รายงานฉบับที่ วพ. 146 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
REPORT NO. RD 146 ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER

พฤติภาพการเสื่อมสภาพของถนนลาดยางบางสาย ของกรมทางหลวง

โดย

ประสิทธิ์ ภู่ประทุม

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม
DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS,
RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND

พฤติภาพการเสื่อมสภาพของถนนลาดยางบางสาย ของกรมทางหลวง

โดย

ประสิทธิ์ ภู่ประทุม

รายงานวิจัย ฉบับที่ 146
ศูนย์วิจัยและพัฒนาทางหลวง
กรมทางหลวง
ตุลาคม 2538

รายงานฉบับนี้เป็นแนวความคิดของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา สาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานยังขาดแคลน โดยเฉพาะถนน ซึ่งจำเป็นต่อการกระจายความเจริญไปยังท้องถิ่นต่าง ๆ ทางรัฐบาลต้องจัดเงินเพื่อการนี้ให้กับกรมทางหลวงปีละประมาณร้อยละ 6 ของงบประมาณประจำปีของประเทศ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เงินจำนวนนี้ส่วนใหญ่จะจ่ายเป็นค่าก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง ดังนั้นหากประหยัดงบฯ ส่วนนี้ลงได้ โดยการสรรหาวิธีการออกแบบ และบำรุงรักษาที่ดีและเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ และสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยลง แต่ได้ถนนที่มีคุณภาพดีเท่ากับหรือมากกว่าที่เป็นอยู่ได้แล้ว ก็จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศมาก การที่จะบรรลุจุดประสงค์ดังกล่าวได้ วิธีหนึ่งก็ทำได้โดยทำการศึกษาและวิจัยถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ของถนนที่มีอยู่ ว่ามีลักษณะอย่างไร จากนั้นก็นำผลสรุปที่ได้มาประยุกต์กับการออกแบบและบำรุงรักษาทางที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละพื้นที่ของประเทศต่อไป คาดว่าผลสรุปที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งแสดงให้ทราบถึงพฤติกรรมของถนนลาดยางบางส่วนของกรมทางหลวงปัจจุบัน คงจะมีประโยชน์สำหรับวิศวกร และผู้มีหน้าที่ด้านการออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษาทาง ในการที่จะนำเอาผลประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับงานในหน้าที่รับผิดชอบของแต่ละท่านตามความเหมาะสม

(นายสนั่น ศรีรุ่งโรจน์)
อธิบดีกรมทางหลวง

สารบาญ

หน้า

สารบาญตาราง

สารบาญรูป

บทคัดย่อ

1. บทนำ 1
   - 1.1 การศึกษาและวิจัยในอดีต 2
   - 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
   - 1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
   - 1.4 การดำเนินการวิจัย 3
   - 1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 4
2. คุณลักษณะโดยทั่วไปของถนนลาดยาง 6
   - 2.1 การเรียกชื่อถนนในงานแต่ละประเภท 6
   - 2.2 การเปลี่ยนรูปของถนน 7
   - 2.3 การแอ่นตัวของถนน 8
   - 2.4 การเสื่อมล้าหรือคลากของถนน 8
   - 2.5 อายุของถนน 8
   - 2.6 ค่าแอ่นตัววิกฤตของถนน 9
   - 2.7 ค่าแอ่นตัวปลอดภัยของถนน 10
   - 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA 10
   - 2.9 การปูทับและคำนวณความหนาเพื่อลดค่าแอ่นตัว 11
   - 2.10 ค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐาน 12
3. เครื่องมือวัดและการวัดค่าแอ่นตัวของถนนลาดยาง 13
   - 3.1 Benkelman Beam Instrument (BMB) 13
   - 3.2 การตรวจวัดค่าแอ่นตัวของถนนโดย BMB 13
4. พฤติภาพการเสื่อมของถนนลาดยางบางสายทาง 14
   - 4.1 พฤติภาพของถนนลาดยางบางส่วนในภาคเหนือ 15
   - 4.2 พฤติภาพของถนนลาดยางบางส่วนในภาคกลาง 16
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 17
   - 5.1 สรุป 17
   - 5.2 ข้อเสนอแนะ 19
6. เอกสารอ้างอิง 20

หน้า

7. ภาคผนวก 35
ก. การหา growth rate ของสายทางที่มีการนับการจราจรต่อเนื่องกัน 37
ข. การหาค่า Equivalent Standard Axial Load (ESA) 37
ค. การหาการลดค่าแอ่นตัวของถนนอันเนื่องจากการปูทับ กับการหาค่า
แอ่นตัวแท้จริง (Actual Deflection) ของโครงสร้างเดิม 38

สารบาญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าแย่นตัวปลอดภัยของถนนและการจราจรประเภทต่าง ๆ 21

ตารางที่ 2 อัตราการเพิ่มของประชากร และอัตราการเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมของแต่ละจังหวัด ในภาคกลางของประเทศไทย 22

ตารางที่ 3 หมายเลขและรายชื่อของสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคเหนือ 24

ตารางที่ 4 โครงสร้างของสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคเหนือ 25

ตารางที่ 5 ปริมาณการจราจรของสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคเหนือ 26

ตารางที่ 6 พฤติภาพของแต่ละสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคเหนือ 27

ตารางที่ 7 หมายเลขและรายชื่อของสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคกลาง 28

ตารางที่ 8 โครงสร้างของสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคกลาง 29

ตารางที่ 9 ปริมาณจราจรของสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคกลาง 30

ตารางที่ 10 พฤติภาพของแต่ละสายทางที่นำมาวิจัย ที่อยู่ในภาคกลาง 31

ตารางที่ 11 อัตราเสื่อมสภาพก่อนและหลังการบำรุงรักษาทางของถนนลาดยางบางส่วนของภาคเหนือและภาคกลาง 32

ตารางที่ 12 ค่าคูณขยายของปริมาณการจราจรที่นับได้ (ของภาคเหนือ) 33

สารบาญรูป

หน้า

รูปที่ 1 รูปตัดแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปที่ถาวรของถนนแบบ Consolidation 43
รูปที่ 2 รูปตัดแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปที่ถาวรของถนน แบบ Deformation 43
รูปที่ 3 รูปตัดแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปชั่วขณะของถนนในลักษณะ Deflection 44
รูปที่ 4 รูปตัดแสดงความเค้นวิกฤตที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของถนน 45
รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและดัชนีโครงสร้าง (Structural Number) ของถนน 46
รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA ของถนน 46
รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัววิกฤตและค่าสะสม ESA ของถนน 47
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวแรกเริ่มและอายุของถนน 48
รูปที่ 9 ค่าแอ่นตัวปลอดภัยของถนนที่มีผิวทางชนิดต่าง ๆ 48
รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวแรกเริ่ม, อายุ และความหนาของโครงสร้าง ของถนน 49
รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวก่อนและหลังการปูทับ ที่ความหนา ต่าง ๆ กันของการปูทับ 50
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของค่าแอ่นตัวที่ลดลงไปเนื่องจากการปูทับ กับค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐาน (G.E.) 51
รูปที่ 13 กราฟแสดงความหนาที่จะต้องทำการปูทับ เพื่อยืดอายุถนนออกไปตามที่ต้องการ เมื่อทราบค่าแอ่นตัวของถนน (ก่อนการปูทับ) 52
รูปที่ 14 รูปตัดแสดงเครื่องมือ Benkelman Bean Instrument 53
รูปที่ 15.1-15.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA ของถนนที่นำมาวิจัย ของภาคเหนือ 54-57
รูปที่ 16.1-16.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA ของถนนที่นำมาวิจัย ของภาคกลาง 58-59

พฤติภาพการเสื่อมสภาพของถนนลาดยางบางสาย ของกรมทางหลวง

บทคัดย่อ

เป็นการนำข้อมูลค่าแอ่นตัว (Deflection) ของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) มาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจรที่กระทำบนถนน โดยนำเอาผลของการบำรุงรักษาทางของแขวงการทางมาวิเคราะห์ร่วมด้วยเพื่อหาพฤติภาพ (Performance) ของถนนเหล่านั้นว่าจะมีลักษณะและแนวโน้มเป็นอย่างไร

จาก 16 Test Section ของถนนลาดยางในภาคเหนือ พบว่า ก่อนการบำรุงทางถนนเหล่านี้มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเสื่อมสภาพ (Deteriorating Rate) ของโครงสร้าง (เดิม) สูงกว่า ของถนนมาตรฐาน (ที่นำมาทดลองหา Tolerance Curve) แต่หลังการบำรุงรักษาของแขวงการทางด้วยการ Overlay แล้วอัตราการเสื่อมสภาพของถนนเหล่านี้จะลดลงมาใกล้เคียงกับถนนมาตรฐาน

และจาก 14 Test Section ของถนนลาดยางในภาคกลาง พบว่า ก่อนการบำรุงทาง ถนนเหล่านี้จะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง (เดิม) ใกล้เคียงกับถนนมาตราฐาน แต่หลังการบำรุงทาง จะมีอัตราการเสื่อมสภาพต่ำกว่าของถนนมาตรฐาน

ส่วนสาเหตุของการที่ถนนเหล่านั้น มีพฤติภาพหรืออัตราการเสื่อมภาพเป็นเช่นนั้น ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจน เพราะข้อมูลที่นำมาประกอบการวิจัยมีไม่เพียงพอ

1. บทนำ

พฤติภาพของถนนเป็นลักษณะเฉพาะตัวของถนนแต่ละสายทาง หรือแต่ละช่วงของสายทาง เหมือนกับบุคลิกของมนุษย์แต่ละคนย่อมมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง พฤติภาพของถนนจะสะท้อนให้เราทราบถึงคุณสมบัติโดยรวมของถนนนั้น ๆ ประกอบด้วยทั้งคุณสมบัติภายในและคุณสมบัติภายนอก ซึ่งคุณสมบัติทั้ง 2 อย่างนี้ ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน คุณสมบัติภายในของถนนก็คือ โครงสร้างของถนนนั่นเองมีค่าแปรผันไปตามส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้าง ทั้งการจัดเรียงลำดับ ความหนาและความแข็งแรงทนทานของวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้าง ส่วนคุณสมบัติภายนอกของถนนก็คือ สิ่งต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างของถนน เช่น ลักษณะและ น.น. การจราจรที่มี และสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เป็นต้น

การที่จะทราบได้ถึงพฤติภาพของถนน เราต้องทำการศึกษาถึงการสนองตอบและการเปลี่ยนแปลงของการสนองตอบในลักษณะต่าง ๆ ของถนน เมื่อถูกกระทำจากแรงภายนอก ส่วนใหญ่ก็คือ น.น. การจราจร เพราะการสนองตอบของถนนในลักษณะดังกล่าวก็คือ "พฤติภาพ" ของถนนนั้นเอง

วิธีแพร่หลายที่สุดในการตรวจวัดการสนองตอบของถนนเมื่อถูกกระทำโดยแรงจากภายนอกก็คือ การตรวจสอบคุณสมบัติภายในหรือความแข็งแรงของโครงสร้างถนน โดยการวัดค่าแอ่นตัว (Deflection) ของถนน เพราะค่าแอ่นตัวของถนน จะแสดงถึงสถานภาพของคุณสมบัติโดยรวมของถนนนั้น ๆ (ขณะที่ทำการวัด) และค่าแอ่นตัวของถนนนี้จะมีค่าผกผันกับค่าดัชนีโครงสร้าง (Structural Number) ของถนน ส่วนการวัดก็มีหลายวิธี ทั้งใช้ไฟฟ้า, คลื่นเสียง, Dynamic Load และ Static Load ซึ่งวิธีหลังสุดนี้ก็มีผู้นำ

หลักและวิธีการมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือที่เรียกว่า Benkelman Beam Instrument ใช้สำหรับวัดค่าแอ่นตัวของถนน

ในการดำเนินการวิจัยพฤติภาพของถนนลาดยางของกรมทางหลวงในครั้งนี้ผู้ดำเนินการวิจัยใช้ค่าแอ่นตัวของถนนมาวิเคราะห์ร่วมกับ น.น. การจราจรที่กระทำบนถนนนั้น ๆ โดยนำการบำรุงรักษาเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างถนนของแขวงการทางที่มีหน้าที่ควบคุมดูแลเส้นทางเหล่านั้นมาประกอบการวิจัยด้วย ซึ่งก็ได้พบว่าพฤติภาพของถนนลาดยางที่แสดงออกในรูปลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวของถนนกับปริมาณการจราจรสะสม โดยแปลงเป็นค่า Standard Equivalent Axial Load 18,000 lb.; ESA แล้ว หรือเรียกว่า อัตราการเสื่อมสภาพ (Deteriorationg Rate) ของโครงสร้างถนนจะแสดงให้เราทราบถึงลักษณะและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างถนนที่เวลาต่าง ๆ กัน

1.1 การศึกษาและวิจัยในอดีต

ในอดีตจุดประสงค์หลักในการสำรวจวัดค่าแอ่นตัวของถนน (โดย Benkelman Beam Instrument) ของกรมทางหลวง ก็เพื่อนำค่าเหล่านั้นมาประเมินสถานภาพของสายทาง เพื่อการบำรุงรักษาและปรับปรุงเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างทางให้มีสภาพดีขึ้น เพื่ออายุบริการที่ยาวนานขึ้น โดยตั้งสมมุติฐานว่า ถนนลาดยางทุกสายทางจะมีพฤติภาพเหมือนกับพฤติภาพของถนนที่นำมาหา Criteria of Allowable Deflection Curve (Tolerance Curve) เพื่อที่จะสามารถนำ Criteria ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการ Estimate ค่าแอ่นตัว หรืออายุของถนนเหล่านั้นได้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ถนนแต่ละเส้นทางจะมีพฤติภาพไม่เหมือนกัน แต่ละเส้นทางจะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว เพราะขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง แต่หากมีโครงสร้าง, การจราจรและสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกันแล้ว พฤติภาพของถนนเหล่านี้จะมีแนวโน้มคล้ายกัน

ที่ประเทศอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ. 1972; N.W. Lister ได้ทำการศึกษาและวิจัยถึงพฤติภาพของถนนโดยนำเอาค่าแอ่นตัวของถนนเหล่านั้นมาวิเคราะห์ พบว่า ค่าแอ่นตัวของถนนจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามระยะเวลาที่ผ่านไป แต่เมื่อใกล้ถึงจุดที่โครงสร้างของถนนจะเริ่มเสียหาย ค่าแอ่นตัวนี้จะมีอัตราเพิ่มที่สูงมาก (เมื่อเทียบกับระยะเวลา) จนกระทั่งโครงสร้างของถนนเสียหายในที่สุด (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6)

ในส่วนของกรมทางหลวง ก็ได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ไว้บ้างแล้ว โดย ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ เมื่อปี พ.ศ. 2525 ในรายงานวิจัยฉบับที่ ว.ว. 84 (Ref. 7) เกี่ยวกับพฤติภาพของถนนลาดยางในภาคอีสาน เกี่ยวกับการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างถนนด้วยการ Overlay และการเปรียบเทียบคาดหมายอายุบริการแท้จริงของถนน โดยคาดหมายตามแนวโน้มของค่าแอ่นตัวของถนนที่วัดได้ เทียบกับอายุที่คาดหมายไว้ในขั้นตอนการออกแบบ โดยวิธีของ Asphalt Institute ซึ่งก็ปรากฏว่า ถนนส่วนใหญ่ที่นำมาวิจัยครั้งนั้นมีอายุบริการจริงน้อยกว่าที่ออกแบบไว้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ก็เพื่อศึกษาพฤติภาพของถนนพื้นทางอ่อน(Flexible Pavement) หรือถนนลาดยางของกรมทางหลวงที่มีอยู่ในปัจจุบัน ว่ามีลักษณะ และแนวโน้มอย่างไรมีอัตราการเสื่อมสภาพของความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นไปในลักษณะไหน รวมทั้งศึกษาและสรุปถึงวิธีและผลของการบำรุงรักษา (Maintenance) ของถนนเหล่านั้นด้วยว่าเป็นอย่างไรเพียงพอกับการป้องกันและแก้ไขผลเสียหายของโครงสร้างถนนอันเนื่องจากการที่ต้องแบกรับการจราจรที่มีอยู่หรือไม่ เพียงพอกับการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของถนน เพื่อรองรับการจราจรที่คาดว่าจะมีขึ้นภายในอายุบริการ ที่เหลือของถนนหรือไม่

และเพื่อนำเอาความรู้และผลสรุปที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้มาประยุกต์ในการออกแบบก่อสร้างและบำรุงรักษาที่เหมาะสม เพื่อการได้มาซึ่งถนนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการรองรับ การจราจร โดยเสียค่าใช้จ่าย และ/หรือ เวลาในการก่อสร้างและบำรุงรักษาน้อยที่สุด ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงการวางแผนจัดการก่อสร้างบำรุงรักษาและจัดทำงบประมาณที่เหมาะสม รวดเร็วเพื่อเสนอรัฐบาลต่อไปด้วย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ถนนที่จะนำมาศึกษาและวิจัยครั้งนี้ จะเป็นถนนลาดยางบางส่วนที่อยู่ในภาคเหนือและภาคกลาง ที่ได้ก่อสร้างและเปิดการจราจรแล้วมีโครงสร้างได้ชั้นผิวทางคล้ายกัน คือ ชั้นพื้นทาง (Base Course; B) ก่อสร้างด้วยวัสดุหินคลุก (Crushed Limestone ; Cr) ที่มีค่า CBR 80% และชั้นรองพื้นทาง (Sub-base; SB) ก่อสร้างด้วยวัสดุมวลรวมหยาบ (Soil Aggregate; SA) หรือวัสดุลูกรัง (Laterite; Lat.) ส่วนชนิดของผิวทาง (Surface or Wearing Course) ก็มี 2 ชนิด คือ :-

1.3.1.1 ผิวทางแอสฟัลท์ติก (Asphaltic Concrete; AC) มีความหนา 2" และ 4"

1.3.1.2 ผิวทางลาดยางธรรมดา (Surface Treatment; ST) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 แบบ คือ

ก. ลาดยางชั้นเดียว (Single Surface Treatment; SST)

ข. ลาดยางสองชั้น (Double Surfaace Treatment; DBST)

ค. แมคคาดัม (Penetation Macadum; PM)

1.3.2 ค่าแอ่นตัว (Deflection) ของถนนที่นำมาประกอบการวิจัยครั้งนี้ เป็นค่าแอ่นตัวที่ทางหน่วยสำรวจและประเมินสภาพทาง ของกองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวงได้ทำการสำรวจไว้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยใช้เครื่องมือ Benkelman Beam ส่วนวิธีสำรวจนั้น จะสำรวจด้านซ้ายทาง (Lt.) และด้านขวาทาง (Rt.) สลับกัน ในกรณีที่มีช่องทางจราจรเพียง 2 ช่องทาง และจะสำรวจด้านซ้ายทางหรือขวาทางตลอดสายในกรณีที่มีช่องทางจราจรมากกว่า 2 ช่องทาง ส่วนช่วงระยะเวลาในการสำรวจของแต่ละครั้ง ส่วนใหญ่แล้วจะห่างกันประมาณ 12 เดือน

1.3.3 ค่าสะสม ESA (Cumulative Equivalent Standard Axial Load) ของแต่ละสายทางที่นำมาประกอบการวิจัยครั้งนี้ เป็นค่าที่ได้จากการแปลงค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยประจำวันของแต่ละปี (Average Anual Daily Traffic; AADT) ของแต่ละสายทางที่สำรวจและนับไว้โดยแขวงการทางมาคำนวณ ส่วนกรณีของสายทางที่ไม่มีการสำรวจนับเอาไว้ ก็จะใช้ค่าที่ทางกองวิศวกรรมจราจรของกรมทางหลวงได้ทำการสำรวจและ Estimate ไว้

1.3.4 ประวัติสายทางและประวัติการบำรุงทาง รวมทั้งสถิติน้ำฝนของแต่ละสายทาง บางส่วนก็ได้จากหน่วยสถิติของกองวิเคราะห์และบางส่วนก็ได้จากแขวงการทางที่มีหน้าที่บำรุงรักษาสายทางเหล่านั้น

1.4 การดำเนินการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการวิจัยหาพฤติภาพของถนนลาดยางที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยการนำค่าแอ่นตัวของถนนมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจรที่มีบนถนนนั้น ๆ โดยค่าที่หน่วยสำรวจและประเมินสภาพทางสำรวจต่อเนื่องมาตั้งแต่ พ.ศ. 2509 จวบจนปัจจุบัน และเก็บรายละเอียดเหล่านี้ไว้ที่ กอง Computer กรมทางหลวง และตัวแปรสำคัญอีก 1 ตัว ที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ร่วมก็คือ การเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างทาง ซึ่งมีอิทธิพลกับค่าแอ่นตัวมาก ซึ่งการเสริมความแข็งแรงนี้ จะกระทำตามความเหมาะสม

โดยเขตการทาง (สนง. ทางหลวง) หรือแขวงการทาง ที่มีหน้าที่กำกับดูแลเส้นทางเหล่านั้น

การดำเนินการวิจัย จึงเริ่มต้นด้วยการตรวจค้นบันทึก การสำรวจค่าแอ่นตัวของถนนลาดยางสายทางต่าง ๆ ที่ทางหน่วยสำรวจและประเมินสภาพทางได้ทำการสำรวจและประเมินไว้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีถนนลาดยางสายทางใดบ้าง ที่ได้ทำการสำรวจและประเมินค่าแอ่นตัวต่อเนื่องกัน ≥ 4 ครั้ง เพราะจะเป็นจำนวนครั้งต่ำสุดที่จะพอเพียงสำหรับนำมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจร เพื่อทราบถึงแนวโน้มของความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองว่าจะมีลักษณะอย่างไร

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ ผู้ดำเนินการวิจัยต้องดำเนินการทุกอย่างด้วยตนเองแต่เพียงผู้เดียว ดังนั้น หลังจากประเมินความสามารถของตนเองแล้ว คาดว่า คงไม่สามารถจะนำข้อมูลของถนนลาดยางทั้งหมดของกรมทางหลวง มาวิเคราะห์หาพฤติภาพได้หมดสิ้นในคราวเดียวกัน ผู้วิจัยจึงตัดสินใจสุ่มตัวอย่างเลือกเอาเพียงบางสายทางจากพื้นที่ มาตรวจค้นหาข้อมูลที่สำคัญ ๆ เท่าที่จะทำได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติภาพตามหลักวิชา และผลสรุปที่ได้ก็จะเป็นพฤติภาพของถนนลาดยางในพื้นที่เหล่านั้น

จากสายทางบางส่วนในภาคเหนือจำนวน 186 สายทาง (ความยาว 3,716 กม.) ที่อยู่ในความรับผิดชอบของเขตการทางเชียงใหม่ (สนง. ทางหลวงที่ 1) ทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจค้น 139 สายทาง (ความยาว 2, 354 กม.) ในส่วนที่อยู่ในการดูแลบำรุงรักษาของ 4 แขวงการทางคือ แขวงการทางเชียงใหม่ที่ 1, ที่ 2 แขวงการทางลำพูนและแขวงการทางลำปาง พบว่ามีสายทางที่เคยมีการสำรวจค่าแอ่นตัว ≥ 4 ครั้ง เพียง 19 สายทาง (ความยาว 390 กม.) และจากสายทางบางส่วนในภาคกลางที่อยู่ในความดูแลบำรุงรักษาของแขวงการทางกาญจนบุรี กับแขวงการทางบ้านโป่งจำนวนทั้งหมด 80 สายทาง (ความยาว 966 กม.) พบว่ามีสายทางที่เคยมีการสำรวจค่าแอ่นตัว ≥ 4 ครั้ง เพียง 13 สายทาง (ความยาว 200 กม.) เท่านั้น

เมื่อได้รายชื่อสายทางที่เคยมีการสำรวจค่าแอ่นตัว ≥ 4 ครั้งแล้ว ก็ทำบันทึกขอความร่วมมือไปยังกอง Computer เพื่อขอรายละเอียดการสำรวจค่าแอ่นตัวเหล่านั้น ปรากฏว่า จากจำนวน 19 สายทางของภาคเหนือ มีข้อมูลค่าแอ่นตัวที่ ≥ 4 ครั้ง อยู่เพียง 16 สายทาง (ความยาว 282 กม.) เท่านั้นและจากจำนวน 13 สายทางของภาคกลาง มีข้อมูลค่าแอ่นตัว ≥ 4 ครั้ง อยู่เพียง ≥ 4 ครั้ง อยู่เพียง 9 สายทาง (ความยาว 149 กม.) เท่านั้น

ส่วนคุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงสร้างทาง ทางผู้ดำเนินการวิจัยก็ดำเนินการค้นหาและขอความร่วมมือไปยังหน่วยสถิติของ กองวิเคราะห์และวิจัย แต่เนื่องจากถนนที่มีค่าแอ่นตัว ≥ 4 ครั้ง จะเป็นถนนที่ก่อสร้างและเปิดบริการมานานหลายปีแล้ว ข้อมูลที่ต้องการบางส่วนจึงขาดหายไป ทางผู้ดำเนินการวิจัยจึงจำเป็นต้องออกไปสำรวจภูมิประเทศ ลักษณะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ และขอค้นข้อมูลส่วนที่ขาดหายไปจากแขวงการทางต่าง ๆ ที่มีหน้าที่ควบคุมและบำรุงรักษาสายทางเหล่านั้น และก็ได้รับความร่วมมือจากเขตการทาง และแขวงการทางเหล่านั้นเป็นอย่างดียิ่ง ต้องขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ นั้น ทางผู้ดำเนินการวิจัยก็พยายามอิงหลักการทางทฤษฎีและด้านวิศวกรรม ที่พิจารณาแล้วเห็นว่า สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุดโดยมีหลักดังนี้คือ:-

1.5.1 **การหาอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร** (Traffic Growth Rate; % Gr.) มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1.5.1.1 สายทางที่มีข้อมูลการนับปริมาณการจราจรต่อเนื่องกันทุกปีก็นำข้อมูลเหล่านั้น มาคูณด้วยค่า Expansion Factor ที่ทางกองวิศวกรรมจราจรของกรมทางหลวงได้ทำการศึกษา

และวิจัยไว้ตามค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 12 แล้วนำผลลัพท์ที่ได้เป็นค่า AADT ของสายทางนั้น ๆ จากนั้นก็นำค่าเหล่านั้นมาคำนวณหา % Gr. ตามหลักสถิติโดยวิธี Regression Analysis

1.5.1.2 สายทางที่ไม่มีการนับปริมาณการจราจร หรือนับไม่ต่อเนื่องจนไม่สามารถ นำมาคำนวณหา % Gr. ได้ ตามหลักสถิติก็หา % Gr. ของสายทางเหล่านั้นโดยนำค่า Estimate AADT ซึ่งกองวิศวกรรมจราจรของกรมทางหลวง ได้จัดทำไว้มาคำนวณโดยอิงกับอัตราส่วนของ Passenger Car: Freight, อัตราการเติบโตของประชากรในท้องถิ่น (Poi) และอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจรวมของจังหวัด (GPP.) ที่สายทางนั้น ๆ ตั้งอยู่ ซึ่งอัตราเหล่านี้จัดทำไว้โดย สนง. สถิติแห่งชาติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ ๒ (Ref. 5)

1.5.2 **การหาค่าเทียบ น.น. เพลามาตรฐาน 18,000 lb.** (Equiva lent Standard Axial Load ; ESA)

การหาค่า ESA จากค่า AADT ก็ใช้ค่า Damaging Factor (Or Truck Factor) ที่ทางหน่วยสำรวจและประเมินสภาพทางของกองวิเคราะห์และวิจัย ได้ร่วมมือกับบุคคลากรของ ADB (Asian Development Bank) ทำการสำรวจและศึกษาวิจัยเอาไว้เมื่อ ปี พ.ศ. 2535 (Ref. 6) เพราะผู้วิจัยมีความเห็นว่าสอดคล้องกับสภาพ น.น. บรรทุกของรถชนิดต่าง ๆ ในปัจจุบันมากที่สุด โดยกำหนดไว้ดังนี้ :-

ประเภทของรถ	Truck Factor
Heavy Bus (HB)	0.75
Medium Truck (MT)	0.88
Heavy Truck (HT)	1.65

1.5.3 **ค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐาน** (Gravel Equivalent; G.E.)

ทางผู้ดำเนินการวิจัยพิจารณาค่า G.E. ของวัสดุที่นำมาปูทับ (Overlay) เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างทางแล้ว มีความเห็นว่า คุณภาพของ Hot Mix Asphaltic Concrete (AC-H) ที่ทางกรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน มีคุณสมบัติดีมากคือกำหนดค่า Marshall Stability ≥ 2,500 lb. ส่วนคุณภาพของ Cold Mix Asphaltic Concrete (AC-C) นั้นมีคุณภาพต่ำ ดังนั้น จึงมีความเห็นว่าค่า G.E. ของวัสดุเหล่านี้ ควรจะมีค่าดังนี้ :-

ชนิดวัสดุที่นำมาปูทับ	ค่า G.E.
AC-Hot Mix	2.0
AC-Cold Mix	1.0
AC-Re cycling	2.0

1.5.4 **ค่าแอ่นตัวของโครงสร้างเดิมหรือค่าแอ่นตัวแท้จริง** (Actual Deflection)

ค่าแอ่นตัวที่วัดได้ในสนามคือ ค่าแอ่นตัวที่ปรากฏ (Apparent Deflection) เป็นค่าแอ่นตัวที่แสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างถนนขณะที่ทำการวัดสำรวจ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าแอ่นตัว

ของการวัดครั้งก่อน รวมกับค่าแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอ่อนล้า (Fatigue) ของโครงสร้างอันเกิดจากการกระทำของการจราจรที่เกิดขึ้นระหว่างการวัดค่าแอ่นตัวครั้งก่อนกับครั้งหลัง

กรณีที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างถนนเลย ค่าแอ่นตัวที่วัดได้ (Apparent Deflection) นี้ จะมีค่าเท่ากับค่าแอ่นตัวของโครงสร้างเดิม หรือ ค่าแอ่นตัวแท้จริง (Actual Deflection)

ส่วนในกรณีที่มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างถนน จะเป็นด้วยวิธีการใด ๆ ก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น มีการปูทับ (Overlay) ค่าแอ่นตัวที่แท้จริง (Actual Deflection) จะมีค่าเท่ากับค่าแอ่นตัวที่วัดได้ (Apparent Deflection) รวมกับค่าแอ่นตัวที่ถูกทำให้มีค่าลดลงไปเนื่องจากการปูทับ

1.5.5 **การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวกับค่าสะสม ESA ของสายทางต่าง ๆ**

เนื่องจากความสัมพันธ์ของค่าแอ่นตัวของถนน กับค่าสะสม ESA จะออกมาในรูปของสมการยกกำลัง (Exponential Equation) ซึ่งยากต่อการสังเกตุความเปลี่ยนแปลงของสมการ เพราะความไม่คุ้นเคย ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการพิจารณา ทางผู้ดำเนินการวิจัยจึงนำค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA มาวิเคราะห์ และหาความสัมพันธ์ในลักษณะของ Log-Log Scale เพราะความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองจะออกมาในรูปของสมการเส้นตรง ซึ่งง่ายต่อการพิจารณา ส่วนวิธีการในการหาสมการเหล่านี้ก็ใช้หลักสถิติตามวิธี Regression Analysis

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงถึง พฤติภาพของถนนสายทางนั้น ๆ โดยค่า Slope ของสมการ (m-value) จะแสดงถึง Deteriorating Rate ของโครงสร้างของถนนเส้นนั้น ๆ ที่ต่างกัน กล่าวคือ:-

ถ้ามีค่าเพิ่มขึ้น	(+)	ก็มี Deteriorating Rate >	Std. Road
ถ้ามีค่าลดลง	(-)	ก็มี Deteriorating Rate <	Std. Road
ถ้ามีค่าน้อยมาก	(0-0.05)	ก็มี Deteriorating Rate ใกล้เคียง	Std. Road

โดย Std. Road ในที่นี้หมายถึงถนนที่นำมาทดลองหา Criteria ของ Allowable Deflection Curve (Tolerable Curve) หรือ Fatigue Curve นั่นเอง

2. คุณลักษณะโดยทั่วไปของถนนลาดยาง

2.1 การเรียกชื่อถนนในงานแต่ละประเภท

ในแวดวงงานทางนั้น จะมีวิธีเรียกชื่อของถนนไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่เกี่ยวข้องด้วย ยกตัวอย่างเช่น งานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะรูปร่างของถนนก็จะเรียกเป็น ถนนตรง ถนนโอ้ง ฯลฯ งานที่เกี่ยวข้องกับการจราจร เช่น Traffic Planning, Traffic Distribution ก็จะเรียกเป็น Primary or Secondary Highway ส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับประชาชน โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ก็มักจะเรียกตามชนิดของวัสดุที่นำมาก่อสร้างเป็นผิวทางเช่น ถนนลูกรัง,ถนนลาดยาง หรือถนนคอนกรีต แต่สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของโครงสร้างถนนแล้ว มักจะเรียกชื่อถนนตามโครงสร้างส่วนที่แบกรับ น.น. ส่วนใหญ่ (ที่เกิดจากการจราจร) ซึ่งส่วนนี้ก็คือ ชั้นพื้นทาง (Base Course) ของถนน โครงสร้างส่วนนี้ในปัจจุบัน จะมีลักษณะแตกต่างกันชัดเจนอยู่ 3 อย่าง และในงานโครงสร้างถนนเรามักจะเรียกชื่อของถนนแต่ละชนิดตามลักษณะของชั้นพื้นทางคือ

2.1.1 **ถนนพื้นทางอ่อน** (Flexible Pavement) หมายถึง ถนนที่มีโครงสร้างชั้นพื้นทางมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี เพราะก่อสร้างวัสดุที่มีค่าหยุ่นตัวสูง โดยมีค่า Elastic Modulus ประมาณ $2.5-3.5 \times 10^4$ psi เช่น ก่อสร้างด้วยวัสดุ หินคลุก กรวด หรือลูกรัง (Laterite) เป็นต้น ส่วนผิวจราจรถนนชนิดนี้มักจะก่อสร้างด้วย Bituminouse Material หรือลาดยาง

2.1.2 ถนนพื้นทาง กึ่งอ่อน-กึ่งแข็ง (Semi-Rigid Pavement) หมายถึง ถนนที่ชั้นพื้นทาง มีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวได้พอสมควร เพราะก่อสร้างด้วยวัสดุที่มีค่าหยุ่นตัวได้น้อยกว่าชนิดที่ 1 โดยมีค่า Elastic Modulus ประมาณ 5.0-6.0 x 10^5 psi เช่น ก่อสร้างด้วยวัสดุที่ผ่านการทำให้แข็งตัวด้วย ซีเมนต์ปูนขาว หรือ Asphalt Cement เช่น Soil-Cement, Treated Limestone เป็นต้น และผิวจราจรของถนนชนิดนี้ ก็มักจะก่อสร้างเหมือนถนนชนิดที่ 1 คือ "ลาดยาง"

2.1.3 ถนนพื้นทางแข็ง (Rigid Pavement) หมายถึง ถนนที่ชั้นพื้นทางมีคุณสมบัติหยุ่นตัวได้น้อยมากโดยมีค่า Elastic Modulus ประมาณ 3.0-5.0 x 10^6 psi เพราะจะก่อสร้างด้วยวัสดุคอนกรีต เช่น ถนนคอนกรีตโดยทั่วไปส่วนผิวการจราจรของถนนชนิดนี้ ส่วนมากก็จะเป็นวัสดุคอนกรีตที่ทำหน้าที่เป็นชั้นพื้นทางนั่นเอง

เมื่อกล่าวถึง "ถนนลาดยาง" ประชาชนหรือผู้อ่านส่วนใหญ่ มักจะนึกถึงภาพของถนนที่มีผิวจราจรก่อสร้างด้วยวัสดุแอสฟัลท์ ซึ่งมีทั้งชนิด Asphaltic Concrete และ Surface Treatment ส่วนชั้นพื้นทางก็จะนึกถึงเฉพาะที่ก่อสร้างด้วยวัสดุหินคลุก ตามข้อ 2.1.1 อันหมายถึงถนนพื้นทางอ่อน หรือ Flexible Pavement ไม่ได้นึกถึงถนน 2.1.2 (Semi-Rigid Pavement) ซึ่งก็มีผิวลาดยางเหมือนกัน

ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับความเข้าใจดังกล่าวของประชาชนทั่วไป ในรายงานการวิจัยฉบับนี้จึงจะเรียกถนนตามข้อ 2.1.1 หรือ Flexible Pavement ว่า "ถนนลาดยาง" โปรดทำความ เข้าใจตามนี้ด้วย

2.2 การเปลี่ยนรูปของถนน (Pavement Deformation)

มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ :-

- การเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation)
- การเปลี่ยนรูปชั่วคราว (Transient Deformation)

2.2.1 **Permanent Deformation** :-

มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

2.2.1.1 การลดปริมาตร (Consolidation)

เป็นการลดปริมาตรของชั้นทางหรือ Subgrade ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นก็เนื่องจากมีแรงกระทำจากภายนอกเช่น น.น. ของล้อรถมากระทำกับส่วนดังกล่าวของโครงสร้างของถนนหลังจากก่อสร้างเสร็จและเริ่มเปิดการจราจร แรงที่เกิดจาก น.น. ของล้อรถเหล่านี้ จะทำให้เกิดร่องล้อ (Rut) ขึ้นในบริเวณทางวิ่ง เนื่องจากการบดทับระหว่างการก่อสร้างมีไม่พอเพียง การเปลี่ยนรูปลักษณะนี้ จะมากหรือน้อย ก็ขึ้นกับประสิทธิภาพในการบดอัดระหว่างการก่อสร้าง การเปลี่ยนรูปลักษณะนี้จะไม่ทำให้ผิวทางแตกเสียหาย เพียงแต่จะทำให้การขับขี่ยวดยานไม่สะดวกสบายเท่าที่ควร (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1)

2.2.1.2 การเปลี่ยนรูป (Plastic Deformation)

มีสาเหตุจากการจราจรเหมือนข้อ 2.2.1.1 การเปลี่ยนรูปลักษณะนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางปริมาตร แต่จะเป็นการเปลี่ยนรูปร่าง (Shape) เพราะเกิด Plastic Flow อันเนื่องจากการกระทำของล้อรถ กล่าวคือ ตำแหน่งที่ถูกล้อรถกระทำจะมีขนาดเล็กลงโดยบริเวณรอบ ๆ ข้างมีขนาดเพิ่มขึ้น (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2) และสาเหตุของการที่ถนนเกิดการเปลี่ยนรูป ก็เพราะชั้น (Layer) ของโครงสร้างถนนเกิดความเสียหายเนื่องจาก น.น. ของล้อรถที่กระทำ มีค่ามากกว่าความสามารถในการแบกรับ (Bearing Capacity) ของวัสดุโครงสร้างของถนน ซึ่งมักจะเกิดกับถนนที่มีโครงสร้างไม่แข็งแรงพอ (Under Design Pavement) หรือถนนที่ก่อสร้างด้วยวัสดุที่มีคุณภาพต่ำ อย่างเช่น ถ้าค่า Marshall Stability ของชั้นผิวทางมีค่าต่ำไป ก็จะเกิด Plastic Deformation ที่ผิวทาง หรือถ้าค่า CBR ของชั้นวัสดุชั้น

Base, Sub-base หรือ Subgrade มีค่าต่ำไปก็จะกิด Plastic deformation ขึ้นที่ชั้นเหล่านั้น

2.2.1.3 **การเพิ่มปริมาตรหรือขยายตัว** (Expansion)

การเปลี่ยนรูปลักษณะนี้ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในชั้นวัสดุของโครงสร้างถนน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความชื้น (water content) เพราะเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาตรของวัสดุชั้นนั้น ๆ ก็เพิ่มขึ้นด้วย และการเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อย ก็ขึ้นกับความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption) ของวัสดุนั้น ๆ

2.2.2 **Transient Deformation** :-

มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.2.2.1 **การหยุ่นตัว** (Elastic Deformation)

การเปลี่ยนรูปลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมี น.น. มากระทำบนถนน และการหยุ่นตัวนี้ จะหายไปคืนสู่สภาวะเดิมทันทีที่เอา น.น. ออกไป (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3)

2.2.2.2 **การหยุ่นตัวที่หน่วงเวลา** (Visco Elastic Deformation)

สาเหตุของการเปลี่ยนรูปลักษณะนี้ก็คล้ายกับชนิดที่ 2.2.2.1 คือ เมื่อมี น.น. มากระทำบนถนน ก็จะเกิดการหยุ่นตัวขึ้น แต่การหยุ่นตัวที่เกิดขึ้นนี้จะไม่หายคืนสู่สภาวะเดิมในทันทีทันใดที่เอาน.น.ออกไปเหมือนชนิดที่ 2.2.2.1 แต่จะกินเวลาอยู่ช่วงหนึ่งเพื่อเปลี่ยนจากสภาวะหยุ่นตัวคืนสู่สภาวะเดิม

2.3 **การแอ่นตัวของถนน** (Pavement Deflection):-

ก็คือ ลักษณะการหยุ่นตัวในแนวตั้งแบบ Transient Deformation เมื่อถนนถูกกระทำโดย น.น. หรือแรง การแอ่นตัวนี้จะเกิดขึ้นสูงกับถนนลาดยาง และหลังจากที่ น.น. ผ่านไป การแอ่นตัวก็หายไปด้วย รูปร่างของถนนก็จะกลับสู่สภาวะเดิม หากถนนมีโครงสร้างที่แข็งแรงไม่ถูกทำลายโดย น.น. หรือแรงที่กระทำ เราเรียกลักษณะการแอ่นตัวแบบนี้ว่า Elastic Deflection

ค่าของ Elastic Deflection อันเกิดจาก น.น. ของการจราจร จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ คือ:-

ก.) ลักษณะ, น้ำหนักและปริมาณของการจราจร (Traffic Condition)

ข.) ลักษณะของโครงสร้างของถนน (Pavement Structure) อันหมายถึงความแข็งแรงและความหนาของโครงสร้างถนน

ค.) ความแข็งแรงของดันทาง (Subgrade or Foundation)

ง.) ปัจจัยแวดล้อม (Environment) ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำและการระบายน้ำ เป็นต้น

2.4 **การเสื่อมล้าหรือการคลาก** (Fatigue) ของถนน :-

การเกิด Elastic Deflection ซ้ำกันหลาย ๆครั้ง กับโครงสร้างถนน เนื่องจากการจราจรที่ผ่านไปมานั้น จะมีผลทำให้ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุโครงสร้างของถนน คือ ค่า Elastic Modulus ของวัสดุโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป คือ จะมีค่าลดต่ำลงจนกระทั่งเมื่อถึงจุดหนึ่ง วัสดุเหล่านั้นจะเกิดการเสื่อมล้าหรือการคลาก (Fatigue) เมื่อถึงจุดนี้ ความแข็งแรงของโครงสร้างของถนน ก็ไม่สามารถแบกรับ น.น. ของล้อรถต่อไปได้อีก ถนนก็จะเกิดการเสียหายและพังในที่สุด

2.5 **อายุของถนนลาดยาง** (Service Life of Flexible Pavement)

หลักในการออกแบบถนนลาดยางโดยใช้ทฤษฎี CBR นั้นจะออกแบบไม่ให้เกิดความเสียหาย

ในชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างถนน หรือ Foundation ของถนน เมื่อถูกกระทำโดย น.น. จราจร กล่าวคือ เราจะออกแบบกำหนดให้ Stress ที่เกิดขึ้นโดย น.น. จราจรต่ำกว่า Bearing Capacity ของวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างถนน และ Foundation ส่วนอายุของถนนที่ออกแบบได้ถูกต้องนั้น จะแบ่งออกได้ 3 ระยะ คือ:-

ระยะที่ 1 **Consolidation Phase** :-

เป็นระยะของการลดปริมาตร จะเป็นระยะแรก ๆ ของอายุถนนหลังจากก่อสร้างเสร็จและเริ่มเปิดการจราจร ระยะนี้ชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างของถนนจะมีการเปลี่ยนรูปในลักษณะของการลดปริมาตร อันเป็นผลจากการกระทำของ น.น. จราจรที่ผ่านไปมา ส่วนมากระยะนี้จะสั้นและค่าของการลดปริมาตรนี้จะมากหรือน้อย ก็ขึ้นกับประสิทธิภาพในการบดอัดระหว่างการก่อสร้างระยะนี้ถนนอาจเกิดร่องล้อ (Rut) ขึ้นก็ได้โดยจะไม่เกิดรอยแตก (Cracks) แต่อย่างใด

ระยะที่ 2 **Elastic Phase** :-

เป็นระยะที่ถนนมีการหยุ่นตัวได้ดี เป็นระยะต่อเนื่องจาก ระยะที่ 1 กล่าวคือ หลังจากถนนมีการลดปริมาตรจนกระทั่งสมบูรณ์หรืออยู่ตัว (Permanent) แล้วโครงสร้างชั้นต่าง ๆ ของถนนก็จะเข้าสู่ระยะที่ 2 คือ มีการหยุ่นตัวได้ดี แต่ละ Wheel Load จะทำให้ถนนเกิดการแอ่นตัว และการแอ่นตัวนี้จะหายไปทันทีหลังจาก Wheel Load ผ่านไป อายุส่วนใหญ่ของถนนก็จะขึ้นอยู่กับระยะที่ 2 นี้ว่าจะยาวนานหรือไม่ จากการศึกษาเกี่ยวกับค่าแอ่นตัวของถนน พอจะสรุปได้ว่า ถนนที่มีค่าแอ่นตัวแรกเริ่ม (Earlier Deflection) ต่ำ จะมีอายุบริการยาวนานกว่าถนนที่มีค่าแอ่นตัวแรกเริ่มสูง

ระยะที่ 3 **Fatigue Phase** :-

เป็นระยะที่ถนนเริ่มเกิดการล้าอันเป็นผลมาจากการที่การแอ่นตัวที่เกิดจากล้อรถทำให้เกิดแรงเค้น (Stress) ขึ้นในลักษณะของแรงดึง (Tensile Stress) และแรงดึงบางส่วน จะทำให้วัสดุโครงสร้างของถนน เกิดการยืดตัวสะสมในรูปของ Plastic Strain ที่ผิวล่างของชั้นลาดยาง ซึ่งหลังจากนั้นระยะหนึ่งก็จะทำให้ผิวทางเสียหายเนื่องจากการล้าในลักษณะของการคลาก (Fatigue)

2.6 ค่าแอ่นตัววิกฤติของถนน (Critical Deflection of Pavement) กรุณาดูรูปที่ 4 ประกอบ

เมื่อถนนถูกกระทำโดย น.น. P (ที่เกิดจากล้อรถ) โครงสร้างถนนก็จะเกิดการเปลี่ยนรูป โดยจะเกิดแรงดึง (Tensile Stress) t ขึ้นที่ผิวบนของชั้นพื้นทาง มีค่าเท่ากับแรงดึงอันเกิดจากความเครียด (Strain) E ที่ผิวล่างของชั้นผิวทาง

หากวัสดุที่นำมาก่อสร้างเป็นชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางมีคุณภาพดี มีความสามารถในการแบกรับ (Bearing Capacity) พอเพียงที่จะรับแรงอันเกิดจาก น.น. ของล้อรถ ได้ชั้นเหล่านี้ก็จะไม่เกิดการเสียหาย แรงเหล่านี้ก็จะถูกถ่ายเทไปยังชั้นล่างต่อไป คือ ชั้น Subgrade หรือ Foundation และถ้าวัสดุของชั้นนี้มีคุณภาพดีพอก็จะไม่เกิดการเสียหายหรือการเปลี่ยนรูปอันเนื่องมาจากแรงเฉือน (Shear) หรือเกิด Plastic Deformation

ค่าความเครียด E ที่ผิวล่างของชั้นผิวทาง จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับการแอ่นตัวของชั้นผิวทาง กล่าวคือ หากผิวทางเกิดการแอ่นตัวมาก ก็จะเกิดความเครียด E มากตามไปด้วย ดังนั้น เราต้องพยายามรักษาระดับค่าแอ่นตัวของถนนไม่ให้มีมากไปจนเกินกว่าที่วัสดุที่นำมาก่อสร้างเป็นชั้นผิวทางจะรับ Strain ที่เกิดขึ้นได้ เพราะจะทำให้เกิด Fatigue อันจะนำไปสู่การเกิดรอยแตกตามยาว (Longitudinal Cracks) ขึ้นที่ผิวล่างของชั้นผิวทาง ได้บริเวณทางรถวิ่ง จากนั้นก็จะชักนำให้เกิดรอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks) และรอยแตกลักษณะหนังจระเข้ (Alligrator Craacks) ติดตามมา อันเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้ถนนเกิดการเสียหายในที่สุด

เราเรียกค่าแอ่นตัวสูงสุดที่ทำให้เริ่มเกิดรอย cracks นี้ว่า ค่าแอ่นตัววิกฤต (Critical Deflection)

2.7 ค่าแอ่นตัวปลอดภัย (Allowable Deflection) :-

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างของถนน เราจำเป็นต้องป้องกันไม่ให้เกิดรอย cracks ที่ชั้นของผิวทาง โดยต้องพยายามควบคุมค่าแอ่นตัวของถนนที่จะเกิดขึ้นให้ต่ำกว่าค่าแอ่นตัววิกฤตของถนน และค่าแอ่นตัวดังกล่าวก็คือ ค่าแอ่นตัวปลอดภัย (Allowable Deflection) ซึ่งก็ได้มีการพยายามทดลองเพื่อหาค่าแอ่นตัวปลอดภัยของถนนชนิดต่าง ๆ ภายใต้สภาพการจราจรที่ต่างกัน ผลที่ได้ก็แสดงไว้ในตารางที่ 1

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA

ลำพังค่าแอ่นตัวของถนนเพียงอย่างเดียว ไม่ช่วยให้เราทราบถึงพฤติภาพของถนนได้ เพราะค่าแอ่นตัวของถนนจะบ่งบอกเพียงว่า การก่อสร้างถนนนั้น ๆ เป็นอย่างไร ถูกต้องและดีเพียงพอหรือไม่จะบอก หรือชี้ให้เราทราบเพียงว่า Subgrade หรือ Foundation ของถนนเหล่านั้นมีคุณสมบัติดีเพียงพอหรือไม่เท่านั้น เนื่องจากค่าแอ่นตัวของถนนจะเป็นปฏิภาคผกผันกับค่าดัชนีโครงสร้าง (Structural Number) ของถนน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 โดยสามารถเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$SNC = 3.2\ D^{-0.63} \qquad \text{(Ref. 2)}$$

โดย :- SNC = Modified Structure Number

D = ค่าแอ่นตัวของถนนที่วัดได้ (mm.)

การที่จะทราบถึงพฤติภาพของถนนได้ เราจำเป็นต้องศึกษาลักษณะของค่าแอ่นตัวของถนนที่เปลี่ยนไป โดยติดตามวัดค่าแอ่นตัวของถนนเป็นระยะ แล้วนำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นบนถนนนั้น ๆ จึงจะทำให้เราสามารถทราบได้ถึงพฤติภาพของถนนที่ต้องการ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6

เพื่อประโยชน์ในด้านการออกแบบ จึงมีการศึกษา ถึงความสัมพันธ์ของค่าแอ่นตัวแรกเริ่มของถนนและอายุของถนน โดยทำการวัดค่าแอ่นตัวของถนนเมื่อทำการเปิดการจราจรไประยะหนึ่ง จนคาดว่าเกิด Consolidation สมบูรณ์แล้ว บันทึกไว้เป็นค่าแอ่นตัวแรกเริ่ม (Earlier Deflection) และวัดค่าแอ่นตัวของถนนเริ่มปรากฏความเสียหายคือเริ่มแตก (cracks) และคำนวณปริมาณจราจรที่กระทำบนถนนระหว่างช่วงการจัดค่าแอ่นตัวแรกเริ่ม กับค่าแอ่นตัวเริ่มเสียหาย เป็นค่าสะสม ESA (Σ ESA) ซึ่งก็ได้ผลสรุปตรงกันว่า

Earlier Deflection	**Σ ESA**
สูง	น้อย
ต่ำ	มาก

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6, 7, 8 และ 9

เกี่ยวกับองค์ประกอบภายในของโครงสร้างของถนน ก็ได้มีการทดลองและตรวจสอบ เพื่อค้นหาว่าคุณภาพและความหนาของแต่ละชั้นวัสดุของโครงสร้างของถนนจะมีอิทธิพลต่อค่าแอ่นตัวและอายุวิกฤตของถนนอย่างไร โดยการทดลองนำค่าแอ่นตัวแรกเริ่ม, อายุวิกฤตและความหนาของแต่ละชั้นของวัสดุ

โครงสร้างถนนมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกัน ซึ่งก็ได้ผลออกมาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 10

2.9 การปูทับ (Overlay) และคำนวณความหนาเพื่อลดค่าแอ่นตัว:-

2.9.1 **การปูทับเพื่อลดค่าแอ่นตัว** (Deflection Reduction by Overlay)

ถนนที่ถูกกระทำโดย น.น. จราจรอย่างต่อเนื่อง จะมีพฤติภาพของการแอ่นตัวเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า Resilient Modulus ของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างถนนลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ ตามปกติจะสะท้อนให้เราทราบโดยค่าแอ่นตัวของถนน คือ ค่าแอ่นตัวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อรองรับการจราจรมากขึ้น และจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เมื่อวัสดุโครงสร้างของถนนเริ่มเกิดการล้าหรือคลาก จนกระทั่งถึงค่าแอ่นตัววิกฤต ถนนก็จะเกิดความเสียหาย ดังนั้น เพื่อยืดอายุบริการของถนนให้ยาวออกไปตามที่เราต้องการ เราจำเป็นต้องทำการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของถนน วิธีหนึ่งที่ทำได้ก็ด้วยการปูทับถนนดังกล่าวด้วยวัสดุที่มีคุณภาพดี (ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุแอสฟัลท์ เช่น Asphaltic Concrete)

ส่วนค่าแอ่นตัวที่จะลดลงภายหลังการปูทับนั้น จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ :-

ก) ชนิดหรือคุณภาพของวัสดุที่นำมาปูทับ

ข) ความหนาของการปูทับ

ค) ค่าแอ่นตัวของถนนเดิมก่อนการปูทับ

2.9.2 **การคำนวณความหนาของการปูทับ**

สามารถทำได้หลายวิธี โดยทดลองวัดค่าแอ่นตัวก่อนและหลังการปูทับแล้วนำค่าเหล่านั้น มาหาความสัมพันธ์ที่มีต่อกัน โดยเปลี่ยนแปลงความหนาของการปูทับไปเรื่อย ๆ (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11) เมื่อนำความสัมพันธ์มาเขียนกราฟ กราฟที่ได้ก็จะช่วยให้เราสามารถคำนวณหาความหนาของการปูทับเพื่อให้ได้ค่าแอ่นตัวตามที่เราต้องการได้

อีกวิธีหนึ่ง ก็คำนวณหาโดยใช้สูตร

$$h = \frac{R}{0.434} \log \frac{do}{d_h} \qquad \text{.....(Ref.1)}$$

โดย h = ความหนาของการปูทับ

Do= ค่าแอ่นตัวก่อนการปูทับ

D_h = ค่าแอ่นตัวหลังการปูทับ (หลังการปูทับเสร็จและเปิดการจราจรทิ้งไว้ประมาณ 3 เดือน เพื่อให้ส่วนที่ปูทับถูกบดอัดให้แน่นโดยการจราจรเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดเนื่องจาก Consolidation)

R = Reduction Factor ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่นำมาปูทับ (Asphaltic Conc. มีค่า R = 12)

ในกรณีที่วัสดุที่นำมาปูทับไม่ใช่ Asphaltic Concrete, ค่า R ≠ 12 เราจำเป็นต้องคำนวณหาความหนาใหม่ โดยคำนวณหาความหนา ที่จะต้องปูทับด้วยวัสดุ Asphaltic Conc ตามสูตรดังกล่าวก่อน (h_{12}) จากนั้นก็นำความหนาของวัสดุที่จะนำมาปูทับ (h_r) อีกครั้งโดยใช้สูตร

$$h_r = \frac{R}{12} . h_{12}$$

โดย R คือค่า Reduction Factor ของวัสดุที่นำมาปูทับ ซึ่งหาได้โดยนำวัสดุนั้นมาทดลองปูทับบนถนนที่วัดค่าแอ่นตัวไว้แล้ว วัดความหนาของการปูทับและค่าแอ่นตัวหลังการปูทับ จากนั้นก็หาค่า R โดยใช้สูตร

$$R = \frac{0.434h}{\text{loh} \frac{do}{dh}}$$

โดย R = Reduction Factor ของวัสดุที่นำมาปูทับ

h = ความหนาของการปูทับ

d_o, d_h = ค่าแอ่นตัวก่อนและหลังการปูทับตามลำดับ

จุดประสงค์หลักในการปูทับ ก็เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างถนน เพื่อยืดอายุบริการให้เพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนนี้ มักจะถูกมองเปรียบเทียบกับค่าสะสม ESA ที่ถนนจะสามารถรองรับได้ (เพราะจะเป็นการง่ายและสะดวกในการนำมาคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง) ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการหาความหนาของวัสดุที่จะนำมาปูทับ เพื่อยืดอายุถนน จึงมีผู้ทดลอง (N.W. Lister) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวก่อนการปูทับความหนาของการปูทับ (ด้วย Asphaltic concrete) และค่าสะสม ESA ที่สามารถจะรองรับได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 13

จากรูปที่ 13 สิ่งที่ควรพิจารณาประกอบการปูทับก็คือ

ก) พื้นทางที่มีสภาพอ่อนแอ จะต้องการความหนาของการปูทับ มากกว่าพื้นทางที่มีความแข็งแรงภายใต้ Earlier Deflection เดียวกัน

ข) ถ้าผิวทางอยู่ในสภาพที่เลวมาก ก็ควรจะเพิ่มความหนาของการปูทับจากที่หาได้ โดยรูปที่ 13 อีก 1"

ค) ถ้าค่าแอ่นตัว (ก่อนทำการปูทับ) มีค่าสูงมาก คือ มากกว่า 0.008" ก็ควรพิจารณา Re-Construction ชั้นพื้นทางด้วย

2.10 ค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐาน (Gravel Equivalent; G.E.)

คือค่าความหนาของวัสดุในการแผ่กระจายน้ำหนัก เทียบเท่ากับการแผ่กระจายน้ำหนักของแผ่นพื้นมาตรฐานตามความหนาที่กำหนดไว้ (ตามชนิดของวัสดุที่บ่งไว้) ซึ่งได้ทดลองเป็นมาตรฐานไว้ที่มลรัฐแคลิฟอเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา (Test Method No. 301-B.)

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการหาค่าแอ่นตัวที่จะถูกทำให้ลดลงเนื่องจากการปูทับ หรือเพื่อหาความหนาของวัสดุที่จะนำมาปูทับเพื่อลดค่าแอ่นตัวให้เหลือตามที่ต้องการจึงมีการนำเอาวัสดุมาตรฐานที่เรียกว่า "กรวด" (Gravel) มาทดลองปูทับบนถนนซึ่งวัดค่าแอ่นตัวไว้แล้ว จากนั้นก็นำค่าทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของวัสดุ Gravel และร้อยละของค่าแอ่นตัวที่ถูกลดลงไป ($\frac{D_o - D_h}{D_o}$) แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์เหล่านั้น ก็จะได้กราฟออกมาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 12

3. เครื่องมือวัดและการวัดค่าแอ่นตัวของถนนลาดยาง

เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าแอ่นตัวของถนนลาดยางมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีหลักการและวิธีการใช้ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของผู้วัดว่าต้องการนำเอาผลของค่าแอ่นตัวที่วัดได้นั้นไปใช้ประโยชน์อะไร เช่น บางชนิดวัดด้วยไฟฟ้า เครื่องพวกนี้จะประกอบด้วย coil หลาย ๆ อันซึ่งเคลื่อนที่ได้นำไปวางยังจุดต่าง ๆ ของถนน แล้วต่อไปยังเครื่องขยาย บันทึก และจุดกำเนิดไฟฟ้า เมื่อมีล้อรถผ่านไปบนถนน coil เหล่านั้นก็จะเกิดการเคลื่อนไหว (ที่ต่างกัน) การเคลื่อนไหวนี้ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและจะถูกบันทึกไว้จะมีลักษณะเหมือนกับการแอ่นตัวของถนน

เครื่องมืออีกอย่างหนึ่ง ก็คือ Dynaflect Equipment เช่น Falling Weight Deflectometer ซึ่งใช้สำหรับวัดค่าแอ่นตัวอันเกิดจากการกระทำของ Dynamic Force ส่วน Load Plate ก็เป็น Static Equipment ซึ่งใช้สำหรับวัดค่าแอ่นตัวอันเกิดจาก Static Load โดยมีจุดประสงค์หลักในการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Pavement Structure เช่น ความหนา หรือค่า Elastic Modulus ของวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างถนน เป็นต้น

3.1 Benkelman Beam Instrument (BMB)

BMB เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าแอ่นตัวของถนนที่แพร่หลายมากที่สุดในขณะนี้ ออกแบบโดย A.C. Benkelman มีวิธีการวัดที่ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ในด้านความละเอียดถูกต้องนั้นก็พอยอมรับได้ นำมาใช้ครั้งแรกโดย WASHO Road Test ในปี 1953

กรมทางหลวงของประเทศไทย เริ่มใช้เครื่องมือ BMB ในการสำรวจและวัดค่าแอ่นตัวของถนนลาดยางที่มีอยู่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2509 เพื่อนำค่าแอ่นตัวเฉลี่ยที่ 80 percentile ของการวัดเทียบเท่าอุณหภูมิ 21 °C (70 °F) และนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ d) ของแต่ละช่วงที่วัดได้มาเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์และประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างทาง ทั้งนี้เพราะค่าแอ่นตัวเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอที่จะชี้ให้เห็นถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง (Structural Capacity) ได้จำเป็นต้องนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาประกอบการพิจารณาด้วย เพราะถนนช่วงใดที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงจะแสดงให้เราทราบว่า ถนนช่วงนั้น ๆ มีพื้นที่หรือบริเวณอ่อนแอ (soft area) อยู่มากและพื้นที่เหล่านี้จะเป็นพื้นที่ที่เกิดความเสียหายขึ้นก่อนพื้นที่อื่น ๆ จากนั้น ก็จะชักนำให้พื้นที่รอบ ๆ เกิดความเสียหายตามมาในภายหลัง

ดังนั้น การวัดค่าแอ่นตัวเหล่านี้ จะช่วยให้เราทราบถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นแล้ว รวมถึงวิธีแก้ปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับการบำรุงรักษาทาง เช่น การวางแผนการบำรุงทางการประเมินอายุบริการของทางการแก้ไขดัดแปลงสภาพแวดล้อมเพื่อให้ได้โครงสร้างทางที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างทางด้วยการปูทับ (Overlay) รวมทั้งการพิจารณาในการ Re-Construction ด้วย

สำหรับรูปร่างและส่วนประกอบของ Benkelman Beam Intrument นั้น แสดงไว้ในรูปที่ 14

3.2 การตรวจวัดค่าแอ่นตัว (Deflection) ของถนนโดย BMB

วิธีการวัดค่าแอ่นตัวของถนนโดยเครื่องมือ BMB นั้น กระทำโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ :-

3.2.1 นำรถบรรทุกที่จะใช้สำหรับเป็น น.น. กระทำบนถนนเพื่อการวัดค่าแอ่นตัว เข้ามาจอดในถนนและจัดแนวเคลื่อนไหว (ไปข้างหน้า) ของรถให้ขนานกับแนวของถนน ให้กึ่งกลางของล้อหลังคู่นอก (outer wheel) อยู่ในแนวของจุดที่ต้องการวัดค่าแอ่นตัว โดยอยู่หลังจุดที่ต้องการวัดประมาณ 20 cm.

3.2.2 จัด น.น. บรรทุกรวมทั้งหมดของรถ (ตามข้อ 3.2.1) ให้มี น.น. ลงที่เพลาหลัง

18,000 lbs. ส่วนความดันของอากาศภายในยางรถยนต์ของล้อคู่หลัง ก็ต้องปรับและรักษาระดับให้มีความดันอยู่ที่ 5.63 ksc. โดยทำการตรวจสอบและปรับความดันนี้ทุก ๆ ระยะ 2-3 ชม. ระหว่างทำการทดลองวัดค่าแอ่นตัว

3.2.3 สอด Probe arm ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนไหวของ BMB เข้าไประหว่างกลางร่องของล้อคู่หลัง โดยให้ปลายของ Probe วางอยู่บนจุดที่ต้องการวัดค่าแอ่นตัว (ตามข้อ 3.2.1) และให้แขนของ Probe ขนานกับแนวถนนเพื่อไม่ให้กระทบล้อของรถ เมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

3.2.4 เปิดสวิทซ์ให้ Buzzer ทำงานและตั้ง dial gauge ไว้ที่ L_o

3.2.5 เคลื่อนรถไปข้างหน้าช้า ๆ (creep speed) และอ่านค่า Maximum reading จาก dial gauge (L_m) เมื่อล้อหลังผ่านปลาย Probe

3.2.6 เมื่อล้อหลังผ่านปลาย Probe 5.00 m. ให้อ่านค่า dial gauge อีกครั้งเป็น L_f

3.2.7 นำค่า dial gauge ที่อ่านได้ทั้ง 3 ค่า มาหาค่าต่าง ๆ คือ :-

3.2.7.1 ค่าแอ่นตัวของถนน (Pavement Deflection)

$$D = 2 (L_m - L_o)$$

3.2.7.2 ค่าแอ่นตัวคงค้าง (Residual Deflection) ของถนน

$$D_f = 2 (L_f - L_o)$$

3.2.8 วัดอุณหภูมิของชั้นผิวทาง เพื่อนำไปแก้ไขค่าแอ่นตัวที่คำนวณได้จากข้อ 3.2.7 โดยค่า Temperature Correction ด้วยการดอกน้ำลึกลงไปประมาณ 2-4 cm. จากนั้นก็เติมน้ำให้เต็มรูที่ดอก สอด Thermometer ลงไปวัดและอ่านค่าอุณหภูมิขณะที่ปรอทหยุดนิ่งไม่น้อยกว่า 1 นาที เป็นค่าอุณหภูมิของชั้นผิวทาง และวัดอุณหภูมิของอากาศทั้งก่อนและหลังการวัดค่าแอ่นตัวไว้ด้วย

3.2.9 บันทึกสภาพของผิวทางของจุดที่ทดลองวัดค่าแอ่นตัวแต่ละจุด และบริเวณข้างเคียงไว้ด้วย และหากค่าทดลองที่จุดใดมีค่าแตกต่างจากจุดทดลองส่วนใหญ่มากแล้ว ก็ให้บันทึกสภาพแวดล้อมของจุดนั้นที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าแอ่นตัวไว้อย่างละเอียดเป็นกรณีพิเศษ เพื่อประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์ภายหลัง

4. พฤติภาพการเสื่อมสภาพของถนนลาดยางบางสายทาง

การที่จะสามารถทราบถึงพฤติภาพของถนนสายทางใดได้ดีนั้น จำเป็นต้องเฝ้าติดตามพฤติภาพและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของถนนสายทางนั้น ๆ เป็นระยะที่ยาวนานพอสมควร จึงจะสามารถสรุปได้ถึงพฤติภาพที่แท้จริงของถนนสายทางนั้น ๆ และเนื่องจากการศึกษาและวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงพฤติภาพของถนนลาดยางโดยการนำค่าแอ่นตัวของถนนมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจรที่กระทำบนถนนเส้นนั้น ๆ เพื่อดูความสัมพันธ์ที่มีระหว่างค่าทั้งสองนี้ของแต่ละสายทาง และตามหลักวิศวกรรมงานทางแล้วความสัมพันธ์ที่ว่านี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว คือ:-

1. ความแข็งแรงและคุณภาพของโครงสร้างถนนซึ่งขึ้นกับ
   - 1.1 คุณภาพของวัสดุชั้นต่าง ๆ ที่มาประกอบเข้าเป็นโครงสร้างถนน
   - 1.2 ความหนาของแต่ละชั้นวัสดุเหล่านั้น
   - 1.3 การจัดเรียงลำดับชั้นของวัสดุเหล่านั้น
   - 1.4 คุณภาพของชั้นดินเดิม (Foundation)

1.5 คุณภาพของชั้น Subgrade ใหม่

1.6 สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น การระบายน้ำ สภาพทางภูมิศาสตร์ ฯลฯ

2. ประเภท ปริมาณความหนาแน่น และลักษณะกระทำของการจราจรที่มีอยู่บนถนนนั้น ๆ

3. การดูแลและบำรุงรักษา รวมถึงการเสริมความแข็งแรง ให้กับโครงสร้างของถนนด้วย

4. ความถูกต้องแน่นอนในการสำรวจและคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จะนำมาประกอบการศึกษาและวิจัย

4.1 พฤติภาพของถนนลาดยางบางส่วนในภาคเหนือ :-

ถนนลาดยางบางส่วนในภาคเหนือ ที่อยู่ในความรับผิดชอบของ เขตการทางเชียงใหม่ (สนง. ทางหลวงที่ 1) ในส่วนความรับผิดชอบของแขวงการทางเชียงใหม่ที่ 1 แขวงการทางเชียงใหม่ที่ 2 แขวงการทางลำพูนและแขวงการทางลำปาง นั้น มีจำนวนสายทางที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์หาพฤติภาพเพียง 16 สายทางเท่านั้น โดยมี:-

4.1.1 รายชื่อและความยาวของแต่ละสายทางแสดงไว้ในตารางที่ 3

4.1.2 คุณสมบัติของโครงสร้างของแต่ละสายทางแสดงไว้ในตารางที่ 4

4.1.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณการจราจรของแต่ละสายทาง ระหว่างที่มีการวิเคราะห์ค่าแอ่นตัว และการบันทึกประเภทของปริมาณการจราจรที่มี แสดงไว้ในตารางที่ 5

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาถึงชนิดของผิวทางของถนนลาดยางทั้ง 16 สายทางนี้แล้ว จะพบว่ามีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ :-

ก) Surface Treatment (ST.) ซึ่งก็มีทั้งแบบ Single Surface Treatment (SST.), Double Surface Treatment (DBST.) และ Penetration Macadum (PM.)

ข) Asphaltic Concrete (AC.)

ค) Surface Treatment และ Asphaltic Concrete ร่วมกันในสายทางเดียวกัน กล่าวคือ บางช่วงจะเป็นผิว AC และบางช่วงกับเป็นผิว ST

ส่วนโครงสร้างส่วนที่อยู่ใต้ชั้นผิวทางลงไป ก็มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ จะประกอบด้วยชั้นวัสดุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ :-

ก) ชั้นพื้นทาง (Base Course ; B.) จะก่อสร้างด้วยวัสดุหินคลุก (Crushed Limestone, Cr.) มีค่า CBR $\geqslant$ 80%; หนา 15 cm. นอกจากสายทางหมายเลข 12 ซึ่งมีความหนา 20 cm.

ข) ชั้นรองพื้นทาง (Sub-base ; SB) จะก่อสร้างด้วยวัสดุมวลรวมหยาบ (Soil Aggregate; SA) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุลูกรัง (Laterite; Lat.) ซึ่งมีค่า CBR $\geqslant$ 25% หนา 15 cm. นอกจากสายทางหมายเลข 2 ที่มีความหนา 22 cm.

ค) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Material ; SL.) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันทั้งหมดเพียง 8 สายทาง จะก่อสร้างด้วยวัสดุ Soil Aggregate ที่มีค่า CBR $\geqslant$ 6%

ง) ชั้นดินคันทาง หรือ Subgrade (SG.) ซึ่งทำหน้าที่เป็น Foundation ของถนนจะมี 5 สายทางที่มีค่า CBR $\geqslant$ 2% นอกนั้นจะมีค่า CBR $\geqslant$ 3%

จ) ชั้นไหล่ทาง (Shoulder; SD.) เกือบทั้งหมด จะก่อสร้างด้วยวัสดุลูกรัง มีความกว้างประมาณ 1.00-2.50 เมตร

การวิเคราะห์พฤติภาพ

เมื่อนำค่าแอ่นตัวที่วัดได้และค่าสะสม ESA ที่กระทำบนแต่ละสายทางมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่มีต่อกันแล้ว ก็จะได้ผลออกมาตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 6 และเมื่อนำมาเขียนกราฟในลักษณะ loglog scale แล้วก็จะได้ผลออกมาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 15.1-15.4 โดยพฤติภาพของถนนแต่ละเส้นทางจะสะท้อนออกมาในรูปของอัตราการเสื่อมสภาพ (Deteriorating Rate) และค่าแอ่นตัวแรกเริ่มที่ 100 วัน หลังจากเริ่มเปิดการจราจร

จากผลการวิเคราะห์ ปรากฏว่า พฤติภาพของแต่ละเส้นทางจะมีค่าแตกต่างกันออกไป (เนื่องด้วยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างดังได้กล่าวมาแล้ว) และเมื่อนำอัตราเสื่อมสภาพของถนนเหล่านี้มาเทียบกับอัตราเสื่อมสภาพของ "ถนนมาตรฐาน" เราก็จะพอทราบได้ว่า พฤติภาพของแต่ละเส้นทางเป็นอย่างใด (ตามข้อ 1.5.5)

อัตราการเสื่อมสภาพที่วิเคราะห์ได้จะมี 2 ประเภท คือ :-

ก.) อัตราการเสื่อมสภาพที่ปรากฏ (Apparent Deteriorating Rate) คือ อัตราการเสื่อมสภาพที่วัดได้ในสนามซึ่งหมายถึง อัตราการเสื่อมสภาพของความแข็งแรงของโครงสร้างของถนนเดิม รวมกับความแข็งแรงของโครงสร้างที่ถูกเสริมให้แข็งแรงด้วยการบำรุงรักษา (ของแขวงการทาง) ซึ่งอาจจะเป็นด้วยวิธีการปูทับหรือวิธีอื่นใดก็ได้

ข.) อัตราการเสื่อมสภาพที่แท้จริง (Actual Deterioriationg Rate) คือ อัตราเสื่อมสภาพของโครงสร้างของถนนเดิมที่ก่อสร้างเสร็จครั้งแรกเท่านั้นไม่รวมถึงความแข็งแรงของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นจากการปูทับด้วยเลย

ส่วนการที่ถนนบางสายทาง (ในตารางที่ 6) มีค่าแอ่นตัวแรกเริ่มสูงมากก็อาจจะเป็นเพราะว่าขณะที่ทำการสำรวจและวัดค่าแอ่นตัวของถนนครั้งแรก ๆ นั้น ปรากฏการณ์ Permanent Deflection แบบ Consolidation ยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ แต่หลังจากเปิดการจราจรไปนาน ๆ ปรากฏการณ์ลักษณะนี้ก็จะหายไป โดยจะสังเกตุได้จากค่าแอ่นตัวที่วัดได้ในปีถัดมามีค่าลดลงทั้งที่ไม่ได้มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของถนนแต่อย่างใด ส่วน Effect จากความชื้นของ Foundation ก็ไม่มี เพราะวัดในฤดูเดียวกันของแต่ละปี

4.2 พฤติภาพของถนนลาดยางบางส่วนในภาคกลาง :-

ถนนลาดยางบางส่วนในภาคกลางในความรับผิดชอบของเขตการทางสุพรรณบุรี (สนง. ทางหลวงที่ 10) ในส่วนความรับผิดชอบของแขวงการทางกาญจนบุรีและแขวงการทางบ้านโป่งนั้นมีจำนวนสายทางที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์หาพฤติภาพเพียง 9 สายทางเท่านั้น แต่เพื่อวิเคราะห์ให้ละเอียดลงไปอีก ทางผู้ดำเนินการวิจัยแบ่งย่อยจากจำนวน 9 สายทางเป็นทั้งหมด 14 ช่วงของการวิเคราะห์ โดยแบ่งสายทางหมายเลข 1 ออกเป็น 3 ช่วงคือช่วงที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 แบ่งสายทางหมายเลข 3,7 และ 9 ออกเป็นสายละ 2 ช่วง คือ 3.1, 3.2 , 7.1, 7.2, 9.1 และ 9.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้ :-

4.2.1 รายชื่อและความยาวของแต่ละสายทาง แสดงไว้ในตารางที่ 7

4.2.2 คุณสมบัติของโครงสร้างของแต่ละสายทาง แสดงไว้ในตารางที่ 8

4.2.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณการจราจรแต่ละสายทางระหว่างที่มีการวิเคราะห์ค่าแอ่นตัวและการจัดประเภทของปริมาณการจราจรที่มี แสดงไว้ในตารางที่ 9

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาชนิดของผิวทางของถนนทั้ง 9 สายทางแล้ว จะพบว่ามีเพียง 2 ชนิดด้วยกัน คือ :-

ก) Surface Treatment (ST.) ซึ่งมีทั้งแบบ Double Surface Treatment (DBST.) และ Penetration Macadum (PM.)

ข) Asphaltic Concrete (AC.) โดยมีความหนา 2" และหนา 4"

ส่วนโครงสร้างที่อยู่ใต้ชั้นผิวทางลงไปของถนนทั้ง 9 สายทางนี้ก็ก่อสร้างด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันโดยความหนาของชั้นวัสดุของถนนที่มีผิวทางแบบ ST. จะมีความหนาน้อยกว่าถนนที่มีผิวทางแบบ AC ซึ่งจำแนกได้ดังนี้ คือ:-

ก) ชั้นพื้นทาง (Base Course; B.) จะก่อสร้างด้วยวัสดุหินคลุก (Crushed Limestone; Cr.) เหมือนกัน โดยความหนาของชั้นนี้ของถนนที่มีผิวทางชนิด ST. จะหนาเพียง 15 cm. แต่ของถนนที่มีผิวชนิด AC. จะหนา 20 cm.

ข) ชั้นรองพื้นทาง (Sub-base; SB.) จะก่อสร้างด้วยวัสดุมวลรวมหยาบ (Soil Aggregate; SA.) เหมือนกัน โดยความหนาของชั้นนี้ของถนนที่มีผิวทางชนิด ST. จะหนาเพียง 15 cm. แต่ของถนนที่มีผิวทางชนิด AC. จะหนา 20 cm.

ค) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Material ; SL.) จะก่อสร้างด้วยวัสดุ Soil Aggregate (SA.) เหมือนกัน โดยความหนาของชั้นนี้ของถนนที่มีผิวทางชนิด ST. จะหนาประมาณ 15-18 cm. แต่ของถนนที่มีผิวทางชนิด AC. จะหนา 25-40 cm.

ง) ชั้นดินคันทางหรือ Subgrade (SG.) ซึ่งทำหน้าที่เป็น Foundation ของถนนทั้งหมด (ผิวทางทั้ง 2 ชนิด) จะมีคุณสมบัติคล้ายกัน คือจะมีค่า CBR ≥ 3-4%

ดังนั้นเมื่อสรุปจากโครงสร้างที่ปรากฏในตารางที่ 8 แล้วก็พอจะประเมินได้ว่าโครงสร้างที่อยู่ใต้ผิวทางของถนนที่มีผิวทางเป็น AC. จะมีความแข็งแรงมากกว่าของถนนที่มีผิวทางเป็น ST.

การวิเคราะห์ทางพฤติภาพ :-

เมื่อนำค่าแอ่นตัวที่วัดได้ และค่าสะสม ESA ที่กระทำบนแต่ละสายทางมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่มีต่อกันแล้วก็จะได้ผลออกมาตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 10 และเมื่อนำมาเขียนกราฟในลักษณะ log-log scale แล้วก็จะได้ผลออกมาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 16.1 และ 16.2 โดยพฤติภาพของแต่ละเส้นทาง จะสะท้อนออกมาในรูปของอัตราเสื่อมสภาพ และค่าแอ่นตัวแรกเริ่มที่ 100 วัน หลังจากเริ่มเปิดการจราจร

จากผลการวิเคราะห์ ปรากฏว่า พฤติภาพของแต่ละเส้นทางจะมีค่าแตกต่างกันออกไปเนื่องด้วยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างดังได้กล่าวมาแล้ว

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป :-

การศึกษาและวิจัยพฤติภาพของถนนลาดยางบางส่วน ของกรมทางหลวงครั้งนี้พอจะสรุปและประเมินอัตราเสื่อมสภาพของโครงสร้างของถนนเหล่านี้ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าถนนลาดยางในภาคเหนือจำนวน 16 สายทาง (16 Test Section) ที่นำมาวิจัยครั้งนี้มีอัตราเสื่อมสภาพของโครงสร้างเดิม (ที่ก่อสร้างไว้) เฉลี่ย 0.0709 ซึ่งสูงกว่าอัตราเสื่อมสภาพเฉลี่ยของถนนมาตรฐาน แต่ภายหลังการบำรุงรักษาของแขวงการทาง โดยการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างเดิมด้วยการปูทับแล้วจะมีอัตราเสื่อมสภาพเฉลี่ย 0.0440 ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราเสื่อมสภาพของถนนมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าถนนเหล่านี้ได้รับการบำรุงรักษาที่ดี และถนนเหล่านี้ก็จะมีอายุบริการเฉลี่ยเป็นไปตามที่ประมาณการไว้ในขั้นตอนการออกแบบ

และจากถนนลาดยางจำนวน 9 สายทาง (14 Test Section) ของภาคกลางที่นำมาวิจัยครั้งนี้ ปรากฏว่ามีอัตราเสื่อมสภาพของโครงสร้างเดิม (ที่ก่อสร้างไว้) เฉลี่ย 0.0316 ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราเสื่อมสภาพของถนนมาตรฐาน แต่ภายหลังการบำรุงรักษาของแขวงการทาง โดยการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างเดิมด้วยการปูทับจะมีอัตราเสื่อมสภาพเฉลี่ย -0.0673 ซึ่งต่ำกว่าอัตราเสื่อมสภาพของถนนมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าถนนเหล่านี้ได้รับการบำรุงรักษาที่ดีมาก ส่วนจะมากเกินไปจนเกิดการสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจหรือไม่ต้องพิจารณาปัจจัยและข้อมูลอื่น ๆ ประกอบด้วย และถนนเหล่านี้จะมีอายุบริการเฉลี่ยยาวนานกว่าที่ประมาณการไว้ในขั้นตอนการออกแบบ

เมื่อผลวิจัยปรากฏออกมาเช่นนี้ก็เป็นเหตุผลที่ยืนยันได้ว่าการบำรุงรักษาที่ดีและถูกต้องจะสามารถยืดอายุบริการของถนนออกไปได้ทำให้เกิดการประหยัด ส่วนจะทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีใดก็ขึ้นอยู่กับสถานภาพปัจจุบันของตัวถนนและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของถนนเหล่านั้นผู้มีหน้าที่กำหนดบริเวณและวิธีของการบำรุงรักษา สมควรจะนำความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแปรที่กล่าวมาแล้วมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจก่อนลงมือทำการบำรุงรักษาจึงจะทำให้การบำรุงรักษามีประสิทธิภาพสูง เพราะค่าแอ่นตัวของถนนกับสภาพความเสียหายต่าง ๆ ของถนน ทั้งที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและที่ไม่สามารถมองเห็นได้ จะสะท้อนให้เราทราบถึงจุดบกพร่อง จุดอ่อนแอ ของส่วนต่าง ๆ ของถนนที่ไม่เหมือนกัน หากเราสังเกตุและนำมาวิเคราะห์ให้ดีแล้ว เราก็จะทราบถึงสาเหตุของการบกพร่องหรืออ่อนแอนั้น ๆ ได้สามารถหาวิธีป้องกันและแก้ไขความเสียหายนั้น ๆ ได้

สำหรับวิธีการบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของพื้นถนนนั้น วิธีที่สะดวกและได้ผลมากก็คือ การปูทับด้วยวัสดุที่มีคุณภาพดีและแข็งแรงทนทานโดยคุณภาพของวัสดุที่จะนำมาปูทับควรจะมีคุณภาพเท่ากับหรือสูงกว่าคุณภาพของวัสดุชั้นบนสุดของถนนเดิม ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับหลักการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นกับถนน ส่วนความหนาของการปูทับ ก็คำนวณโดยใช้รูปที่ 12 เพื่อหา% Reductionโดยใช้ค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐานที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงคุณภาพของวัสดุที่จะนำมาปูทับเป็นหลัก

และหากผู้มีหน้าที่บำรุงรักษาทาง จะได้มีการบันทึก และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ่นตัวและค่าสะสม ESA ของถนนแต่ละสายทางอย่างต่อเนื่องด้วยแล้ว ย่อมจะทราบถึงลักษณะแนวโน้มของความสัมพันธ์นั้นก็จะช่วยให้การกำหนดความหนาของวัสดุที่จะนำมาปูทับ และการคาดหมายอายุบริการของถนนเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

ประโยชน์ในด้านการออกแบบนั้น หากเราได้มีการศึกษาถึงพฤติภาพของถนนชนิดต่าง ๆ ภายใต้การจราจรและสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน มากจนเพียงพอแก่การที่จะนำมาวิเคราะห์ ร่วมกับความหนาและคุณภาพของวัสดุโครงสร้างส่วนต่าง ๆ ของถนนแล้ว ก็จะทำให้เราสามารถประเมินและสรุปได้ ถึงลักษณะของโครงสร้างที่ดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับลักษณะปริมาณการจราจร, ดินเดิม (Foundation) และสภาพแวดล้อมแต่ละอย่าง เพื่อนำลักษณะที่ดีเหล่านั้นมาเป็นโครงสร้างมาตรฐานสำหรับการออกแบบต่อไป

ผลการศึกษาและวิจัยครั้งนี้อาจจะไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรเพราะยังไม่สามารถระบุได้ครบว่าเหตุใดพฤติภาพหรืออัตราเสื่อมสภาพของแต่ละสายทางจึงเป็นเช่นนั้น เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับพฤติภาพของถนนเหล่านั้น เช่น คุณภาพและความหนาของวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างถนนลักษณะและปริมาณการจราจรที่มีบนถนนนั้น ๆ ผลกระทบอันเนื่องจากสิ่งแวดล้อม และความคลาดเคลื่อนในการสำรวจวัดค่าแอ่นตัวของถนน เป็นต้น เพราะข้อมูลต่าง ๆ ที่ผู้ดำเนินการวิจัยสามารถรวบรวมได้มีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากเป็นข้อมูลเก่าของถนนที่สร้างไว้นานแล้ว ส่วนค่าแอ่นตัวของถนน ก็เป็นข้อมูลที่ทางหน่วยสำรวจและประเมินสภาพทางของกองวิเคราะห์และวิจัยได้ทำไว้นานแล้ว และก็มีไม่ต่อเนื่อง ด้าน

ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของถนนเกือบทุกสายทางที่นำมาวิจัยครั้งนี้ ก็มีเฉพาะชนิดของวัสดุและความหนาของชั้นวัสดุตามแบบที่กำหนดไว้เท่านั้นเอง ความหนาและคุณภาพจริง ๆ ของวัสดุที่เป็นอยู่ในสนามไม่มีการสำรวจและบันทึกไว้เลย ทางด้านปริมาณและลักษณะของการจราจรนั้น อัตราการเพิ่ม ประเภท และ น.น. บรรทุก ก็เปลี่ยนไปจากอดีตมาก ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่าสะสม ESA อันเป็นตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ จึงไม่สามารถสรุปถึงสาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดพฤติภาพในลักษณะที่วิเคราะห์ออกมาได้ นอกจากสาเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปูทับ

5.2 เสนอแนะ

เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบก่อสร้าง และบำรุงรักษา ถนนลาดยางที่มีอยู่ และจะมีเพิ่มขึ้นให้มากยิ่งขึ้น ทางผู้ดำเนินการวิจัยมีความเห็นว่า ยังมีปัจจัยหลายอย่างที่ทางกรมทางหลวง ควรจะทำการศึกษาและวิจัย เพื่อให้ได้ผลสรุปที่ชัดเจนถูกต้อง คือ: -

ก) ขั้นตอนในการสำรวจวัดค่าแอ่นตัวของถนนด้วยเครื่องมือ Benkelman Beam นั้น ก่อนจะลงมือสำรวจผู้สำรวจควรจะศึกษาลักษณะโครงสร้างของถนนตลอดสายทางนั้น ๆ ว่ามีลักษณะอย่างไร เพื่อจะได้แบ่งช่วงของการสำรวจเป็นช่วง ๆ ตามลักษณะของโครงสร้างถนนที่คล้ายกัน

ข) ขณะทำการสำรวจ หากพบว่า บริเวณใดมีค่าแอ่นตัวต่างไปจากส่วนใหญ่ (ในช่วงสำรวจเดียวกัน) ก็ควรจะมีบันทึกสภาพของผิวทาง สภาพของคันทาง ปริมาณความชื้น การระบายน้ำ และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่จะมีผลต่อค่าแอ่นตัวไว้ด้วยเป็นกรณีพิเศษ เพราะจะมีประโยชน์มากสำหรับผู้ที่จะมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้น

ค) ค่าแอ่นตัวของแต่ละช่วงที่ทำการวัดซึ่งในปัจจุบันทางหน่วยสำรวจและประเมินสภาพทางใช้ค่าแอ่นตัวเฉลี่ย (ของทั้งช่วง) เพิ่มด้วย 1.5 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทางผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ 93 percentile ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยที่ 80 percentile

ง) การคำนวณหาความหนาของวัสดุที่จะนำมาปูทับ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของถนนนั้น ควรทำเป็นช่วง ๆ ตามชนิดและความหนาของผิวทางเดิม มากกว่าที่จะสมมุติว่าผิวทางเป็นผิว AC หนา 2" ตลอดทุกสายทาง

จ) เพื่อที่การบำรุงรักษาจะได้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทางผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยตรงควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Apparent Deflection และค่าสะสม ESA ของถนนทุก ๆ สายทางในความรับผิดชอบเพื่อเป็นข้อมูลแนะนำในการคำนวณหาความหนาของวัสดุที่จะนำมาปูทับ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของถนน

ฉ) เพื่อประโยชน์ในด้านการออกแบบ ทางกรมทางหลวงควรมีการวัดและบันทึกข้อมูลค่าแอ่นตัวของถนนทุกสายทาง (หากสามารถทำได้) ภายหลังการเปิดการจราจรครั้งแรกหลังจากที่คาดว่าโครงสร้างของถนนเกิด Consolidation สมบูรณ์แล้ว โดยพิจารณาจากประเภท น.น. บรรทุก และปริมาณการจราจรที่มี ซึ่งตามปกติโดยเฉลี่ยก็ประมาณ 3 เดือน หรือ 100 วัน

ช) ควรมีการศึกษาและจัดทำ Allowable Deflection Curve หรือ Tolerance Curve หรือ Fatigue Curve ของถนนลาดยาง และถนนพื้นทาง Soil-Cement ที่มีผิวทางชนิดต่าง ๆ เท่าที่มีอยู่เอาไว้ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบและบำรุงรักษาทาง

ฌ) ควรมีการวิเคราะห์หาผลกระทบที่มีต่อค่าแอ่นตัวของถนนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิของผิวทางหรือเนื่องมาจากปริมาณน้ำในโครงสร้างของถนน (Moisture and Temperature Effect) เพื่อนำมาแก้ไขค่าแอ่นตัวที่วัดได้ในสนามให้ถูกต้อง

ญ) ควรมีการศึกษาและวิเคราะห์หาค่า Reduction Factor (R) และค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐาน (Gravel Equivalent) ของวัสดุต่าง ๆ ที่คาดว่า จะนำมาใช้ในการปูทับ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างทางเอาไว้ เพื่อความสะดวกในการคำนวณหาความหนาที่จำเป็นต้องใช้ในการ Overlay

ฎ) ควรจะมีการสำรวจและคำนวณค่า Damage Factor (Truck Factor) ของรถแต่ละประเภทในแต่ละเขตการทาง (สนง.ทางหลวง) ของประเทศเอาไว้เพื่อประโยชน์ในงานวิจัยและออกแบบ

Reference

1. Highway Research Record No. 129, "Evaluation of Pavement by Deflection Studies for Maintenance Purpose." Dec., 1965

2. "Road Deterioration and Maintenance Effects." by William D.O. Paterson, Dec. 1987, Washington, U.S.A.

3. "Deflection Criterion for Flexible Pavement and The Disign of Overlays." by N.W. Lister, Sept, 1972, London, England

4. "Annual Average Daily Traffic Volumes of National and Provincial Highway of Year 1991." by Traffic Engineering Division, Department of Highway, Ministry of Communication of Thailand.

5. "Road Development Study in The Central Region, Draft Final Report, Feasibility Study," by Japan International Coorperation Agency (JICA.); Jan. 1989

6. "Asian Development Bank; Road Maintenance Project, Thailand; T.A. No. 1106-THA." by N.D. LEA International Ltd. Canda; Feb. 1992

7. ว.ว. 81 "การออกแบบและพฤติภาพของทางหลวงในประเทศไทย ศึกษาเฉพาะกรณีทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 สาย "สระบุรี-หนองคาย" โดย ดร. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ สว่าง รังสีสุริยะชัย, พ.ย. พ.ศ. 2525

ตารางที่ 1 Allowable Deflection of Various Type of Traffic and Pavement (Ref. 1)

Analyst	Taffic condition or / and Under Axle Load	Pavement Condition or Pavement Structure	Allowance Deflection, x 10^{-2} mm.
Ruiz	8.2 tons	-	50-70
Aratangy	12.0 tons	Good Condition	< 50
		Fair Condition	50-100
		Poor Condition	> 100
Lassale & Langumier	13.0 tons	-	50-80
Hvien	6.8 tons	4" - AC on granit base	43
		3" - AC on granit base	50
		2" - AC on granit base	63
		Surface Treatment	127
RRL	6.4 tons	AC or PM Surface on	
		a.) Granular base (Cr. or Gravel)	50-75
		b.) Soil Cement or Lean Conc.	13-30
Rio de Janero	Heavy Traffic	-	50
	Medium Traffic	-	70

ตารางที่ 2 **TRAFFIC GROWTH RATE BY PERIOD (Ref.5)**

(Unit : Percent)

Changwat	Population			GPP			Traffic Growth Rate		
	1986-1993	1993-2000	2000-2008	1986-1993	1993-2000	2000-2008	1986-1993	1993-2000	2000-2008
Bangkok	1.6	1.3	1.0	5.9	5.1	5.2	7.5	6.4	6.4
Nakorn Sawan	0.7	0.5	0.3	3.6	3.6	3.7	4.4	4.3	4.3
Uthai Thani	0.9	0.7	0.4	5.2	4.3	4.2	6.3	5.2	4.9
Chai Nat	0.5	0.6	0.6	3.8	3.7	3.7	4.5	4.5	4.5
Nonthaburi	3.6	2.8	2.1	6.1	5.2	5.1	8.8	7.3	6.8
Pathum Thani	2.4	2.1	1.7	9.0	6.8	6.3	11.4	8.7	8.0
Ayutthaya	0.4	0.6	0.5	5.5	4.9	4.9	6.4	5.8	5.8
Lop Buri	0.6	0.9	0.7	4.9	4.4	4.5	5.8	5.4	5.4
Saraburi	0.2	0.2	0.3	4.5	4.7	4.8	5.3	5.4	5.5
Sing Buri	0.6	0.7	0.6	4.8	4.6	4.8	5.7	5.5	5.7
Ang Thong	0.6	0.7	0.5	3.8	3.9	4.2	4.6	4.7	5.0
Kanchanaburi	1.8	1.5	1.2	4.4	4.2	4.3	5.9	5.5	5.5
Nakorn Pathom	0.7	0.8	0.6	3.9	4.0	4.2	4.7	4.9	5.0
Prachup Khirikhan	0.5	0.6	0.5	4.2	4.0	4.0	5.0	4.8	4.8
Phetchaburi	1.5	1.3	1.0	5.2	4.7	4.7	6.6	6.0	5.8
Ratchaburi	0.4	0.5	0.4	4.1	4.2	4.5	4.8	5.0	5.3
Samut Sakhon	2.5	2.1	1.7	6.1	5.4	5.3	8.2	7.2	6.8

ตารางที่ 2 **TRAFFIC GROWTH RATE BY PERIOD (REF.5) (ต่อ)**

Changwat	Population			GPP			Traffic Growth Rate		
	1986-1993	1993-2000	2000-2008	1986-1993	1993-2000	2000-2008	1986-1993	1993-2000	2000-2008
Samut Songkram	0.0	0.3	0.2	5.6	4.9	5.0	6.3	5.7	5.7
Suphan Buri	1.1	1.2	1.0	3.1	3.5	3.9	4.1	4.6	4.9
Chachoengsao	0.6	0.8	0.7	5.3	5.0	5.4	6.3	6.0	6.4
Chon Buri	1.7	2.0	1.5	5.1	4.7	4.8	6.6	6.3	6.2
Trat	3.0	2.5	1.9	5.8	4.9	4.8	8.1	6.8	6.4
Nakhon Nayok	0.4	0.6	0.4	4.0	4.0	4.3	4.7	4.8	5.0
Prachin Buri	2.7	2.3	1.8	5.7	4.6	3.6	7.8	6.4	5.0
Rayong	2.4	2.3	1.7	5.6	4.6	4.3	7.6	6.4	5.7
Samut Prakarn	2.8	2.3	1.8	5.9	5.3	5.4	8.1	7.2	7.0
Chanthaburi	2.2	1.9	1.5	2.5	3.1	3.6	4.0	4.5	4.8
Central Region	1.5	1.3	1.1	5.6	5.0	5.0	7.1	6.3	6.2
Northeastern Region	1.3	1.3	1.0	4.3	4.1	4.3	5.5	5.3	5.4
Northern Region	1.1	0.8	0.5	4.2	3.9	4.0	5.3	4.8	4.8
Southern Region	2.9	1.8	1.5	4.0	4.0	4.0	6.0	5.4	5.3
Whole Kingdom	1.5	1.3	1.0	5.1	4.7	4.7	6.5	6.0	5.8

ตารางที่ 3 No. and Name of Test Section of North Region

No	Route No.	Name	km. - km.	Controlling District
1.	1010-01-00	สองแคว-เวียงหนองร่อง	0+000-4+883	เชียงใหม่ที่ 1
2.	1006-02-00	สันกำแพง-ออนหลาย	0+000-18+800	เชียงใหม่ที่ 2
			2+23+3+000	"
			3+000-17+825	"
3.	1014-01-00	ดอยสะเก็ด-บ่อสร้าง	0+000-13+947	"
			6+000-12+885	"
			12+885-13+947	"
4.	0001-20-03	By pass เมืองคอนไชย	515+189-548+966	ลำปาง
5.	1034-01-00	สุขาภิบาลเกาะคา -HW#11	0+400-15+677	"
6.	1035-01-02	By pass แจ้ห่ม	50+880-55+291	"
7.	-02-03	เข้าเมืองแจ้ห่ม	50+202+55+777	"
8.	1037-01-00	เทศบาลลำปาง-HW#1036	1+000-16+883	"
9.	1157-01-00	ท่าล้อ-ห้วยแป้ง	0+000-26+000	"
10.	0011-14-00	แขวงฯ ลำปาง-3ย. ดอยติ	37+301-65+033	ลำพูน
11.	0106-02-00	ลี้-ลำปาง	52+000-1+394	"
12.	-03-00	บ้านปาง-บ้านแพ	91+394-133+270	"
13.	0116-01-01	ย. HW#106-HW#1083	0+000-2+576	"
14.	-01-02	HW#1033-HW# 114	2+576-16+438	"
15.	1030-01-00	ย. HW# 106-HW# 1015	0+000-12+516	"
16.	1147-01-00	สันป่าฝ้าย-สันกำแพง	0+000-13+684	"

ตารางที่ 4 **Pavement Structure of Test Section of North Region**

No	Thickness (cm.) and Type of Material				CBR of SG	Width of SD (cm.)	Std. Rd. Type
	Surf.	B	SB	SL			
1.	5-SST.	15-Cr.	22-SA	-	> 2%	150-Lat.	$F_4(\frac{5}{8})$
2.	5-AC & DST.	15-Cr.	15-La	-	> 2%	150-Lat.	$F_4(\frac{5}{8})$
3.	5-SST.	15-Cr.	15-SA	-	> 2%	150-Lat.	$F_4(\frac{5.5}{9})$
4.	5-AC.	15-Cr.	15-Lat	15-SA	> 3%	225-Lat.	F_2
5.	5-SST.	15-Cr.	15-Lat	-	> 3%	150-Lat.	$F_4(\frac{5}{8})$
6.	5-SST.	15-Cr.	15-Lat	-	> 3%	175-Lat.	F_4
7.	5-SST & PM.	15-Cr.	12-Lat	12-SA	> 3%	175-Lat.	F_4
8.	5-AC & SST.	15-Cr.	15-Lat	-	> 3%	150-Lat.	$F_4(\frac{5}{8})$
9.	5-SST.	20-Cr.	15-Lat	-	> 3%	175-Lat.	F_4
10.	5-AC.	15-Cr.	15-Lat	15-SA	> 2%	250-Lat.	F_1
11.	5-AC.	15-Cr.	15-Lat	25-SA	> 2%	200-Lat.	F_3
12.	5-AC.	15-Cr.	15-Lat	15-SA	> 2%	200-Lat.	F_3
13.	5-AC.	15-Cr.	15-Lat	15-SA	> 2%	200-Lat.	F_3
14.	5-AC.	15-Cr.	15-SA	15-SA	> 2%	200-Lat.	F_3
15.	5-DBST.	15-Cr.	15-Lat	-	> 2%	100-Lat.	$F_4(\frac{5}{7})$
16.	5-SST.& DST.	15-Cr.	15-Lat	-	> 3%	150-Lat.	$F_4(\frac{5}{8})$

ตารางที่ 5 Traffic Volume Classification : (North Region)

No.	betw. Year	AADT. (Vpd.)			Class
		1st year	% Gr.	Avg.	
1.	'89 - '92	1303	4.7	1870	Medium
2.	'89 - '92	4600	5.0	5080	High
3.	'89 - '92	2163	4.7	2690	Medium
4.	'88 - '93	4193	5.4	4793	High
5.	'89 - '93	1791	4.6	1964	Medium
6.	'88 - '92	657	4.6	720	Low
7.	'88 - '92	775	5.0	737	Low
8.	'88 - '92	4253	5.5	4731	High
9.	'89 - '92	1068	8.9	1253	Medium
10.	'89 - '93	4252	10.5	1190	High
11.	'89 - '92	1794	10.1	2027	High
12.	'88 - '92	2388	13.7	2934	Medium
13.	'88 - '92	422	23.2	1044	Medium
14.	'88 - '92	1461	35.1	2672	Medium
15.	'89 - '92	3022	12.4	3782	Medium
16.	'88 - '92	3592	13.1	4485	High

หมายเหตุ :- % Gr. ของสายทางหมายเลข 10, 12, 13 และ 14 ได้จากการคำนวณจาก Counted AADT ที่ทางแขวงการทางนับสำรวจไว้ส่วนนอกนั้นคำนวณโดยนำค่า AADT ซึ่งจัดทำไว้ในหนังสือปริมาณการจราจรบนทางหลวง ประจำปี 2531 ที่จัดทำโดย กองวิศวกรรมจราจรมาคำนวณหา % Gr. โดยอิงกับอัตราส่วนของ pass./ Freight, อัตราการเพิ่มของประชากรและอัตราการเพิ่มผลิตของจังหวัดนั้น ๆ

ตารางที่ 6 Performance of Each Test Section of North Region

No.	Servicing age; Years	Apparent		Actual		
		Deteriorating Rate	Confidence Level	Earlier Def :, mm.	Deteriorating Rate	Confidence Level
1.	4	- 0.0759	0.2465	0.6736	- 0.0759	0.2465
2.	4	- 0.2080	0.5678	5.6519	- 0.2080	0.5678
3.	4	- 0.0296	0.1636	0.7800	- 0.0296	0.1636
4.	6	- 0.0765	0.3204	0.8192	- 0.0686	0.2864
5.	5	- 0.0664	0.0978	0.1263	- 0.0664	0.0978
6.	5	+ 0.1692	0.9458	0.4582	+ 0.1692	0.9458
7.	10	+ 0.4649	0.9910	0.4791	+ 0.4649	0.9910
8.	5	+ 0.0447	0.6671	0.6558	+ 0.0447	0.6671
9.	5	+ 0.0984	0.5648	0.4115	+ 0.0984	0.5648
10.	5	- 0.1283	0.3528	0.4942	+ 0.0269	0.0340
11.	4	+ 0.0064	0.0170	0.4493	+ 0.0064	0.0170
12.	5	+ 0.1231	0.2711	0.1450	+ 0.1516	0.3306
13.	5	+ 0.1352	0.8035	0.5351	+ 0.2836	0.8634
14.	5	+ 0.0514	0.1954	0.5041	+ 0.2480	0.9883
15.	5	+ 0.0529	0.7657	0.9193	- 0.0529	0.7656
16.	5	+ 0.1423	0.4554	0.7355	+ 0.1423	0.4554

หมายเหตุ :-

สายทางที่มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง คือ สายทางหมายเลข 4, 10, 12, 13 และ 14 นอกนั้นไม่มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง

ตารางที่ 7 No. and Name of Test Section of Middle Region

No.	Route No.	Name	km.-km.	Controlling District
1.	0323-02-02	กม. 116 - ย. พนมทวน	96+400-105+400	กาญจนบุรี
			114+000-117+800	"
			105+000-114+000	"
2.	0323-02-02	แก่งเสี้ยน-ทองผาภูมิ	8+000-14+027	"
3.	3199-01-00	ลาดหญ้า-น้ำตกเอราวัณ	0+000-50+000	"
4.	0004-03-02	กม. 60-By pass คน กระเบื้อง	60+426-68+640	บ้านโป่ง
5.	-03-03	By pass ดอนกระเบื้อง	68+621-76+26	"
6.	-03-05	ปลายทาง By pass ดอนกระเบื้อง	By pass ดอนกระเบื้อง -79+845	"
7.	3040-01-00	HW#321-พระแท่นดงรัง	0+000-23+515	"
8.	3089-02-00	โคกสูง-เบิกไพร	2+000- Equation79+875	"
9.	0323-01-00	นครชัยศรี-HW#306	0+000-16+000	"

ตารางที่ 8 Pavement Structure of Test Section of Middle Rgion

No.	Thickness (Cm.) and Type of Mat.				CBR of	Width of SD.	Std. Rd. Type
	Surf.	B	SB	SL	SG.		
1.	10-AC.	20-Cr.	15-SA	15+45-SA	≥ 4%	250-AC.	$S_1(\frac{7}{12})$
2.	DBST.	15-Cr.	15-SA	18-SA	≥ 3%	150-SA.	F_{2B}
3.	DBST.	15-Cr.	15-SA	-	≥ 6%	150-SA.	$F_4(\frac{5}{8})$
4.	10-AC.	20-Cr.	20-SA	25-SA	≥ 4%	250-Lat.	P_d
5.	10-AC.	20-Cr.	20-SA	25-SA	≥ 4%	250-Lat.	P_d
6.	10-AC.	20-Cr.	20-SA	25-SA	≥ 4%	250-SA.	P_d
7.	5-AC.	15-Cr.	20-SA	20+20-SA	≥ 4%	255-Lat.	F_2
8.	PM.	15-Cr.	30-SA	15-SA	≥ 3%	150-Lat.	F_4
9.	5-AC.	20-Cr.	15-SA	-	≥ 3%	175-Lat.	$F_6(\frac{5.5}{9})$

ตารางที่ 9 **Traffic Volume Classification : (Middle Region)**

No.	betw. Year	AADT. (Vpd.)			Class
		1st year	% Gr.	Avg.	
1.	'86 - '92	11,066	5.4	13,170	High
2.	'87 - '92	11,650	5.4	13,420	High
3.	'86 - '91	1,470	5.2	1,669	Medium
4.	'84 - '92	26,315	4.5	33,601	High
5.	'84 - '92	17,245	4.5	18,766	High
6.	'84 - '91	16,505	4.5	17,608	High
7.	'86 - '93	923	4.5	1,561	Medim
8.	'84 - '91	14,531	4.5	16,882	High
9.	'87 - '93	4,512	4.5	5,142	High

หมายเหตุ :- % Gr. ทั้งหมดของตารางที่ 9 นี้ ได้จากการคำนวณโดยนำค่า AADT ซึ่งจัดทำไว้ในหนังสือปริมาณการจราจรบนทางหลวง ประจำปี 2531 ที่จัดทำโดยกองวิศวกรรมจราจรของกรมทางหลวง มาคำนวณโดยอิงกับอัตราส่วนของ pass/truck, อัตราการเพิ่มของประชากร และอัตราการเพิ่มของผลผลิตรวมของจังหวัดนั้น ๆ

ตารางที่ 10 Performance of Each Test Section of Middle Region

No.	Servi-cing age; Years	Apparent		Actual		
		Deteriorating Rate	Confidence Level	Earlier Def, mm.	Deteriora-ting Rate	Confidence Level
1.1	3	- 0.3239	0.4145	3.1581	- 0.3239	0.4145
1.2	3	+ 0.4944	0.6961	0.3781	+ 0.4944	0.6961
1.3	7	- 0.6855	0.5877	3.8617	- 0.4607	0.7670
2.	7	- 0.1966	0.4966	0.6022	+ 0.1797	0.7992
3.1	6	- 0.1293	0.3605	1.2881	- 0.1293	0.3605
3.2	6	- 0.1992	0.8068	1.0507	- 0.1992	0.8068
4.	9	+ 0.2891	0.7571	0.1084	+ 0.6240	0.8621
5.	9	+ 0.0347	0.0640	0.5395	+ 0.0347	0.0640
6.	8	- 0.1939	0.6495	0.5874	+ 0.1165	0.4962
7.1	8	- 0.2967	0.4922	1.9703	- 0.2967	0.4922
7.2	8	- 0.2458	0.4695	1.5704	- 0.2458	0.4695
8.	8	- 0.1317	0.4418	1.3515	- 0.0706	0.3948
9.1	7	+ 0.3115	0.8720	0.2858	+ 0.3322	0.8911
9.2	7	+ 0.3866	0.8096	0.1799	+ 0.3866	0.8096

หมายเหตุ

สายทางที่มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง คือ สายทางหมายเลข1.3, 2, 4, 6, 8 และ 9.1 นอกนั้นไม่มีการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง

ตารางที่ 11 Deteriorating Rate Before and After Maintenance of Flexible Pavement

Deteriorating Rate Category	Before Maintenance		After Maintenance		Changing
	Rating	% of Sect. $\underline{n}$	Rating	% of Sect. $\underline{n}$	
North Region :-					
Avg. (16 Test-Sect. $\underline{n}$)	+ 0.0709	-	+ 0.0440	-	- 0.0269
Hogher Rate	+ 0.2226	24	+ 0.1692	44	-
Approach Rate	+ 0.0121	25	+ 0.0007	19	-
Lower Rate	- 0.0944	31	- 0.1013	37	-
Middle Region:-					
Avg. (14 Test-Sect. $\underline{n}$)	+ 0.0316	-	- 0.0673	-	- 0.0949
Higher Rate	+ 0.3556	43	+ 0.3704	29	-
Approach Rate	+ 0.0347	7	+ 0.0347	7	-
Lower Rate	- 0.2466	50	- 0.2670	64	-

ตารางที่ 12 Expansion Factor of Counted ADT of North Region (Ref. 4)

No.	Route Number	Expansion Factor			
		1987-1991	1992	1993	1994
1.	1010-01-00	1.80	1.35	1.19	1.19
2.	1006-02-00	1.90	1.28	1.21	1.21
3.	1014-01-00	1.84	1.28	1.21	1.21
4.	0001-20-03	2.51	1.66	1.62	1.62
5.	1034-01-00	1.56	1.66	1.62	1.62
6.	1035-01-02	1.60	1.66	1.62	1.62
7.	-02-03	1.60	1.66	1.62	1.62
8.	1037-01-00	1.60	1.66	1.62	1.62
9.	1157-01-00	1.57	1.66	1.62	1.62
10.	0011-14-00	2.06	1.35	1.19	1.19
11.	0106-02-00	2.08	1.35	1.19	1.19
12.	-03-00	1.91	1.35	1.19	1.19
13.	0116-01-01	1.77	1.35	1.19	1.19
14.	-01-02	2.71	1.35	1.19	1.19
15.	1030-01-00	1.76	1.35	1.19	1.19
16.	1147-01-00	2.18	1.28	1.21	1.21

Note :- **Counting Period**

'87 - '91 ; AADT = Exp. Factor x Avg. 5 days Counted 8.00 - 16.00

' 91 - > ; AADT = Exp. Factor x Avg. 5 days Counted 7.00 - 19.00

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ก.) **การหาค่า Growth Rate of Annual Average Daily Traffic (AADT)**

- สายทางที่ไม่มีการนับปริมาณจราจรต่อเนื่องกัน เช่น สายทางหมายเลข 4 ของภาคกลาง คือ สายทาง "กม. 60 - By pass ดอนกระเบื้อง"; Route Number 0004-03-02
- เราหา Traffic Growth Rate (% Gr.) ดังนี้ :-
- ข้อมูลปริมาณจราจรที่กองวิศวกรรมจราจรทำการสำรวจและวิจัยไว้เมื่อปี พ.ศ. 2534 คือ:-

Year	Car+Taxi	LB	HB	LT	MT	HT	Total
1991	7,006	225	1225	12,577	4,894	12,289	38,246

$$\% \text{ passenger car} = \frac{7006+225+1225}{38,246} = 22\%$$

$$\% \text{ Fright} = 100-22 = 78\%$$

จากตารางที่ 2 ระบุว่า "จ. ราชบุรี" ระหว่างปี 1989-1993 มี :-

Growth Rate of GPD = 4.1%

Growth Rate of population = 0.4%

% Gr. of passenger car = 1.23 (% Gr. of GPD.) + (% Gr. of population)

= 1.23 (4.1) + 0.4

= 5.4%

% Gr. of Freight = % Gr. of GPD

= 4.1%

% Gr. of AADT = pass. (% Gr. of pass.) + % Frg. (% Gr. of Frg.)

= 0.22 (5.4) + 0.78 (4.1)

= 4.39%

ข.) **การหาค่า Equivalent Standard Axial Load (ESA)**

จาก Ref. 6

Truck Factor of :- HB = 0.75

MT = 0.88

HT = 1.65

ค่า ESA ของสายทางหมายเลข 4 ของภาคกลาง (กม. 60-By pass ดอนกระเบื้อง)

ของปี 1991 = 0.755 (1225) + 0.88 (4894) + 1065 (12,289)

= 25,502.....Sol ^{n}

ค.) **การหาการลดค่าแอ่นตัวของถนน อันเนื่องจากการปูทับ (Overla; OL)**

- สายทางหมายเลข 2 ของภาคเหนือ คือ สาย "ท่าน้ำดื้น - แก่งเสี้ยน" Route Number 0323-03-02 จาก กม. 0+0000 - กม. 12+000 มีความยาวทั้งสิ้น 12.000 กม.
- **ข้อมูลช่วงและปีที่มีการปูทับ (Overlay) มีดังนี้ :-**

ปี	รายละเอียด	กม.-กม.
1989	ปูทับด้วย AC - Hotmix หนา 5.0 cm.	0+000-5+500
	ปูทับด้วย AC - Hotmix หนา 2.5 cm.	5+500-9+600
1990	ปูทับด้วย AC - Coldmix หนา 3.0 cm.	9+600-12+000
1991	ปูทับด้วย AC - Coldmix หนา 5.0 cm.	0+000-5+500

การคิดค่าแอ่นตัวที่ถูกทำให้ลดลงไป ทำดังนี้:-

Deflection Reduced by Overlay Maintenance of Year 1989:-

km.-km.	Length km.	Avg.Def. mm.	Mat.Used		G.E. cm.	% Reduct $\bar{n}$	Def. reduced, mm.		Remark
			Type	Depth,cm.			/km.	/length	
0+000-1+000	1.000	0.9068	AC-H	5.0	10.0	36.5	0.3310	0.3310	Avg. $\bar{n}$ Deflect of 11/1988
1+000-2+000	1.000	1.1532	"	"	"	"	0.4209	0.4209	
2+000-3+000	1.000	1.2802	"	"	"	"	0.4673	0.4673	
3+000-4+000	1.000	1.0315	"	"	"	"	0.3699	0.3699	
4+000-5+000	1.000	0.9931	"	"	"	"	0.3625	0.3625	
5+000-5+500	0.500	1.2167	"	"	"	"	0.4441	0.2220	
5+500-6+000	0.500	1.2167	AC-H	2.5	5.0	26.5	0.3224	0.1612	
6+000-7+000	1.000	1.0973	"	"	"	"	0.2908	0.2908	
7+000-8+000	1.000	0.9042	"	"	"	"	0.2396	0.2396	
8+000-9+000	1.000	1.0693	"	"	"	"	0.2834	0.2834	
9+000-9+600	0.600	0.7874	"	"	"	"	0.2087	0.1252	
								3.2748	

Avg. Deflect $\bar{n}$ Reduced of Total Sect $\bar{n}$ (12.00 km.)

$$= \frac{3.2748}{12.000} = 0.272 \text{ mm.}$$

Deflection Reduced by Overlay Maintenance of Year 1990:-

Km.-km.	Length km.	Avg.Def. mm.	Mat.used		G.E. cm.	% Reduct $\bar{}^{n}$	Def. reduced, mm.		Remark
			Type	Depth,cm.			/km.	/length	
9+600-10+000	0.400	0.6452	AC-C	3.0	3.0	21.0	0.1355	0.0542	Avg.Def.
10+000-11+000	1.000	0.5309	"	"	"	"	0.1115	0.1115	of 20/1990
11+000-12+000	1.000	0.5944	"	"	"	"	0.1248	0.1248	
								0.2905	

Avg. Deflect $\bar{}^{n}$ Reduced of Total Section (12.000 km.)

$$= \frac{0.2905}{12.000} = 0.0242 \text{ mm.}$$

Deflection Reduced by Overlay Maintenance of Year 1991:-

km.-km.	Length km.	Avg.Def. mm.	Mat.used		G.E. mm.	% Reduct$_n$	Def. reduced, mm.		Remark
			Type	Depth,cm.			/km.	/length	
0+000-1+000	1.000	0.6629	AC-C	5.0	5.0	26.5	0.1757	0.1757	Avg.Defledt$_n$
1+000-2+000	1.000	0.9957	"	"	"	"	0.2639	0.2639	of 02/1990
2+000-3+000	1.000	0.8331	"	"	"	"	0.2208	0.2208	
3+000-4+000	1.000	0.8788	"	"	"	"	0.2329	0.2329	
4+000-5+000	1.000	0.6096	"	"	"	"	0.1615	0.1615	
5+000-5+500	1.000	1.0439	"	"	"	"	0.2766	0.2766	
								1.1931	

Avg. Deflection Reduced of Total Section (12.00 km.) $= \frac{1.1931}{12.000} = 0.0994$

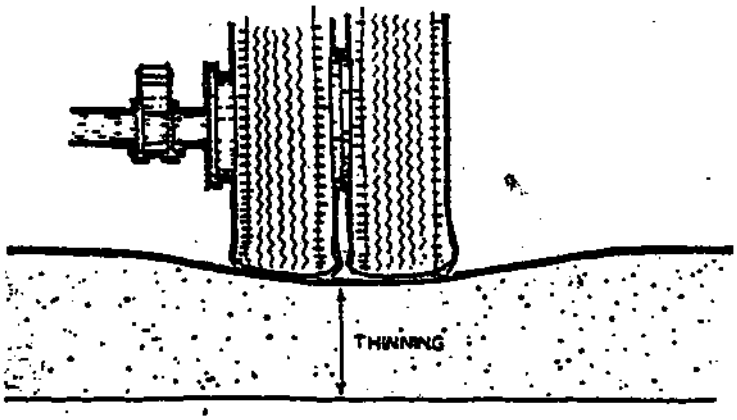
Note :-

Materail used for Overlaying	**GE**
AC-H; (Hot mix. Asp. conc.)	2.0
AC-C; (Cold mix. Asp. Conc.)	1.0

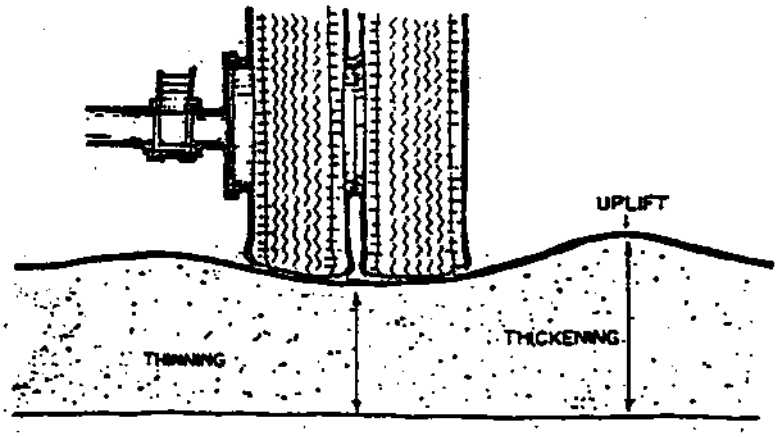
- used Fig. 12 for % Reducttion

- จากนั้นก็นำค่าการลดค่าแอ่นตัวเนื่องจากการ Overlay มาหาค่าแอ่นตัวที่แท้จริง (Actual Deflection) ของโครงสร้างเดิม ดังนี้.-

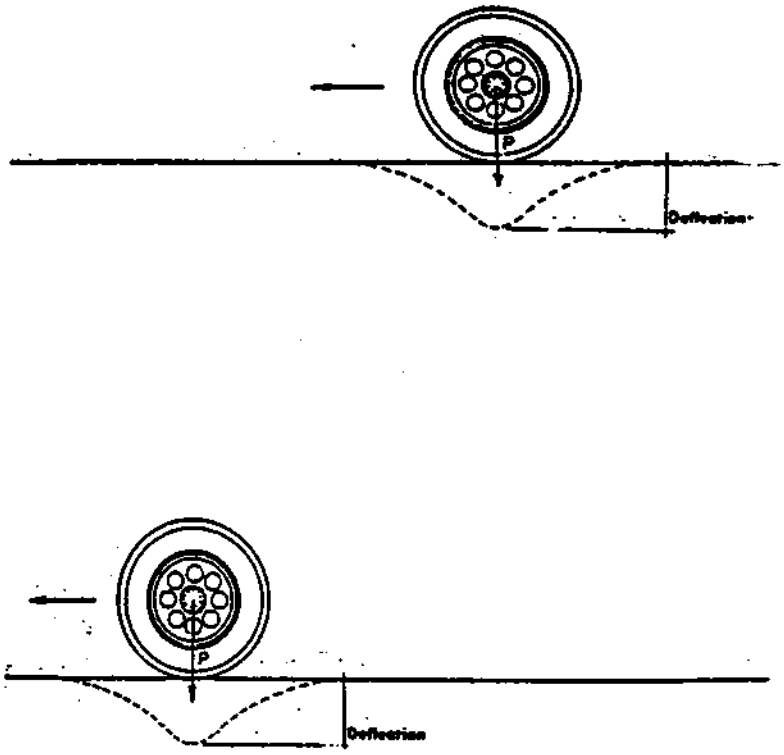
Year	Apparent of Field Def; mm.	Def. Reduced by OL; mm.		ActualFicld Def; mm.
		Each year	Cummulative	
1987	0.8270	-	-	0.8270
1988	1.0058	-	-	1.0058
1989	-	0.2729	0.2729	1.2787
1990	0.7391	0.0242	0.2971	1.0362
1991	-	0.0994	0.3965	1.1356
1992	0.6815	-	0.3965	1.0780



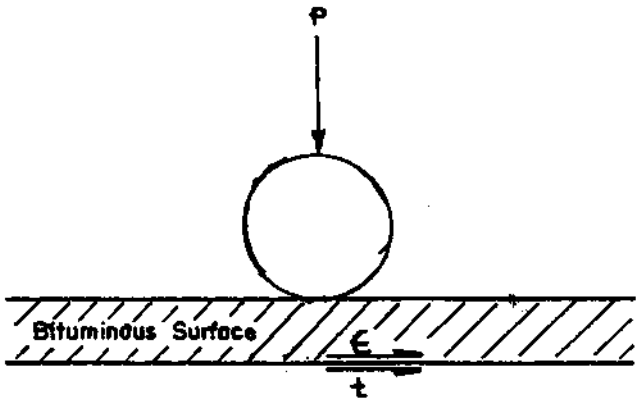
รูปที่ 1 รูปตัดแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปที่ถาวรของถนนแบบ Consolidation



รูปที่ 2 รูปตัดแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปที่ถาวรของถนนแบบ Deformation



รูปที่ 3 รูปตัดแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปชั่วขณะของถนน ในลักษณะ Deflection



t = tensile stress at the surfacing bottom.

ϵ = strain at bottom of surfacing layer.

D = pavment deflection.

D_{adm} = pavment deflection below a curtion value.

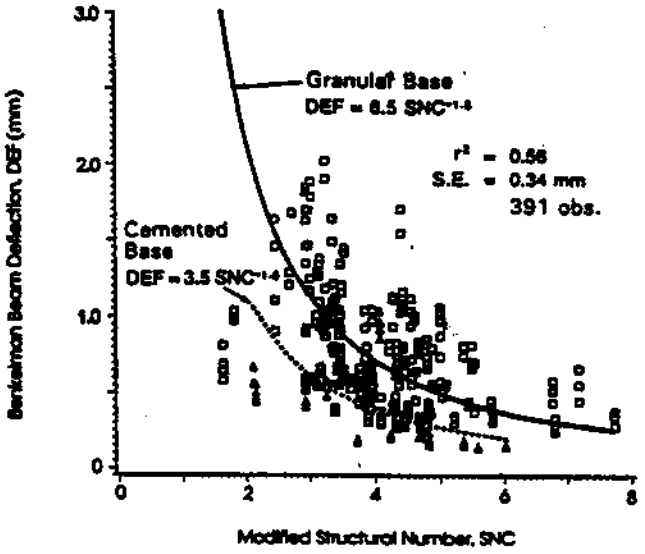
p = vertical press. produced on subgrade.

$P_{adm.}$ = press. below allowable press.

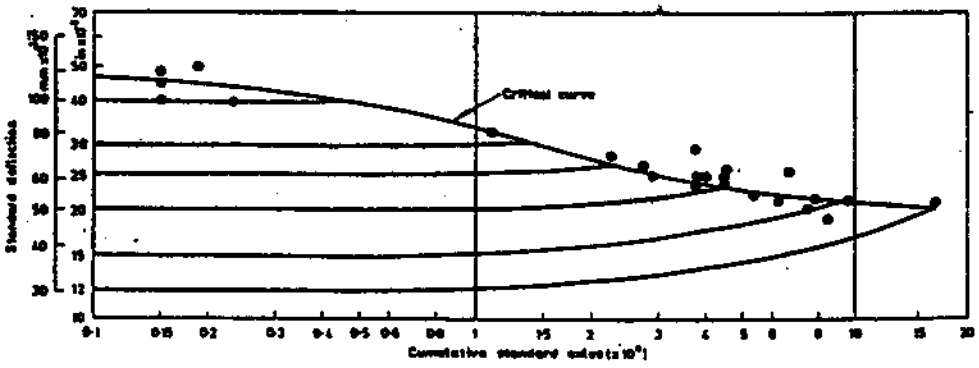
Condition :-

1. if $t > \epsilon$ → Cracks on surfacing.
   sol.^{n} $D < D_{adm.}$
2. if $p > p$ → Plastic rupture of subgrade.
   sol.^{n} $CBR > CBR_{min.}$

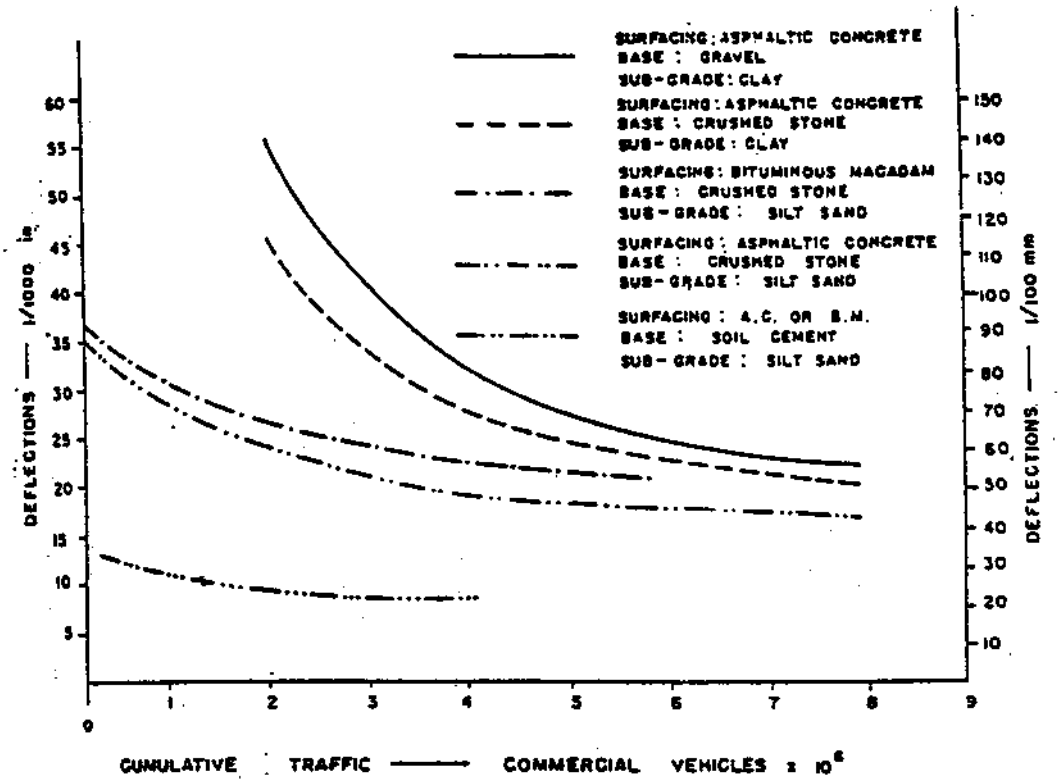
รูปที่ 4 Critical Stress on Pavement



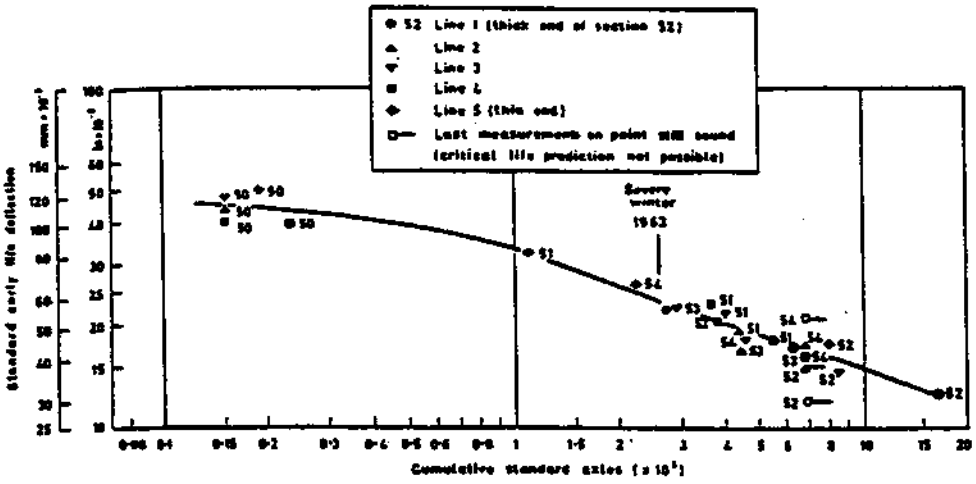
รูปที่ 5 Relationship between the Benkelmen Beam Surface Rebound Deflection and Modified Structural Number in the Brazil-UNDP Study (Ref.2)



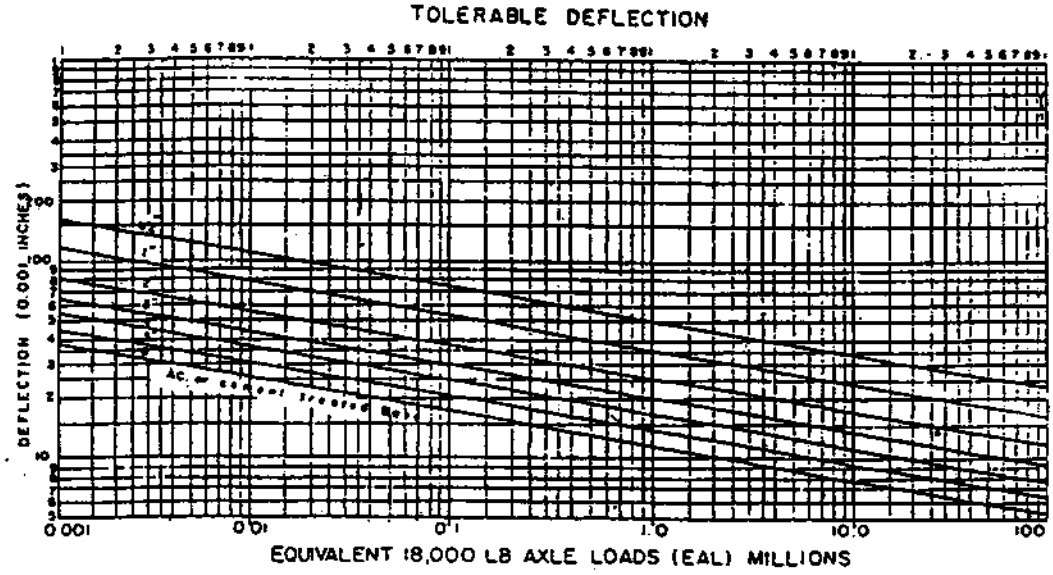
รูปที่ 6 The Relation between Deflection and Traffic up to the Oneset of Critical Pavement Conditions in Sections with Rolled Aspnalt Bases (Ref. 3)



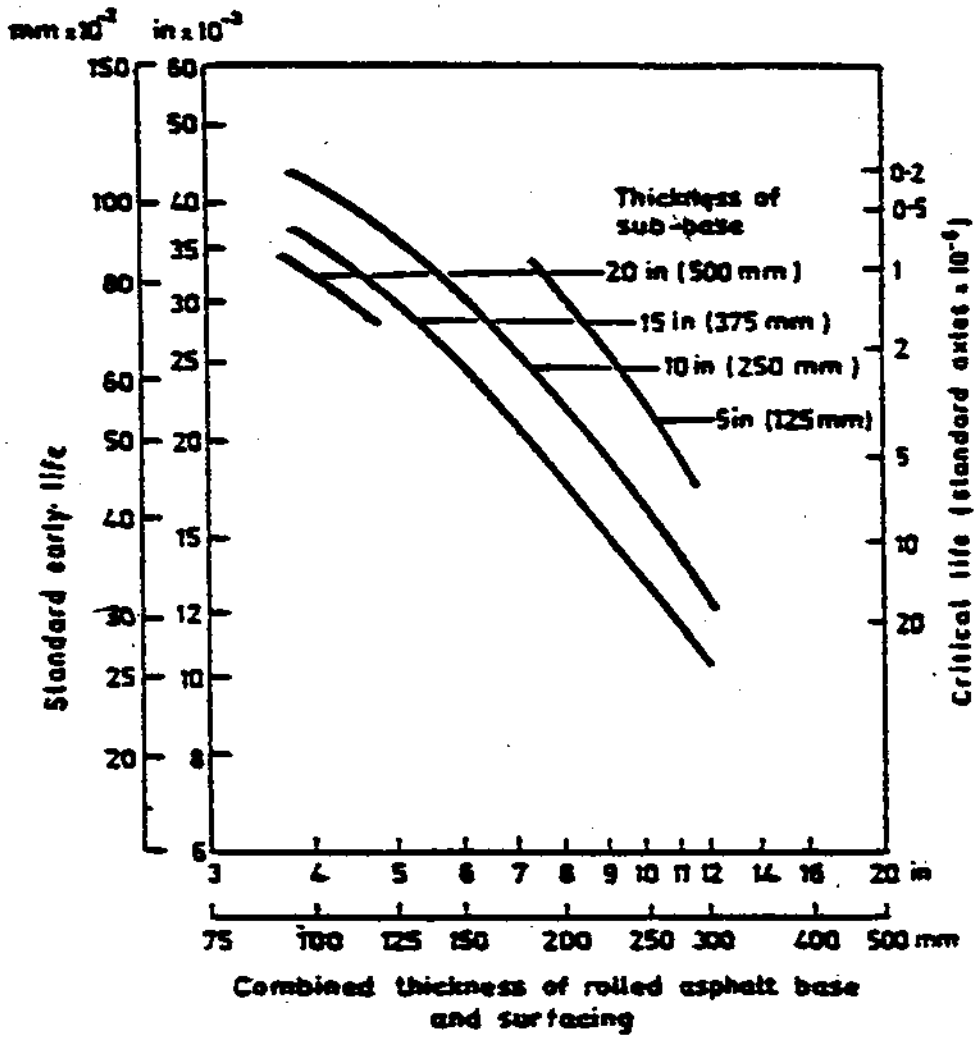
รูปที่ 7 Relation between Deflection Criteria and Cumulative Traffic for Various Types of Pavement and Subgrade (Ref. 1)



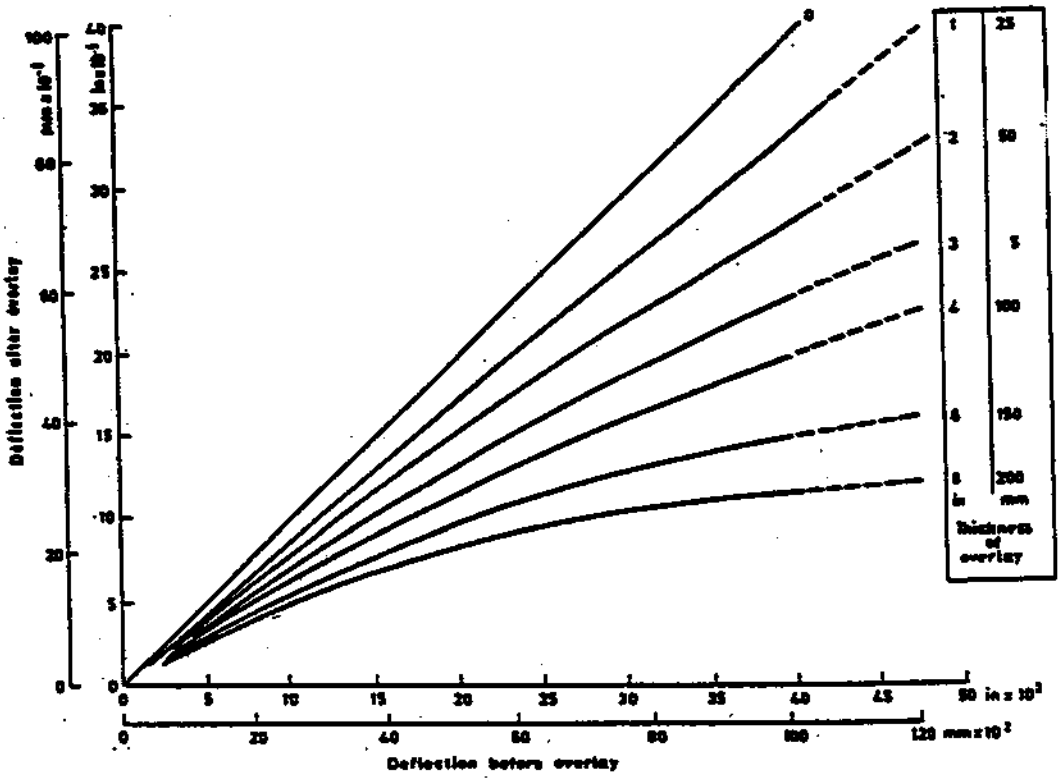
รูปที่ 8 Relation between Deflection and Critical life for Sections with Rolled Asphalt Bases at Alconbury Hill (Ref. 3)



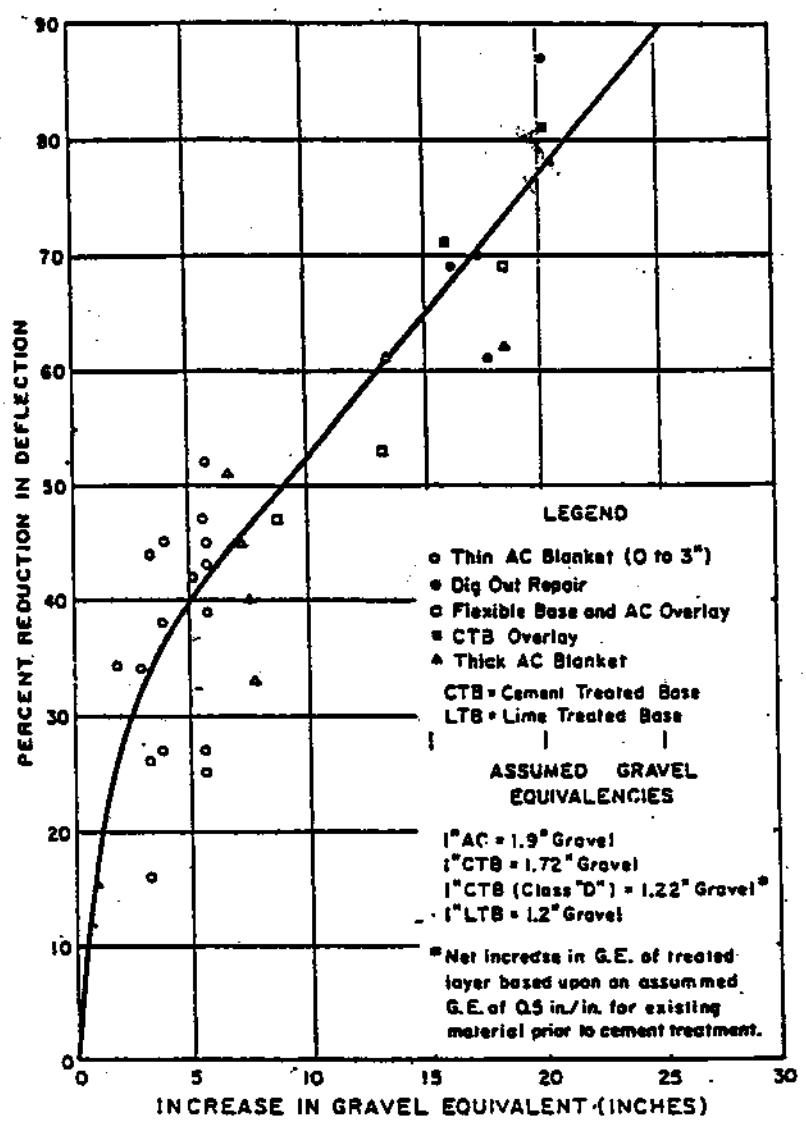
รูปที่ 9 Variation in Tolerable Deflection, based on AC Fatigue Tests (Ref. 1)



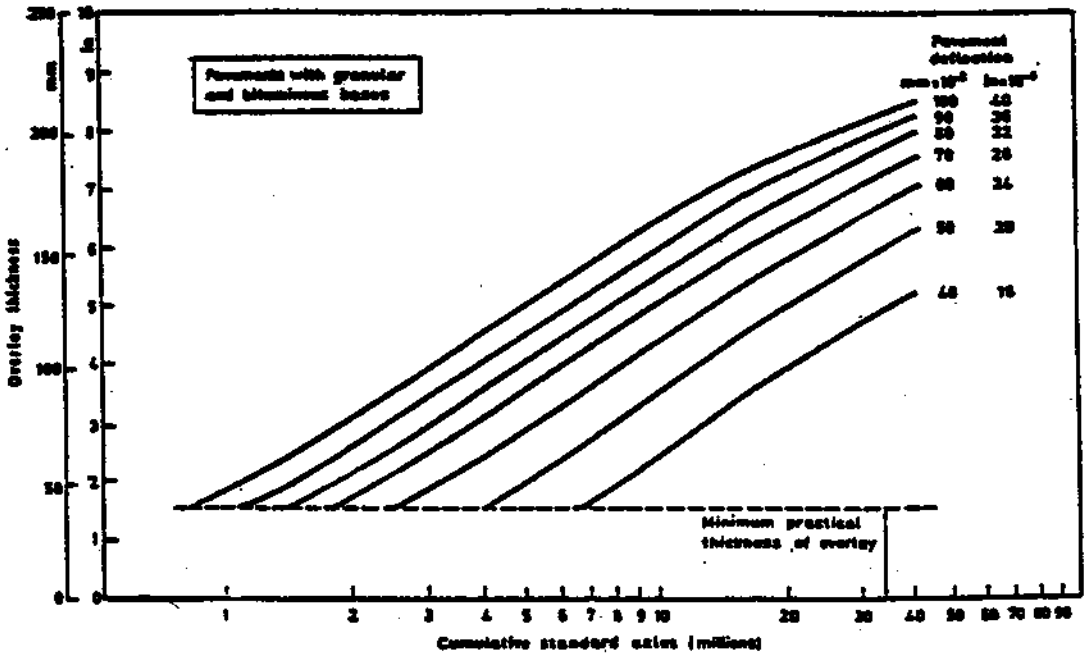
รูปที่ 10 Relation between Deflection, Critical Life and Thickness for Pavements with Rolled Aspmalt Bases (Ref. 3)



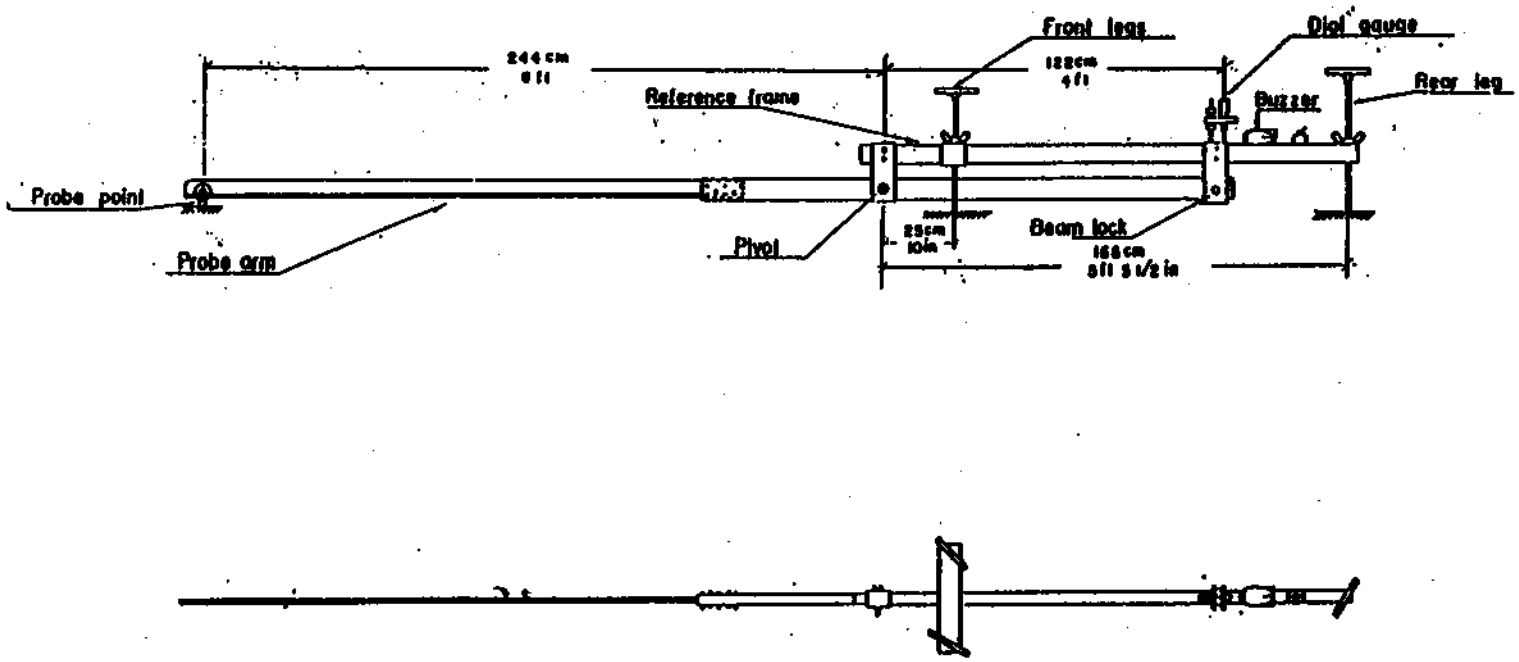
รูปที่ 11 The Reduction in Deflection achieved by Overlays of different Thickness (Ref. 3)



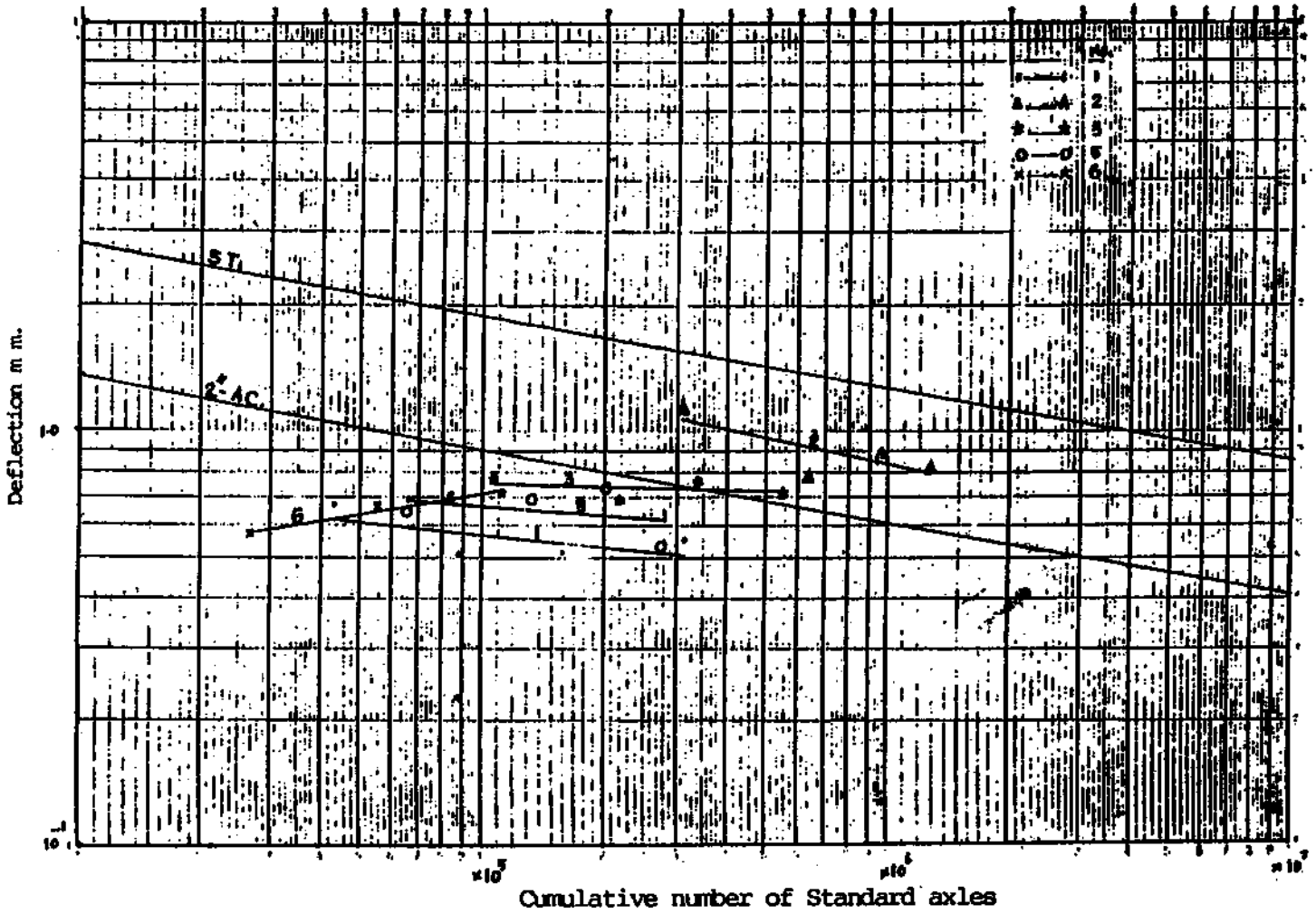
รูปที่ 12 Reduction in Deflection Resulting from Pavement Reconstruction (Ref. 1)



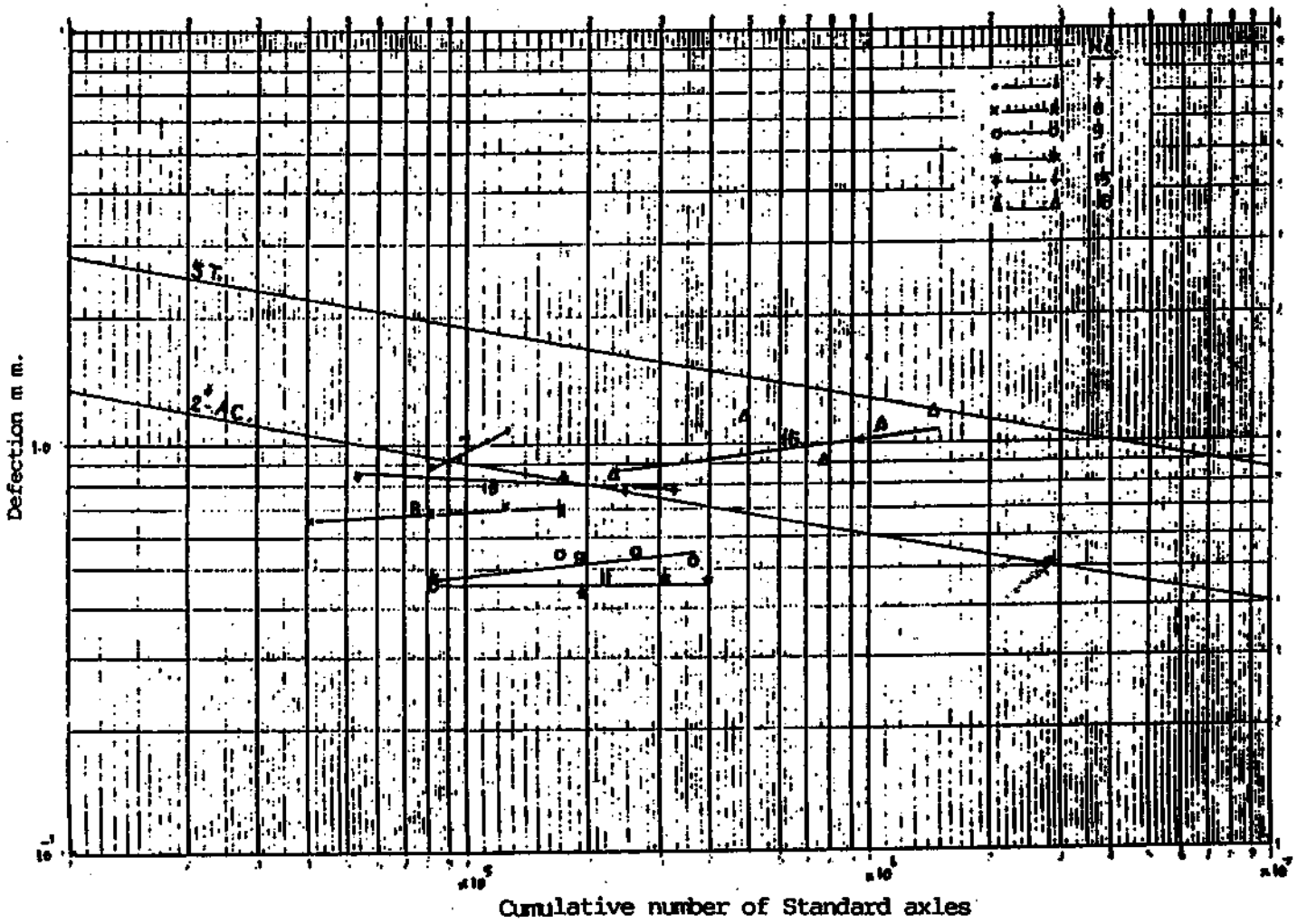
รูปที่ 13 Thickness of Overlay Required to Achieve a Given Extension of Pavement Life from a Knowledge of Pavement Deflection (Ref. 3)



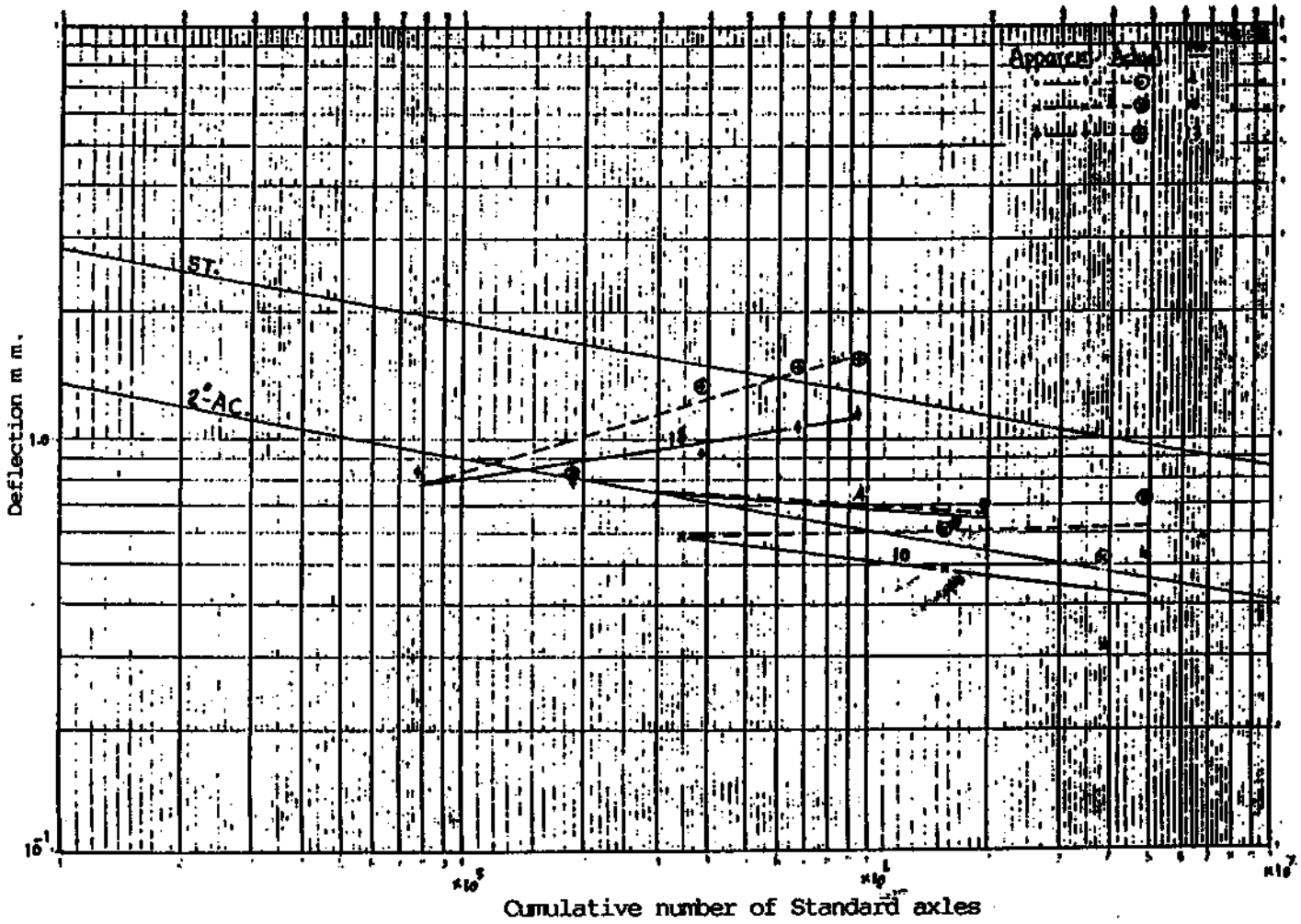
รูปที่ 14 Benkelman Beam



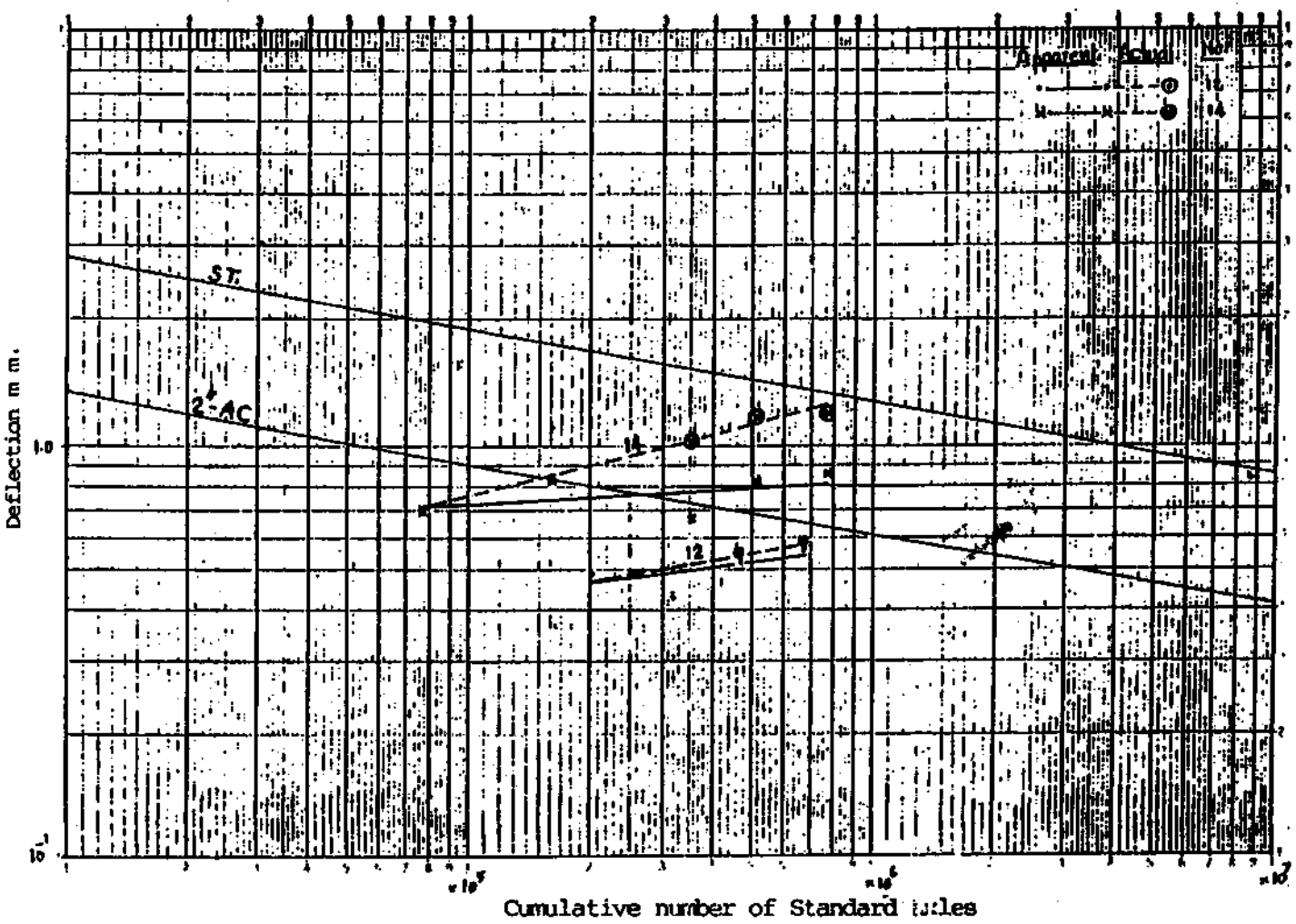
รูปที่ 15.1 Relation between Pavement Deflection and Cumulative Standard Axles of Flexible Pavement of North Region



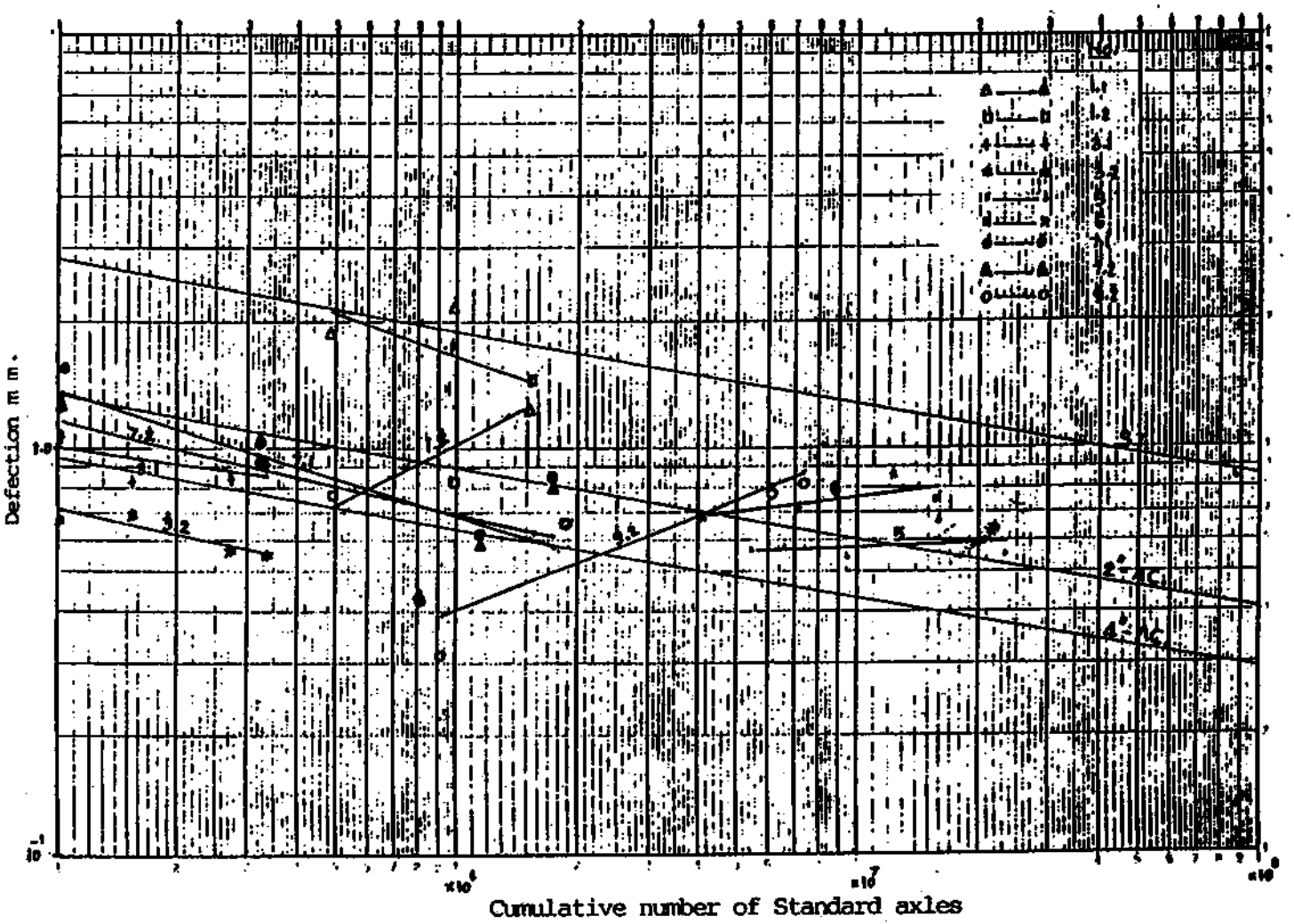
รูปที่ 15.2 Relation between Pavement Defection and Cumulative Standard Axles of Flexible Pavement of North Region



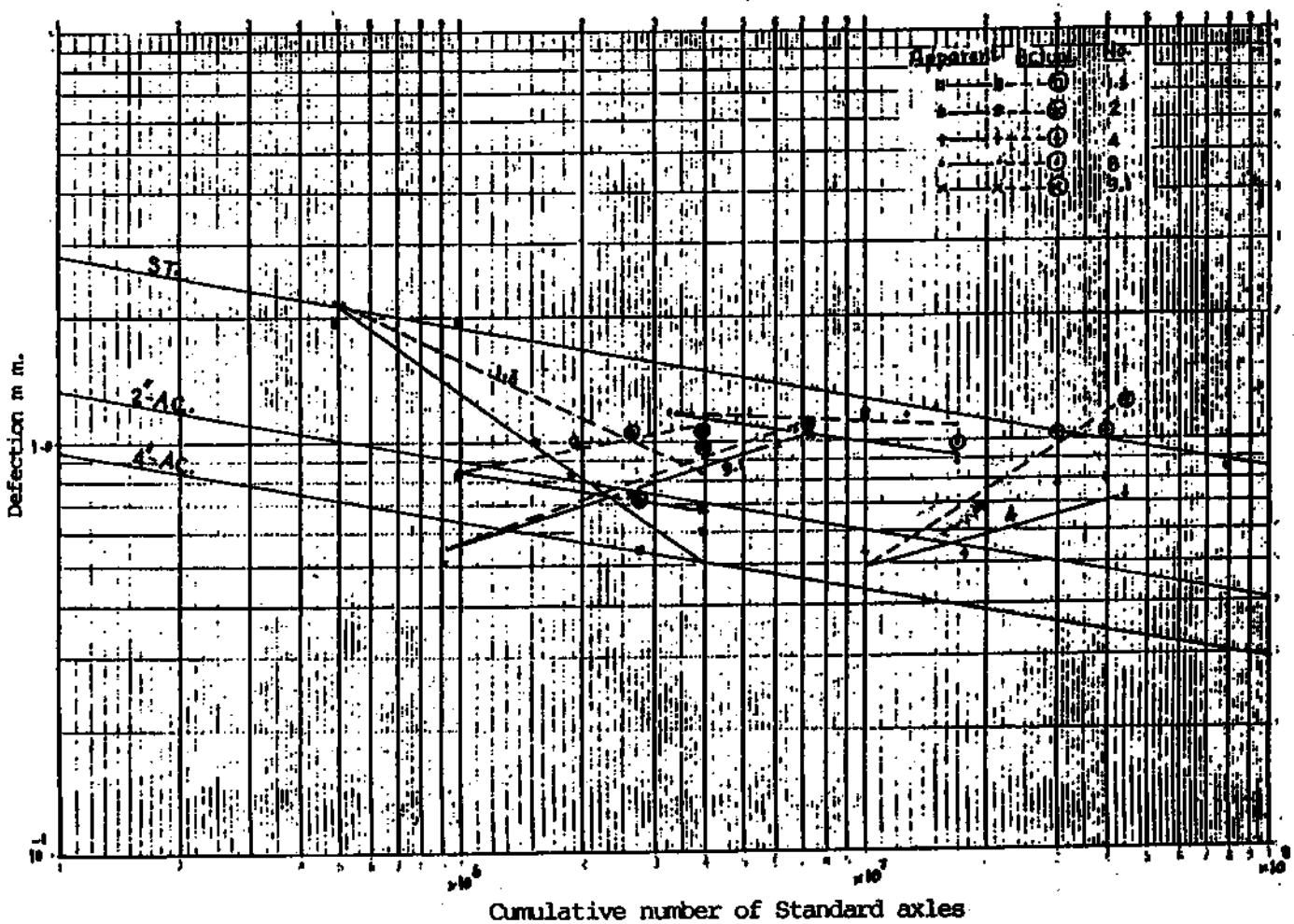
รูปที่ 15.3 Relation between Pavement Defection and Cumulative Standard Axles of Flexible Pavement of North Region



รูปที่ 15.4 Relation between Pavement Deflection and Cumulative Standard Axles of Flexible Pavement of North Region



รูปที่ 16.1 Relation between Pavement Defection and Cumulative Standard Axles of Flexible Pavement of Middle Region



รูปที่ 16.2 Relation between Pavement Defection and Cumulative Standard Axles of Flexible Pavement of Middle Region

รายงาน : รายงานวิจัย ฉบับที่ ว.พ. 146 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

ผู้เขียน : ประสิทธิ์ ภู่ประทุม

ชื่อเรื่อง : พฤติภาพการเสื่อมสภาพของถนนลาดยางบางสาย ของกรมทางหลวง

บทคัดย่อ : เป็นการนำข้อมูลค่าแอ่นตัว (Deflection) ของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) มาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจรที่กระทำบนถนน โดยนำเอาผลของการบำรุงรักษาทางของแขวงการทางมาวิเคราะห์ร่วมด้วย เพื่อหาพฤติภาพ (Performance) ของถนนเหล่านั้น ว่าจะมีลักษณะและแนวโน้มเป็นอย่างไร

จาก 16 Test Section ของถนนลาดยางในภาคเหนือพบว่า ก่อนการบำรุงทางถนนเหล่านี้ มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเสื่อมสภาพ (Deteriorating rate) ของโครงสร้าง (เดิม) สูงกว่าของถนนมาตรฐาน (ที่นำมาทดลองหา Tolerance Curve) แต่หลังการบำรุงรักษาของแขวงการทางด้วยการ Overlay แล้ว อัตราการเสื่อมสภาพของถนนเหล่านี้จะลดลงมาใกล้เคียงกับถนนมาตรฐาน

และจาก 14 Test Section ของถนนลาดยางในภาคกลางพบว่า ก่อนการบำรุงทางถนนเหล่านี้ จะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง (เดิม) ใกล้เคียงกับถนนมาตรฐาน แต่หลังการบำรุงทางจะมีอัตราการเสื่อมสภาพต่ำกว่าของถนนมาตรฐาน

ส่วนสาเหตุของการที่ถนนเหล่านี้ มีพฤติภาพหรืออัตราการเสื่อมสภาพเป็นเช่นนั้น ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจน เพราะข้อมูลที่นำมาประกอบการวิจัยมีไม่เพียงพอ

ศัพท์เฉพาะเรื่อง : พฤติภาพดัชนีโครงสร้าง ดัชนีโครงสร้างรวมรากฐาน ค่าสะสม ESA การเสื่อมล้าหรือคลาก ค่าเทียบเท่ากรวดมาตรฐาน อัตราเสื่อมสภาพ

ทล.วพ./ค. 2538 /ท

ISSN 0125-8044

Report : No. RD 145 Road Research and Development Department of Highways

Authors : Prasit Phupratum

Title : Deteriorating Performance of Some Flexible Pavement of DOH

Abstract : By taking the deflection value, traffic volume and maintenance recording of Flexible Pavement to analyse for getting their performance and trends of them.

As 16 test sections of North Region, the analysis was shown that the average deteriorating rate of the original pavement structure is higher than of the standard pavement which is used for finding the Tolerance Curve. But after they were maintained by district engineers by overlaying, those deteriorating rate was decreased approach to the deteriorating rate of standard pavement.

And as 14 test sections of Middle Region, before the maintenance, we found that the average deteriorating rate of the original pavement structure was nearly to the deteriorating rate value of standard pavement. But after the maintenance by overlaying, those value was lower than the deteriorating rate value of standard pavement.

This analysis cannot specified the causes of the feature of these deteriorating performance because of lacking of data of those pavements for the analysis.

Keywords : Performance, Structural Number, Modified Structural Number, Cumulative Standard Axial Load, Fatigue, Gravel Equivalent, Deteriorating Rate.

DH RD/P/1995/T

ISSN 0125-8044

คณะกรรมการบริหาร
ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง

1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ	ประธานกรรมการ
2. ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ	กรรมการ
3. ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง	กรรมการ
4. ผู้อำนวยการกองบำรุง	กรรมการ
5. ผู้อำนวยการกองวิศวกรรมจราจร	กรรมการ
6. ผู้อำนวยการสำนักเครื่องกลและสื่อสาร	กรรมการ
7. นายสุนทร กังวานพณิชย์	กรรมการ
8. นายอร่าม ก้อนสมบัติ	กรรมการ
9. นายธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์	กรรมการและเลขานุการ