



ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

วิธีการออกแบบถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การออกแบบโดยทดสอบการใช้งานจริงของถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อก อันประกอบด้วย

5.1 กำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบ

5.1.1 น้ำหนักบรรทุก

กำหนดให้รถขนาด HS-20 ที่มีน้ำหนักรวม 13.6 ตัน เป็นตัวทดสอบโดยเปิดให้วิ่งผ่านถนนทดสอบตามแนวร่องล้อที่กำหนดและทำเครื่องหมายไว้ เพื่อทดสอบหาค่าการทรุดตัวถาวร (Permanent deformation) ที่ร่องล้อของถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อก ต่อจำนวนปริมาณการจราจร เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

5.1.2 อิทธิพลสภาพแวดล้อม

จากหัวข้อที่ 3.2.2 ได้สรุปว่า อดทนเป็นปัจจัยมากที่สุดต่อผิวถนน คสล. และถนนลาดยาง เนื่องจากการขยายตัวและหดตัว แต่อุณหภูมิจะไม่ผลต่อถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกเลย เนื่องจากมีช่องว่างที่เป็นรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตบล็อกเพื่อการขยายตัวและหดตัวอยู่แล้ว

5.1.3 สมรรถนะการใช้งาน

หลักเกณฑ์การประเมิน มีการแอ่นตัวที่คืนตัวได้ (Deflection) และการเสีรบบถาวร (Permanent deformation) หรือการเกิดร่องล้อ (Rutting depth)

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว สำหรับถนนที่ปูแผ่นคอนกรีตบล็อกจะไม่พิจารณาการแอ่นตัวที่คืนตัวได้นิยมใช้วิธีการเสีรบบถาวรที่ร่องล้อเป็นหลักเกณฑ์การประเมิน จากการศึกษาครั้งนี้ ใช้กล่อง WILD NAK-2 ซึ่งอ่านค่าละเอียดถึง 0.0001 เมตร (0.1 มม.) เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลค่าระดับสำหรับปริมาณการจราจรที่กำหนด

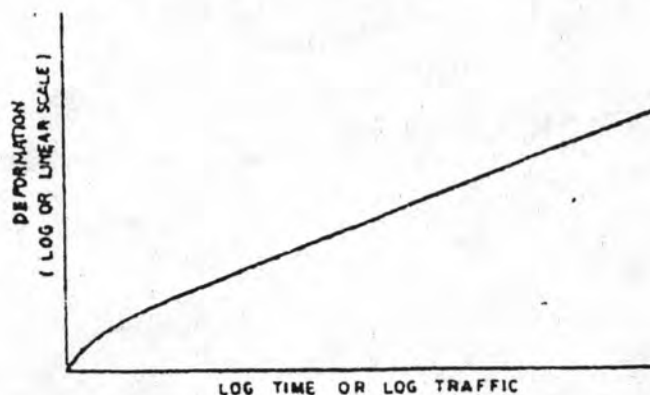
การเสีรบบถาวรสำหรับถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกในประเทศไทย เนเธอร์แลนด์ ยอมรับให้เกิดการเสีรบบหรือการเกิดร่องล้อได้ลึกถึง 25 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 35 มิลลิเมตร ดังนั้น ถนนชนบทที่ปูแผ่นคอนกรีตบล็อกในประเทศไทย กำหนดให้ร่องล้อได้ลึกไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

5.2 การวิเคราะห์ปริมาณการจราจรที่ทำให้ผิวทางเสียหาย

5.2.1 สมมติฐานการวิเคราะห์

Dr.C.R.Freeme(Head,Pavement Engineering Group,National Institute for Transport and Road Research.South Africa)ได้ทดลองและรายงาน ว่า พฤติกรรมของถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างถนน แผ่นคอนกรีตบล็อกช่วยลดความเค้นที่จะถ่ายลง ไปชั้นชั้นพื้นทางและชั้นดินชั้นทางได้ และช่วยลดความเค้นได้มากขึ้นเมื่อแผ่นคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนเกิดการเกาะตัวกันแน่น ความหนาของแผ่นคอนกรีตบล็อกไม่ควรต่ำกว่า 5 เซนติเมตร

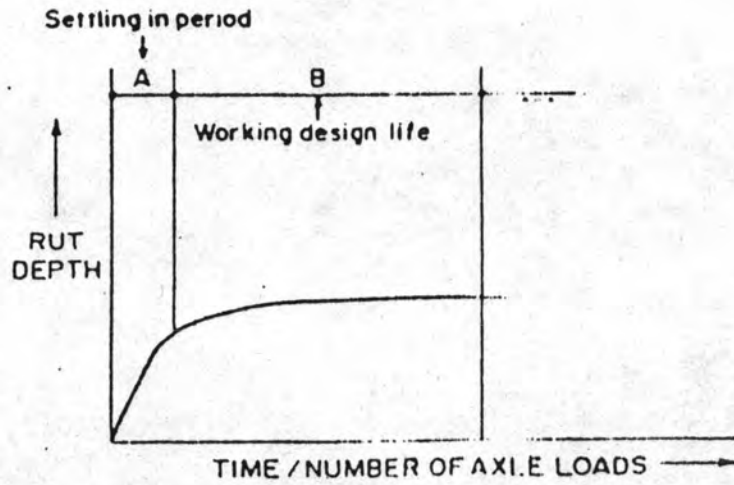
ผลการทดลองของ Dr.C.R.Freeme ชี้ให้เห็นว่า การเสียบของถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกในช่วงแรกจะมีมาก และเมื่อถึงช่วงหนึ่งจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงจุดหนึ่งการเสียบจะเกิดขึ้นน้อยมาก และมีค่าคงที่ ถ้าหากความสัมพันธ์การเสียบกับเวลาหรือปริมาณการจราจรมาพล็อตลงบนกราฟ Scale log ทั้งคู่หรือให้เวลาเป็น Scale log (ดังรูปที่ 5.1) ซึ่งแสดงว่ามีโอกาสน้อยมากที่อัตราส่วนระหว่างการเสียบกับเวลาจะกลายเป็นศูนย์ ถึงแม้ว่าอัตราส่วนดังกล่าวจะน้อยลงเมื่อเวลามากขึ้น โดยทั่วไปอัตราส่วนนี้จะคงที่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น เส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีค่าความชัน(Slope)คงที่ ค่าความชันหรืออัตราส่วนระหว่างการเสียบต่อเวลาจะมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้และสภาพแวดล้อม วัสดุที่มีคุณภาพดียอมจะให้ค่าความชันที่น้อยลง การเสียบน้อยถึงแม้เวลาผ่านไปมากก็ตาม ถ้ามีปริมาณน้ำหรือความชื้นในชั้นพื้นทางมาก ความเสียหายก็จะมากขึ้นจนอาจไม่เป็นเส้นตรงก็ได้



CONVENTIONAL PLOT OF DEFORMATION VERSUS LOGARITHMIC TIME

สำหรับผลการทดสอบของถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกในประเทศอินเดีย ได้ดำเนินการทดสอบที่ร่องล้อของถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อกได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Clifford,J.M.(A description of "interlock" and "lock up" in block pavements,1984.)(รูปที่ 5.2)การทรุดตัวจะเกิดขึ้นมากในช่วงแรก และเมื่อแผ่นคอนกรีตบล็อกเกิดการเกาะตัวกันแน่นแล้ว จะเกิดการทรุดตัวน้อยมาก มี

ค่าคงที่หรือเกือบคงที่ ได้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Dr.C.R.Freeme



- Equilibrium condition as described by Clifford (1984)

5.2.2 ผลการวิเคราะห์

จากผลการทดลองของ Dr.C.R.Freeme และการรายงานของประเทศอินเดียเรา เราสามารถ สมมติฐานได้ว่า การเสียบต่อปริมาณการจราจรมีค่าคงที่ ดังนั้นจากผลการทดสอบที่ใช้รถมาตรฐานขนาด HS-20 วิ่งผ่านถนนทดสอบแล้วเก็บข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นคอนกรีตบล็อก (ตารางที่ 4.5) เมื่อนำมา พล็อตให้การทรุดตัวเป็น Linear scale และให้จำนวนเที่ยวอยู่ในรูปของ Log scale และให้การทรุดตัว เริ่มวัดที่จำนวน 100 เที่ยว สำหรับช่วงที่บแผ่นคอนกรีตบล็อกหนา 8 และ 10 เซนติเมตร และเริ่มวัดที่ จำนวน 25 เที่ยวสำหรับความหนา 5 เซนติเมตร อีกทั้งสมมติฐานให้แผ่นคอนกรีตบล็อกเริ่มเกาะตัวกันแล้ว ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าการเสียบถาวรที่ร่องล้อ (Permanent deformation) ต่อปริมาณการจราจรมี ค่าคงที่ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการได้ ดังนี้

$$y = a + \log(x)$$

เมื่อ y = ค่าการทรุดตัว, มม.
 a = ค่าคงที่
 x = จำนวนเที่ยวที่รถวิ่งผ่าน

หลักเกณฑ์การประเมินสมรรถนะการใช้งานในข้อ 3.4.4 กำหนดให้การเสียบถาวรของผิวจราจรหรือการเกิดร่องล้อสำหรับการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้ผวถนนชนบทในประเทศไทยที่บแผ่นคอนกรีตบล็อก เกิดร่องล้อลึกได้ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

ดังนั้น ผลจากการวิเคราะห์จะได้สมการถดถอยซึ่งสามารถทำนายจำนวนปริมาณการจราจรที่ทำให้เกิดร่องล้อได้ลึกถึง 25 มิลลิเมตรตามที่กำหนด โดยแทนค่าปริมาณการจราจรในค่าของ x ที่ทำให้ค่าของ y เป็น 25 มิลลิเมตร

สมการถดถอยและค่าปริมาณการจราจรที่ทำให้เกิดความเสียหาย แสดงในตารางที่ 5.1

5.3 การวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อค

5.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.3.1.1 ปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจรที่ทำให้เกิดความเสียหายตามข้อ 5.1.2 ที่แสดงในตารางที่ 5.1 โปรดสังเกตว่ายานพาหนะที่ใช้ทดสอบเป็นรถมาตรฐานขนาด H15-44 มีน้ำหนักรวม 13.6 ตัน สามารถแปลงให้เป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน (Single axles 18,000 pounds) โดยใช้แฟคเตอร์ของ Liddle (ตารางที่ 5.2) เป็นตัวแปลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.59 ดังนั้นรถขนาด H15-44 ที่วิ่งผ่านถนนทดสอบ 1 เทียวมีค่าเท่ากับรถน้ำหนักเพลามาตรฐาน 3.59 เทียว

5.3.1.2 ข้อมูลความหนาและค่า Field CBR ของชั้นพื้นทาง รวมทั้งค่า Field CBR ของดินคันทาง

เก็บข้อมูลดังกล่าวได้จากการใช้เครื่อง DCP (Dynamic Cone Penetrometer) ที่ติดตั้งโดย TRRL (Transport and Road Research Laboratory) ข้อมูลดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.3

5.4 การสร้างแผนภูมิออกแบบ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้พัฒนาสมการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนบนแผ่นคอนกรีตบล็อค สำหรับถนนชนเขตในประเทศไทย โดยใช้สมการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Linear Regression) ดังแสดงในสมการที่ 5.1

$$\log(\text{Rep.}) = 0.044(t) + 0.133(\text{CBR}_s) + 0.032(\text{CBR}_b) + 0.025(t_i) \quad (5.1)$$

$$\text{ค่า สบส.สหสัมพันธ์ (R) = 0.83}$$

เมื่อ Rep. = จำนวนเที่ยวการวิ่งผ่านของยานทดสอบขนาด H15-44
 t = ความหนาของชั้นพothang (BASE) , เซนติเมตร
 CBR_B = ค่า Field CBR ของชั้นพothang ที่ทำได้จากเครื่อง DCP ของ TRRL
 CBR_S = ค่า Field CBR ของดินคั่นทางที่ทำได้จากเครื่อง DCP ของ TRRL
 t_i = ความหนาของแผ่นคอนกรีตบล็อก

จากสมการดังกล่าว สังเกตได้ว่าค่า Field CBR ของชั้นพothang ไม่ควรต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปกติค่าชั้นพothang ของ Double Surface Treatment ที่ได้จากค่า Soaked CBR ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ค่า Field CBR ที่ทำได้โดยเครื่องมือ DCP นั้นต้องได้ค่ามากกว่า 80 จึงจะมีความแข็งแรงพอที่จะบดแผ่นคอนกรีตบล็อกได้ ดังนั้น เมื่อให้ค่า Field CBR ของชั้นพothang มีค่าคงที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และให้แผ่นคอนกรีตบล็อกหนา 8 ซม. สมการจะเปลี่ยนเป็น

$$\log(\text{Rep.}) = 0.044(t) + 0.133(\text{CBR}_S) + 2.76 \quad (5.2)$$

สำหรับความหนาของแผ่นคอนกรีตบล็อก 8 ซม. ก็เป็นการเพียงพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุกได้ทุกขนาด เมื่อชั้นพothang มีความแข็งแรงเพียงพอ และเป็นการประหยัดมากกว่าการเลือกความหนา 10 ซม.

таблица 5.1 Equation of deformation

| Station | Equation $y=a+\log(x)$ | R | coverages at $y=25$ mm. |
|---------|------------------------|------|-------------------------|
| 00L | $9.43\log(x)-16.52$ | 0.96 | 25291 |
| 01L | $2.39\log(x)-4.36$ | 0.84 | 1000000 |
| 02L | $1.17\log(x)-2.19$ | 0.91 | 1000000 |
| 03L | $2.23\log(x)-4.43$ | 0.74 | 1000000 |
| 04L | $1.94\log(x)-3.92$ | 0.93 | 1000000 |
| 05L | $6.93\log(x)-11.63$ | 0.66 | 190000 |
| 06L | $4.92\log(x)-10.38$ | 0.45 | 1000000 |
| 07L | $4.12\log(x)-7.32$ | 0.43 | 1000000 |
| 08L | $4.97\log(x)-11.35$ | 0.51 | 1000000 |
| 09L | $4.93\log(x)-9.52$ | 0.78 | 1000000 |
| 10L | $5.76\log(x)-11.20$ | 0.97 | 1000000 |
| 11L | $20.58\log(x)-44.6$ | 0.74 | 2412 |
| 12L | $13.86\log(x)-32.26$ | 0.68 | 13531 |
| 13L | $12.19\log(x)-22.12$ | 0.66 | 7336 |
| 14L | $18.01\log(x)-38.96$ | 0.7 | 3559 |
| 15L | $46.96\log(x)-102.93$ | 0.82 | 530 |
| 16L | $38.53\log(x)-85.03$ | 0.71 | 117 |
| 17L | $37.12\log(x)-75.88$ | 0.79 | 522 |
| 18L | $19.87\log(x)-42.84$ | 0.79 | 2595 |
| 19L | $12.31\log(x)-25.82$ | 0.42 | 13439 |
| 20L | $14.76\log(x)-25.66$ | 0.53 | 2706 |
| 21L | $35.32\log(x)-76.73$ | 0.72 | 759 |
| 22L | $26.7\log(x)-6.99$ | 0.99 | 16 |
| 23L | $47.01\log(x)-75.72$ | 0.85 | 139 |
| 24L | $65.54\log(x)-96.51$ | 0.97 | 71 |
| 25L | $8.47\log(x)-11.29$ | 0.94 | 19255 |
| 26L | $10.81\log(x)-15.52$ | 0.96 | 5647 |
| 27L | $19.37\log(x)-22.55$ | 0.93 | 285 |
| 28L | $11.98\log(x)-17.43$ | 0.93 | 3481 |
| 29L | $14.98\log(x)-23.55$ | 0.84 | 1742 |
| 30L | $7.57\log(x)-10.04$ | 0.88 | 42540 |

5.1 Equation of deformation

| Station | Equation $y=a+\log(x)$ | R | coverages at |
|---------|------------------------|------|--------------|
| 00R | $9.06\log(x)-18.95$ | 0.72 | 70957 |
| 01R | $0.99\log(x)-1.68$ | 0.83 | 1000000 |
| 02R | $0.87\log(x)-0.92$ | 0.73 | 1000000 |
| 03R | $5.90\log(x)-13.25$ | 0.55 | 1000000 |
| 04R | $1.67\log(x)-3.28$ | 0.87 | 1000000 |
| 05R | $0.48\log(x)-0.43$ | 0.22 | 1000000 |
| 06R | $1.86\log(x)-3.15$ | 0.94 | 1000000 |
| 07R | $2.22\log(x)-4.42$ | 0.55 | 1000000 |
| 08R | $1.64\log(x)-6.38$ | 0.58 | 1000000 |
| 09R | $2.5\log(x)-4.47$ | 0.98 | 1000000 |
| 10R | $1.26\log(x)-1.33$ | 0.85 | 1000000 |
| 11R | $2.34\log(x)-3.77$ | 0.62 | 1000000 |
| 12R | $2.2\log(x)-4.39$ | 0.8 | 1000000 |
| 13R | $10.74\log(x)-22.09$ | 0.88 | 24241 |
| 14R | $2.00\log(x)-3.47$ | 0.21 | 1000000 |
| 15R | $4.35\log(x)-9.32$ | 0.42 | 1000000 |
| 16R | $2.88\log(x)-6.34$ | 0.65 | 1000000 |
| 17R | $3.14\log(x)-6.70$ | 0.32 | 1000000 |
| 18R | $2.83\log(x)-5.80$ | 0.45 | 1000000 |
| 19R | $3.71\log(x)-8.23$ | 0.42 | 1000000 |
| 20R | $5.97\log(x)-12.95$ | 0.39 | 1000000 |
| 21R | $11.14\log(x)-24.92$ | 0.42 | 30280 |
| 22R | $10.94\log(x)-16.01$ | 0.94 | 5606 |
| 23R | $9.12\log(x)-13.22$ | 0.93 | 15603 |
| 24R | $8.33\log(x)-12.39$ | 0.93 | 30803 |
| 25R | $24.86\log(x)-38.97$ | 0.92 | 374 |
| 26R | $30.68\log(x)-48.50$ | 0.84 | 249 |
| 27R | $19.26\log(x)-30.41$ | 0.8 | 753 |
| 28R | $19.82\log(x)-26.29$ | 0.97 | 387 |
| 29R | $9.76\log(x)-13.30$ | 0.93 | 8398 |
| 30R | $6.43\log(x)-6.03$ | 0.89 | 66960 |

ตารางที่ 5.2 Factors for converting numbers of single axles and tandem axle sets to the equivalent number of standard 3 200kg (18,000lb) axles

| Load | | Equivalence factor | |
|--------|--------|--------------------|------------------|
| kg | lb | Single axles | Tandem axle sets |
| 910 | 2 000 | 0.0002 | - |
| 1 810 | 4 000 | 0.0025 | - |
| 2 720 | 6 000 | 0.01 | 0.0009 |
| 3 630 | 8 000 | 0.04 | 0.0027 |
| 4 540 | 10 000 | 0.08 | 0.01 |
| 5 440 | 12 000 | 0.18 | 0.02 |
| 6 350 | 14 000 | 0.34 | 0.03 |
| 7 260 | 16 000 | 0.60 | 0.05 |
| 8 160 | 18 000 | 1.00 | 0.08 |
| 9 070 | 20 000 | 1.59 | 0.11 |
| 9 980 | 22 000 | 2.43 | 0.17 |
| 10 890 | 24 000 | 3.59 | 0.24 |
| 11 790 | 26 000 | 5.15 | 0.34 |
| 12 700 | 28 000 | 7.21 | 0.47 |
| 13 610 | 30 000 | 9.88 | 0.63 |
| 14 520 | 32 000 | 13.29 | 0.82 |
| 15 430 | 34 000 | 17.57 | 1.07 |
| 16 320 | 36 000 | 22.39 | 1.38 |
| 17 230 | 38 000 | 29.40 | 1.75 |
| 18 140 | 40 000 | 37.31 | 2.19 |
| 19 070 | 42 000 | 46.32 | 2.71 |
| 19 980 | 44 000 | 58.15 | 3.34 |
| 20 880 | 46 000 | 71.57 | 4.08 |
| 21 790 | 48 000 | 87.33 | 4.93 |

- Notes
1. The factors given are those derived by Liddle for flexible pavements with structural numbers between 1 and 3, taking the terminal serviceability as 2.0.
 2. A tandem axle set is defined as a pair of axles whose centres are less than 1.5m (4ft 8in) apart.
 3. The load on a tandem axle set is defined as the gross load on the two axles added together.