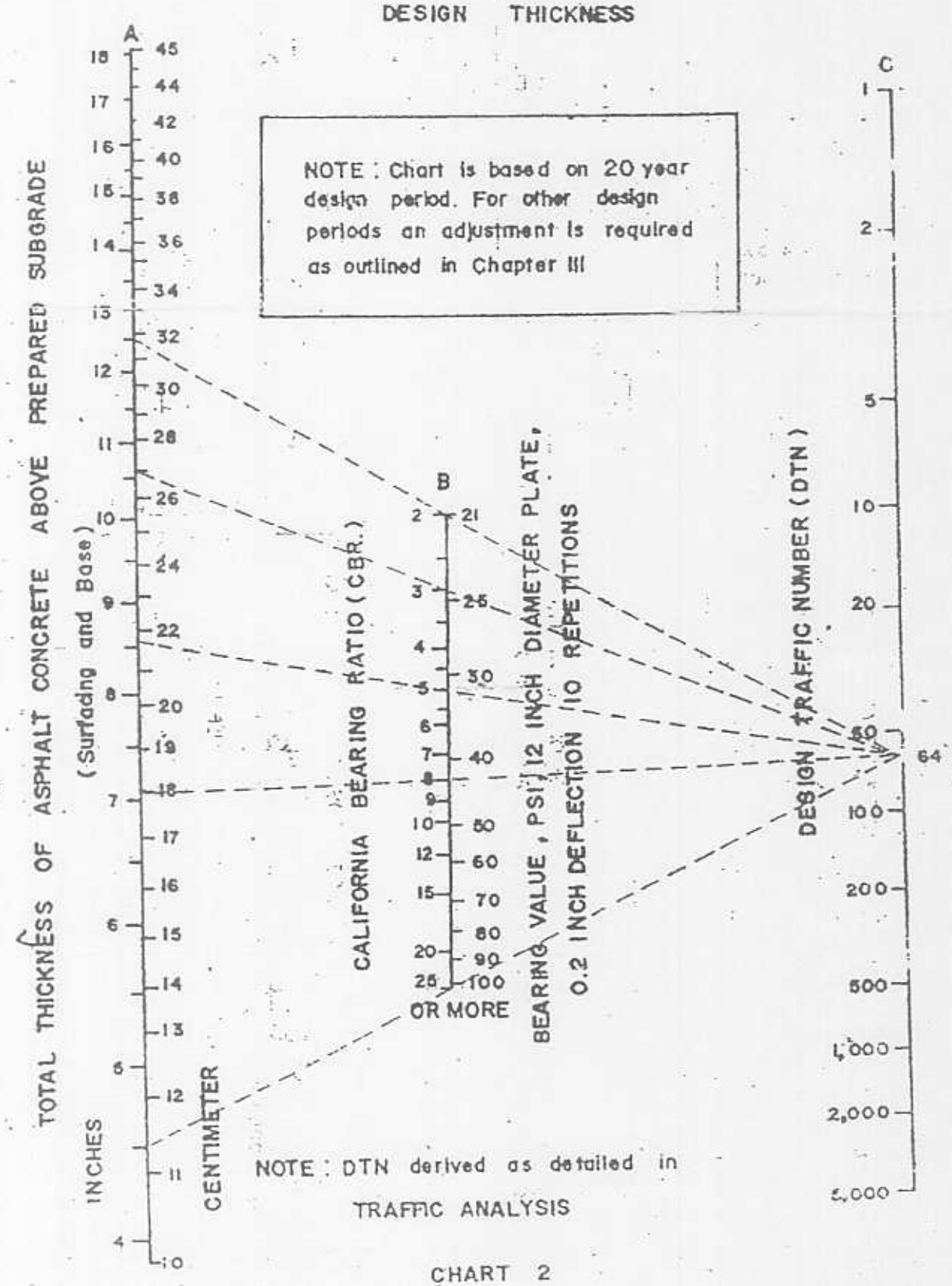

DESIGN THICKNESS
NOTE : Chart is based on 20 year design period. For other design periods an adjustment is required as outlined in Chapter III
TOTAL THICKNESS OF ASPHALT CONCRETE ABOVE PREPARED SUBGRADE
(Surfading and Base)
INCHES
CENTIMETER
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR.)
BEARING VALUE, PSI, 12 INCH DIAMETER PLATE, 0.2 INCH DEFLECTION 10 REPETITIONS
OR MORE
DESIGN TRAFFIC NUMBER (DTN)
A
B
C
64
NOTE : DTN derived as detailed in TRAFFIC ANALYSIS

CHART 2