

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบผิวทาง
 The Development of a Computer Program for Pavement Design

ปิยชาติ ปลื้มภิรมย์นาถ
 Piyachat Pluemphiromnad

เลขที่ ๑ TE151 สบ 2543 น. 2
 Bib Key 205258
 24 S.A. 2543

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Engineering Thesis in Civil Engineering (Transportation)

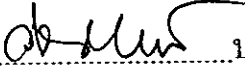
Prince of Songkla University

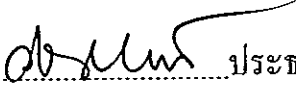
2543


ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบผิวทาง
ผู้เขียน นายปิยชาติ ปลื้มภิรมย์นาถ
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)


คณะกรรมการที่ปรึกษา

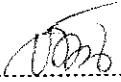
คณะกรรมการสอบ

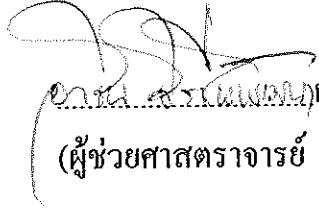
 ประธานกรรมการ
(อาจารย์วิวัฒน์ สุทธิวิภากร)

 ประธานกรรมการ
(อาจารย์วิวัฒน์ สุทธิวิภากร)


 กรรมการ
(ดร.ศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล)

 กรรมการ
(ดร.ศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล)

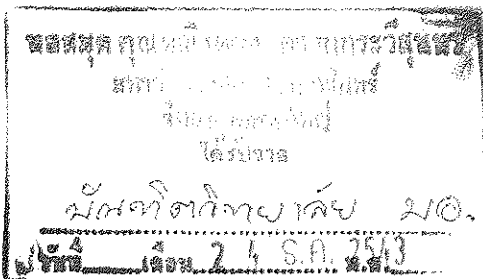
 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ โชติภักไกร)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจिन จิรชีพพัฒนา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิติ ทฤษฎีคุณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบผิวทาง
ผู้เขียน	นายปิยชาติ ปลื้มภิมย์นาฏ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบผิวทางนี้ สามารถใช้สำหรับออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ผิวทางแบบลาดยาง และคอนกรีต โดยจะใช้การออกแบบในแนวทางอาศัยประสบการณ์และการทดสอบ (Empirical Design Methods) ตามวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute (TAI), The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Transportation Research Laboratory (TRL) และ Portland Cement Association (PCA) การพัฒนาโปรแกรมได้เลือกใช้ Microsoft Visual Basic (Version 5) เป็นเครื่องมือในการพัฒนา เนื่องจากสามารถใช้พัฒนาโปรแกรมแบบ Graphical User Interface ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดสอบโปรแกรม พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับการคำนวณโดยวิธีปกติ แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า สะดวกสบายกว่า และทำให้สามารถเปรียบเทียบ ผลลัพธ์การคำนวณหลายรูปแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Thesis Title	The Development of a Computer Program for Pavement Design
Author	Mr. Piyachat Pluemphiromnad
Major Program	Civil Engineering (Transportation)
Academic Year	2000

Abstract

A computer program for pavement design is developed to assist designing thicknesses of pavement structure. The software can be used for both flexible and rigid pavements and employs four empirical design methods according to The Asphalt Institute (TAI), The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Transportation Research Laboratory (TRL), and Portland Cement Association (PCA). Microsoft Visual Basic (Version 5) has been chosen as a programming tool because of its ease of use in developing graphical user interface.

Results obtained from the program agree with those of manual computing but required less time and are more convenient. Comparisons made available among different design methods can also be made effectively.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณณาจารย์ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณบุคคลต่อไปนี้เป็นพิเศษ

อาจารย์วิวัฒน์ สุทธิวิภากร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นผู้ให้คำแนะนำ ตั้งสอน และตรวจแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี ตลอดจนให้การอบรมจริยาตามแต่โอกาสจะอำนวย

ดร.ศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้สอนให้ผู้เขียนรู้จักการใช้โปรแกรม Visual Basic ตลอดจนให้คำแนะนำและตรวจสอบ จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงด้วยดี

นายช่างนิพนธ์ เมธเศรษฐ์ วิศวกรโยธา 8 กองบำรุง กรมทางหลวง ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชาชั้นต้นที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน ในช่วงที่ได้รับสิทธิ์ลาศึกษาต่อเป็นเวลา 2 ปี และนายช่างสิทธิชัย อังคทะวานิช ผู้บังคับบัญชาชั้นต้นที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

คุณแม่ ครอบครัว และเพื่อน ๆ ทุกคน ซึ่งทำให้ผู้เขียนมีกำลังใจเต็มที่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ปิยชาติ ปลื้มภิรมย์นาฏ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(12)
คำย่อและสัญลักษณ์.....	(18)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 วิธีการดำเนินการ.....	4
1.5 ประโยชน์ของการศึกษา.....	5
2 ชนิดของผิวทางและการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง.....	6
2.1 ชนิดของผิวทาง.....	6
2.2 แนวทางของการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง.....	8
2.3 ขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง.....	9
2.4 วิธีในการออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง.....	11
2.5 การหาความเค้นที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย.....	11
3 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบผิวทาง.....	12
3.1 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมผิวทางแบบลาดยาง.....	13
3.2 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมผิวทางแบบคอนกรีต.....	35

3.3	ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการหาความเค้นที่เกิด ในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเคี้ยว.....	52
4	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบกับวิธีปกติ.....	57
4.1	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบลาดยาง โดยวิธีของ The Asphalt Institute.....	58
4.2	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบลาดยาง โดยวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31).....	63
4.3	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบลาดยาง โดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials.....	65
4.4	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธีของ Portland Cement Association.....	71
4.5	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29).....	76
4.6	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials.....	79
4.7	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบการหาความเค้นที่เกิด ในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเคี้ยว.....	84
5	บทสรุปเกี่ยวกับโปรแกรม.....	88
5.1	ประสิทธิภาพของโปรแกรม.....	88
5.2	การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโปรแกรมในแต่ละชนิดผิวทาง.....	90
5.3	ข้อจำกัดของโปรแกรม.....	93
5.4	ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาโปรแกรม.....	94
	บรรณานุกรม.....	95

ภาคผนวก.....	97
ก การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมการจราจร.....	98
ข การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ.....	107
ค การออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง.....	111
ง การหาความเค้นที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย.....	168
จ การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์.....	177
ประวัติผู้เขียน.....	210

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TAI.....	58
4.2 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TAI	62
4.3 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 31).....	63
4.4 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL (Road Note 31).....	64
4.5 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO	65
4.6 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี AASHTO.....	70
4.7 การกระจายน้ำหนักของรถบรรทุก.....	72
4.8 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทาง คอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี PCA.....	73
4.9 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทาง คอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 29).....	77
4.10 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้ โปรแกรมตามวิธี AASHTO.....	80
5.1 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมออกแบบทั้ง 3 วิธี	90
5.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นทางของผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรม ทั้ง 3 วิธี.....	91
5.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตาม วิธี TRL (Road Note 29) และ AASHTO.....	93
ก.1 ข้อมูลของการจราจรในส่วนของรถบรรทุกหนัก.....	100
ก.2 ตัวอย่างการคำนวณหา Equivalent Single Axle Load จากข้อมูลของ การจราจรในส่วนของรถบรรทุกหนัก.....	101

ตาราง	หน้า
ก.3 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของกรมทางหลวง.....	103
ก.4 ค่าตัวคูณใช้เปรียบเทียบหาจำนวนเพลลาเดี่ยวมาตรฐาน ของ JICA.....	105
ก.5 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย คอนกรีต- สระบุรี.....	105
ก.6 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย ปากช่อง-ขอนแก่น.....	106
ก.7 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย ลำปาง-ลำพูน.....	106
ข.1 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของค่า CBR ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า.....	109
ค.1 เปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกหนักที่เล่นในช่องจราจรที่ออกแบบ.....	114
ค.2 ค่าความหนาต่ำสุดของค่า T_A ที่ The Asphalt Institute กำหนด.....	119
ค.3 การจำแนกค่าต่าง ๆ ของวัสดุที่มีคุณภาพต่ำหรือสูง.....	119
ค.4 ค่าของแฟกเตอร์ทางภูมิภาค.....	126
ค.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทาง.....	127
ค.6 อัตราส่วนของความเค้นกับจำนวนเที่ยวที่ยอมให้ของน้ำหนักรถที่กระทำ ซ้ำ ๆ	139
ค.7 อัตราการเพิ่มต่อปีของปริมาณการจราจรและแฟกเตอร์ปรับแก้.....	140
ค.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR และ K ของดินประเภทต่าง ๆ.....	143
ค.9 ปริมาณรถบรรทุกต่อวัน ต่อทิศทางในถนนประเภทต่าง ๆ บริเวณที่พัก อาศัย และพื้นที่ใกล้เคียง.....	151
ค.10 ค่าตัวคูณใช้เปรียบเทียบเปลี่ยนจำนวนรถบรรทุกให้เป็นจำนวนเพลลา มาตรฐาน 18,000 ปอนด์.....	151
ค.11 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กยึดของผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	161
ค.12 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กเคี้ยวของผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	162

ตาราง	หน้า
ค.13 ความหนาต่ำสุดของชั้นรองพื้นทาง กำหนดตามประเภทของดินคันทาง ตามวิธี TRL (Road Note 29).....	162
ค.14 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กเดือยของผิวทางคอนกรีตตาม วิธี AASHTO.....	164
ค.15 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กยึดของผิวทางคอนกรีตตาม วิธี AASHTO.....	167
ง.1 ขนาดของเหล็กเดือยสำหรับถนนคอนกรีตที่ ACI แนะนำให้ใช้.....	176
จ.1 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ CBR ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า.....	179
จ.2 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TAI	180
จ.3 การคำนวณปริมาณรถบรรทุกหนักให้เป็นจำนวนเพลาคือมาตรฐาน.....	183
จ.4 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL (Road Note 31).....	184
จ.5 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี AASHTO.....	187
จ.6 การประเมินความล้าของแผ่นพื้นคอนกรีต.....	193
จ.7 สรุปรูป ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิว ทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี PCA.....	195
จ.8 การคำนวณปริมาณรถบรรทุกหนักให้เป็นจำนวนเพลาคือมาตรฐาน.....	196
จ.9 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL (Road Note 29).....	197
จ.10 สรุปรูป ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของ ผิวทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL (Road Note 29).....	199
จ.11 สรุปรูป ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิว ทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี AASHTO.....	206

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 รูปตัดโครงสร้างทางผิวทางแบบลาดยางและคอนกรีต.....	7
2.2 ขั้นตอนการออกแบบโดยอาศัยประสบการณ์และการทดสอบ.....	10
3.1 แผนภูมิของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอเพื่อใช้ในการออกแบบผิวทางและการหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย.....	12
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TAI.....	15
3.3 เริ่มต้นโปรแกรม.....	16
3.4 เมนูชนิดและวิธีการออกแบบ.....	17
3.5 การเลือกจำนวนช่องจราจรที่ต้องการออกแบบของผิวทางลาดยางตามวิธี TAI.....	18
3.6 การป้อนค่า CBR และเลือกค่าที่ต้องการใช้ในการออกแบบ.....	19
3.7 การป้อนค่าปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน.....	20
3.8 การป้อนข้อมูลในส่วนต่าง ๆ และกำหนดค่า Sr ของการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TAI.....	21
3.9 การกำหนดโครงสร้างชั้นทางและกำหนดค่า Sr ในกรณีที่ใช้ใส่ความหนาเองของผิวทางลาดยางตามวิธี TAI.....	22
3.10 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31).....	24
3.11 การป้อนค่าปริมาณรถบรรทุกทุกหนักในปีแรกที่เปิดใช้งาน.....	25
3.12 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31).....	26
3.13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO.....	29

ภาพประกอบ	หน้า
3.14 การกำหนดแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการ ของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO.....	30
3.15 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Soil Support Value (S) ของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO.....	31
3.16 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO.....	32
3.17 การหาค่า Structural Number (SN) สำหรับ Pt = 2.0 ของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO.....	33
3.18 การหาค่า Structural Number (SN) สำหรับ Pt = 2.5 ของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO.....	34
3.19 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA.....	37
3.20 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Modulus of Subgrade Reaction (K)...	38
3.21 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA..	39
3.22 การหาค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักเพลลา (เพลลาเดี่ยว) ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA.....	40
3.23 การหาค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักเพลลา (เพลลาคู่) ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA.....	41
3.24 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	43
3.25 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	44
3.26 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO.....	47
3.27 การกำหนดแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการของผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO.....	48

ภาพประกอบ	หน้า
3.28 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO.....	49
3.29 การหาความหนาแน่นพื้นคอนกรีต สำหรับ $P_t = 2.0$ ของผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO.....	50
3.30 การหาความหนาแน่นพื้นคอนกรีต สำหรับ $P_t = 2.5$ ของผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO.....	51
3.31 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาค่าความเค้น ที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือยของล้อยืดและล้อคู่.....	54
3.32 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ในการคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย (ล้อยืด).....	55
3.33 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ในการคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย (ล้อคู่).....	56
4.1 ผลการคำนวณค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์จากโปรแกรม.....	59
4.2 ผลการคำนวณค่า T_A และโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี TAI (ใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างชั้นทาง).....	60
4.3 ผลการคำนวณค่า T_A และโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี TAI (ผู้ออกแบบกำหนดโครงสร้างและความหนาชั้นทางเอง).....	61
4.4 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 31).....	64
4.5 การแปลงค่า CBR เป็นค่า Soil Support Value จากโปรแกรม.....	66
4.6 ตัวเลขโครงสร้างทางที่หาได้จากโปรแกรม.....	67
4.7 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO (ใช้โปรแกรมออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง).....	68
4.8 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO (ผู้ออกแบบกำหนดโครงสร้างและความหนาชั้นทางเอง).....	69
4.9 การประเมินความถ่วงของแผ่นพื้นคอนกรีตจากการใช้โปรแกรม.....	74

ภาพประกอบ	หน้า
4.10 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีต และรายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี PCA.....	75
4.11 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีต และรายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 29).....	78
4.12 ค่า Modulus of Subgrade Reaction ที่หาได้จากโปรแกรม.....	81
4.13 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO.....	82
4.14 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีต และรายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO.....	83
4.15 Effective Dowel เนื่องจากน้ำหนักล้อทั้ง 4 ล้อ จากการใช้โปรแกรม.....	86
4.16 การหาน้ำหนักที่เหล็กเคียวแต่ละเส้นรับ การแอ่นตัวตรงรอยต่อ และ Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเคียวจากการใช้โปรแกรม.....	87
ก.1 Load Equivalency Factors สำหรับใช้กำหนดหาน้ำหนักเพลามาตรฐาน	99
ข.1 กราฟหาค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทม์.....	110
ค.1 แผนภูมิใช้หาค่าปริมาณจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน (ITN).....	115
ค.2 แผนภูมิใช้หาค่าปรับแก้ ITN ที่มีปริมาณต่ำกว่า 10.....	116
ค.3 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของชั้นทาง (T_A).....	118
ค.4 จำนวนรถบรรทุกที่จะมาใช้ถนนในช่วงอายุการใช้งานสำหรับ ADT ของรถบรรทุก 100 คันต่อวัน ในปีแรกที่เปิดถนน.....	123
ค.5 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของ รองพื้นทาง พื้นทาง และผิวทางของผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31).....	124
ค.6 แผนภูมิสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทาง.....	128
ค.7 แผนภูมิสำหรับหาค่า SN สำหรับ $P_t = 2.0$	130
ค.8 แผนภูมิสำหรับหาค่า SN สำหรับ $P_t = 2.5$	131
ค.9 กรรมวิธีการตรวจสอบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง.....	133
ค.10 แผนภูมิสำหรับเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน.....	134
ค.11 แผนภูมิการออกแบบชนิดเพลาคีว.....	137

ภาพประกอบ	หน้า
ค.12 แผนภูมิการออกแบบชนิดเพลาคู่.....	138
ค.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง K, CBR และ R ของดินประเภทต่าง ๆ.....	142
ค.14 รายละเอียดรอยต่อประเภทต่าง ๆ ของถนนคอนกรีต.....	146
ค.15 ตำแหน่งของรอยต่อและการเสริมเหล็กประเภทต่าง ๆ.....	147
ค.16 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจรรถแล่น ซ้ำ และอายุการใช้งาน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร 3% ต่อปี.....	153
ค.17 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจรรถแล่น ซ้ำ และอายุการใช้งานเมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร 4% ต่อปี.....	154
ค.18 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจรรถแล่น ซ้ำ และอายุการใช้งานเมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร 5% ต่อปี.....	155
ค.19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจรรถแล่น ซ้ำ และอายุการใช้งานเมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร 6% ต่อปี.....	156
ค.20 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในแต่ละทิศทางบน ช่องจราจรที่อยู่ติดกับช่องจราจรรถแล่นซ้ำ และอายุการใช้งานเมื่อมีอัตรา การเพิ่มของการจราจร 4% ต่อปีในบริเวณที่หักอาศัยและพื้นที่ใกล้เคียง	157
ค.21 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	158
ค.22 แผนภูมิใช้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมในแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	159
ค.23 แผนภูมิใช้กำหนดระยะห่างของรอยต่อในแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29).....	160
ค.24 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี AASHTO สำหรับ $P_t = 2.0$	165
ค.25 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี AASHTO สำหรับ $P_t = 2.5$	166

ประกอบ	หน้า
จ.1 ลักษณะการรับแรงของเหล็กเคียวจากการวิเคราะห์ของ Timoshenko.....	169
จ.2 แรงที่เกิดในเหล็กเคียวจากการวิเคราะห์ของ Bradbury.....	173
จ.3 แรงที่เกิดในกลุ่มเหล็กเคียว.....	175
จ.1 การหาค่าปริมาณจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน (ITN) จากแผนภูมิ.....	178
จ.2 การหาค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์จากกราฟ.....	181
จ.3 การกำหนดความหนาของชั้นทาง (T_A) ผิวทางลาดยางจากแผนภูมิตาม วิธี TAI.....	182
จ.4 การกำหนดความหนาโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากแผนภูมิตาม วิธี TRL (Road Note 31).....	185
จ.5 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Soil Support Value.....	188
จ.6 การหาค่า Structural Number จากแผนภูมิ สำหรับ $P_t = 2$	189
จ.7 การหาค่าความเค้นเนื่องจากน้ำหนักล้อรถชนิดเพลลาเดี่ยว.....	191
จ.8 การหาค่าความเค้นเนื่องจากน้ำหนักล้อรถชนิดเพลลาคู่.....	192
จ.9 การหาความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากแผนภูมิตามวิธี TRL (Road Note 29).....	198
จ.10 การหาปริมาณเหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าวจากแผนภูมิตามวิธี TRL (Road Note 29).....	200
จ.11 การหาระยะห่างของรอยต่อจากแผนภูมิตามวิธี TRL (Road Note 29).....	201
จ.12 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Modulus of Subgrade Reaction.....	203
จ.13 การหาความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากแผนภูมิตามวิธี AASHTO สำหรับ $P_t = 2.5$	204
จ.14 Effective Dowel เนื่องจากน้ำหนักล้อทั้ง 4 ล้อ จากการคำนวณปกติ.....	209

ตัวย่อและสัญลักษณ์

GUI	=	Graphical User Interface
TAI	=	The Asphalt Institute
TRL	=	Transportation Research Laboratory เดิมคือ Transport and Road Research Laboratory (TRRL)
AASHTO	=	The American Association of State Highway and Transportation Officials
PCA	=	Portland Cement Association
CBR	=	California Bearing Ratio
DTN	=	Design Traffic Number
IDT	=	Initial Daily Traffic
ITN	=	Initial Traffic Number
EAL	=	Equivalent Axle Load
T_A , TA	=	Design Thickness
Sr	=	Substitution Ratio
Pt	=	Terminal Serviceability
R	=	Regional Factor
S	=	Soil Support Value
SN	=	Structural Number
K	=	Modulus of Subgrade Reaction, Modulus of Dowel Support
R	=	Resistance Value
MR	=	Modulus of Rupture
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
f	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
f_s	=	หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้
L_t	=	ความยาวของเหล็กยึด

Σ_0	=	เส้นรอบวงของเหล็กยึด
u	=	ค่าแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีต
β	=	Relative Stiffness ของเหล็กเดือย
b, \varnothing	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก
E	=	โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเดือย
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของเหล็กเดือย
M_0	=	โมเมนต์คัดของเหล็กเดือยที่ปลายแผ่นพื้นคอนกรีต
σ	=	Bearing Stress
l	=	Radius of Relative Stiffness
μ	=	อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการศึกษา

ในการออกแบบก่อสร้างทางวิศวกรรมการทาง การออกแบบผิวทางของถนนเป็นส่วนจำเป็นมากส่วนหนึ่ง ที่หน่วยงานที่มีหน้าที่ที่จะต้องออกแบบก่อสร้าง และบำรุงรักษา จะต้องคำนึงถึงควบคู่กับการออกแบบทางด้านเรขาคณิต การออกแบบงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กต่าง ๆ เช่น สะพาน ท่อเหลี่ยม และการออกแบบทางด้านวิศวกรรมการจราจร ฯลฯ หากการออกแบบผิวทางไม่เหมาะสมหรือไม่ถูกต้องก็จะทำให้ถนนนั้นมีอายุการใช้งานที่สั้นลงกว่าที่ควรจะเป็น ถ้าถนนมีความมั่นคงแข็งแรงไม่ชำรุดทรุดโทรมมีสภาพที่ดีเป็นระยะเวลานานตามที่ได้ออกแบบไว้ ก็จะส่งผลทำให้การจราจรเป็นไปอย่างคล่องตัว สะดวกสบาย รวดเร็ว ปลอดภัย และประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนและงบประมาณของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

การออกแบบผิวทางที่ดียังมีผลต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศชาติมากมาย มหาศาล ซึ่งจะทำให้การคมนาคมและการขนส่งสินค้าไปมาระหว่างเมืองเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายในการขนส่งถูกลง ทำให้ประเทศชาติเจริญก้าวหน้า พัฒนาอย่างรวดเร็ว และยังเป็นการประหยัดงบประมาณประจำปีของประเทศในการก่อสร้างใหม่หรือบำรุงรักษาถนนก่อนเวลาอันควร

ปัจจุบัน ประเทศไทยอยู่ในช่วงที่กำลังพัฒนาประเทศ การออกแบบ ก่อสร้าง และการบูรณะปรับปรุงถนนให้มีประสิทธิภาพดีใช้งานได้ตลอดทุกฤดูกาลจึงเป็นส่วนที่สำคัญมาก แต่ในขณะเดียวกันหน่วยงานภาครัฐต่าง ๆ ที่รับผิดชอบเกี่ยวข้องกับการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาถนน ยังใช้การคำนวณออกแบบด้วยวิธีปกติเสียเป็นส่วนใหญ่ หรือแม้แต่บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา ที่กรมทางหลวงว่าจ้างให้ทำการออกแบบ ก็ยังใช้วิธีการออกแบบโดยวิธีปกติ เช่น การออกแบบผิวทาง ของทางหลวงหมายเลข 107 ตอน เลียงเมือง อ.ฝาง ระยะทางยาว 10.0 กิโลเมตร ซึ่งออกแบบโดย

- THAI ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.
- SOUTHEAST ASIA TECHNOLOGY CO., LTD. และ
- NATIONAL ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.¹

ดังนั้น การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผิวทาง จึงอาจช่วยให้บุคลากรที่มีหน้าที่ในการออกแบบผิวทาง สามารถทำการออกแบบได้อย่างสะดวก ถูกต้องแม่นยำ และประหยัดเวลาในการออกแบบได้ ซึ่งแต่เดิมขั้นตอนของการออกแบบจะเริ่มตั้งแต่ การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร การหากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมที่ใช้ในการออกแบบ และการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งจะต้องเสียเวลาและไม่สะดวกสบายในการคำนวณ

ปัจจุบัน ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อย่างเช่น Microsoft Visual Basic เป็นรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่เป็นกราฟิกัลยูเซอร์อินเทอร์เฟซ (Graphical User Interface หรือ GUI) โดยโปรแกรมประยุกต์ที่สร้างขึ้นมานั้น ผู้ใช้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานแบบกราฟิก ทำให้สามารถเรียนรู้และใช้โปรแกรมประยุกต์ได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก แทนการต้องเรียนรู้การพิมพ์คำสั่งต่าง ๆ กล่าวคือผู้ใช้สามารถเลือก ตัวเลือกหรือคำสั่งจาก “เมนู” ด้วยการคลิกเมาส์และเมื่อโปรแกรมต้องการสารสนเทศหรือการตัดสินใจจากผู้ใช้ก็จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ขึ้นมาช่วยเตือนหรือช่วยให้ผู้ใช้เลือกใช้ได้ตามต้องการ โปรแกรม Microsoft Visual Basic จึงถูกเลือกใช้สำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้

¹ ทางหลวง, กรม. ม.ป.พ. Pavement Design for Highway NO.107 By-Pass A. Fang (10.0 Kms.). กรุงเทพฯ.

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบัน การออกแบบผิวทางของหน่วยงานต่าง ๆ อาทิ เช่น กรมทางหลวง กรมโยธาธิการ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท เทศบาล องค์การบริหารส่วนจังหวัด ฯลฯ โดยทั่วไปยังใช้การออกแบบโดยวิธีปกติ แต่ละหน่วยงานส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานการออกแบบคล้ายคลึงกับมาตรฐานการออกแบบของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานด้านถนนของประเทศ การทำวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลักดังต่อไปนี้คือ

1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบผิวทางของถนนแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือผิวทางแบบลาดยาง และผิวทางแบบแข็งเกร็ง (Rigid Pavement) หรือผิวทางแบบคอนกรีต (Concrete Pavement) ตามวิธีที่กรมทางหลวงใช้ในการออกแบบและวิธีของประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย

1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการหาความเค้นที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย (Dowel) หรือนำมาใช้ในการออกแบบเหล็กเดือยได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการออกแบบผิวทางนี้มีวิธีการออกแบบอยู่มากมายหลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบหรือว่าหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบจะเลือกใช้วิธีไหน โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้จะใช้วิธีการออกแบบที่กรมทางหลวงใช้ในการออกแบบ และวิธีอื่นซึ่งเป็นที่นิยม โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะกำหนดขอบเขตของการศึกษาไว้ดังนี้

1.3.1 โปรแกรมการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง จะออกแบบตามวิธีดังต่อไปนี้คือ

1.3.1.1 The Asphalt Institute (TAI) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่กรมทางหลวงใช้ในการออกแบบถนนลาดยางในปัจจุบัน (1970)

1.3.1.2 Transportation Research Laboratory (TRL) Road Note 31

1.3.1.3 The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1972

1.3.2 โปรแกรมการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต จะออกแบบตามวิธีดังต่อไปนี้คือ

1.3.2.1 Portland Cement Association (PCA) 1966

1.3.2.2 Transportation Research Laboratory (TRL) Road Note 29

1.3.2.3 The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1972

1.3.3 โปรแกรมการหาความเค้นที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย

1.3.4 โปรแกรมการออกแบบที่จะพัฒนาขึ้นมาจะเป็นการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของผิวทางไม่เกิน 4 ช่องการจราจร และไม่รวมถึงการออกแบบทางด้านเรขาคณิต และการออกแบบทางวิศวกรรมจราจร

1.3.5 การออกแบบของแต่ละประเภทผิวทาง จะใช้การออกแบบในแนวทางอาศัยประสบการณ์และการทดสอบ (Empirical Design Methods) เพราะเป็นวิธีที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.3.6 การออกแบบผิวทางของถนนคอนกรีต จะทำการออกแบบเฉพาะผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดที่มีรอยต่อ (Joint) เท่านั้น

1.4 วิธีการดำเนินการ

1.4.1 ออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผิวทาง กำหนดหาความหนาของโครงสร้างชั้นทาง โดยวิธีต่าง ๆ และบันทึกไว้ในแฟ้มข้อมูล

1.4.2 ออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลของการหาความเค้นที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย กำหนดหาความเค้นที่เกิดขึ้น และบันทึกไว้ในแฟ้มข้อมูล

1.4.3 ทำการทดสอบความสามารถและความถูกต้องของโปรแกรม โดยการนำผลของการออกแบบที่ได้จากโปรแกรมมาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีปกติ

1.4.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละวิธีการออกแบบ ตามชนิดของผิวทางที่ได้จากโปรแกรม

1.5 ประโยชน์ของการศึกษา

1.5.1 สามารถทำการออกแบบผิวทางได้รวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ และใช้บุคลากรในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้วิธีการคำนวณปกติ

1.5.2 สามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบผิวทาง ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ๆ ขึ้นไปในอนาคต

1.5.3 สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาจัดซื้อ โปรแกรมสำเร็จรูปจากต่างประเทศ

1.5.4 สามารถเป็นเครื่องมือในการฝึกสอน วิศวกรใหม่ซึ่งยังไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบ โดยสามารถเรียนรู้วิธีการและขั้นตอนของการออกแบบได้จากการใช้โปรแกรม

1.5.5 สนับสนุนให้วิศวกรผู้ออกแบบ สามารถที่จะคำนวณเปรียบเทียบและเลือกผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบในแต่ละวิธี เพื่อที่จะนำมาใช้ตามความต้องการของผู้ออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

บทที่ 2

ชนิดของผิวทางและการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

2.1 ชนิดของผิวทาง¹

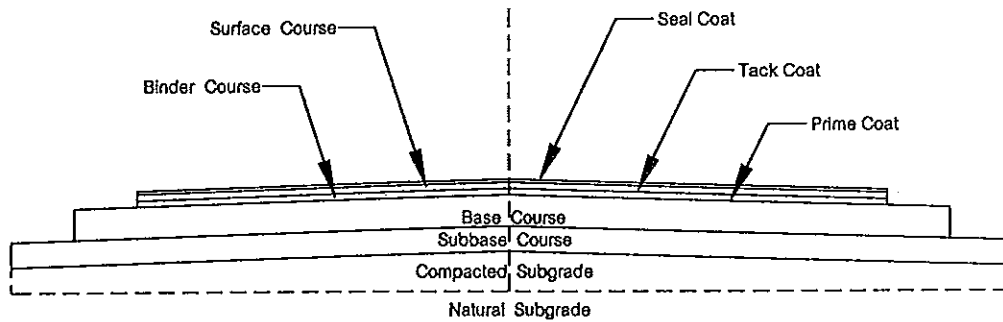
ชนิดของผิวทาง ได้จัดแบ่งตามลักษณะการกระจายแรงจากน้ำหนักบรรทุกลงไปยังชั้นของดินเดิม (Subgrade) ออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1 ผิวทางแบบลาดยาง (Flexible Pavement) ประกอบไปด้วยวัสดุชั้นต่าง ๆ โดยชั้นบนสุดเป็นชั้นผิวทาง (Surface) ชั้นรองลงมาเป็นชั้นพื้นทาง (Base) รองพื้นทาง (Subbase) และชั้นล่างสุดเป็นชั้นดินเดิม (ดินคั่นทาง) ดังภาพประกอบ 2.1 ก. ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของถนนผิวทางลาดยางจะเป็นระบบชั้น (Layered System) จากชั้นผิวทางถึงชั้นดินเดิม โดยวัสดุที่มีความแข็งแรงมากที่สุดอยู่ชั้นบนสุด และวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยลงมาอยู่ชั้นรองลงมาตามลำดับ โดยที่ชั้นบนสุดคือผิวทางจะรับน้ำหนักมากที่สุด และชั้นล่างสุดคือชั้นดินเดิมจะรับน้ำหนักน้อยที่สุด ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินเดิมจึงมีอิทธิพลต่อความหนาของโครงสร้างชั้นทางโดยตรง ทั้งนี้ เพราะเมื่อดินเดิมเกิดการเสียรูป (Deform) ชั้นต่าง ๆ ที่อยู่เหนือชั้นดินเดิมจะเปลี่ยนรูปร่างไปด้วย ดังนั้น หลักเกณฑ์ในการออกแบบความหนาของชั้นทางคือ ต้องการกระจายน้ำหนักจากผิวทางไปสู่ดินเดิม โดยไม่เกิดความเค้นสูงจนให้ดินเดิมเสียรูปมากพอที่จะทำให้ชั้นทางต้องเสียความมั่นคงแข็งแรง

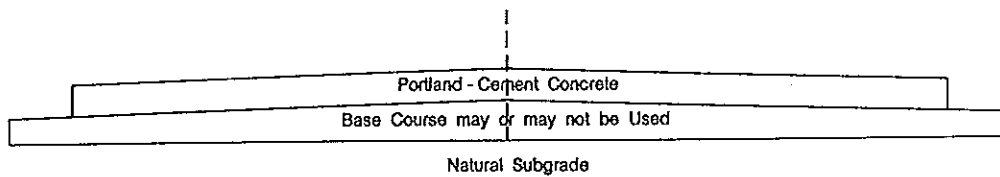
¹ Yoder, E. J. and Witczak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.

2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. pp. 5-6.

ภาพประกอบ 2.1 รูปตัดโครงสร้างทาง ผิวทางแบบลาดยางและคอนกรีต



ก. รูปตัดโครงสร้าง ผิวทางแบบลาดยาง



ข. รูปตัดโครงสร้าง ผิวทางแบบคอนกรีต

ที่มา : Yoder, E. J. and Witczak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. pp.5-6.

2.1.2 ผิวทางแบบคอนกรีต (Rigid Pavement) ประกอบด้วยชั้นผิวทางซึ่งเป็นคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement Concrete) อาจจะมีชั้นพื้นทางแทรกอยู่ระหว่างชั้นผิวทาง กับผิวของดินเดิมหรือดินคันทางซึ่งได้รับการบดอัดแล้ว ดังภาพประกอบ 2.1 ข เนื่องจากคอนกรีตมีความแข็งแรงและมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง การกระจายแรงกดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นดินคันทาง มีพื้นที่รองรับที่กว้าง ดังนั้น ความสามารถในการรับน้ำหนัก จึงขึ้นอยู่กับตัวของคอนกรีตเอง ด้วยเหตุนี้ การเปลี่ยนแปลงของกำลังแข็งแรงของดินเดิม จึงมีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของทางผิวคอนกรีตน้อยมาก

2.2 แนวทางของการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง¹

การออกแบบโครงสร้างชั้นทางจะมีแนวทางในการออกแบบอยู่ 2 แนวทางด้วยกัน คือ

2.2.1 การออกแบบโดยอาศัยประสบการณ์ (Empirical Design Method) การออกแบบวิธีนี้พัฒนาขึ้น โดยอาศัยประสบการณ์ที่ผ่านมา โดยจะใช้ข้อมูลและผลการออกแบบเก่า ๆ ข้อมูลจากถนนทดลอง และข้อมูลจากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุในห้องทดลองและในสนามเป็นแนวทางในการออกแบบ

2.2.2 การออกแบบโดยอาศัยการวิเคราะห์ (Analytical Method) การออกแบบวิธีนี้ จะเป็นการออกแบบในลักษณะเดียวกันกับการออกแบบโครงสร้างอาคาร โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางคล้าย ๆ กับการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคาร (Structural Analysis)

¹ พิชัย ธานีรณานนท์. 2533. วิศวกรรมผิวทาง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 6.

2.3 ขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง¹

2.3.1 ขั้นตอนในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง (ภาพประกอบ 2.2)

ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของวิธานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้แนวทางการออกแบบโดยอาศัยประสบการณ์เป็นหลักในการออกแบบ ทั้งการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง และการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต โดยมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 3 ประการดังนี้ คือ

2.3.1.1 การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร

กำหนดหาปริมาณการจราจรที่จะมาเล่นบนถนนตลอดช่วงอายุการใช้งาน เปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลาดียวมาตรฐาน (Equivalent Standard Axle Load) 8,200 กิโลกรัม (18,000 ปอนด์) รายละเอียดในภาคผนวก ก

2.3.1.2 การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ

ได้จากการเก็บตัวอย่างดินมาทดลองในห้องปฏิบัติการหรือทำการทดลองในสนาม วิธีการทดลองใช้ CBR (California Bearing Ratio) การกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก (Plate Bearing Test) ฯลฯ เป็นต้น และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบต่อไป รายละเอียดในภาคผนวก ข

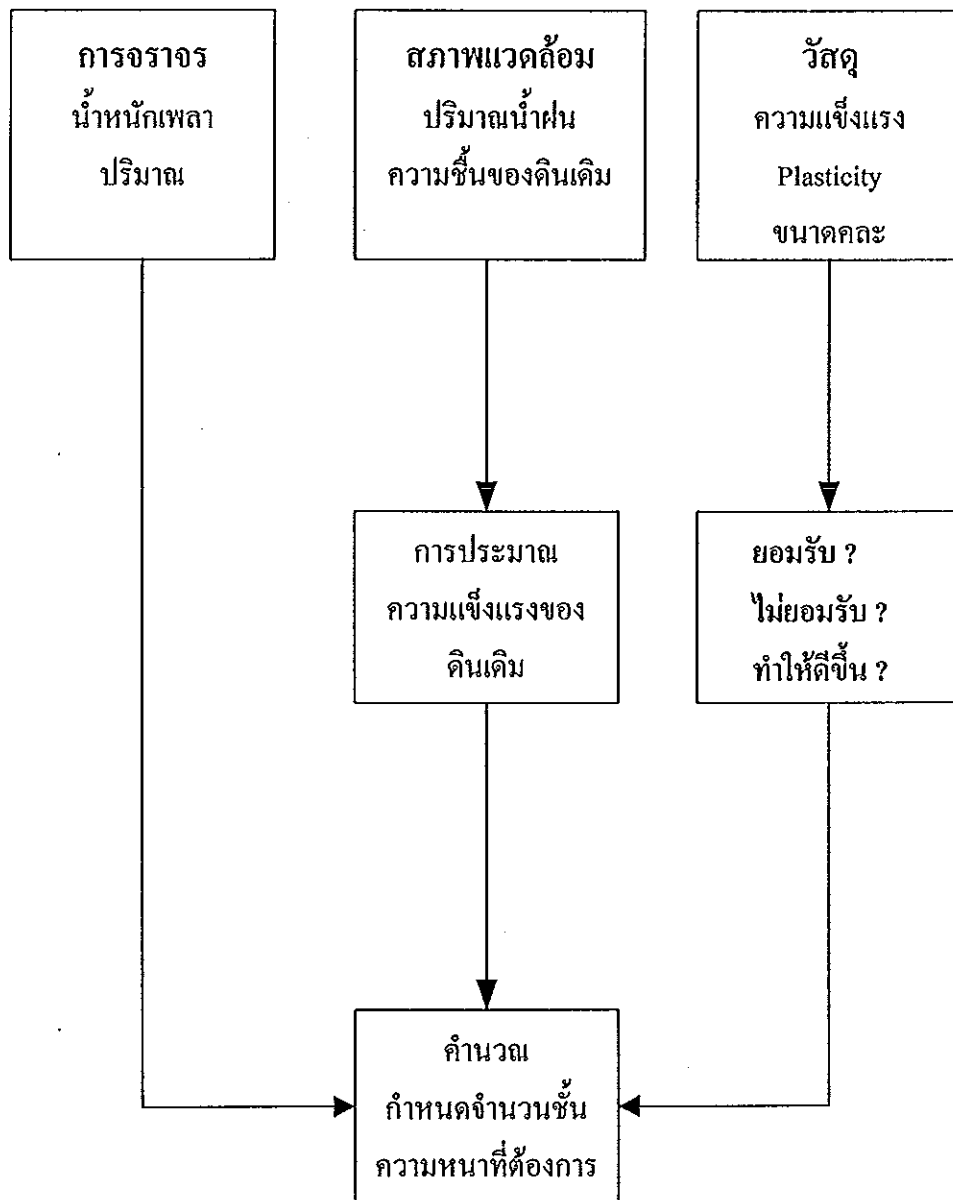
2.3.1.3 วัสดุที่จะใช้ทำการก่อสร้าง

การเลือกสรรวัสดุที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างถนนเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ราคาของถนนถูกหรือแพง ทั้งนี้เพราะวัสดุที่นำมาก่อสร้างจะมีราคาแตกต่างกันอยู่มากระหว่างวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นกับวัสดุซึ่งต้องนำมาจากที่ห่างไกล และคุณสมบัติของวัสดุที่ว่า “ใช้ได้” หรือ “ใช้ไม่ได้”

¹ ยงยุทธ ป้อมเย็น. 2532. “การออกแบบ Flexible Pavement”, บทความทางวิชาการ กองวิเคราะห์และวิจัย การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณี พ.ศ. 2508-2528.

เล่ม 4. กรุงเทพฯ. หน้า 146-147.

ภาพประกอบ 2.2 ขั้นตอนการออกแบบโดยอาศัยประสบการณ์และการทดสอบ



ที่มา : พิชัย ชานีรณานนท์. 2533. วิศวกรรมผิวทาง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

หน้า 6.

2.4 วิธีในการออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง

ในการออกแบบโครงสร้างของถนน มีวิธีในการออกแบบหลายวิธีด้วยกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการออกแบบตามวิธีที่กรมทางหลวงใช้ออกแบบในปัจจุบัน และวิธีของประเทศที่พัฒนาแล้วซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศที่กำลังพัฒนา รายละเอียดในภาคผนวก ก

2.5 การหาความเค้นที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย¹

การหาความเค้นที่เกิดขึ้นนั้น ก็เพื่อที่จะตรวจสอบดูว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือยของถนนคอนกรีตเสริมเหล็กที่รอยต่อตามขวางทั้งกรณีรอยต่อเพื่อหดและรอยต่อเพื่อขยายเนื่องจากน้ำหนักจากล้อรถมากระทำ มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าความเค้นที่คอนกรีตนั้นสามารถรับได้ เพื่อผู้ออกแบบสามารถที่จะออกแบบขนาดและระยะห่างของเหล็กเดือยได้ถูกต้อง และวิศวกรสามารถวิเคราะห์สาเหตุความเสียหายของรอยต่อตามขวางได้อย่างถูกต้อง รายละเอียดในภาคผนวก ง

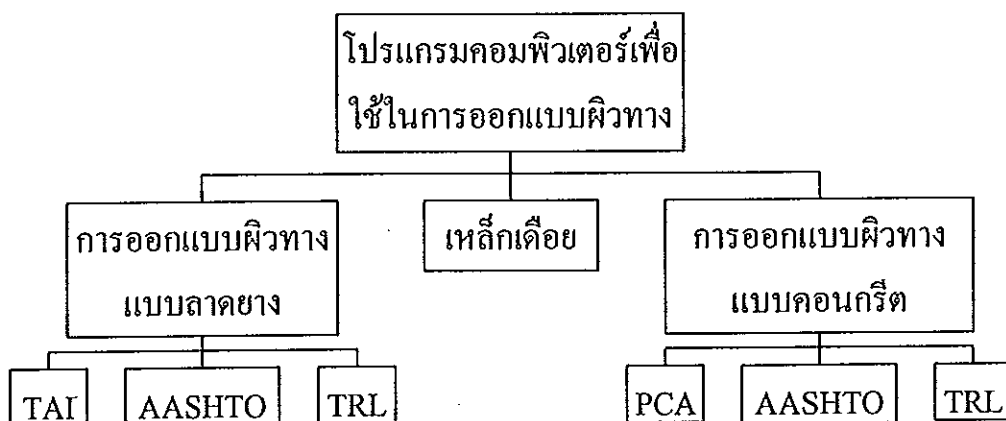
¹ ประวัติดิ กงสม. 2539. โปรแกรม Dowel. กรุงเทพฯ. หน้า 1.

บทที่ 3

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบผิวทาง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาจะเป็นการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ทั้งผิวทางแบบลาดยางและผิวทางแบบคอนกรีต โดยแต่ละชนิดของผิวทางที่นำเสนอจะมีวิธีการออกแบบอย่างละ 3 วิธี แบ่งเป็นโปรแกรมย่อยสำหรับการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง 6 โปรแกรม และโปรแกรมสำหรับคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย (Dowel) 1 โปรแกรม โดยสรุปโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะนำเสนอ จัดเป็นแผนภูมิได้ดังภาพประกอบ 3.1

ภาพประกอบ 3.1 แผนภูมิของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอเพื่อใช้ในการออกแบบผิวทางและการหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย



ซึ่งข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแต่ละชนิดและแต่ละวิธีมีดังนี้
คือ

3.1 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมผิวทางแบบลาดยาง

3.1.1 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานตามวิธีของ The Asphalt Institute

3.1.1.1 ข้อมูลสำหรับโปรแกรมตามวิธีของ The Asphalt Institute

ก. ค่า CBR ได้จากการเก็บตัวอย่างดินเดิมในสายทางมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบ

ข. ปริมาณการจราจรต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน (Initial Daily Traffic ; IDT) ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี

ค. ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรถบรรทุก (Average Gross Weight) ได้จากข้อมูลการสำรวจน้ำหนักรถบรรทุก สำหรับมาตรฐานน้ำหนักรถบรรทุกของกรมทางหลวง กำหนดให้รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกหนักไม่เกิน 21 ตัน

ง. น้ำหนักเพลาดเดี่ยว (Single Axle Load) จะมีค่าประมาณ $0.39W - 0.40W$ น้ำหนักเพลาดเดี่ยวสูงสุดที่ใช้เป็นมาตรฐานในการออกแบบของกรมทางหลวงมีค่า 8.2 ตัน เมื่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักรถบรรทุกมีค่า 21 ตัน

จ. จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น หรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ ในส่วนของกรมทางหลวง จำนวนปีที่ออกแบบสำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำจะใช้ 10 ปี ส่วนถนนปริมาณการจราจรปานกลางและสูงจะใช้ 15 ปี

ฉ. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปีที่เก็บมาจนถึงปีปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ

ช. ความหนาเทียบเท่า (Equivalent Thickness) หรืออัตราส่วนทดแทน (Substitution Ratio, Sr)

3.1.1.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามวิธีของ The Asphalt Institute เป็นไปตามแผนภูมิ ภาพประกอบ 3.2

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม และเลือกชนิดของผิวทาง วิธีของการออกแบบแล้ว มีขั้นตอนตามรายละเอียดและตัวอย่างการป้อนข้อมูลในฟอร์มต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

ก. กำหนดจำนวนช่องทางการจราจรที่ต้องการจะออกแบบ ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะเลือกได้ (ภาพประกอบ 3.5)

ข. ข้อมูลค่า CBR ของดินเดิมในสายทางที่จะออกแบบ และผู้ออกแบบจะต้องกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์โพลีที่ใช้ในการเลือกค่า CBR ในการออกแบบว่าต้องการเท่าไร และเมื่อโปรแกรมคำนวณหาค่าที่ต้องการแล้ว ผู้ใช้สามารถบันทึกเพิ่มข้อมูลค่า CBR ได้ สำหรับไว้ใช้ในการออกแบบโดยวิธีอื่นอีกได้ (ภาพประกอบ 3.6)

ค. ข้อมูลปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน ผู้ใช้สามารถบันทึกเพิ่มข้อมูลปริมาณการจราจรได้ (ภาพประกอบ 3.7)

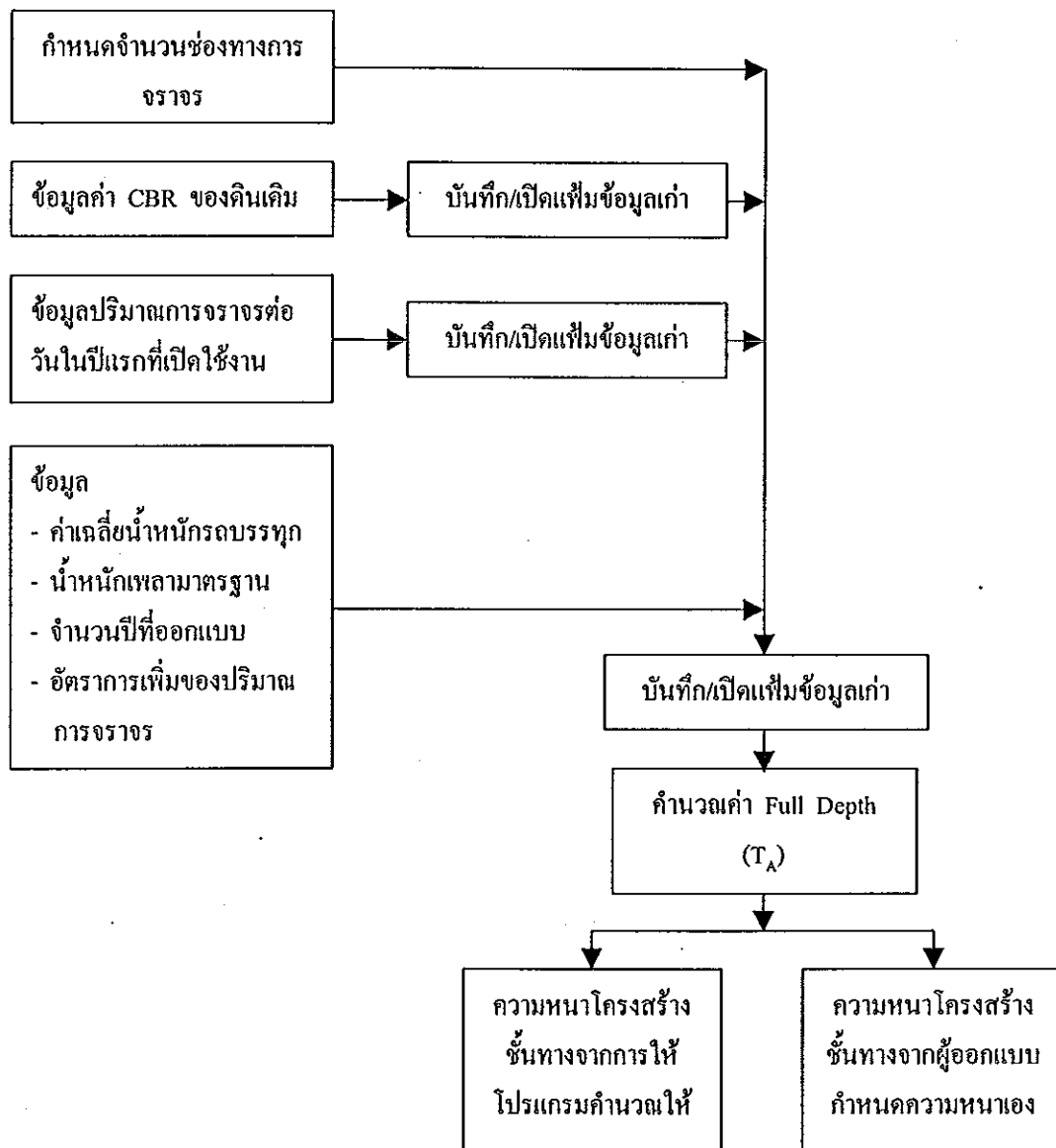
ง. ป้อนข้อมูล ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรถบรรทุก น้ำหนักเพลามาตรฐาน จำนวนปีที่ออกแบบ และอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (ภาพประกอบ 3.8)

จ. กำหนดค่า Sr ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขและกำหนดได้ นอกเหนือจากที่โปรแกรมกำหนดไว้ (ภาพประกอบ 3.8)

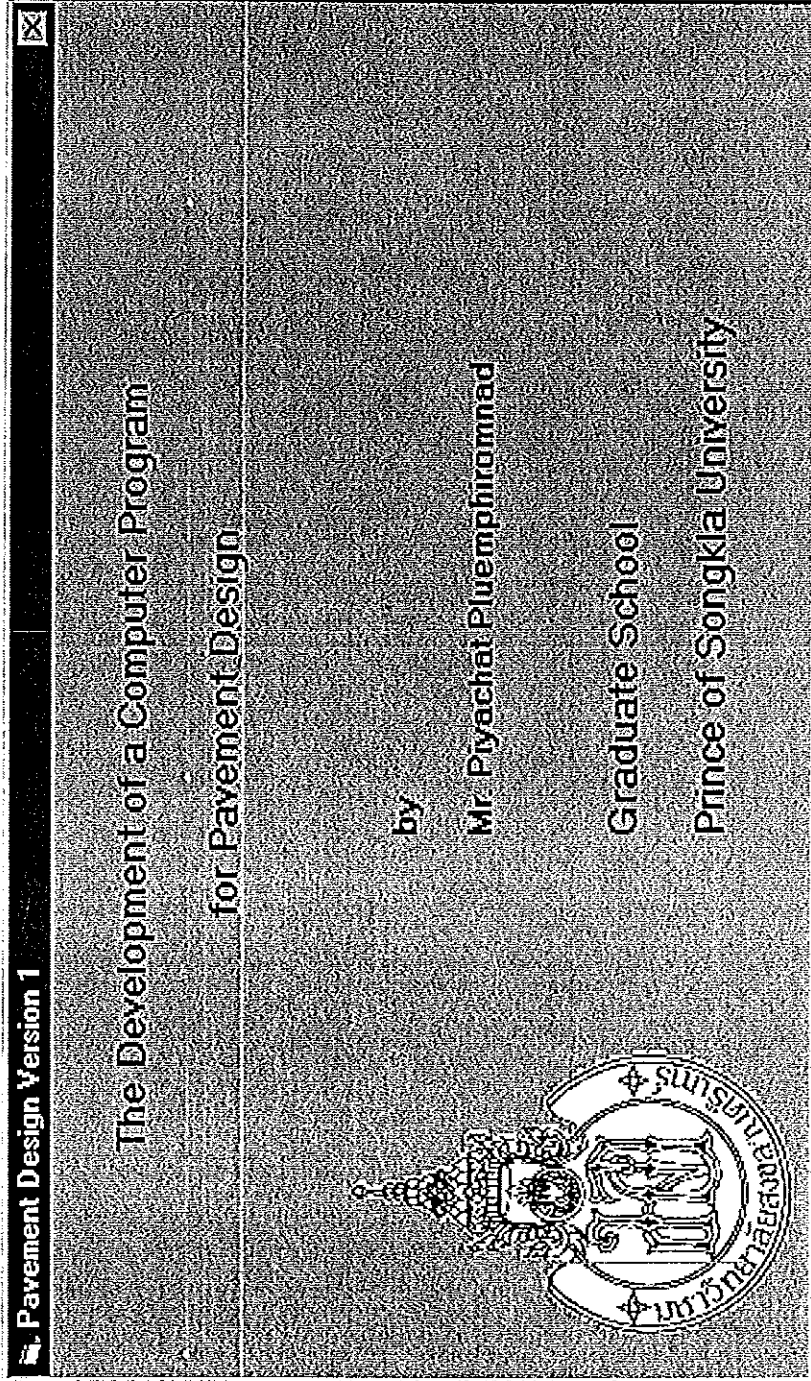
ฉ. กำหนดส่วนประกอบของโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะเลือกได้ และกำหนดค่า Sr ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขและกำหนดได้ นอกเหนือจากที่โปรแกรมกำหนดไว้ ในกรณีที่ผู้ใช้ใส่ความหนาเอง (ภาพประกอบ 3.9)

ช. ออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง

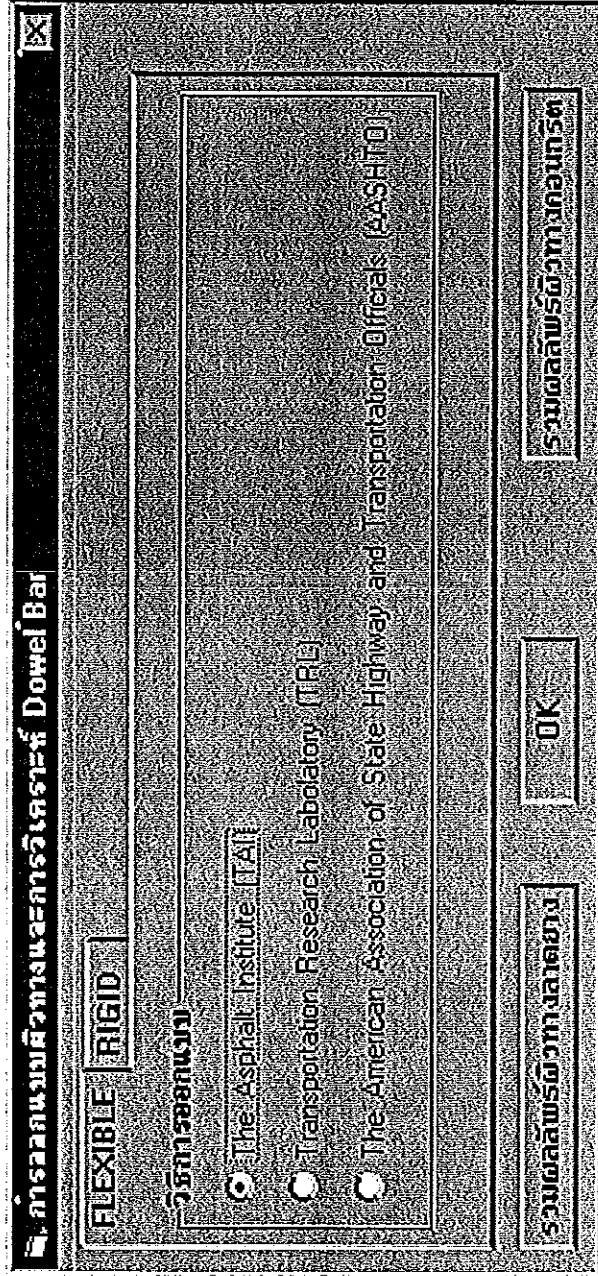
ภาพประกอบ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางลาดยางตาม
วิธี TAI



ภาพประกอบ 3.3 เริ่มต้นโปรแกรม



ภาพประกอบ 3.4 เมนูชนิดและวิธีการออกแบบ



ภาพประกอบ 3.6 การป้อนค่า CBR และเลือกค่าที่ต้องการใช้ในการออกแบบ

ค่า CBR

แบบจำลอง 27 มิติ

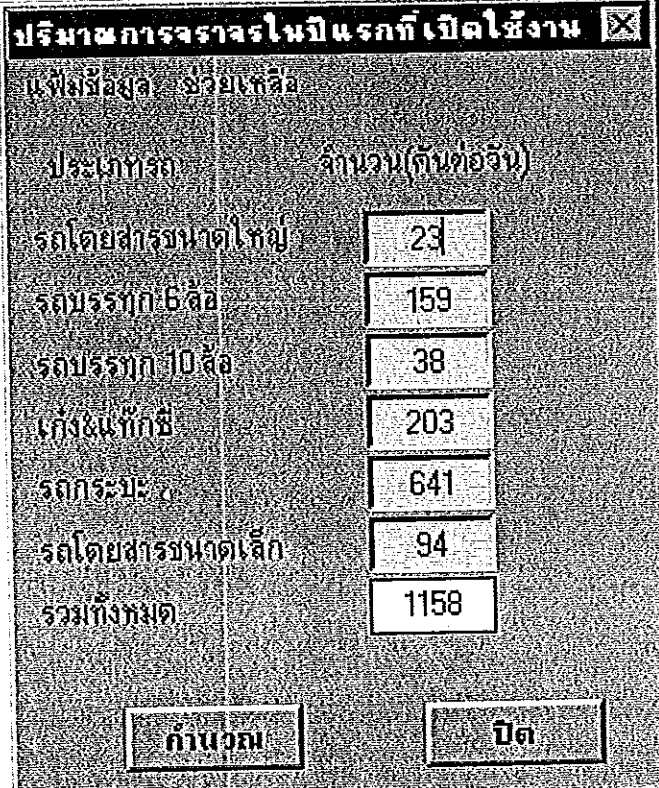
No.	CBR
1	14.3
2	3.6
3	8.7
4	5.3
5	2.4
6	7.8
7	6.4
8	15.5
9	3.9
10	4.4
11	5.2
12	3.6
13	26.6
14	8.4
15	6.7
16	2.8
17	3
18	3.7
19	48.7
20	11.6
21	4.2

CBR ที่ใช้: 80

เปอร์เซ็นต์ไถล

คำนวณ

ภาพประกอบ 3.7 การป้อนค่าปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน



ปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน

แจ้งข้อมูล: ช่วยเหลือ

ประเภทรถ	จำนวน(คันต่อวัน)
รถโดยสารขนาดใหญ่	23
รถบรรทุก 6 ล้อ	159
รถบรรทุก 10 ล้อ	38
แท็กซี่	203
รถกระบะ	641
รถโดยสารขนาดเล็ก	94
รวมทั้งหมด	1158

คำนวณ ปิด

ภาพประกอบ 3.8 การป้อนข้อมูลในส่วนต่าง ๆ และกำหนดค่า Sr ของการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TAI

วิธีออกแบบการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TAI

รหัสโครงการ: เลขที่:

จำนวนเงิน: 2 ช่องจราจร

TA SR

ออกแบบความหนาของโครงสร้าง

โครงสร้างชั้นทาง	Sr	ความหนา (cm)
ผิวทาง	1	<input type="text"/>
พื้นทาง	2	<input type="text"/>
รองพื้นทาง	27	<input type="text"/>
วัสดุคัดเลือก ก	35	<input type="text"/>
วัสดุคัดเลือก ข	37	<input type="text"/>

ได้ข้อมูล

CBR ของ Subgrade	3	%
ปริมาณการจราจรในปีแรก	1158	คันต่อวัน
เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก	19.00	%
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุก	21	ตัน
น้ำหนักเพดานจราจร	8.2	ตัน
จำนวนปีถือออกแบบ	7	ปี
อัตราจราจรเพิ่มของปริมาณการจราจร	5	% ต่อปี

ให้โปรแกรมออกแบบความหนาของ

สำหรับผู้ออกแบบที่ขอความหนาเอง

ภาพประกอบ 3.9 การกำหนดโครงสร้างชั้นทางและกำหนดค่า Sr ในกรณีที่ใช้ค่าตามตนเอง ของผิวทางลาดยางตามวิธี TAI

ผู้ใช้โปรแกรมความหนาแน่นตามวิธี TAI
 แจ้งข้อมูล ข้อยกเว้น

TA: **กม.**

ออกแบบความหนาของโครงสร้าง

โครงสร้างชั้นทาง	Sr	ความหนาความหนา (ม.)	ความหนาเกือบทำ Asphaltic (ม.)
<input checked="" type="checkbox"/> Asphaltic Concrete	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> พื้นทาง	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> รองพื้นทาง	<input type="text" value="27"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> วัสดุคัดเลือก ก	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> วัสดุคัดเลือก ข	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Total Substitution Ratio (Sr.) to Asphaltic Pavement Thickness

3.1.2 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานตามวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31)

3.1.2.1 ข้อมูลสำหรับโปรแกรมตามวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31)

ก. ค่า CBR (California Bearing Ratio) ได้จากการเก็บตัวอย่างดินเดิมในสายทางมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบ

ข. ปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี

ค. จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น หรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ

ง. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปีที่เก็บมาจนถึงปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ

3.1.2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31) เป็นไปตามแผนภูมิ ภาพประกอบ 3.10

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม เลือกชนิดของผิวทางและวิธีของการออกแบบแล้ว มีขั้นตอนตามรายละเอียดและตัวอย่างการป้อนข้อมูลในฟอร์มต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

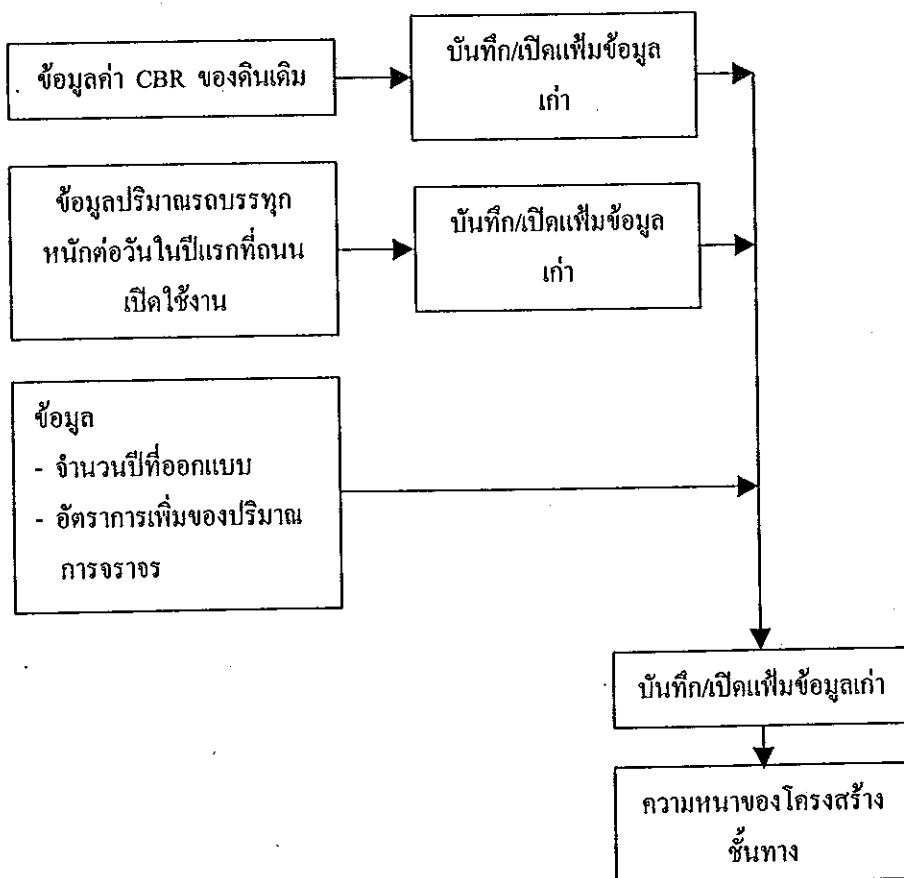
ก. ข้อมูลค่า CBR ของดินเดิมในสายทางที่ต้องการจะออกแบบ ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการป้อนค่า CBR ของวิธี The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 3.6)

ข. ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน จะมีแพ็คเกจรถบรรทุกให้ผู้เลือกใช้หรือผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าเองได้ นอกเหนือจากที่โปรแกรมกำหนดมา (ภาพประกอบ 3.11)

ค. ข้อมูลจำนวนปีที่ออกแบบ และอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (ภาพประกอบ 3.12)

ง. ออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง

ภาพประกอบ 3.10 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31)



ภาพประกอบ 3.11 การป้อนค่าปริมาณบรรจุภัณฑ์ในโปรแกรมที่เปิดใช้งาน

จำนวนบรรจุภัณฑ์ในโปรแกรมที่เปิดใช้งาน

แฟ้มข้อมูล: ว่างเหลือ

แฟกเตอร์บรรจุภัณฑ์: Team Consulting

ประเภท	จำนวน(ตันต่อวัน)	Factor	EAL(ตันต่อ)
ผลิตโดยสหราชอาณาจักร	23	0.6	13.8
สหราชอาณาจักร 6 ล้อ	159	0.63	100.17
สหราชอาณาจักร 10 ล้อ	38	1.58	60.04
EAL ในหนึ่งทิศทางจราจร รวมได้			87.005

ปุ่ม: **คำนวณ** **ปิด**

ภาพประกอบ 3.12 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31)

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31)

เพิ่มข้อมูล ผู้ช่วยแก้ไข

ใส่ข้อมูล	ค่า	หน่วย
DBF ชั้น Subgrade	3	%
ปริมาณการจราจรในปีแรก	87,005	เที่ยวต่อวัน
จำนวนปีที่ออกแบบ	7	ปี
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	5	%ต่อปี

ออกแบบความหนาของโครงสร้าง

Surface Dressing	ซม.
Premixed Bituminous	ซม.
พื้นทาง	ซม.
รองพื้นทาง	ซม.

ออกแบบ

3.1.3 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานตามวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

3.1.3.1 ข้อมูลสำหรับโปรแกรมตามวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

ก. ค่า CBR (California Bearing Ratio) ได้จากการเก็บตัวอย่างดินเดิมในสายทางมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบ

ข. ปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี

ค. แฟกเตอร์ทางภูมิภาค (Regional Factor, R) จะขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิภาคในภูมิภาคนั้น

ง. จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น หรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ

จ. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปีที่เก็บมาจนถึงปีปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ

3.1.3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

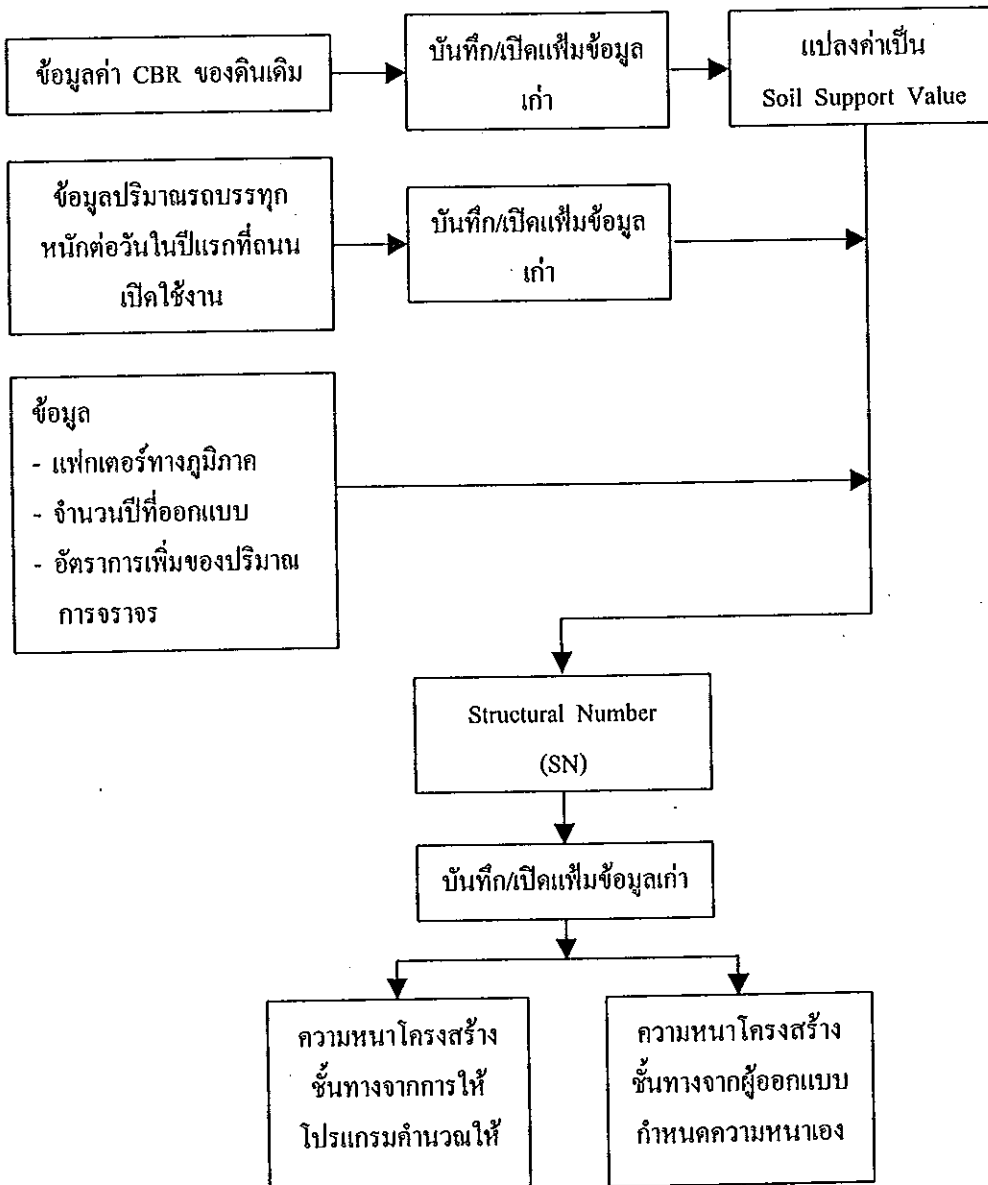
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามวิธี The American Association of State Highway and Transportation Officials เป็นไปตามแผนภูมิภาพประกอบ 3.13

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม และเลือกชนิดของผิวทาง วิธีของการออกแบบแล้ว มีขั้นตอนตามรายละเอียดและตัวอย่างการป้อนข้อมูลในฟอร์มต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

ก. กำหนดแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการ ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะเลือกได้ (ภาพประกอบ 3.14)

- ข. ข้อมูลค่า CBR ของดินเดิม ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการ
ป้อนค่า CBR ของวิธี The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 3.6)
- ค. ทำการแปลงค่า CBR เป็นค่า Soil Support Value (S)
(ภาพประกอบ 3.15)
- ง. ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้
งาน ดำเนินการเช่นเดียวกันกับ วิธี Transportation Research Laboratory (Road Note
31) ภาพประกอบ 3.11
- จ. ข้อมูลแฟกเตอร์ทางภูมิภาค จำนวนปีที่ออกแบบ และอัตรา
การเพิ่มของปริมาณการจราจร (ภาพประกอบ 3.16)
- ฉ. หาค่า Structural Number (SN) ภาพประกอบ 3.17 และ
3.18
- ช. กำหนดส่วนประกอบของโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งผู้ใช้
สามารถที่จะเลือกได้ (ภาพประกอบ 3.14)
- ซ. ออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง

ภาพประกอบ 3.13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางลาดยาง ตามวิธี AASHTO



ภาพประกอบ 3.14 การกำหนดแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO

แฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการ (FSI)

ค่าของ

ปริมาณการจราจร (จราจรหนัก)

ประเภทการจราจร (หนัก)

จำนวนปีออกแบบ

อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร

ความหนาแน่นของโครงสร้าง

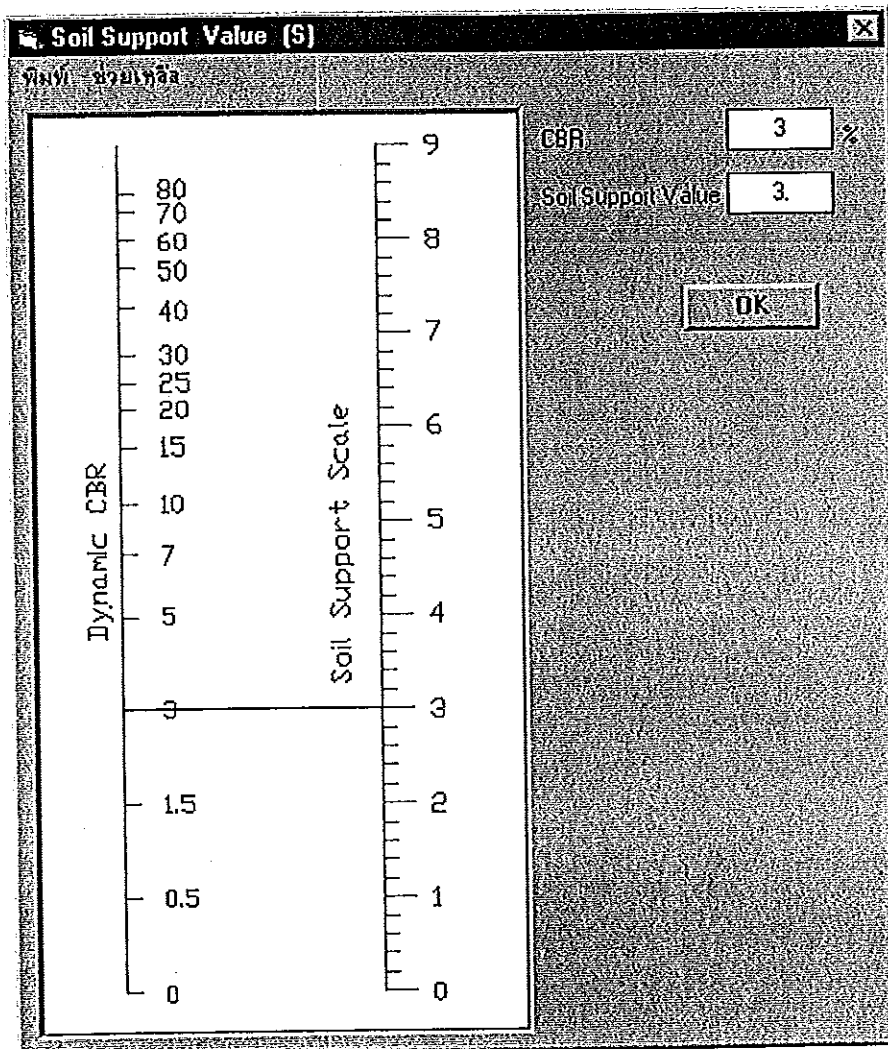
Structural Number (SN)

ส่วนผสมของวัสดุโครงสร้าง

ผิวทาง	<input checked="" type="checkbox"/>	ค่าสัมประสิทธิ์	<input type="text" value="0.44"/>
หินกรวด	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="text" value="0.14"/>
รองพื้นหินกรวด	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="text" value="0.11"/>

ปริมาณวัสดุ

ภาพประกอบ 3.15 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Soil Support Value (S) ของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO



ภาพประกอบ 3.16 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางลาดตามวิธี AASHTO

โปรแกรมการออกแบบผิวทางลาดตามวิธี AASHTO

พื้นที่ข้อมูล ช่วยเหลือ

แป้นเคอร์เนลแสดงการขึ้นจัดการโรบริกาได้ (R)

ข้อมูล

CBF ของ Subgrade	3	%
ปริมาณการจราจรจราจรในปีแรก	87,005	เที่ยวต่อวัน
แฟกเตอร์ทางคุณภาพ (R)	4	
จำนวนที่ถือสิทธิ์แบบ	7	ปี
อัตราค่าเพิ่มของปริมาณการจราจร	5	%ต่อปี

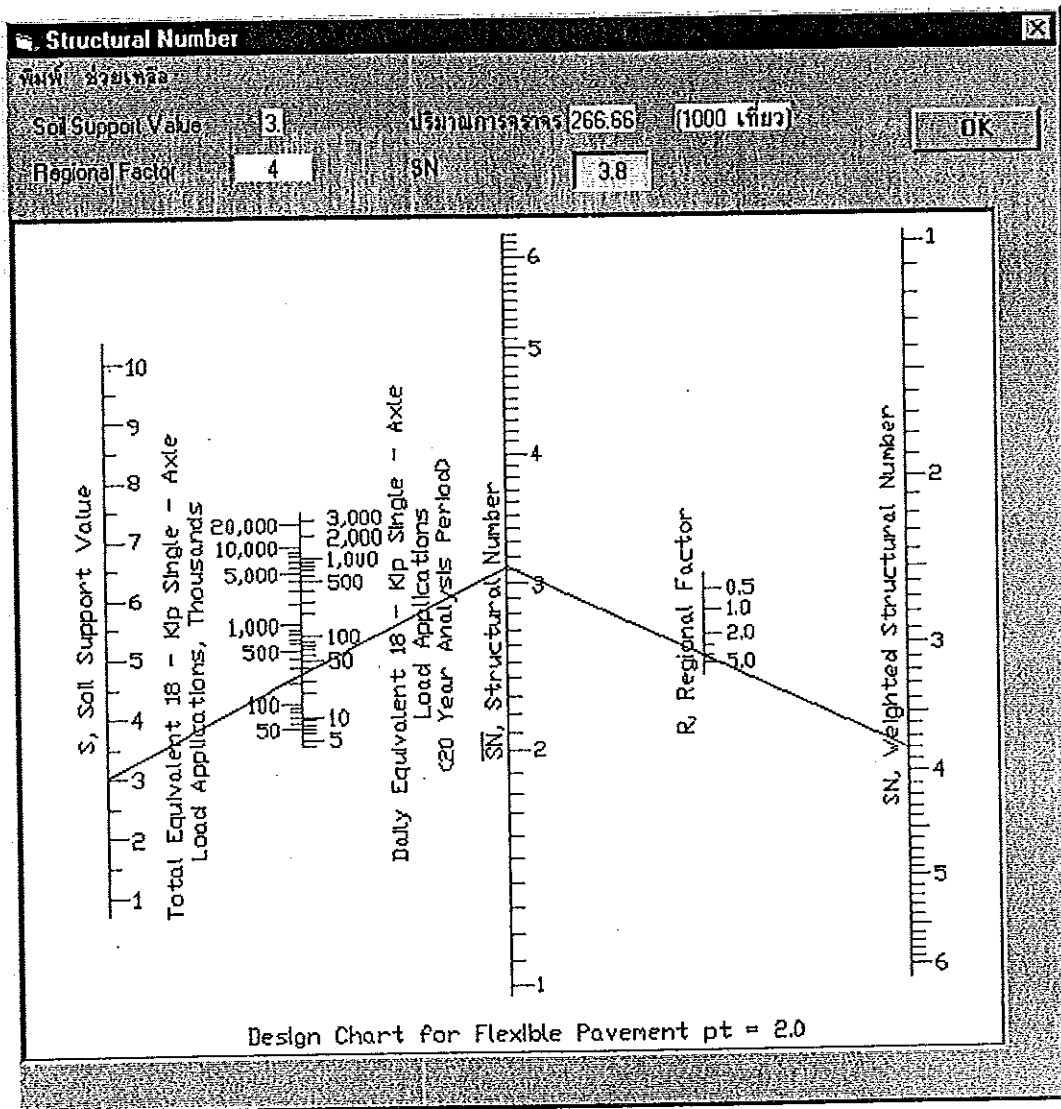
ออกแบบความหนาของโครงสร้าง

Structural Number (SN)

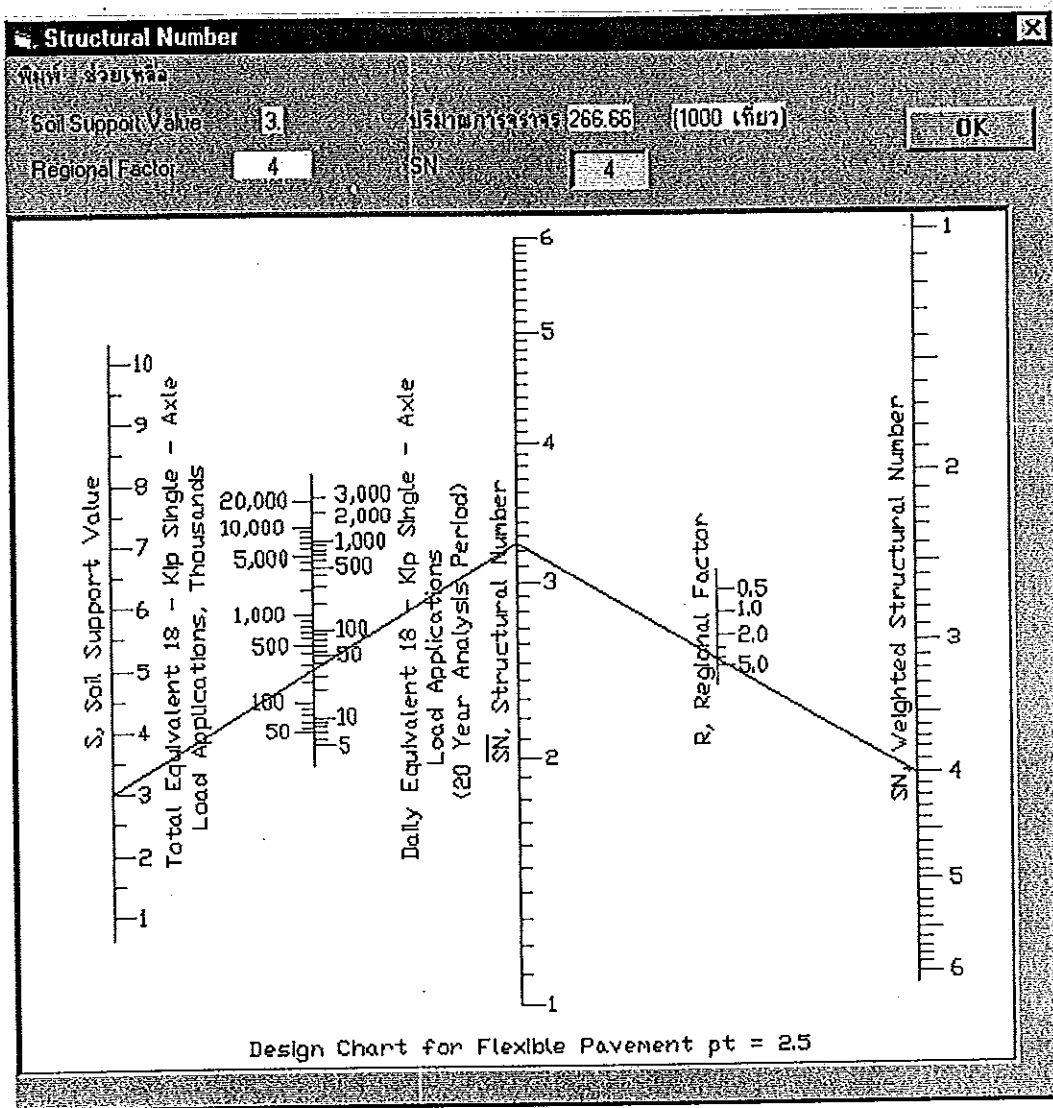
สถานะก่อนโครงสร้างชั้นบน

สภาพ	<input type="text" value="Planmix"/>	ค่าสัมประสิทธิ์ ความหนา (ตรง)	<input type="text" value=""/>
พื้นทาง	<input type="text" value="Crushed Stone"/>	<input type="text" value="0.44"/>	<input type="text" value=""/>
รองพื้นทาง	<input type="text" value="Sandy Gravel"/>	<input type="text" value="0.14"/>	<input type="text" value=""/>
		<input type="text" value="0.11"/>	<input type="text" value=""/>

ภาพประกอบ 3.17 การหาค่า Structural Number (SN) สำหรับ $P_t = 2.0$ ของผิว
 ทางลาดยางตามวิธี AASHTO



ภาพประกอบ 3.18 การหาค่า Structural Number (SN) สำหรับ $P_t = 2.5$ ของผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO



3.2 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมผิวทางแบบคอนกรีต

3.2.1 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานตามวิธีของ Portland Cement Association

3.2.1.1 ข้อมูลสำหรับโปรแกรมตามวิธีของ Portland Cement

Association

- ก. ค่า CBR (California Bearing Ratio) ได้จากการเก็บตัวอย่างดินเดิมในสายทางมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบ
- ข. ปริมาณการจราจรต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี
- ค. จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น หรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ
- ง. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปีที่เก็บมาจนถึงปีปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ
- จ. ค่าโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีต (Modulus of Rupture, MR) ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นเอง
- ฉ. ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีต เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น โดยส่วนมากจะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของ 1 ช่องการจราจร
- ช. ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น โดยขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ
- ซ. ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น โดยการลองสมมติค่าความหนา (Trial and Error) แล้วนำมาวิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดว่าพอเพียงหรือไม่
- ฅ. ความหนาของชั้นรองพื้นทาง เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น โดยในชั้นรองพื้นทางนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

3.2.1.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามวิธีของ Portland Cement Association เป็นไปตามแผนภูมิ ภาพประกอบ 3.19

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม เลือกชนิดของผิวทางและวิธีของการออกแบบแล้ว มีขั้นตอนตามรายละเอียดและตัวอย่างการป้อนข้อมูลในฟอร์มต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

ก. ข้อมูลค่า CBR ของดินเดิม ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการป้อนค่า CBR ของวิธี The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 3.6)

ข. ทำการแปลงค่า CBR เป็นค่า Modulus of Subgrade Reaction (K) (ภาพประกอบ 3.20)

ค. ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน ดำเนินการเช่นเดียวกันกับ วิธี The Asphalt Institute ภาพประกอบ 3.7

ง. ข้อมูลจำนวนปีที่ออกแบบ อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต ความกว้างและความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต (ภาพประกอบ 3.21)

จ. ความหนาของชั้นรองพื้นทางจะมีหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ (ภาพประกอบ 3.21)

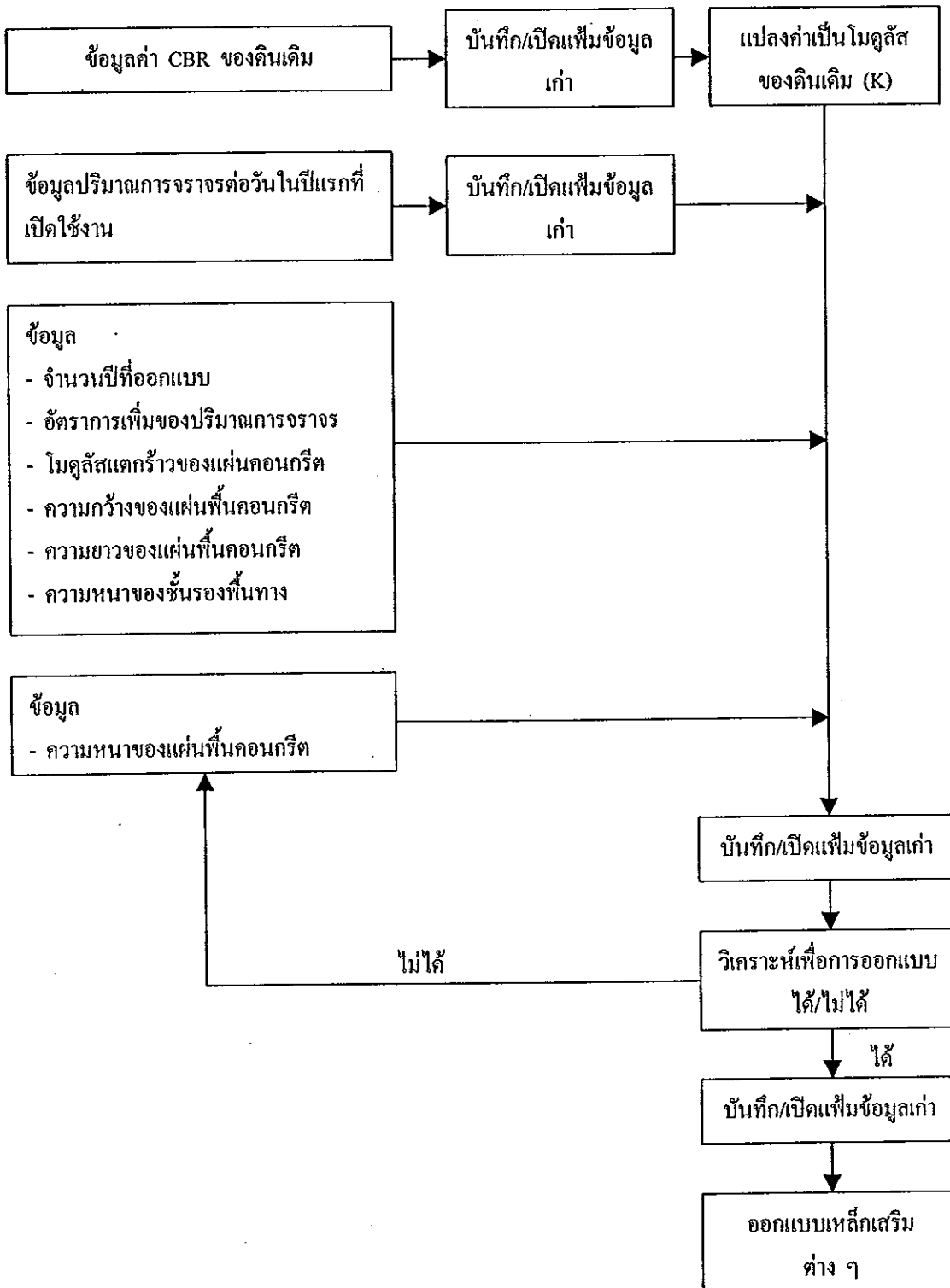
ฉ. สมมติค่าความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต (ภาพประกอบ 3.21)

ช. ข้อมูลการกระจายน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุกในช่วงต่าง ๆ (ภาพประกอบ 3.21)

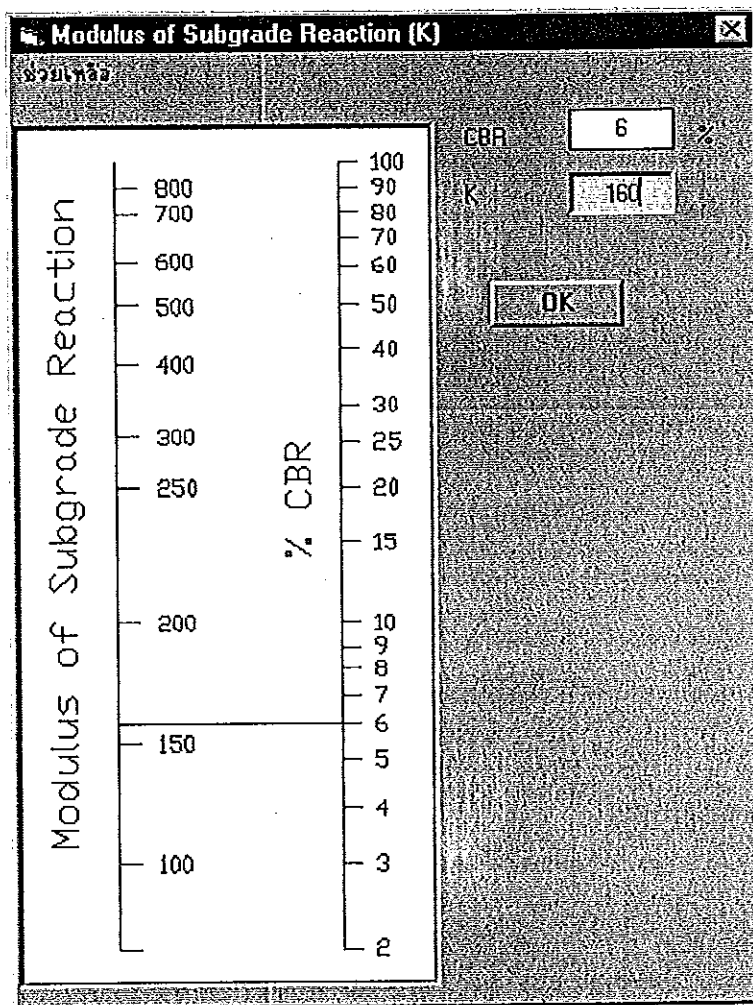
ซ. หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีต อันเนื่องมาจากน้ำหนักเพลลาขนาดต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่กระทำซ้ำ ๆ ของน้ำหนักเพลลาขนาดต่าง ๆ จาก ภาพประกอบ 3.22 ในกรณีที่เป็นเพลลาเดี่ยว และ ภาพประกอบ 3.23 เมื่อเป็นเพลลาคู่

ณ. ออกแบบเหล็กเสริมต่าง ๆ

ภาพประกอบ 3.19 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางคอนกรีต
ตามวิธี PCA



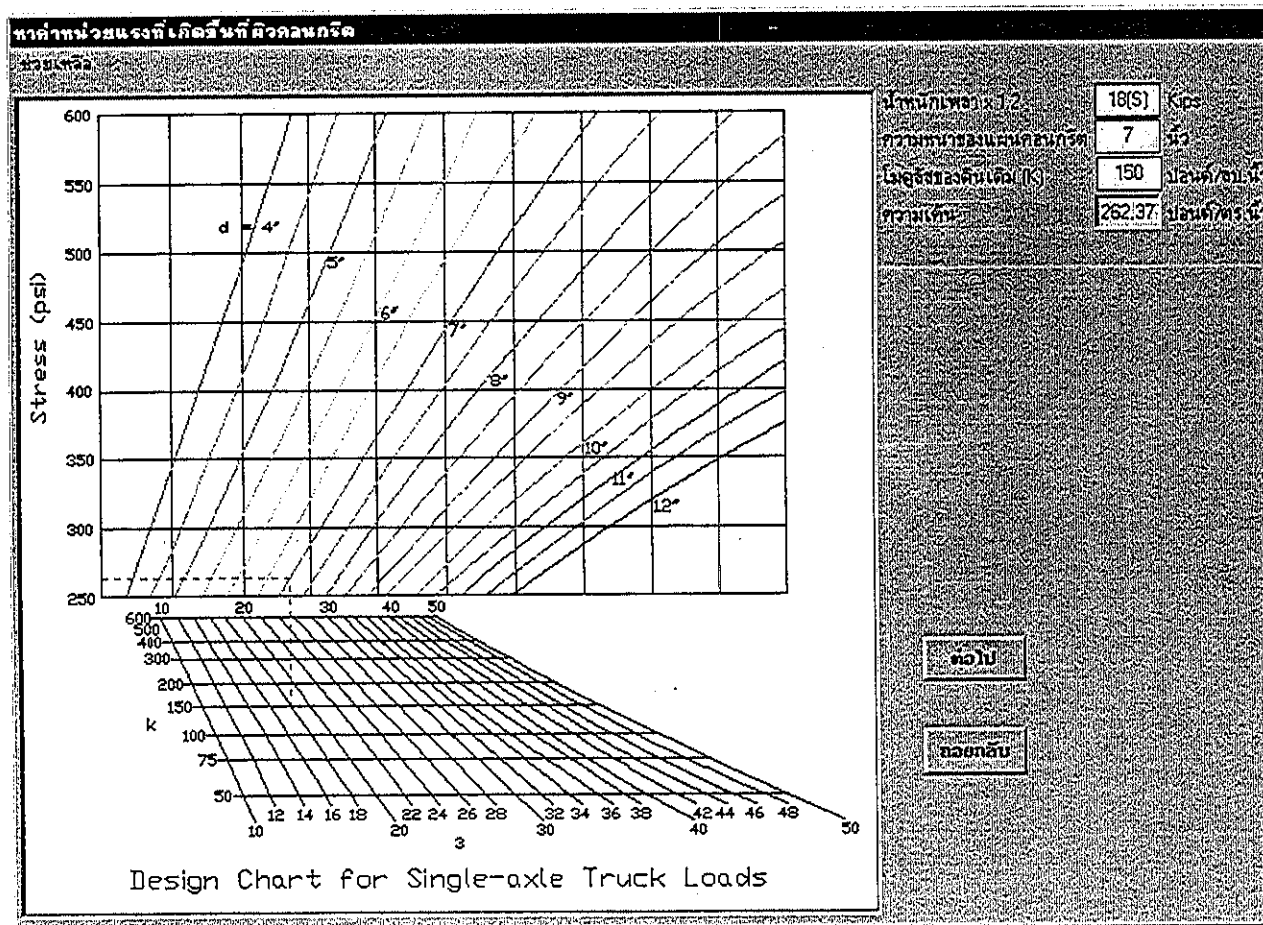
ภาพประกอบ 3.20 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Modulus of Subgrade Reaction (K)



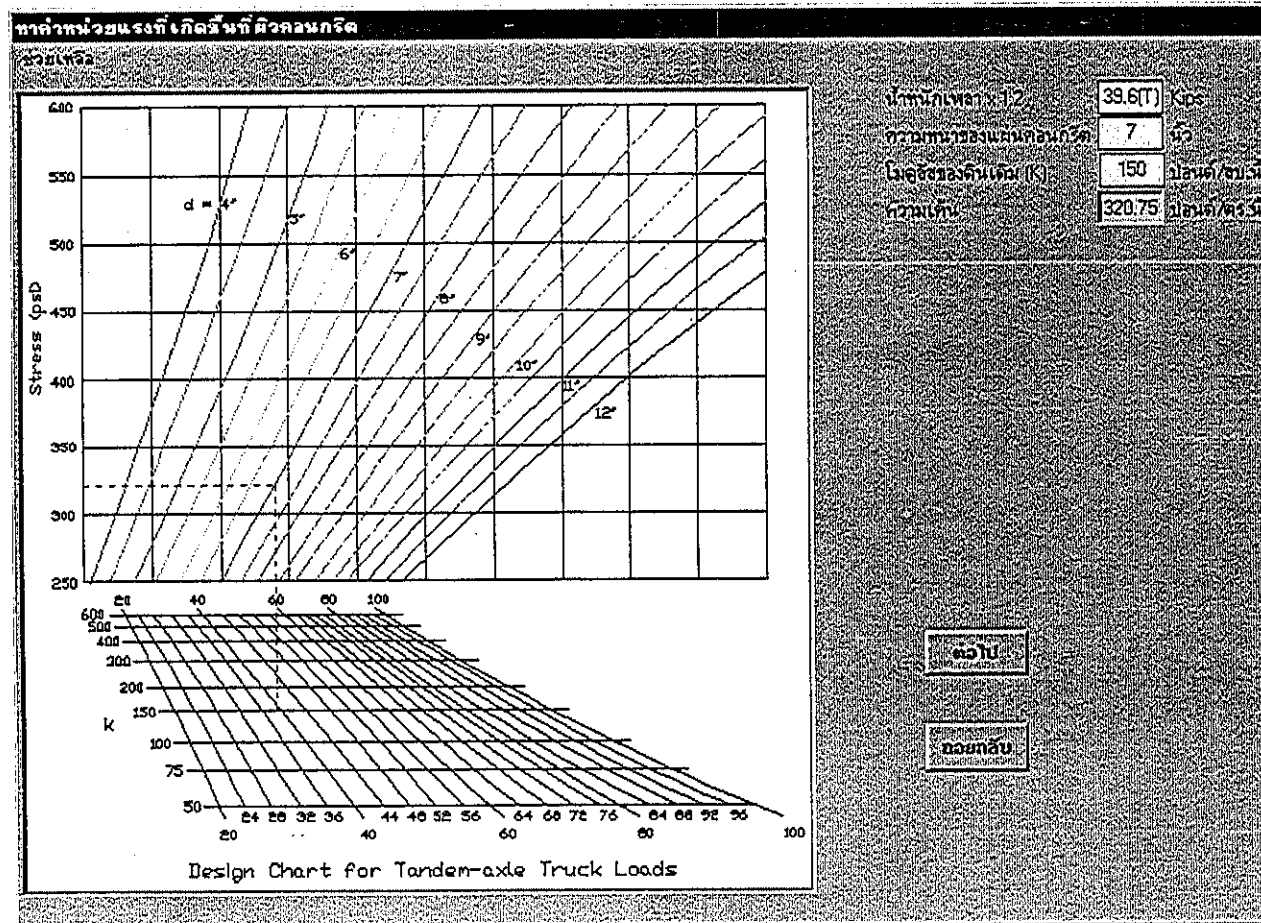
ภาพประกอบ 3.21 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA			การกระจายน้ำหนักเพลาลงรถบรรทุก		
หน่วย			น้ำหนักเพลาลงรถบรรทุก (Kips)	จำนวนเพลาลงรถบรรทุก 100 คันบนถนน	
CBR ของดินเดิม	5.5	%		เพลาลงรถบรรทุก	เพลาลงรถบรรทุก
โมดูลัสของดินเดิม (K)	4.74	กก./ลบ.ซม.	12-14	8	
ปริมาณการจราจรในปีแรก	400	คันต่อวัน	14-16	7.3	
เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก	20.00	%	16-18	6.1	
จำนวนเบรกล้อถนน	40	ปี	18-20	5.4	
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	2	% ต่อปี	20-22	3.2	5.2
โมดูลัสแตกกรวดของชั้นคอนกรีต	45.5	กก./ตร.ซม.	22-24		7.6
ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีต	3.5	ม.	24-26		8.4
ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต	10	ม.	26-28		9
ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต	17.5	ซม.	28-30		11.2
ความหนาชั้นรองพื้นทาง	0	ซม.	30-32		5.4
			32-34		1.8
			34-36		1.4
			36-40		0.9
			40-42		1
			42-44		0.1
			44-46		0.1
			46-48		0.1
โมดูลัสของชั้นรองพื้นทาง (K)	4.14	กก./ลบ.ซม.			
ต่อไป					

ภาพประกอบ 3.22 การหาค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักเพลลา (เพลลาเดี่ยว) ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA



ภาพประกอบ 3.23 การหาค่า Stress ที่เกิดจากน้ำหนักเพลลา (เพลลาคู่) ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี PCA



3.2.2 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานตามวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29)

3.2.2.1 ข้อมูลสำหรับโปรแกรมตามวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29)

ก. ค่า CBR (California Bearing Ratio) ได้จากการเก็บตัวอย่างดินเดิมในสายทางมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบ

ข. ปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี

ค. จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น หรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ

ง. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปีที่เก็บมาจนถึงปีปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ

3.2.2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29) เป็นไปตามแผนภูมิ ภาพประกอบ 3.24

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม เลือกชนิดของผิวทางและวิธีของการออกแบบแล้ว มีขั้นตอนตามรายละเอียดและตัวอย่างการป้อนข้อมูลในฟอร์มต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

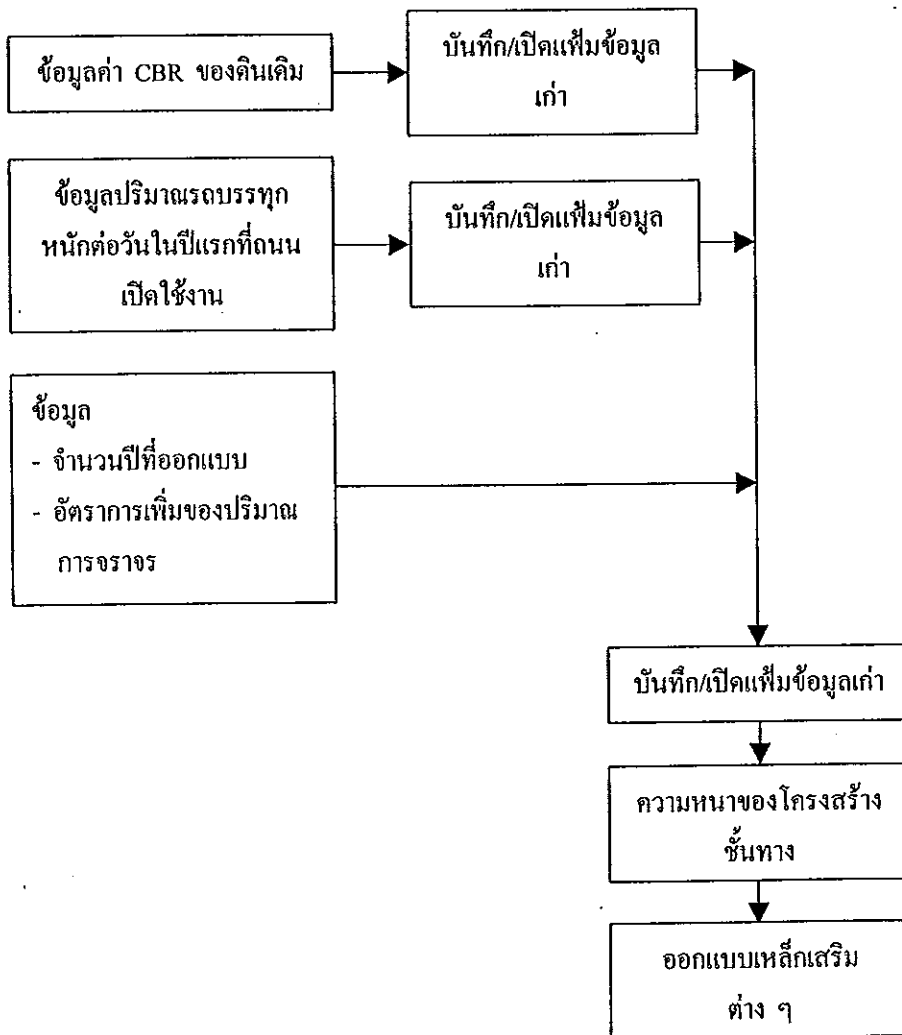
ก. ข้อมูลค่า CBR ของดินเดิมในสายทางที่ต้องการจะออกแบบ ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการป้อนค่า CBR ของวิธี The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 3.6)

ข. ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน จะมีแฟกเตอร์รถบรรทุกให้ผู้ใช้เลือกหรือผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเองได้ นอกเหนือจากที่โปรแกรมกำหนดมา (ภาพประกอบ 3.11)

ง. ข้อมูลจำนวนปีที่ออกแบบ และอัตราการเพิ่มของปริมาณ
การจราจร (ภาพประกอบ 3.25)

จ. ออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทางและเหล็กเสริมต่าง ๆ

ภาพประกอบ 3.24 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางคอนกรีต
ตามวิธี TRL (Road Note 29)



ภาพประกอบ 3.25 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี
TRL (Road Note 29)

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL [X]

เพิ่มข้อมูล ช่วยเหลือ

ใส่ข้อมูล

CBR ของ Subgrade	3	%
ปริมาณการจราจรในปีแรก	1140.85	คันต่อวัน
จำนวนปีที่ออกแบบ	15	ปี
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	4	% ต่อปี

ออกแบบ

3.2.3 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานตามวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

3.2.3.1 ข้อมูลสำหรับโปรแกรมตามวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

ก. ค่า CBR (California Bearing Ratio) ได้จากการเก็บตัวอย่างดินเดิมในสายทางมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และทำการเลือกค่าสำหรับไว้ใช้ในการออกแบบ

ข. ปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้งาน ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี

ค. จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น หรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ

ง. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปีที่เก็บมาจนถึงปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ

จ. ค่าโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีต (Modulus of Rupture) ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นเอง

ฉ. ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีต เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น โดยส่วนมากจะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของ 1 ช่องการจราจร

ช. ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น โดยขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ

3.2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามวิธี The American Association of State Highway and Transportation Officials เป็นไปตามแผนภูมิภาพประกอบ 3.26

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม และ
เลือกชนิดของผิวทาง วิธีของการออกแบบแล้ว มีขั้นตอนตามรายละเอียดและตัวอย่าง
การป้อนข้อมูลในฟอร์มต่าง ๆ ในโปรแกรม ดังนี้

ก. กำหนดแฟลคเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการ ซึ่งผู้ใช้
สามารถที่จะเลือกได้ (ภาพประกอบ 3.27)

ข. ข้อมูลค่า CBR ของดินเดิม ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการ
ป้อนค่า CBR ของวิธี The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 3.6)

ค. ทำการแปลงค่า CBR เป็นค่า Modulus of Subgrade
Reaction (K) (ภาพประกอบ 3.20)

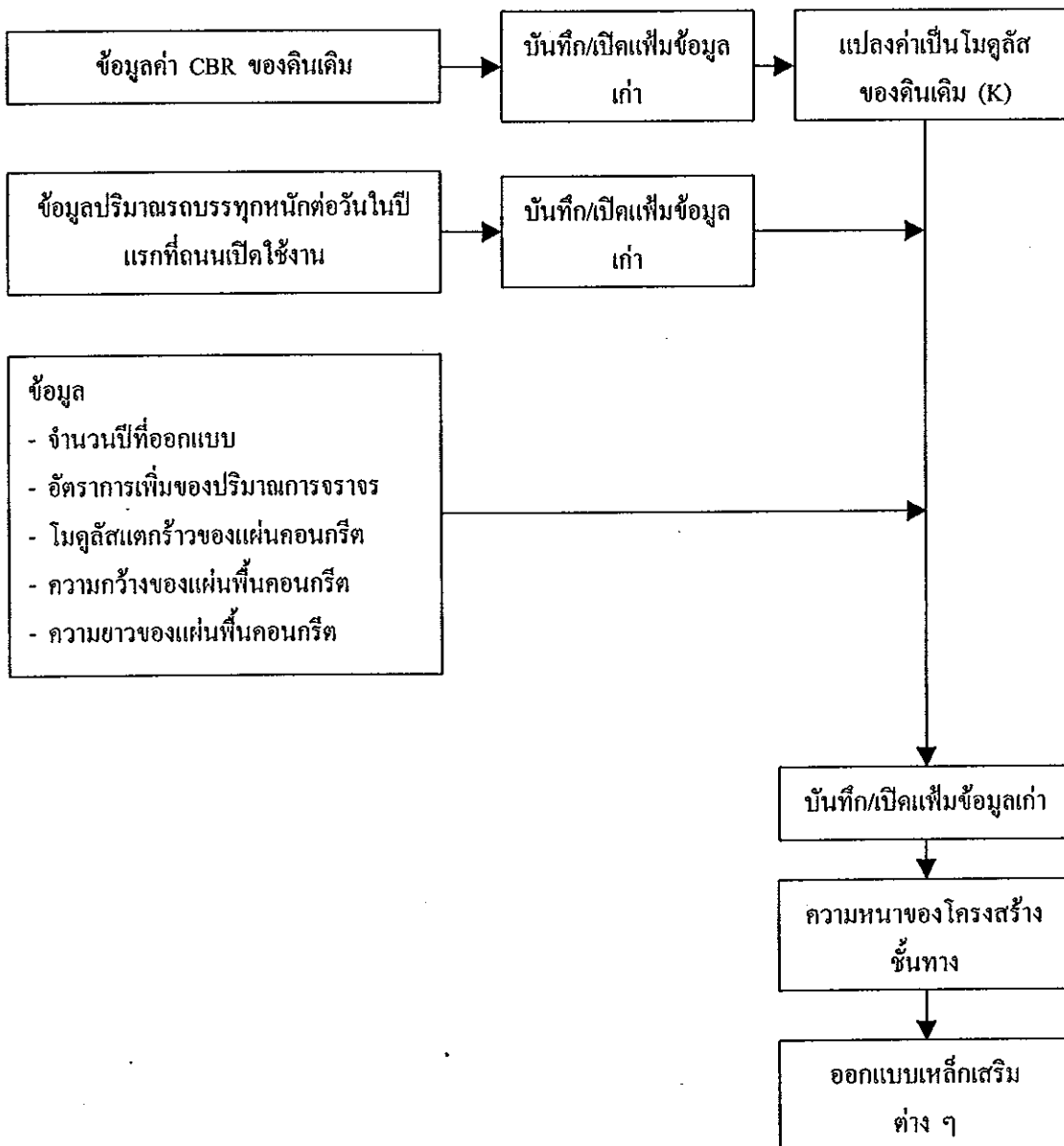
ง. ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันในปีแรกที่ถนนเปิดใช้
งาน ดำเนินการเช่นเดียวกันกับ วิธี Transportation Research Laboratory (Road Note
31) ภาพประกอบ 3.11

จ. ข้อมูลจำนวนปีที่ออกแบบ อัตราการเพิ่มของปริมาณการ
จราจร โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต ความกว้างและความยาวของแผ่นพื้น
คอนกรีต (ภาพประกอบ 3.28)

ฉ. ออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางจากภาพประกอบ
3.29 และ 3.30

ช. ออกแบบเหล็กเสริมต่าง ๆ

ภาพประกอบ 3.26 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การออกแบบผิวทางคอนกรีต ตามวิธี AASHTO



ภาพประกอบ 3.27 การกำหนดแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการของผิวทาง
คอนกรีตตามวิธี AASHTO

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO

แฟกเตอร์ลด:

PI:

ชั้นบน:

CBR ของดินเดิม	<input type="text"/>	%
โมดูลัสของดินเดิม (K)	<input type="text"/>	กิโลกรัม/ลบ.ซม.
ปริมาณการจราจรในปีแรก	<input type="text"/>	เที่ยวต่อวัน
จำนวนปีที่ออกแบบ	<input type="text"/>	ปี
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	<input type="text"/>	% ต่อปี
โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต	<input type="text"/>	กิโลกรัม/ตร.ซม.
ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีต	<input type="text"/>	ม.
ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต	<input type="text"/>	ม.

ภาพประกอบ 3.28 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี
AASHTO

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO

แฟ้มข้อมูล: ช่วยเหลือ

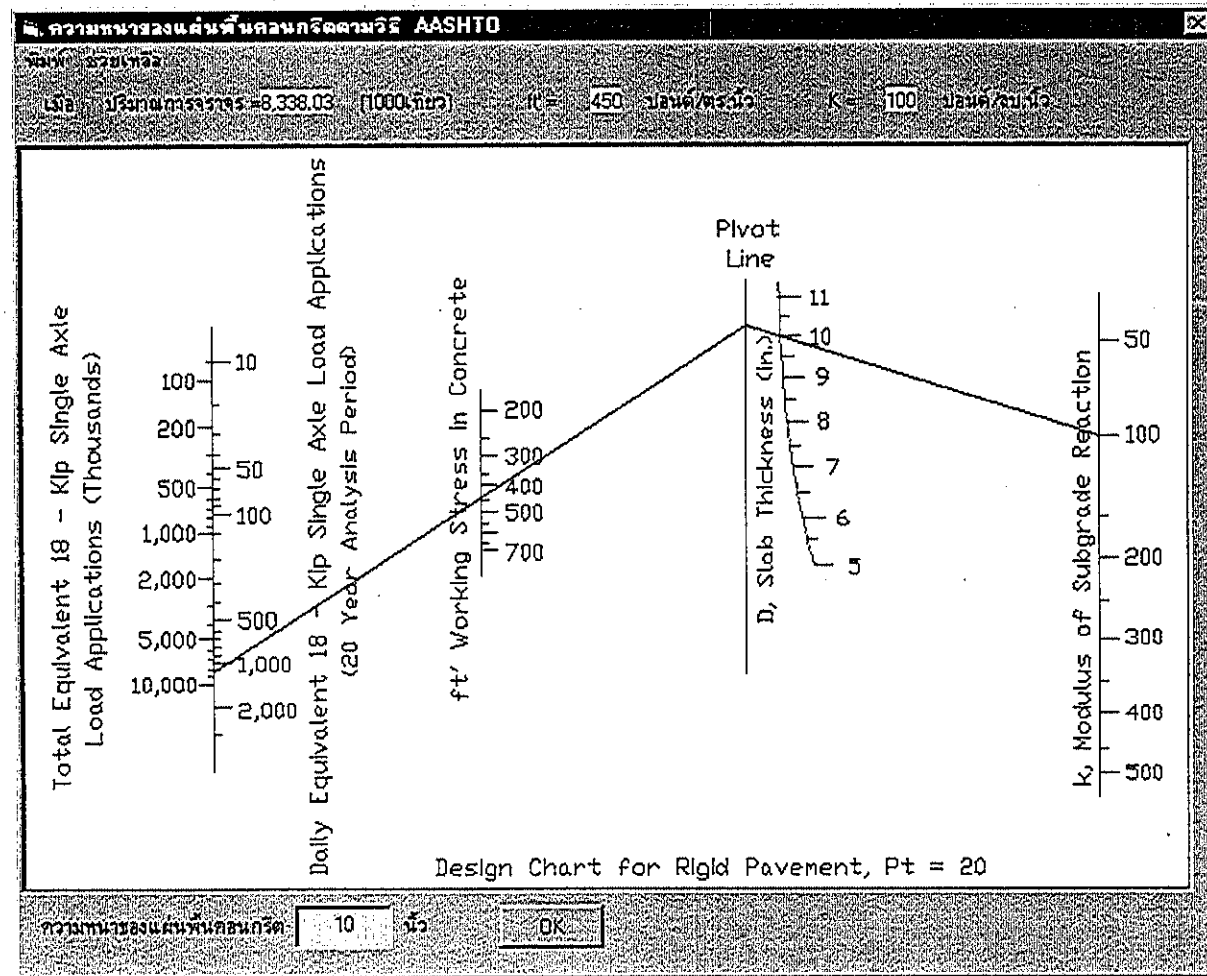
Pt: 25

ข้อมูล

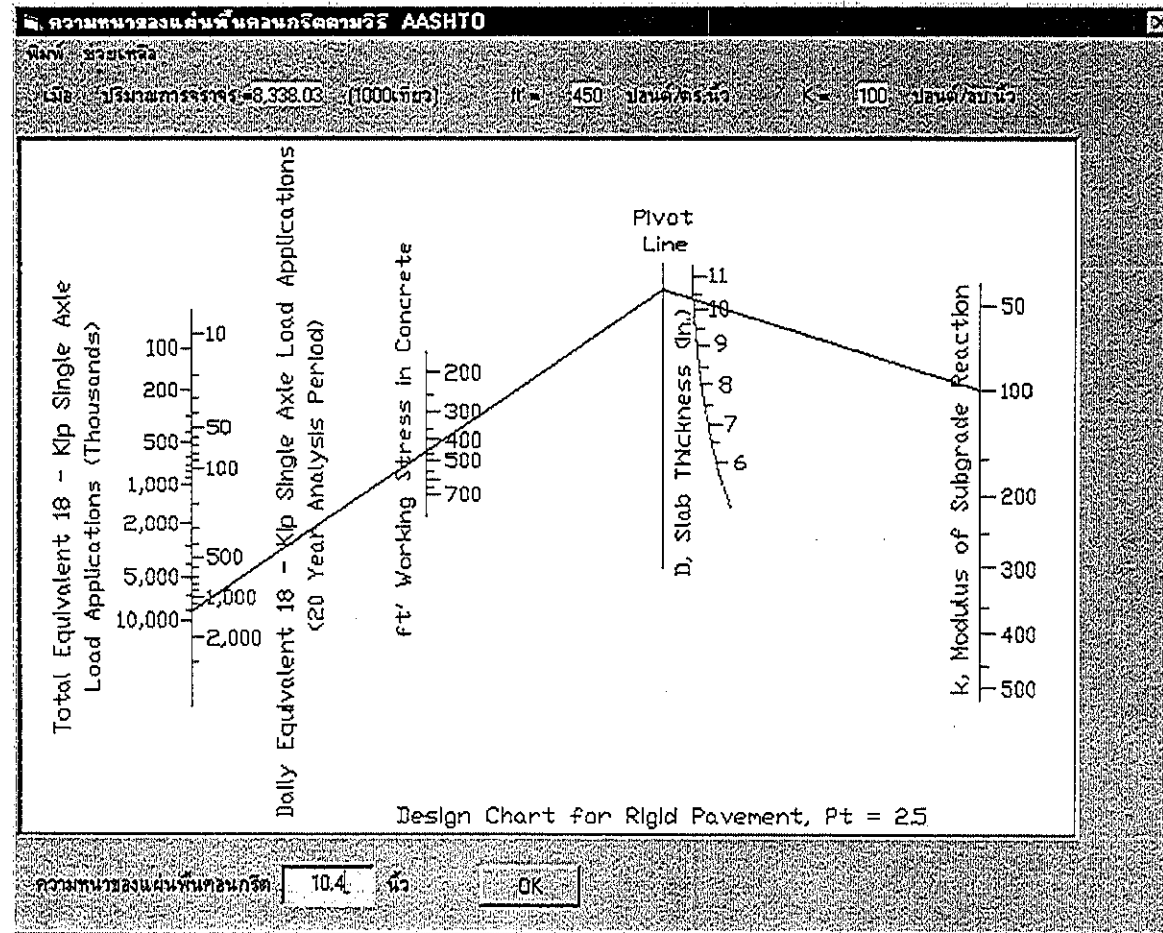
CBR ของดินเดิม	3	%
โมดูลัสของดินเดิม (K)	2.76	กิโลกรัม/ลบ.ซม.
ปริมาณการจราจรในปีแรก	1140.8	เที่ยวต่อวัน
จำนวนปีที่ออกแบบ	15	ปี
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	4	% ต่อปี
โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต	42	กิโลกรัม/ตร.ซม.
ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีต	35	ม.
ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต	10	ม.

ออกแบบ

ภาพประกอบ 3.29 การหาความหนาแผ่นพื้นคอนกรีต สำหรับ $P_t = 2.0$ ของผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO



ภาพประกอบ 3.30 การหาความหนาแน่นพื้นคอนกรีต สำหรับ $P_t = 2.5$ ของผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO



3.3 ข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการหาความเค้นที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย

3.3.1 รายละเอียดข้อมูลสำหรับการหาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือยในแผ่นพื้นคอนกรีตมีดังนี้คือ

3.3.1.1 ข้อมูลคุณสมบัติของรถ

- ก. น้ำหนักที่ถ่ายลงล้อแต่ละล้อ
- ข. ระยะจากขอบซ้ายของเลนถึงกึ่งกลางหน้ายางล้อนอก
- ค. ช่องกว้างระหว่างล้อ
- ง. ระยะห่างของล้อคู่ (เฉพาะล้อคู่)

3.3.1.2 ข้อมูลคุณสมบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตผิวทาง

- ก. ความกว้างของเลนถนนผิวทางคอนกรีต
- ข. ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต
- ค. ระยะห่างของรอยต่อตามขวาง
- ง. Modulus of Subgrade Reaction
- จ. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน
- ฉ. โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

3.3.1.3 ข้อมูลคุณสมบัติของเหล็กเดือย

- ก. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเดือย
- ข. ระยะห่างของเหล็กเดือยแต่ละเส้น
- ค. ระยะห่างจากขอบเลนด้านซ้ายของแผ่นพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลางเหล็กเดือยเส้นแรกริมขอบเลนด้านซ้าย

ก. ระยะห่างจากขอบเลนด้านขวาของแผ่นพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลางเหล็กเดือยเส้นแรกริมขอบเลนด้านขวา

- ง. ระยะห่างจากขอบเลนด้านขวาของแผ่นพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลางเหล็กเดือยเส้นแรกริมขอบเลนด้านขวา

ก. Modulus of Dowel Support

- ฉ. โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเดือย

3.3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการหาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็ก
เดือยในแผ่นพื้นคอนกรีตเป็นไปตามแผนภูมิ ภาพประกอบ 3.31

การป้อนข้อมูลให้โปรแกรมหลังจากเปิดใช้งานโปรแกรม เลือกชนิดของ
ผิวทาง และการหาความเค้นที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นบริเวณเหล็กเดือยแล้ว มีขั้นตอนตามราย
ละเอียดและตัวอย่างการป้อนข้อมูลในฟอร์มของโปรแกรม ดังนี้

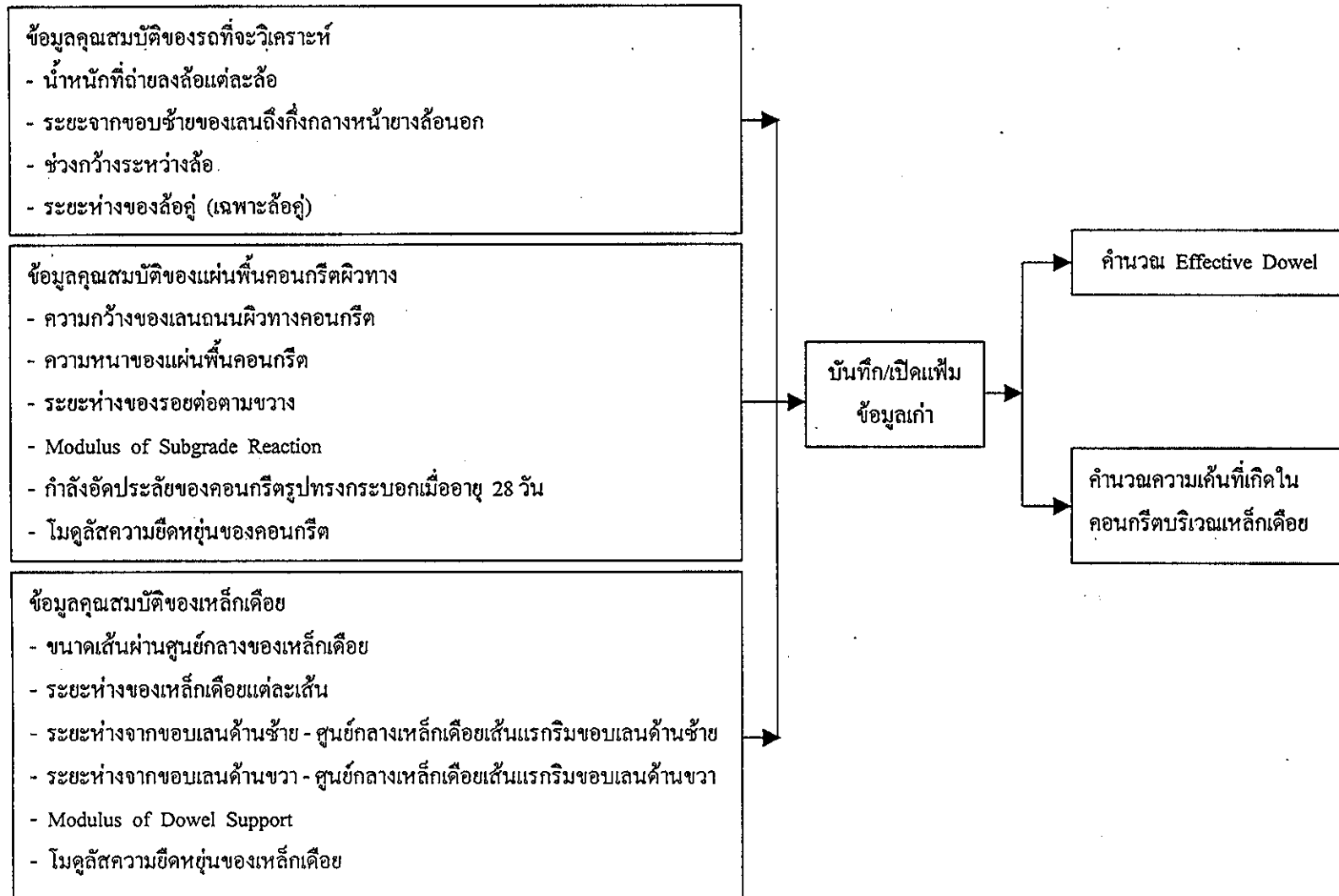
3.3.2.1 เลือกชนิดของล้อ

3.3.2.2 ป้อนข้อมูล คุณสมบัติของรถ ข้อมูลคุณสมบัติของแผ่นพื้น
คอนกรีตผิวทาง และคุณสมบัติของเหล็กเดือย (ภาพประกอบ 3.32 และ 3.33)

3.3.2.3 กำหนด Effective Dowel

3.3.2.4 หาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือยในแผ่นพื้นคอนกรีต

ภาพประกอบ 3.31 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาค่าความเค้น ที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือยของล้อยเดี่ยวและล้อยคู่



ภาพประกอบ 3.32 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ในการคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย (ล้อเดี่ยว)

Dowel

ข้อมูลทั่วไป

คุณสมบัติของมวลคอนกรีต

น้ำหนักมวล	4082	กก
ระยะจากขอบหน้าของเหล็กเดือย - ถึงกึ่งกลางของล้อด้านนอก	10	ซม
Track	180	ซม

คุณสมบัติของผิวคอนกรีต

ความกว้างของเลนถนนคอนกรีต	350	ซม
ความหนาของชั้นคอนกรีต	25.4	ซม
ระยะทางของรอยต่อตามขวาง	0.635	ซม
Modulus of Subgrade Reaction (K)	1.932	กก./ลบ.ซม.
กำลังอัดประลัยของคอนกรีตความ 28 วัน (ตรงกระบอก)	272.79	กก./ตร.ซม.
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (E)	280000	กก./ตร.ซม.

คุณสมบัติของเหล็ก Dowel

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเดือย	2.54	ซม
ระยะห่างของเหล็กเดือย	30	ซม
ระยะทางจากขอบหน้าของเหล็กเดือย - ถึงกึ่งกลางเหล็กเดือยเส้นแรกด้านซ้าย	10	ซม
ระยะทางจากขอบหน้าของเหล็กเดือย - ถึงกึ่งกลางเหล็กเดือยเส้นแรกด้านขวา	10	ซม
Modulus of Dowel Support (K)	41400	กก./ลบ.ซม.
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเดือย (E)	2030000	กก./ตร.ซม.

คำนวณ

ภาพประกอบ 3.33 การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ในการคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดในคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย (ล้อยู่)

Dowel

หน่วยข้อมูล: หน่วยไทย

เหล็กเดือย		ล้อยู่	
คุณสมบัติของมวลคอนกรีต			
น้ำหนักมวล	2100	กก	
ระยะห่างรวมของเหล็กเดือย - กึ่งกลางทางยาวของล้อยู่ด้านนอก	10	ซม	
Trac	182.88	ซม	
ระยะทางของล้อยู่	33.02	ซม	
คุณสมบัติของผิวคอนกรีต			
ความกว้างของเส้นถนนคอนกรีต	350	ซม	
ความหนาของแผ่นคอนกรีต	22.86	ซม	
ระยะทางของรอยต่อคอนกรีต	0.635	ซม	
Modulus of Subgrade Reaction (K)	1.932	กก/ลบ.ซม	
ค่าล้อยู่ประจิมของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (ทรงกลมกล)	272.79	กก/ตร.ซม	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (E)	280000	กก/ตร.ซม	
คุณสมบัติของเหล็ก Dowel			
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเดือย	2.54	ซม	
ระยะทางของเหล็กเดือย	30	ซม	
ระยะทางจากรวมเส้นดัดหน้า - ศูนย์กลางเหล็กเดือยเส้นแรกด้านซ้าย	10	ซม	
ระยะทางจากรวมเส้นดัดขวา - ศูนย์กลางเหล็กเดือยเส้นแรกด้านขวา	10	ซม	
Modulus of Dowel Support (K)	41400	กก/ลบ.ซม	
โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเดือย (E)	2030000	กก/ตร.ซม	

คำนวณ

บทที่ 4

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบกับวิธีปกติ

จากการคำนวณการออกแบบโครงสร้างชั้นทางโดยวิธีปกติ เพื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ในการออกแบบผิวทางแบบลาดยางได้ใช้ข้อมูลการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 107 สายเลียงเมืองอำเภอฝาง ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของสายนี้ กรมทางหลวงใช้วิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง โดยวิธีของ The Asphalt Institute ซึ่งมีข้อมูลในการออกแบบดังนี้

ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง¹

1. ค่า CBR มีดังนี้ 48.7, 26.6, 15.5, 14.3, 11.6, 8.7, 8.4, 7.3, 6.7, 6.4, 5.3, 5.2, 4.4, 4.2, 3.9, 3.7, 3.6, 3.6, 3.0, 2.8, และ 2.4 (เลือกใช้ค่าที่ 80 เปอร์เซนต์ไทม์)
2. ปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งานมีดังนี้
 - รถยนต์นั่ง 203 คัน
 - รถโดยสารขนาดเล็ก 94 คัน
 - รถโดยสารขนาดใหญ่ 23 คัน
 - รถบรรทุกขนาดเล็ก 641 คัน
 - รถบรรทุกขนาดกลาง 159 คัน
 - รถบรรทุกขนาดใหญ่ 38 คัน
3. ค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก 21 ตัน
4. น้ำหนักเพลาเดี่ยว 8.2 ตัน
5. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 5% ต่อปี

¹ ทางหลวง, กรม. ม.ป.พ. Pavement Design for Highway NO.107 By – Pass A. Fang (10 Kms.). กรุงเทพฯ. หน้า 2.

6. อายุการใช้งานของถนน 7 ปี
7. ช่องทางการจราจรจำนวน 2 ช่องทาง
8. ความหนาเทียบเท่าของ ที่ใช้ในการออกแบบมีดังนี้
 - Asphaltic Concrete : พื้นทาง 1 : 2
 - Asphaltic Concrete : รองพื้นทางพื้นทาง 1 : 2.7
 - Asphaltic Concrete : วัสดุคัดเลือก ก. 1 : 2.7
 - Asphaltic Concrete : วัสดุคัดเลือก ข. 1 : 2.7

4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบลาดยางโดยวิธีของ The Asphalt Institute

4.1.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.1.1.1 จำนวนค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

มีค่าเท่ากับ 3.66% (ภาพประกอบ 4.1)

4.1.1.2 จำนวนค่า Full Depth (T_A)

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ค่า Full Depth มีค่าเท่ากับ

25.127 ซม. (ภาพประกอบ 4.2 และ 4.3)

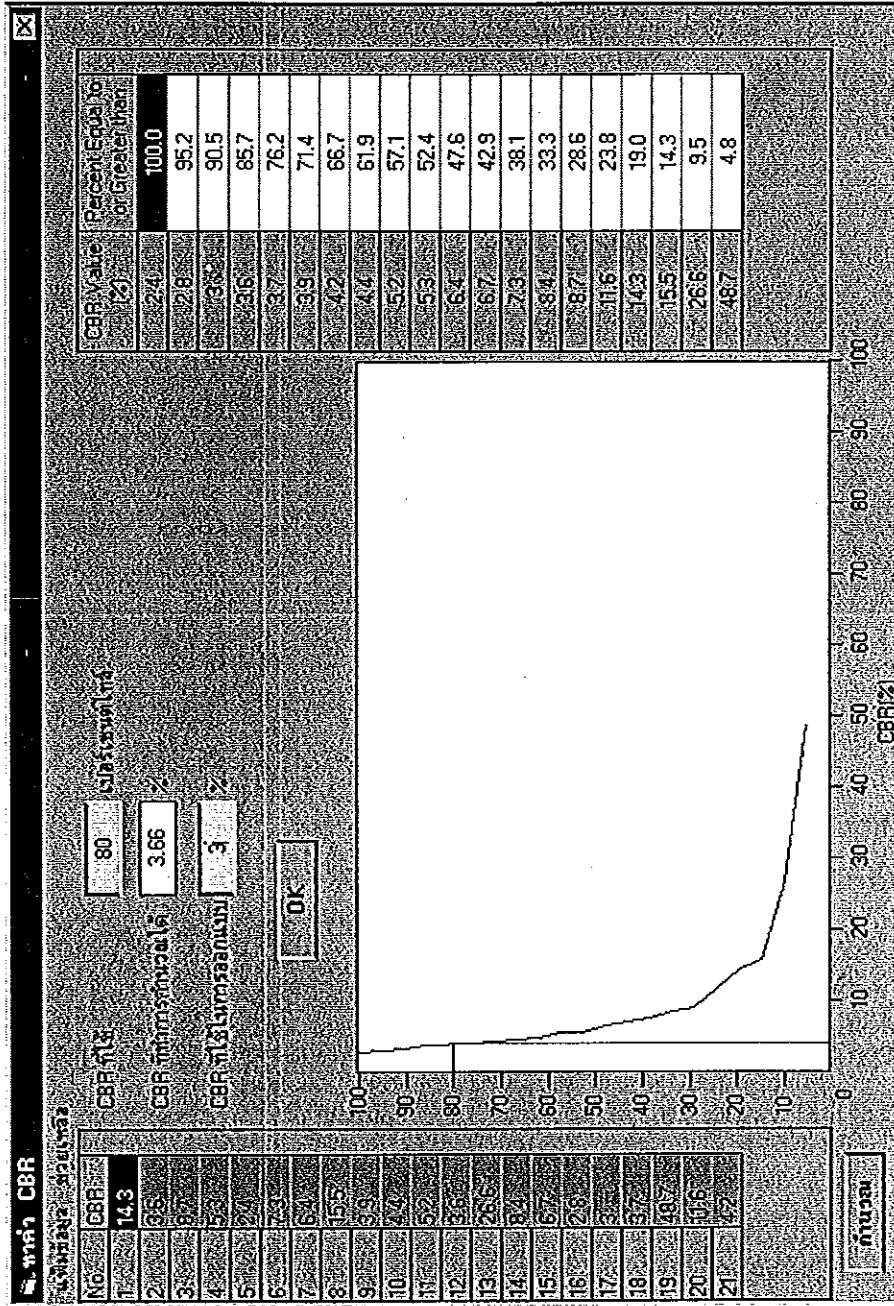
4.1.1.3 ความหนาของโครงสร้างชั้นทางมีรายละเอียดดังตาราง 4.1

(ภาพประกอบ 4.2 และ 4.3)

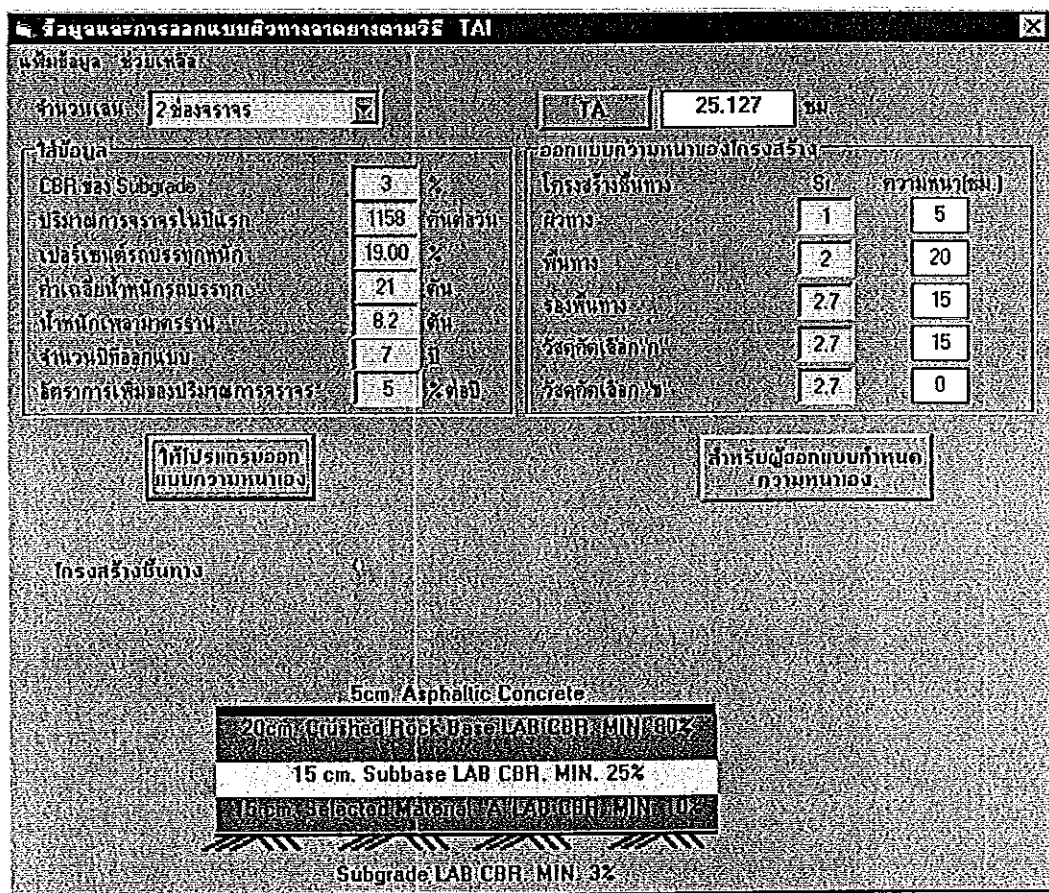
ตาราง 4.1 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TAI

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนาจากให้โปรแกรม จำนวน (ซม.)	ความหนาจากผู้ออกแบบ กำหนดความหนาเอง (ซม.)
Asphaltic Concrete	5	5
พื้นทาง	20	20
รองพื้นทาง	15	15
วัสดุคัดเลือก "ก"	15	15

ภาพประกอบ 4.1 ผลการคำนวณค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ จากโปรแกรม



ภาพประกอบ 4.2 ผลการคำนวณค่า T_A และ โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี TAI (ใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างชั้นทาง)



ภาพประกอบ 4.3 ผลการคำนวณค่า T_A และโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี TAI (ผู้ออกแบบกำหนดโครงสร้างและความหนาชั้นทางเอง)

๓. ผู้ใช้ออกแบบความหนาลาดยางตามวิธี TAI

พื้นที่ลาดยาง: ๖๖๖๖๖๖

TA: 25.127 ซม.

ออกแบบความหนาของโครงสร้าง

โครงสร้างชั้นทาง	SI	ออกแบบความหนา (ซม.)	ความหนาเทียบเท่า Asphaltic (ซม.)
<input checked="" type="checkbox"/> Asphaltic Concrete	1	5	5
<input checked="" type="checkbox"/> พื้นทาง	2	20	10.
<input checked="" type="checkbox"/> รองพื้นทาง	2.7	15	5.556
<input checked="" type="checkbox"/> วัสดุคัดเลือก ก	2.7	15	5.556
<input type="checkbox"/> วัสดุคัดเลือก ข			
Total Substitution Ratio (SI) to Asphaltic Pavement Thickness			26.112

[ออกแบบ]

โครงสร้างชั้นทาง

5 cm. Asphaltic Concrete

20 cm. Crushed Rock Base LAB CBR MIN. 80%

15 cm. Subbase LAB CBR. MIN. 25%

15 cm. Selected Material LAB CBR. MIN. 10%

Subgrade LAB CBR. MIN. 3%

4.1.2 การเปรียบเทียบผลลัพท์

4.1.2.1 ค่ามวลค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพท์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ จากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง) ปรากฏว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกันมากโดยต่างกันเพียงเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับการอ่านค่าจากกราฟที่พล็อตขึ้น โดยจากโปรแกรมคำนวณค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ได้ 3.66 และจากการคำนวณวิธีปกติอ่านค่าจากกราฟได้ประมาณ 3.6 โดยผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมมากกว่า 1.6% (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

4.1.2.2 ค่ามวลค่า Full Depth (T_A)

ผลลัพท์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลการคำนวณโดยวิธีปกติจากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง) ปรากฏว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกัน โดยผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม T_A มีค่าเท่ากับ 25.127 ส่วนจากการคำนวณโดยวิธีปกติ T_A มีค่า 25.0 ซึ่งค่า T_A ที่ได้จากโปรแกรมมีค่ามากกว่า 0.5% ซึ่งในการออกแบบโดยวิธีปกติ ค่า T_A จะขึ้นอยู่กับการอ่านค่าของผู้ออกแบบจากแผนภูมิ (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

4.1.2.3 ความหนาของโครงสร้างชั้นทางจากการคำนวณโดยวิธีปกติมีรายละเอียดดังตาราง 4.2 (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

ตาราง 4.2 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TAI

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนา (ซม.)	Sr	ความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete (ซม.)
Asphaltic Concrete	5	1	$5/1 = 5$
พื้นทาง	20	2.0	$20/2 = 10$
รองพื้นทาง	15	2.7	$15/2.7 = 5.56$
วัสดุคัดเลือก "ก"	15	2.7	$15/2.7 = 5.56$
			รวม = 26.12

ค่า T_A Required = 25 ซม. < ค่า T_A ออกแบบ = 26.12 ซม. ∴ ใช้ได้

4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบลาดยางโดยวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31)

4.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.2.1.1 จำนวนค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

เช่นเดียวกับวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 4.1)

4.2.1.2 ความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

ผลจากการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ด้วย

โปรแกรม เป็นดังตาราง 4.3 (ภาพประกอบ 4.4)

ตาราง 4.3 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL
(Road Note 31)

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนา (ซม.)
ผิวทาง Surface Dressing	2
พื้นทาง	15
รองพื้นทาง	35

4.2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

4.2.2.1 จำนวนค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ

จากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง) ปรากฏว่าข้อสรุปที่ได้
เหมือนกับข้อ 4.1.2.1

4.2.2.2 หาความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

ผลลัพธ์ที่ได้จาก โปรแกรมกับผลการคำนวณ โดยวิธีปกติจากข้อ
มูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง) ปรากฏว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกันดังนี้

- ชั้นผิวทาง (Surface Dressing) ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม

เท่ากับกับวิธีปกติ

- ชั้นพื้นทาง ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมเท่ากับวิธีปกติ
- ชั้นรองพื้นทาง ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมมากกว่าวิธีปกติ

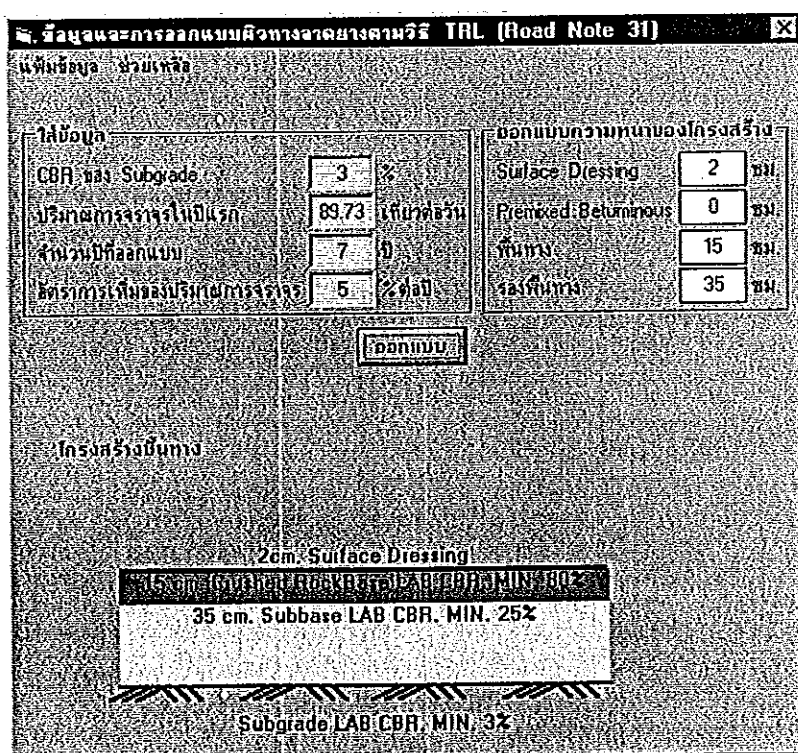
2.8% เนื่องจากว่าผู้เขียนได้เขียนคำสั่งให้โปรแกรมปิดค่าความหนาขึ้นไป โดยให้ค่าในหลักหน่วยลงท้ายด้วยเลข 0 หรือ เลข 5 เฉพาะความหนาในชั้นนี้

4.2.2.3 ความหนาของโครงสร้างชั้นทางที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีปกติ
ดังตาราง 4.4 (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

ตาราง 4.4 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL
(Road Note 31)

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนา (ซม.)
ผิวทาง Surface Dressing	2
พื้นทาง	15
รองพื้นทาง	34

ภาพประกอบ 4.4 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL
(Road Note 31)



4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบลาดยางโดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

4.3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.3.1.1 กำหนดค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

เช่นเดียวกับวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 4.1) และ
แปลงค่ามาเป็น Soil Support Value ได้เท่ากับ 3 (ภาพประกอบ 4.5)

4.3.1.2 ตัวเลขโครงสร้างทาง (Structural Number)

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม เมื่อ Regional Factor มีค่า = 4.0

และ $P_t = 2$ ตัวเลขโครงสร้างทางจะมีค่า = 3.8 (ภาพประกอบ 4.6)

4.3.1.3 ความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

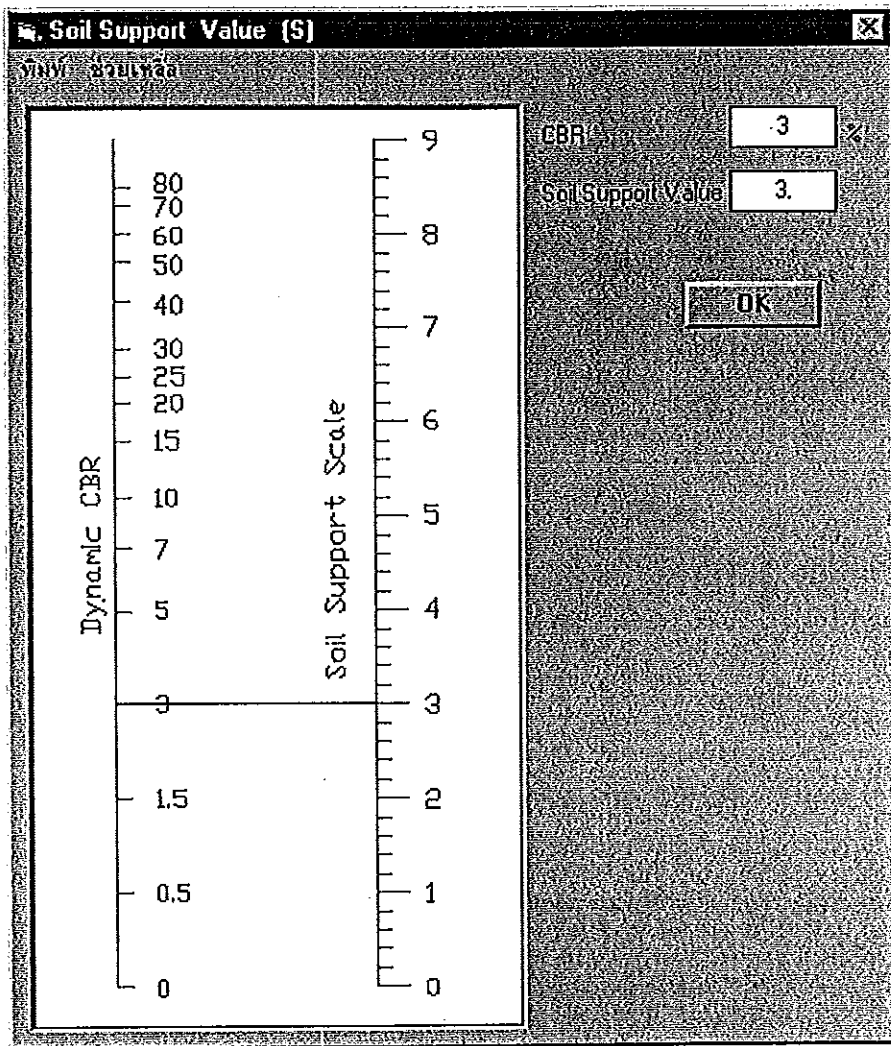
ผลจากการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางด้วย

โปรแกรม หลังจากเลือกวัสดุโครงสร้างชั้นทางแล้ว ดังตาราง 4.5 (ภาพประกอบ 4.7
และ 4.8)

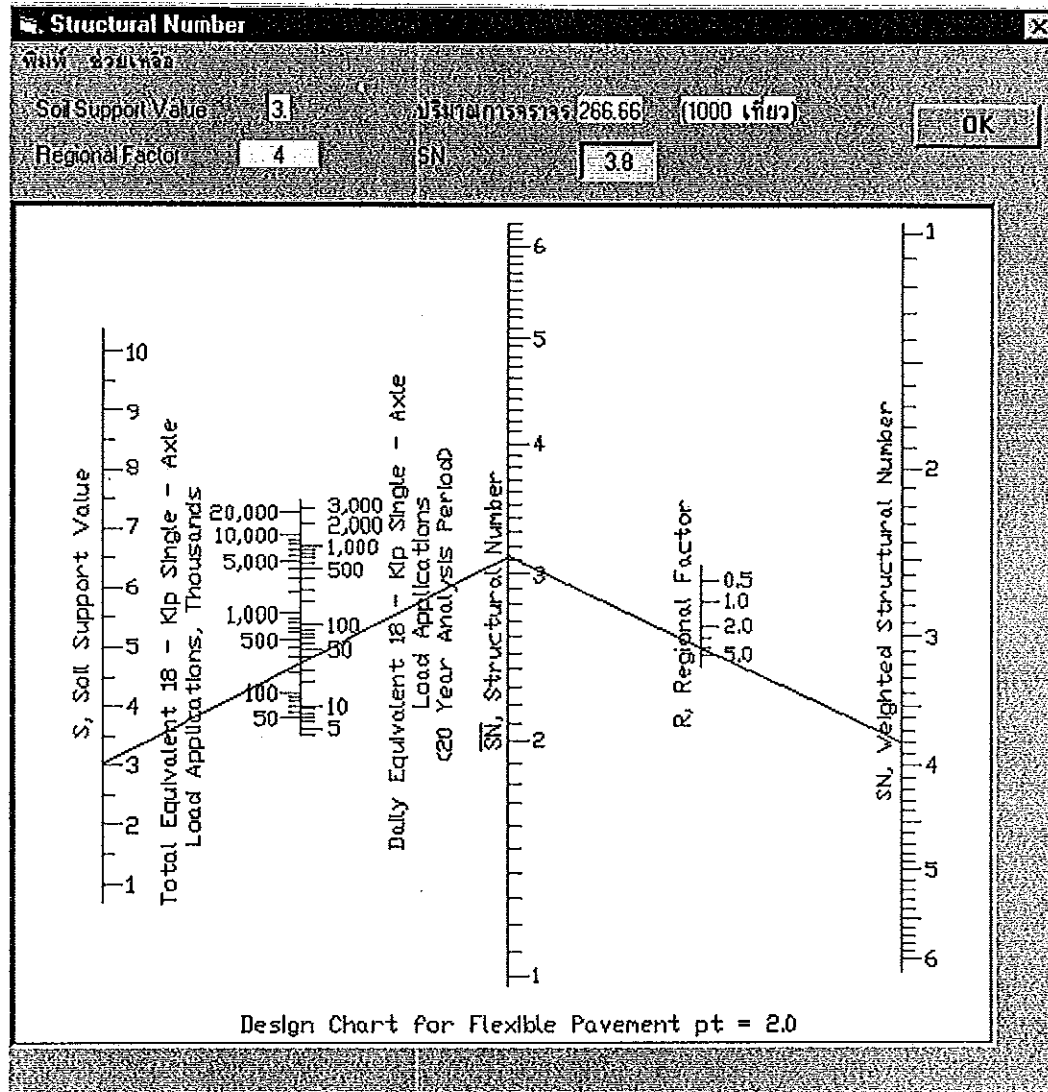
ตาราง 4.5 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนาจากการให้ โปรแกรมคำนวณ (ซม.)	ความหนาจากผู้ออกแบบ กำหนดความหนาเอง (ซม.)
ผิวทาง Plantmix	10	8
พื้นทาง Crushed Stone	25	25
รองพื้นทาง Sandy Gravel	25	25

ภาพประกอบ 4.5 การแปลงค่า CBR เป็นค่า Soil Support Value จากโปรแกรม



ภาพประกอบ 4.6 ตัวเลขโครงสร้างทางที่หาได้จากโปรแกรม



ภาพประกอบ 4.7 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO (ใช้โปรแกรม ออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง)

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO

พื้นที่ผิวลาดยาง:

ค่าปรับลด:

CBR ของ Subgrade	3	%
ประสิทธิภาพจราจรในปีแรก	89.73	กิโลเมตร
พื้นที่ลาดยาง (R)	4	
จำนวนปีตลอดชีพ	7	ปี
อัตราค่าเงินของปริมาณจราจร	5	%

ออกแบบความหนาสถาปัตยกรรม:

Structural Number (SN)

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์	ความหนา (cm)	
ผิวทาง	Plantmix	0.44	10
ชั้นรอง	Crushed Stone	0.14	25
รองพื้นทาง	Sandy Gravel	0.11	25

ใช้โปรแกรมออกแบบความหนาเอง

สำหรับผู้ใช้ออกแบบกำหนดความหนาเอง

โครงสร้างชั้นทาง

10CM Plantmix

25CM Crushed Stone

25Cm Sandy Gravel

Subgrade LAB CBR MIN 3%

ภาพประกอบ 4.8 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี AASHTO (ผู้ออกแบบ กำหนดโครงสร้างและความหนาชั้นทางเอง)

ผู้ใช้เลือกแบบความหนาเลตตามวิธี AASHTO

แจ้งข้อมูล ว่างเปล่า

ผู้ออกแบบความหนามองโครงสร้าง

Structural Number (SN) 3.8

	จำนวนประกอบโครงสร้างชั้นทาง	ค่าสัมประสิทธิ์	ความหนา(ซม.)	
ผิวทาง	Plantmix	0.44	8	3.52
พื้นทาง	Crushed Stone	0.14	25	3.5
รองพื้นทาง	Sandy Gravel	0.11	25	2.75
				3.846

OK

โครงสร้างชั้นทาง

8CM Plantmix

25CM Crushed Stone

25CM Sandy Gravel

Subgrade LAB CBR MIN 3%

4.3.2 การเปรียบเทียบผลลัพท์

4.3.2.1 จำนวนค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพท์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ จากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง) ปรากฏว่าข้อสรุปที่ได้ เหมือนกับข้อ 4.1.2.1 และแปลงค่ามาเป็น Soil Support Value ได้เท่ากับ 3 เท่ากัน (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

4.3.2.2 ตัวเลขโครงสร้างทาง (Structural Number)

ผลลัพท์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลการคำนวณโดยวิธีปกติจากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง) ปรากฏว่าผลที่ได้มีค่าเท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าอ่านค่าของผู้ออกแบบจากแผนภูมิหาค่า Structural Number (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

4.3.2.3 ความหนาของโครงสร้างชั้นทางที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีปกติ ดังตาราง 4.6 (ดูรายการคำนวณภาคผนวก จ)

ตาราง 4.6 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี

AASHTO

โครงสร้างชั้นทาง	ค่าสัมประสิทธิ์ ของชั้นทาง	ความหนา (ซม.)	(SN)
ผิวทาง Plantmix	0.44	8	1.38
พื้นทาง Crushed Stone	0.14	25	1.38
รองพื้นทาง Sandy Gravel	0.11	25	1.08
รวมค่า SN จากการออกแบบ			3.84

ค่า SN Required = 3.8 < ค่า SN ออกแบบ 3.84 ∴ ใช้ได้

4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบคอนกรีตโดยวิธีของ Portland Cement Association

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต เนื่องจากผู้ศึกษาไม่สามารถหาข้อมูลในการออกแบบจริงมาได้ จึงใช้ข้อมูลบางส่วนจากหนังสือ Principles of Pavement Design Second Edition แต่งโดย E.J. Yoder และ M.W. Witzak และได้สมมติปริมาณการจราจรของรถประเภทต่าง ๆ ให้มีจำนวนรวม 400 คันต่อวัน¹

1. ค่า CBR ออกแบบ 5.5% ($K = 150$ ปอนด์/นิ้ว³)
2. ปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งานมีดังนี้

• รถยนต์นั่ง	203	คัน
• รถโดยสารขนาดเล็ก	94	คัน
• รถโดยสารขนาดใหญ่	23	คัน
• รถบรรทุกขนาดเล็ก	641	คัน
• รถบรรทุกขนาดกลาง	159	คัน
• รถบรรทุกขนาดใหญ่	38	คัน
3. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 2% ต่อปี
4. อายุการใช้งานของถนน 40 ปี
5. โมดูลัสการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต 650 ปอนด์/นิ้ว² (45.5 กก./ซม.²)
6. การกระจายน้ำหนักของรถบรรทุก แสดงไว้ในตาราง 4.7
7. ขนาดของแผ่นคอนกรีต กว้าง 3.50 ม. ยาว 10.00 ม.

4.4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.4.1.1 การประเมินความล้าของแผ่นพื้นคอนกรีต

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม เปอร์เซนต์ของผลรวมความล้า ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 79.48% (ภาพประกอบ 4.9)

¹ Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons Inc. p. 604.

ตาราง 4.7 การกระจายน้ำหนักของรถบรรทุก

น้ำหนักเพลา (x1,000 ปอนด์)	จำนวนเพลา/รถบรรทุก 100 คันบนถนน	
	เพลาเดี่ยว	เพลาคู่
12 - 14	8.0	-
14 - 16	7.3	-
16 - 18	6.1	-
18 - 20	5.4	-
20 - 22	3.2	5.2
22 - 24	-	7.6
24 - 26	-	8.4
26 - 28	-	9.0
28 - 30	-	11.2
30 - 32	-	9.4
32 - 34	-	1.8
34 - 36	-	1.4
36 - 38	-	0.9
38 - 40	-	1.0
40 - 42	-	0.1
42 - 44	-	0.1
44 - 46	-	0.1

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons Inc. p. 606.

4.4.1.2 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตเท่ากับ 17.5 ซม. (ภาพประกอบ 4.10)

4.4.1.3 เหล็กเสริมต่าง ๆ

ผลการออกแบบเหล็กเสริมต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมเป็นดังตาราง 4.8 (ภาพประกอบ 4.10)

ตาราง 4.8 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทางคอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี PCA

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ซม.)	ระยะห่าง (ซม.)
Dowel Bar	25	45	30
Tie Bar	12	70	75
เหล็กเสริมตามขวาง	6	-	30
เหล็กเสริมตามยาว	9	-	20

4.4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

4.4.2.1 เปอร์เซนต์ความล้าจากน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติจากข้อมูลข้างต้น ปรากฏว่าผลรวมความล้าที่ได้จากโปรแกรมมีค่า 79.48% ส่วนผลรวมความล้าที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีปกติมีค่า 96% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณปกติมีค่ามากกว่าผลลัพธ์ที่ได้โปรแกรม 16.52% เนื่องจากในการอ่านค่าจากแผนภูมิโดยวิธีปกตินั้น ผู้อ่านไม่สามารถอ่านค่าจากแผนภูมิซึ่งมีสเกลที่หยาบ ให้ละเอียดได้ จึงปิดค่าที่อ่านไปเป็นจำนวนเต็ม ในขณะที่โปรแกรมสามารถหาค่าที่ได้จากแผนภูมิละเอียดกว่า จึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันมาก

4.4.2.2 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

ผลลัพธ์ที่ได้เท่ากันอยู่ที่การสมมติค่าความหนาขึ้นมาแล้วนำมาวิเคราะห์ว่าสามารถรับน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ ได้หรือไม่

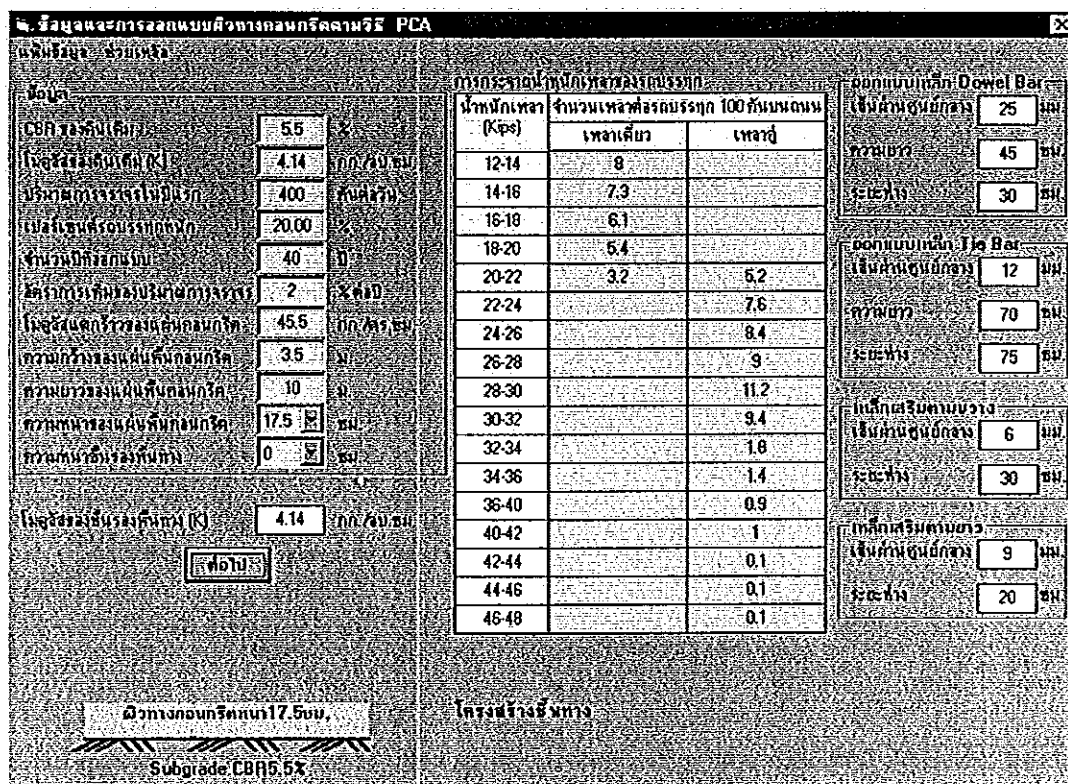
4.4.2.3 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ เท่ากันกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีปกติ

ภาพประกอบ 4.9 การประเมินความถี่ของแผ่นพื้นคอนกรีตจากการใช้โปรแกรม

จ. การประเมินความถี่ของแผ่นพื้นคอนกรีต						
น้ำหนักเสา (1000 lb)	น้ำหนักเสา วางลายการใช้	น้ำหนักเสา 12 (kip)	ความถี่ (16/sq.ft)	อัตราส่วน ความถี่	การบิดงอ ที่ยอมรับได้	เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักกระทำซ้ำ
13(S)	70080	15.6(S)	0.00	0.00	ไม่จำกัดจำนวน	.
15(S)	63948	18(S)	260.02	0.40	ไม่จำกัดจำนวน	.
17(S)	53436	20.4(S)	290.56	0.45	ไม่จำกัดจำนวน	.
19(S)	47304	22.8(S)	324.62	0.50	ไม่จำกัดจำนวน	.
21(S)	28032	25.2(S)	351.63	0.54	180000	15.57
21(T)	45552	25.2(T)	0.00	0.00	ไม่จำกัดจำนวน	.
23(T)	66576	27.6(T)	0.00	0.00	ไม่จำกัดจำนวน	.
25(T)	73584	30(T)	255.25	0.39	ไม่จำกัดจำนวน	.
27(T)	78840	32.4(T)	279.07	0.43	ไม่จำกัดจำนวน	.
29(T)	98112	34.8(T)	293.36	0.45	ไม่จำกัดจำนวน	.
31(T)	82344	37.2(T)	311.22	0.48	ไม่จำกัดจำนวน	.
33(T)	15768	39.6(T)	323.13	0.50	ไม่จำกัดจำนวน	.
35(T)	12264	42(T)	345.76	0.53	240000	5.11
37(T)	7884	44.4(T)	370.77	0.57	75000	10.51
39(T)	8760	46.8(T)	386.26	0.59	42000	20.86
41(T)	876	49.2(T)	405.31	0.62	18000	4.87
43(T)	876	51.6(T)	414.84	0.64	11000	7.96
45(T)	876	54(T)	431.51	0.66	6000	14.60
รวมความถี่ทั้งหมด						79.48

ภาพประกอบ 4.10 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีต และรายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี PCA



4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบคอนกรีตโดยวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29)

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต เนื่องจากผู้ศึกษาไม่สามารถหาข้อมูลในการออกแบบจริงมาได้ จึงได้สมมติข้อมูลปริมาณการจราจรขึ้นมา และใช้ค่า CBR จากข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบลาดยาง ดังนี้

1. ค่า CBR มีดังนี้ 48.7, 26.6, 15.5, 14.3, 11.6, 8.7, 8.4, 7.3, 6.7, 6.4, 5.3, 5.2, 4.4, 4.2, 3.9, 3.7, 3.6, 3.6, 3.0, 2.8, และ 2.4% (เลือกใช้ค่าที่ 80 เปอร์เซ็นต์)

2. ปริมาณการจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งานมีดังนี้

• รถยนต์นั่ง	2,534	คัน
• รถโดยสารขนาดเล็ก	403	คัน
• รถโดยสารขนาดใหญ่	293	คัน
• รถบรรทุกขนาดเล็ก	2,193	คัน
• รถบรรทุกขนาดกลาง	925	คัน
• รถบรรทุกขนาดใหญ่	1,155	คัน

3. อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร 4% ต่อปี

4. อายุการใช้งานของถนน 15 ปี

4.5.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.5.1.1 กำหนดค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์

เช่นเดียวกับวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 4.1)

4.5.1.2 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตหนา

20.80 ซม. (ภาพประกอบ 4.11)

4.5.1.3 ความหนาของชั้นรองพื้นทาง

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ความหนาของชั้นรองพื้นทางชนิดที่

1 หนา 8 ซม. และชนิดที่ 2 หนา 8 ซม. (ภาพประกอบ 4.11)

4.5.1.4 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม รายละเอียดของเหล็กเสริมชนิด
ต่าง ๆ ดังตาราง 4.9 (ภาพประกอบ 4.11)

ตาราง 4.9 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทาง
คอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 29)

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ซม.)	ระยะห่าง (ซม.)
Dowel Bar (เพื่อการขยายตัว)	25	65	30
Dowel Bar (เพื่อการหดตัว)	20	50	30
Tie Bar	12	70	75
เหล็กเสริมตามยาว	8	-	10
เหล็กเสริมตามขวาง	5	-	40

4.5.1.5 ระยะห่างของรอยต่อ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมระยะห่างของรอยต่อเพื่อการหดตัว
ทุก ๆ ระยะ 27.5 ม. และระยะห่างของรอยต่อเพื่อการขยายตัวทุก ๆ ระยะ 82.5 ม.

4.5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

4.5.2.1 ค่ามวลค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ
จากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต) ปรากฏว่าข้อสรุปที่ได้
เหมือนกับข้อ 4.1.2.1

4.5.2.2 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมี
ความหนาน้อยกว่าผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ 0.1%

ภาพประกอบ 4.11 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีต และรายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 29)

ข้อมูลและการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL

แก้ไขข้อมูลรวมเสร็จ

ใส่ข้อมูล

GBR(ตล) Subgrade	3	%
ปริมาณการจราจรในปีแรก	1140.85	คันต่อวัน
จำนวนปีที่ออกแบบ	15	ปี
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	4	% ต่อปี

โครงสร้างชั้นทาง

20cm ทรายหยาบกองปิด

8 cm Crushed Rock
8 cm Soil Aggregate

Subgrade LAB CBR - MIN. 3%

ออกแบบ

ออกแบบเหล็กเสริมและระยะห่างระหว่างรอยต่อ

ออกแบบความหนาของโครงสร้าง	
ผิวทางคอนกรีต	20.8 ซม.
รองพื้นทางชนิดที่ 1 (Crushed Rock)	8 ซม.
รองพื้นทางชนิดที่ 2 (Soil Aggregate)	8 ซม.

เหล็ก Tie Bar	
ความยาวของเหล็ก	70 ซม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	12 มม.
ระยะห่าง	75 ซม.

เหล็ก Dowel Bar เพื่อการขยายตัว	
ความยาวเหล็กของ	65 ซม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	25 มม.
ระยะห่าง	30 ซม.

เหล็กเสริมตรง(เหล็กขึ้น)	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	8 มม.
ระยะห่าง	10 ซม.

เหล็กเสริมตรง(เหล็กตามขวาง)	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	5 มม.
ระยะห่าง	40 ซม.

ระยะห่างระหว่างรอยต่อ	
รอยต่อเพื่อการขยายตัว	82.5 ม.
รอยต่อเพื่อการหดตัว	27.5 ม.

4.5.2.3 ความหนาของชั้นรองพื้นทาง

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ความหนาของชั้นรองพื้นทางชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 เท่ากันกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ

4.5.2.4 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ เท่ากันกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ

4.5.2.5 ระยะห่างของรอยต่อ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมโปรแกรม ระยะห่างของรอยต่อเพื่อการหดตัว และระยะห่างของรอยต่อเพื่อการขยายตัวเท่ากันกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ

4.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบ ผิวทางแบบคอนกรีตโดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

4.6.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.6.1.1 จำนวนค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ เช่นเดียวกับวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute (ภาพประกอบ 4.1) และแปลงค่ามาเป็น Modulus of subgrade Reaction ได้เท่ากับ 100 ปอนด์/นิ้ว³ (ภาพประกอบ 4.12)

4.6.1.2 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตหนา 10 นิ้ว หรือ 25 ซม. (ภาพประกอบ 4.13)

4.6.1.3 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม รายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ดังตาราง 4.10 (ภาพประกอบ 4.14)

ตาราง 4.10 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ซม.)	ระยะห่าง (ซม.)
Dowel Bar	32	45	30
Tie Bar	12	70	75
เหล็กเสริมตามขวาง	9	-	15
เหล็กเสริมตามยาว	6	-	20

4.6.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

4.6.2.1 กำหนดค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ จากข้อมูลข้างต้น (ข้อมูลการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต) ปรากฏว่าข้อสรุปที่ได้ เหมือนกับข้อ 4.1.2.1

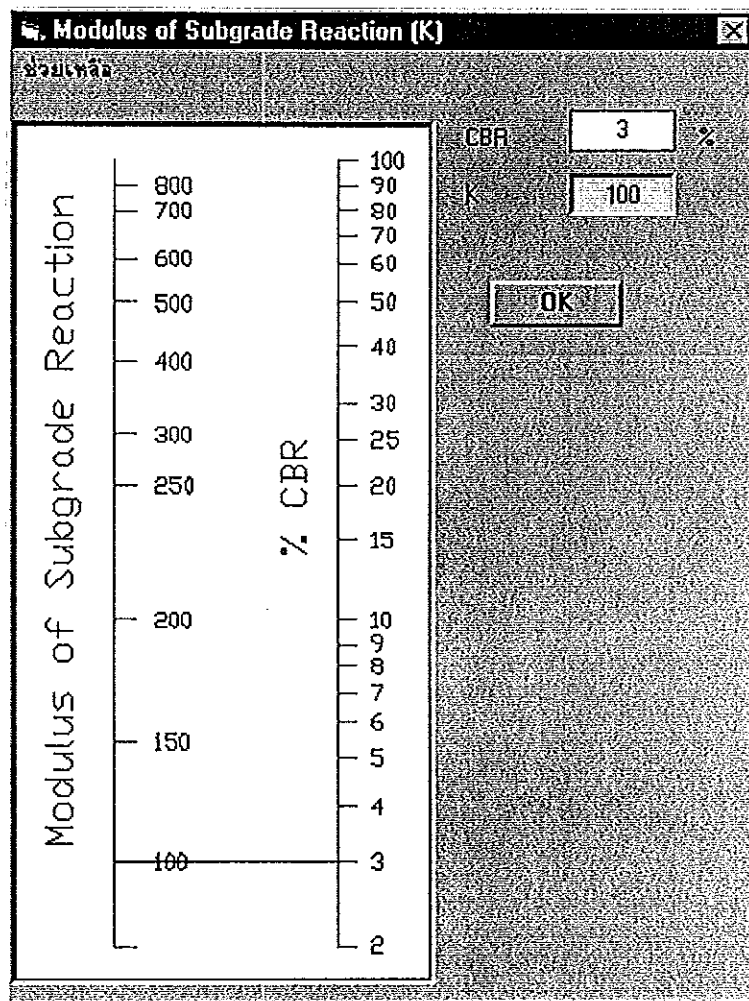
4.6.2.2 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ มีความหนาเท่ากัน

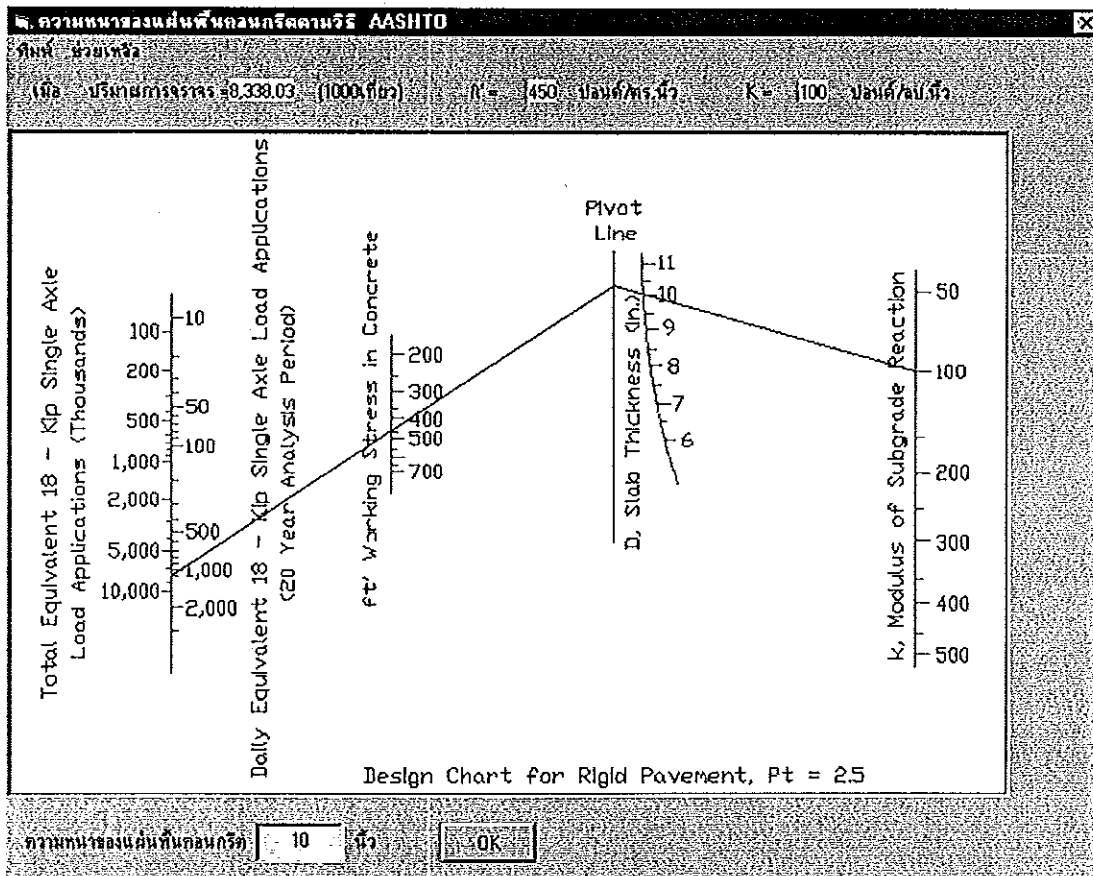
4.6.2.3 ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ เท่ากันกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ

ภาพประกอบ 4.12 ค่า Modulus of Subgrade Reaction ที่หาได้จากโปรแกรม



ภาพประกอบ 4.13 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO



ภาพประกอบ 4.14 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีต และรายละเอียดของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรมตามวิธี AASHTO

๒. ข้อมูลและการออกแบบผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO

แก้ไขข้อมูล ช่วยเหลือ

PI

ข้อมูล		
CBR ของดินเดิม	<input type="text" value="3"/>	%
โมดูลัสของดินเดิม (K)	<input type="text" value="2.76"/>	กิโลกรัม/ลบ.ซม.
ปริมาณการจราจรในปีแรก	<input type="text" value="1140.8"/>	เที่ยวต่อวัน
จำนวนปีที่ออกแบบ	<input type="text" value="15"/>	ปี
อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร	<input type="text" value="4"/>	% ต่อปี
โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต	<input type="text" value="42"/>	กิโลกรัม/ตร.ซม.
ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีต	<input type="text" value="3.5"/>	ม.
ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต	<input type="text" value="10"/>	ม.

โครงสร้างชั้นทาง

ผิวทางคอนกรีตหนา 25 ซม.
Subgrade LAB CBR. MIN. 3%

ออกแบบความหนาของโครงสร้างทาง	
ผิวทางคอนกรีตหนา	<input type="text" value="25"/> ซม.

ออกแบบเหล็ก Tie Bar	
เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด	<input type="text" value="12"/> มม.
ความยาว	<input type="text" value="64"/> ซม.
ระยะห่าง	<input type="text" value="80"/> ซม.

ออกแบบเหล็ก Dowel	
เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด	<input type="text" value="32"/> มม.
ความยาว	<input type="text" value="45"/> ซม.
ระยะห่าง	<input type="text" value="30"/> ซม.

เหล็กเสริมตามขวาง	
เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด	<input type="text" value="6"/> มม.
ระยะห่าง	<input type="text" value="20"/> ซม.

เหล็กเสริมตามยาว	
เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด	<input type="text" value="9"/> มม.
ระยะห่าง	<input type="text" value="15"/> ซม.

4.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและการเปรียบเทียบการหาหน่วยแรงที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเค็ย

ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่า Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเค็ยมีดังนี้ (ล้อยู่)

1. ข้อมูลคุณสมบัติของรถ

- ก. น้ำหนักที่ถ่ายลงล้อแต่ละล้อ 2,100 กก.
- ข. ระยะจากขอบซ้ายของเลนถึงกึ่งกลางหน้ายางล้อนอก 10 ซม.
- ค. ช่องกว้างระหว่างล้อ 182.88 ซม.
- ง. ระยะห่างของล้อคู่ 33.02 ซม.

2. ข้อมูลคุณสมบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตผิวทาง

- ก. ความกว้างของเลนถนนผิวทางคอนกรีต 350 ซม.
- ข. ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต 22.86 ซม.
- ค. ระยะห่างของรอยต่อตามขวาง 0.635 ซม.
- ง. Modulus of Subgrade Reaction 1.932 กก./ซม.³
- จ. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน

272.79 กก./ซม.²

- ฉ. โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต 280,000 กก./ซม.²

3. ข้อมูลคุณสมบัติของเหล็กเค็ย

- ก. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเค็ย 2.54 ซม.
- ข. ระยะห่างของเหล็กเค็ยแต่ละเส้น 30 ซม.
- ค. ระยะห่างจากขอบเลนด้านซ้ายของแผ่นพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลางเหล็กเค็ยเส้นแรกริมขอบเลนด้านซ้าย 10 ซม.

เหล็กเค็ยเส้นแรกริมขอบเลนด้านซ้าย 10 ซม.

- ง. ระยะห่างจากขอบเลนด้านขวาของแผ่นพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลาง

เหล็กเค็ยเส้นแรกริมขอบเลนด้านขวา 10 ซม.

- จ. Modulus of Dowel Support 4.14×10^4 กก./ซม.³

- ฉ. โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเค็ย 2.03×10^6 กก./ซม.²

4.7.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

4.7.1.1 คำนวณค่า Effective Dowel (ภาพประกอบ 4.15)

- เนื่องจากน้ำหนักล้อที่จุด A มีค่าเท่ากับ 3.825
- เนื่องจากน้ำหนักล้อที่จุด B มีค่าเท่ากับ 4.735
- เนื่องจากน้ำหนักล้อที่จุด C มีค่าเท่ากับ 6.526
- เนื่องจากน้ำหนักล้อที่จุด D มีค่าเท่ากับ 6.223

4.7.1.2 หาน้ำหนักที่เหล็กเดือยแต่ละเส้นรับ การแอ่นตัวตรงรอยต่อ และ Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย (ภาพประกอบ 4.16)

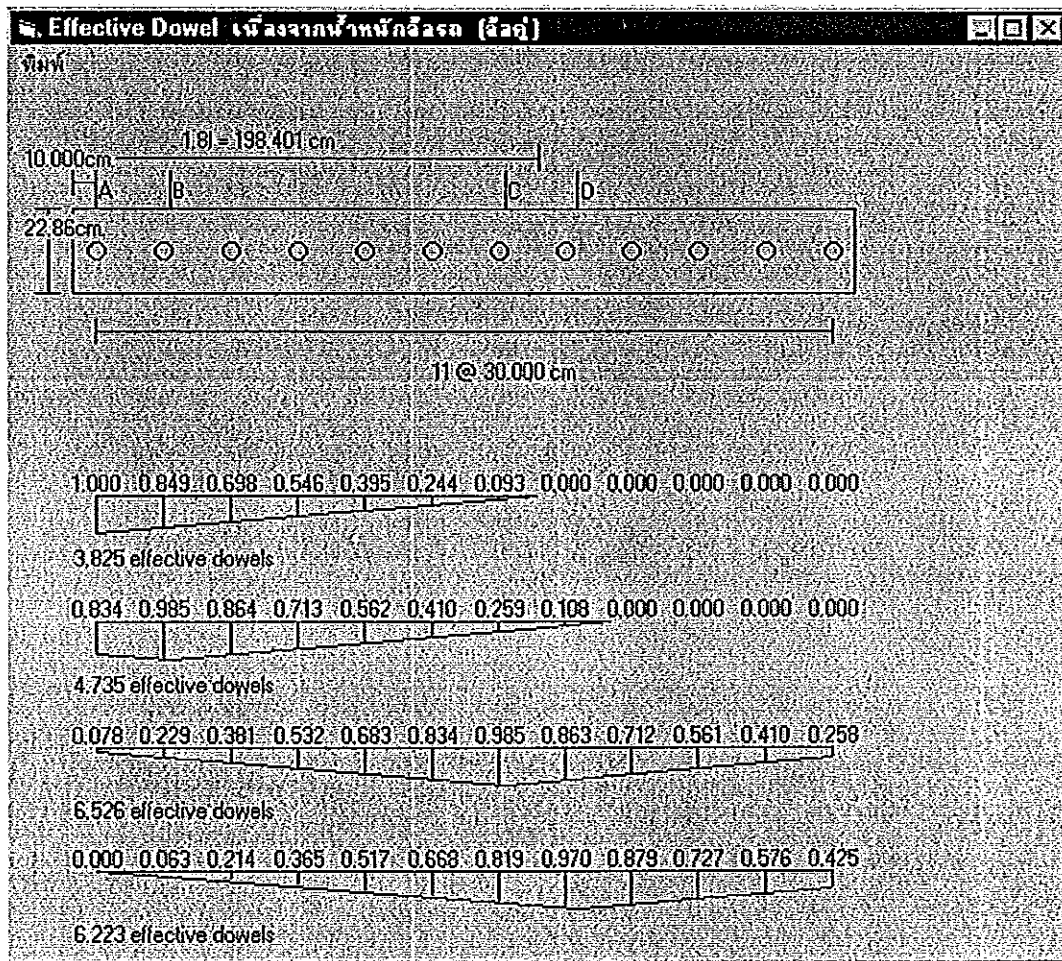
4.7.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

4.7.2.1 คำนวณค่า Effective Dowel เนื่องจากน้ำหนักล้อทั้ง 4 ล้อ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ จากข้อมูลข้างต้น (ที่ใช้ในการหาค่า Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย และอื่น ๆ) ปรากฏว่าผลที่ได้มีค่าเท่ากัน

4.7.2.2 หาน้ำหนักที่เหล็กเดือยแต่ละเส้นรับ การแอ่นตัวตรงรอยต่อ และ Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมกับผลจากการคำนวณโดยวิธีปกติ จากข้อมูลข้างต้น (ที่ใช้ในการหาค่า Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย และค่าอื่น ๆ) ปรากฏว่าผลที่ได้มีค่าเท่ากัน

ภาพประกอบ 4.15 Effective Dowel เนื่องจากน้ำหนักล้อทั้ง 4 ล้อ จากการใช้โปรแกรม



ภาพประกอบ 4.16 การหาหน้าหนักที่เหล็กเคียวแต่ละเส้นรับ การแอ่นตัวตรงรอยต่อ และ Bearing Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเคียวจากการใช้โปรแกรม

๗. ผลการหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในส่วนพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเคียว(ข้อมูล)					
หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเคียว					
Dowel number (L->R)	Diameter of dowel (cm.)	Width of joint (cm.)	Load Tranfer of each dowel (kgs.)	Deflection at face of joint (cm.)	Dowel stress (ksc.)
1	2.54	0.635	472.002	0.00276	114.264
2	2.54	0.635	498.960	0.00292	120.888 *
3	2.54	0.635	480.611	0.00281	116.334
4	2.54	0.635	455.174	0.00266	110.124
5	2.54	0.635	430.181	0.00252	104.328
6	2.54	0.635	404.796	0.00237	98.118
7	2.54	0.635	379.634	0.00222	91.908
8	2.54	0.635	326.469	0.00191	79.074
9	2.54	0.635	262.870	0.00154	63.756
10	2.54	0.635	212.928	0.00125	51.750
11	2.54	0.635	163.155	0.00095	39.330
12	2.54	0.635	113.221	0.00066	27.324

Allowable Bearing stress = 272.790 ksc.

บทที่ 5

บทสรุปเกี่ยวกับโปรแกรม

5.1 ประสิทธิภาพของโปรแกรม

จากการประมวลผลของโปรแกรมในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางและหาความเค้นที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย เปรียบเทียบกับการคำนวณโดยวิธีปกติในแต่ละชนิดและวิธีของการออกแบบนั้น สามารถสรุปความถูกต้องมากน้อยเป็นประเด็นหลัก ๆ ตามรายละเอียดดังนี้

5.1.1 การคำนวณและการเลือกค่า CBR ของดินเดิมสำหรับออกแบบ

ค่า CBR สำหรับออกแบบ ที่ผู้ศึกษาคำนวณออกมาได้นั้นเป็นการคำนวณค่าจากการที่ลากเส้นตั้งฉากออกจากแกน Y มาตัดกับเส้นกราฟ ที่เกิดจากการพล็อตเส้นแบบจุดต่อจุด (ไม่ใช่เส้นกราฟที่เกิดจากการเฉลี่ยค่าหรือเป็นเส้นโค้ง) แล้วจึงลากเส้นจากจุดตัดเส้นกราฟมาตัดกับแกน X แล้วจึงอ่านค่า % CBR จากแกน X ซึ่งก็อาจจะมีโอกาสผิดพลาดบ้างแต่ก็เพียงเล็กน้อย แต่ในการเลือกค่า %CBR มาออกแบบนั้น ส่วนใหญ่จะใช้ค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่น้อยกว่าค่าที่อ่านได้มาออกแบบ ดังนั้นค่าที่โปรแกรมคำนวณออกมาได้นั้นจึงเป็นค่าที่พอยอมรับได้ในความถูกต้อง

5.1.2 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบลาดยางตามวิธี TAI

ในการออกแบบโดยวิธีนี้ความหนาของโครงสร้างชั้นทางจะอยู่ในเทอมของ Full-Depth Asphalt Thickness หรือ T_A ดังนั้นค่านี้จึงมีความสำคัญมากในการกำหนดโครงสร้างชั้นทาง ในโปรแกรมที่ผู้ศึกษาพัฒนาขึ้นมานั้น การคำนวณค่าต่าง ๆ แต่ละค่าเพื่อให้ได้ค่า T_A มา เช่น ค่า ITN หรือ DTN ล้วนแล้วแต่ใช้สูตรในการคำนวณทั้งสิ้น โดยไม่ได้ใช้แผนภูมิในการหาค่าต่าง ๆ เหล่านั้นเลย ดังนั้นค่า T_A ที่ได้มาจึงเป็นค่าที่ถูกต้อง ส่วนในขั้นตอนของการออกแบบความหนาในแต่ละชั้นของโครงสร้างชั้นทาง โปรแกรมก็สามารถคำนวณได้อย่างถูกต้อง แต่ก็ยังไม่ยืดหยุ่นเท่ากับการที่ผู้ออกแบบใส่ความหนาในแต่ละชั้นเองโดยใช้วิธี Trial and Error ซึ่งสามารถที่จะเจาะจงหรือเลือกวัสดุที่ต้องการใช้หรือหาได้ง่ายในท้องถิ่นนั้น ๆ ตามที่ต้องการได้

5.1.3 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบลาดยางตามวิธี TRL

(Road Note 31)

การออกแบบในวิธีนี้ผู้ศึกษาได้สร้างสมการขึ้นมาเพื่อหาความหนาของชั้นรองพื้นทาง ดังนั้นในการคำนวณค่าความหนาจึงมีความถูกต้อง แต่ผู้ศึกษาได้เขียนคำสั่งให้โปรแกรมทำการปัดค่าความหนาขึ้นไปให้เป็นจำนวนเต็ม โดยในหลักหน่วยของจำนวนเต็มนั้นให้เป็นเลข 0 หรือเลข 5 ส่วนในชั้นพื้นทางหรือชั้นผิวทางนั้นทำการหาตามเงื่อนไขของวิธีการออกแบบที่ให้มาจึงมีความถูกต้องเช่นกัน

5.1.4 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบลาดยางตามวิธี AASHTO

ในการออกแบบวิธีนี้ ในการหาค่าตัวเลขโครงสร้าง (Structural Number) ผู้ศึกษาได้สร้างไม้บรรทัดขึ้นมาเพื่อเลียนแบบให้เหมือนกับการออกแบบโดยวิธีปกติ โดยไม้บรรทัดนั้นสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ จากนั้นให้ผู้ออกแบบอ่านค่าเอาเอง ในส่วนของความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับผู้อ่านเอง ส่วนความหนาของโครงสร้างชั้นทางในแต่ละชั้นโปรแกรมสามารถคำนวณได้อย่างถูกต้อง

5.1.5 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบคอนกรีตตามวิธี PCA

การออกแบบวิธีนี้เป็นการออกแบบในเชิงวิเคราะห์ ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องสมมติค่าความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตขึ้นมาก่อน แล้วตรวจสอบดูว่าพื้นคอนกรีตนั้นสามารถที่จะรับน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ ได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ในการตรวจสอบจะต้องหาค่าความเค้นซึ่งเกิดจากน้ำหนักล้อรถที่เผื่อแรงกระทำอีก 20% มากระทำ ว่ามีค่าความเค้นเท่าใด โดยใช้หลักการคล้ายกันกับข้อ 5.1.4 ซึ่งความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเอง ซึ่งในการหาค่าความเค้นผู้ออกแบบจะต้องคลิกเมาส์เพื่อเลือกจุดตามเงื่อนไขที่มี ต่อจากนั้นโปรแกรมจะทำการหาค่าความเค้นให้เอง ในส่วนของค่าความเค้นที่ออกมา นั้นถูกต้องแน่นอนถ้าผู้ออกแบบคลิกเมาส์ถูกต้องตำแหน่งตามเงื่อนไข

5.1.6 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบคอนกรีตตามวิธี TRL

(Road Note 29)

ในการออกแบบวิธีนี้ โปรแกรมจะทำการหาค่าต่าง ๆ จากรูปกราฟและเงื่อนไขต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง แต่อาจจะผิดเพี้ยนไปบ้างจากการหาค่าโดยวิธีปกติ

เนื่องจากโปรแกรมจะมีทศนิยมที่ละเอียดกว่าส่วนการออกแบบเหล็กเสริมต่าง ๆ นั้น ถูกต้องตามเงื่อนไขทุกประการ

5.1.7 การออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบคอนกรีตตามวิธี AASHTO ในการออกแบบวิธีนี้เหตุผลเหมือนกันกับข้อ 5.1.4 ในส่วนของความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับผู้อ่านเอง

5.1.8 การหาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย ผลจากการใช้โปรแกรมในการคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย นั้นถูกต้อง 100%

5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโปรแกรมในแต่ละชนิดผิวทาง

จากผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในบทที่ 4 ในแต่ละชนิดและวิธีการออกแบบ สามารถที่จะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละชนิดของผิวทางได้ดังนี้

5.2.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบผิวทางลาดยาง

ในการออกแบบโครงสร้างถนนผิวทางลาดยาง จากการใช้โปรแกรมในบทที่ 4 เมื่อข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางทั้ง 3 วิธีเหมือนกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบโครงสร้างชั้นทางทั้ง 3 วิธีเป็นดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมออกแบบทั้ง 3 วิธี

โครงสร้างชั้นทาง	วิธีที่ใช้ในการออกแบบ		
	TAI	TRL (Road Note 31)	AASHTO
ผิวทาง (ซม.)	5	2	8
พื้นทาง (ซม.)	20	15	25
รองพื้นทาง (ซม.)	15	35	25
วัสดุคัดเลือก ก (ซม.)	15	-	-

ตาราง 5.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นทางของผิวทางลาดยางจากการใช้โปรแกรมทั้ง 3 วิธี

โครงสร้างชั้นทาง	Sr	วิธี TAI		วิธี TRL		วิธี AASHTO	
		ความหนา (ซม.)	ความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete (ซม.)	ความหนา (ซม.)	ความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete (ซม.)	ความหนา (ซม.)	ความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete (ซม.)
ผิวทาง	1	5	5	2	2	8	8
พื้นทาง	2	20	10	15	7.50	25	12.50
รองพื้นทาง	2.7	15	5.56	35	12.96	25	9.26
วัสดุคัดเลือก ก.	2.7	15	5.56	-	-	-	-
รวมความหนาทั้งหมด		55	26.12	52	22.46 *	58	29.76 **

หมายเหตุ ** มีค่าความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete มากที่สุด

* มีค่าความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete น้อยที่สุด

ในการเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยาง ผู้ศึกษาได้เปลี่ยนความหนาของโครงสร้างชั้นทางในแต่ละชั้นและแต่ละวิธีให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันคือ อยู่ในรูปของความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete ตามวิธีการออกแบบของ The Asphalt Institute ได้ดังตาราง 5.2 โดยใช้ค่า Substitution Ratio เหมือนกับการออกแบบตามวิธี TAI ในบทที่ 4

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ผลรวมของความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete จากการออกแบบตามวิธี AASHTO มีค่ามากที่สุดคือ 29.76 ซม. ก็จะมี ความแข็งแรงของโครงสร้างมากที่สุด ส่วนการออกแบบตามวิธี TRL (Road Note 31) จะมีค่าน้อยที่สุดก็จะมี ความแข็งแรงน้อยที่สุด และการออกแบบตามวิธี TAI จะมีค่าอยู่ตรงกลาง ซึ่งการออกแบบตามวิธี AASHTO จะมีค่าความหนาเทียบเท่ามากกว่าการออกแบบตามวิธี TAI เท่ากับ 12.2 % และ TRL 24.5 %

5.2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบผิวทางคอนกรีต

ในการออกแบบโครงสร้างถนนผิวทางคอนกรีต จากการใช้โปรแกรมในบทที่ 4 สามารถที่จะเปรียบเทียบได้ 2 วิธีเท่านั้น คือวิธี TRL (Road Note 29) และ AASHTO ส่วนวิธี PCA ไม่สามารถเปรียบเทียบได้เนื่องจากข้อมูลในการวิเคราะห์ปริมาณการจราจรไม่เหมือนกับ 2 วิธีแรก ซึ่งจากการออกแบบด้วยโปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 29) และ AASHTO สามารถเปรียบเทียบโครงสร้างของชั้นทางดังตาราง 5.3

ตาราง 5.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีตจากการใช้โปรแกรมตามวิธี TRL (Road Note 29) และ AASHTO

โครงสร้างชั้นทาง	วิธี TRL (Road Note 29)	วิธี AASHTO
ผิวทางคอนกรีต (ซม.)	20.8	25
พื้นทางชนิดที่ 1 (ซม.)	8	-
พื้นทางชนิดที่ 2 (ซม.)	8	-

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ผิวทางคอนกรีตจากการออกแบบตามวิธีของ AASHTO มีความหนามากกว่า วิธี TRL (Road Note 29) เท่ากับ 4.2 ซม. แต่การออกแบบตามวิธี TRL (Road Note 29) มีชั้นพื้นทางเพิ่มอีกชั้นละ 8 ซม. ซึ่งถ้ามองในด้านของความประหยัดแล้วยังไม่สามารถที่จะชี้ชัดลงไปได้เนื่องจากยังมีตัวแปรอื่น ๆ อีก เช่น ระยะทางและค่าขนส่งวัสดุในการนำมาก่อสร้าง ฯลฯ เป็นต้น แต่ถ้ามองในด้านความปลอดภัยของโครงสร้างถนน การออกแบบตามวิธี TRL (Road Note 29) น่าจะมีความแข็งแรงมากกว่าเนื่องจากมีชั้นพื้นทางเพิ่มขึ้นมาถึง 2 ชั้น ซึ่งจะช่วยป้องกันความเสียหายของผิวทางเนื่องจากการอัดทะลัก (Pumping Action) ช่วยในการระบายน้ำใต้ผิวทาง ฯลฯ เป็นต้น

ในส่วนของโปรแกรม ได้แสดงผลลัพธ์ของการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของแต่ละชนิดผิวทาง เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสม โดยไม่ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ เนื่องจากในการออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทางในแต่ละชนิดและแต่ละวิธี บางชนิดและวิธี มีจำนวนชั้นของโครงสร้างไม่เท่ากันหรือในชั้นโครงสร้างที่เหมือนกันแต่วัสดุที่นำมาใช้ต่างกัน หรือจากการที่ผู้ใช้กำหนดโครงสร้างชั้นทางและความหนาเอง จึงเป็นไปได้ยากที่จะให้โปรแกรมทำการเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ซึ่งมีความหลากหลายมาก

5.3 ข้อจำกัดของโปรแกรม

ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางในแนวทาง อาศัยประสบการณ์และการทดสอบนี้ มีข้อจำกัดอยู่ในตัวของมันเองอยู่แล้ว โดยเฉพาะผิวทางแบบลาดยางถ้าปริมาณการจราจรสูงเกิน 10 ล้านเที่ยว (EAL) จะมีความไม่แน่นอนในการออกแบบและข้อจำกัดอื่น ๆ ของโปรแกรมพอสรุปได้ดังนี้

5.3.1 ถ้าปริมาณจราจรสะสมเปรียบเทียบกับเป็นเพลาดียวมาตรฐานมากเกินกว่า ที่แต่ละวิธีกำหนดไว้ โปรแกรมก็ไม่สามารถที่จะออกแบบได้

5.3.2 ในการแปลงปริมาณรถบรรทุกหนักให้เป็นจำนวนเพลาดียวมาตรฐานโดยส่วนใหญ่ในโปรแกรมจะใช้แฟกเตอร์คูณเพื่อแปลงเป็นจำนวนเพลาดียวมาตรฐาน

5.3.3 โปรแกรมสามารถออกแบบโครงสร้างของชั้นทางที่มีช่องการจราจรไม่เกิน 4 ช่องการจราจรเท่านั้น ยกเว้นการออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางตามวิธี TAI สามารถออกแบบได้ 6 ช่องการจราจรหรือมากกว่า

5.3.4 ในการหาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กเดือย ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีตจะต้องไม่เกิน 6 เมตร เพราะหน้าจอบไม่สามารถแสดงรูปของ Effective Dowel ได้หมด และไม่มีคามจำเป็นที่จะให้ความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีตกว้างเกิน 6 เมตร เนื่องจากโดยปกติความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีตของถนนจะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของ 1 ช่องการจราจร ซึ่งจะมีความกว้างไม่เกิน 6 เมตรด้วย

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาโปรแกรม

5.3.1 การออกแบบในแนวทางอาศัยประสบการณ์และการทดสอบ สามารถที่จะออกแบบได้อย่างมีข้อจำกัดในด้านปริมาณการจราจร แต่ถ้าปริมาณการจราจรสูง การออกแบบในแนวทางอาศัยการวิเคราะห์ (Analytical Method) จะช่วยให้ถนนมีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยจากรถบรรทุกหนักมากกว่า ดังนั้นจึงควรหันมาพัฒนาโปรแกรมการออกแบบในแนวทางอาศัยการวิเคราะห์มากขึ้น

5.3.2 ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาี้ สามารถออกแบบถนนได้ไม่เกิน 4 ช่องทางการจราจรเท่านั้น ถ้าหากจะมีการพัฒนาต่อไปอาจจะให้โปรแกรมสามารถออกแบบถนนที่มีช่องทางการจราจรถึง 10 ช่องทางการจราจรหรือมากกว่า และอาจจะเพิ่มโปรแกรมการออกแบบเพื่อทำการเสริมผิวถนน (Overlay) ซึ่งก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นกัน เนื่องจากจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับถนน ให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานออกไปหรือช่วยให้ผิวทางเรียบขึ้น

บรรณานุกรม

- จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2543. การออกแบบทาง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมการทาง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.
- ทางหลวง, กรม. ม.ป.พ. Pavement Design for Highway NO.107 By – Pass A. Fang (10.0 Kms.). กรุงเทพฯ.
- ทางหลวง, กรม. ม.ป.พ. Pavement Design Route NO.11 LAMPANG-LUMPHUN. กรุงเทพฯ.
- ทางหลวง, กรม. 2542. รายงานปริมาณการจราจรบนทางหลวง. กรุงเทพฯ.
- ทางหลวง, กรม. ม.ป.พ. มาตรฐานงานทาง. กรุงเทพฯ.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2529. การออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตตามวิธีของ PCA.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2537. “การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง”, วารสารทางหลวง. ฉบับที่ 10 ตุลาคม ปีที่ 31, หน้า 5
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2537. “การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง”, วารสารทางหลวง. ฉบับที่ 6 มิถุนายน ปีที่ 31, หน้า 14
- ประวัติ คงสม. 2535. “การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดบริเวณเหล็กเดือยในแผ่นพื้นคอนกรีต (Analysis of Dowel Stress in Concrete Pavement)”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (สำเนา)
- ประวัติ คงสม. 2539. โปรแกรม Dowel. กรุงเทพฯ.
- พิชัย ชานีรณานนท์. 2533. วิศวกรรมผิวทาง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ยงยุทธ ป้อมเย็น. 2532. “การออกแบบ Flexible Pavement”, บทความทางวิชาการ กองวิเคราะห์และวิจัย การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณี พ.ศ. 2508-2528. เล่ม 4. กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ เต้ศิริ และชาติพงษ์ รตโนภาต. 2543. “การออกแบบโครงสร้างถนนลาด
ยาง”, บทความทางวิชาการ การสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และวิจัย กรมทาง
หลวง ประจำปีงบประมาณ 2543. กรุงเทพฯ.

AASHO. 1972. AASHO Interim Guide for Design of Pavement Structure-1972. U.S.A.

Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. Principles of Pavement Design. 2nd Ed.,
Canada : John Wiley & Sons. INC.

PCA. 1966. Thickness Design for Concrete Pavement. U.S.A. : Portland Cement
Association

Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 “A Guide to the Structural Design of
Pavements for New Roads”. 3rd Ed., London : Her Majesty’s Stationery Office

The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure
for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., U.S.A.

Transport and Road Research Laboratory. 1977. Road Note 31 “A Guide to the
Structural Design of Bitumen-Surface Road in Tropical and Sub - Tropical
Countries”. 3rd Ed., London : Her Majesty’s Stationery Office

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร

1. การประมาณการปริมาณการจราจร¹

ในการออกแบบผิวทาง จำเป็นต้องมีการประมาณปริมาณการจราจร เพราะเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากในการออกแบบ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การจราจรที่ใช้ในการออกแบบ คือ

- ปริมาณการจราจรตั้งแต่เริ่มต้นการก่อสร้างจนกระทั่งถนนนั้นมีการเปิดใช้งานในปีแรก ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจร หรือจากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี หรือได้จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลการจราจรของถนนสายที่อยู่ใกล้เคียง

- น้ำหนักเพลลา (Axle Load) ของรถแต่ละประเภท
- อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจร (Growth Rate) ได้จากการประมาณหรือแนวโน้มจากข้อมูลปริมาณการจราจรหลาย ๆ ปี ที่เก็บมาจนถึงปีปัจจุบันในสายทางนั้น ๆ หรือจากการทำนายของนักวางแผนการขนส่ง

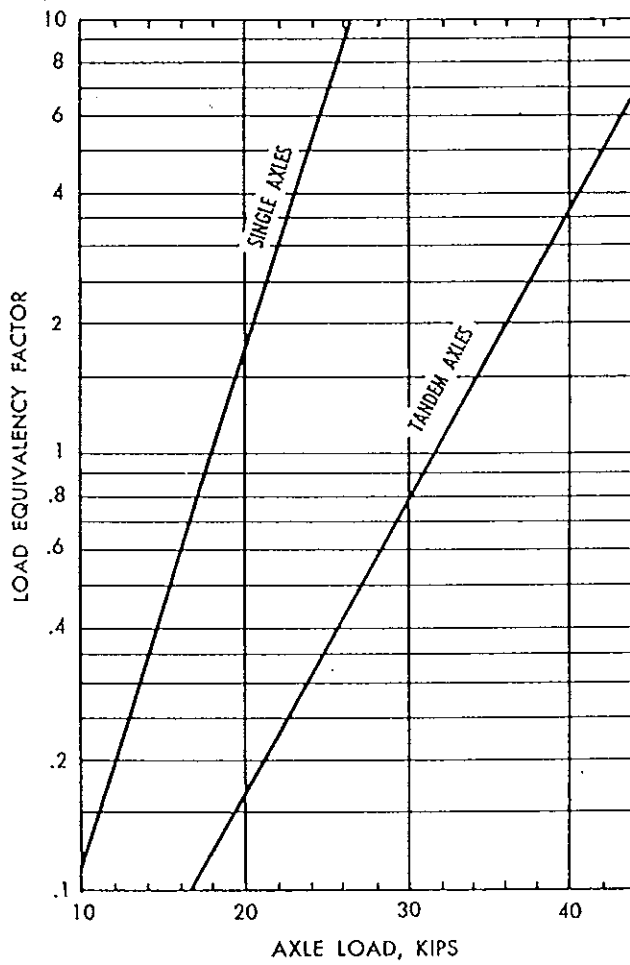
- จำนวนปีที่ออกแบบ (Design Period) เป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นหรือขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานนั้น ๆ

การคำนวณหาปริมาณการจราจรที่จะมาแล่นบนถนนตลอดช่วงอายุการใช้งานของถนนนั้น จะถูกคิดให้อยู่ในรูปของจำนวนน้ำหนักกดผ่านเพลลาเดี่ยวมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 8,167 กิโลกรัม หรือ 18 KIPS ซึ่งมีแฟกเตอร์เทียบเท่า เท่ากับ 1

ปริมาณการจราจรในถนนต่าง ๆ แตกต่างกันไปทั้งปริมาณ และน้ำหนักบรรทุก จึงจำเป็นต้องหาแฟกเตอร์ (ภาพประกอบ ก.1) มาคูณเพื่อแปลง ปริมาณการจราจรเป็นจำนวนเพลลามาตรฐาน

¹ ยงยุทธ ป้อมเย็น. 2532. "การออกแบบ Flexible Pavement", การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณี พ.ศ. 2508-2528. เล่ม 4. กรุงเทพฯ. หน้า 146.

ภาพประกอบ ก.1 Load Equivalency Factors สำหรับใช้กำหนดหนาหน้าเหล็ก
มาตรฐาน



ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 47.

2. ตัวอย่างของข้อมูลและการหาปริมาณการจราจรเริ่มแรกในรูปของน้ำหนักกดผ่านเพลลาเดี่ยวมาตรฐาน สำหรับปริมาณการจราจรเริ่มแรกเท่ากับ 1,672 คันต่อวัน โดยมีข้อมูลของการจราจรในส่วนของรถบรรทุกหนักดังต่อไปนี้คือ

ตาราง ก.1 ข้อมูลของการจราจรในส่วนของรถบรรทุกหนัก

น้ำหนักกดผ่านเพลลา (Kips)	จำนวนเพลลาต่อวัน ต่อ 1,000 คัน
<u>เพลลาเดี่ยว</u>	
ต่ำกว่า 8	1,135.4
8 - 12	487.3
12 - 16	282.7
16 - 18	118.6
18 - 20	31.9
20 - 22	2.6
22 - 24	6.5
<u>เพลลาคู่</u>	
ต่ำกว่า 14	189.3
14 - 20	141.6
20 - 26	168.4
26 - 30	99.4
30 - 32	2.6

ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 48.

ตาราง ก.2 ตัวอย่างการคำนวณหา Equivalent Single Axle Load จากข้อมูลของการจราจรในส่วนของรถบรรทุกหนัก

น้ำหนักกดผ่าน เพลลา (Kips)	แฟกเตอร์น้ำหนัก กดผ่านล้อเทียบเท่า	จำนวนเพลลาต่อ วันต่อ (1,000 คัน)	จำนวนเทียบเท่าของน้ำ หนักกดผ่านเพลลาเดี่ยว มาตรฐานต่อ (1,000 คัน)
<u>เพลลาเดี่ยว</u>			
ต่ำกว่า 8	-	1,135.4	-
8 - 12	0.11	487.3	53.6
12 - 16	0.34	282.7	96.1
16 - 18	0.76	118.6	90.1
18 - 20	1.31	31.9	41.8
20 - 22	2.26	2.6	5.9
22 - 24	3.91	6.5	25.4
			รวม 312.9
<u>เพลลาคู่</u>			
ต่ำกว่า 14	-	189.3	-
14 - 20	0.11	141.6	15.6
20 - 26	0.27	168.4	45.5
26 - 30	0.57	99.4	56.7
30 - 32	0.92	2.6	2.4
			รวม 120.2
			รวมทั้งหมด 433.1

ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 48.

จะได้ค่าแฟกเตอร์ลดบรทุกเท่ากับ

$$\frac{433}{1000} = 0.43$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการจรรยาจรเริ่มแรกในรูปของน้ำหนักรอดผ่านเพลาดียวมาตรฐาน} \\ &= 0.43 * 1,672 \\ &= 719 \quad \text{เทียวด่วน} \end{aligned}$$

และเมื่อหาปริมาณการจรรยาจรเริ่มแรกในรูปของน้ำหนักรอดผ่านเพลาดียวมาตรฐาน (เทียวด่วน) ได้แล้ว ก็นำไปหาปริมาณการจรรยาจรบนถนนตลอดช่วงอายุการใช้งานตามจำนวนปีที่ออกแบบไว้ โดยใช้สูตร¹

$$T = \left\{ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right\} * T_1 * 365$$

- กำหนดให้
- T = ปริมาณการจรรยาจรตลอดช่วงอายุการใช้งาน (เทียวด)
 - T_1 = ปริมาณการจรรยาจรเริ่มแรกในปีที่เริ่มเปิดใช้ (เทียวด่วน)
 - r = อัตราการเพิ่มของปริมาณการจรรยาจร (% ต่อปี)
 - n = จำนวนปีที่ออกแบบ (ปี)

ในส่วนองข้อมูลการสำรวจปริมาณการจรรยาจรในประเทศไทยนั้น มีการเก็บข้อมูลปริมาณจรรยาจรโดยการนับแยกประเภทของรถยนต์เป็นประเภทต่าง ๆ ว่ามีจำนวนเท่าใด ณ สถานที่นั้น ๆ เป็นจำนวนกันต่อวันโดยเฉลี่ยตลอดปี ดังตาราง ก.3

¹ จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมกรรมทาง. กรุงเทพฯ. : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. หน้า 228.

ตาราง ก.3 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปีของกรมทางหลวง

Average Annual Daily Traffic Volumes on Highways 1999

NO	ROUTE Control Section	NAME	TYPE	STATION (KM.)	IN/		CAR TAXI	LIGHT BUS	HEAVY BUS	LIGHT TRUCK	MEDIUM TRUCK	HEAVY TRUCK	TOTAL	%HEAVY VEH	BI-TRI CYCLE	MOTOR CYCLE	DISTRICT
					OUT	ALL											
861	408 400	JCT.TO RANOD - SATHING PHRA	C	121+106	IN 863 OUT 818 ALL 1,681	323 244 567	168 120 288	1,939 1,939 3,878	168 157 308	151 157 308	3,612 3,435 7,047	13.48 12.63 13.07	28 4 32	831 862 1,693	District : SONGKHLA Changwat : SONGKHLA		
862	408 500	SATHING PHRA - JCT.TO KHAO DANG	C	149+606	IN 1,726 OUT 1,556 ALL 3,282	1,268 932 2,200	273 190 463	4,048 3,496 7,544	363 301 664	336 276 612	8,014 6,751 14,765	12.13 11.36 11.78	6 6 12	4,224 3,743 7,967	District : SONGKHLA Changwat : SONGKHLA		
863	408 601	JCT.TO KHAO DANG - R.NO.407	C	10+360	IN 6,511 OUT 6,833 ALL 13,344	772 867 1,639	273 291 564	2,781 2,865 5,646	405 941 1,660	405 543 948	11,461 12,340 23,801	12.19 14.38 13.33	4 0 4	4,237 4,459 8,756	District : SONGKHLA Changwat : SONGKHLA		
864	408 602	R.NO.407 - JCT.TO THUNG WANG	C	13+000	IN 589 OUT 610 ALL 1,199	87 126 213	17 9 26	1,203 1,104 2,307	239 309 465	255 309 564	2,390 2,384 4,774	21.38 22.82 22.10	0 0 0	1,009 821 1,830	District : SONGKHLA Changwat : SONGKHLA		
865	408 701	JCT.TO THUNG WANG - R.NO.43	C	17+000	IN 643 OUT 683 ALL 1,326	244 286 530	48 38 86	1,270 1,236 2,506	191 165 356	329 363 692	2,725 2,771 5,496	20.84 20.43 20.63	11 9 20	1,219 1,441 2,660	District : SONGKHLA Changwat : SONGKHLA		
866	408 702	JCT.TO THUNG WANG - SONG KHILA	C	4+000	IN 971 OUT 998 ALL 1,969	779 782 1,561	42 43 85	1,716 1,615 3,331	126 148 274	173 181 354	3,807 3,767 7,574	8.96 9.88 9.41	2 12 14	3,412 3,892 7,304	District : SONGKHLA Changwat : SONGKHLA		
867	408 800	JCT.R.NO.43 - JCT.NA TAWE	C	52+400	IN 550 OUT 554 ALL 1,104	117 134 251	71 29 100	1,177 1,337 2,514	107 49 209	60 49 109	2,082 2,205 4,287	11.43 8.16 9.75	12 4 16	2,517 2,624 5,141	District : PATTANI Changwat : SONGKHLA		
868	409 100	JCT.NA KET - JCT.BAN NIANG	C	22+400	IN 1,923 OUT 1,687 ALL 3,610	238 166 404	56 54 110	670 871 1,541	220 197 417	257 301 558	3,364 3,276 6,640	15.84 16.85 16.34	11 8 19	2,628 2,273 4,901	District : PATTANI Changwat : PATTANI		
869	409 102	JCT.NA KET(PATTANI DIST.) - JCT.BAN NIANG	C	27+200	IN 2,564 OUT 2,444 ALL 4,808	102 99 201	79 46 125	186 100 262	196 172 358	232 172 404	3,325 2,833 6,158	14.95 13.77 14.40	2 0 2	3,189 2,809 5,998	District : YALA Changwat : PATTANI		
870	409 200	JCT.BAN NIANG - MUNI OF YALA	C	51+600	IN 2,386 OUT 2,217 ALL 4,603	96 83 179	66 61 127	376 323 699	209 192 401	329 323 652	3,462 3,199 6,661	17.45 18.01 17.72	25 13 38	3,402 3,535 6,937	District : YALA Changwat : YALA		

ที่มา : ทางหลวง, กรม. 2542. รายงานปริมาณการจราจรบนทางหลวง. กรุงเทพฯ. หน้า 87.

การหาปริมาณการจราจรเริ่มแรกในรูปของน้ำหนักกดผ่านเพลามาตรฐานของกรรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม จะคำนึงถึงเฉพาะปริมาณ รถบรรทุกหนัก ซึ่งได้แก่ รถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ

ในการเปรียบเทียบเปลี่ยนค่าน้ำหนักเพลารถบรรทุกประเภทต่าง ๆ ให้เป็นน้ำหนักกดผ่านเพลามาตรฐาน สามารถหาแฟกเตอร์ (ภาพประกอบ ก.1) มาคูณเพื่อแปลงให้อยู่ในรูปของน้ำหนักกดผ่านเพลามาตรฐาน

ค่า Truck Factor เป็นตัวเลขที่ใช้แปลงจำนวนรถบรรทุกให้เป็นจำนวนของเพลามาตรฐาน ค่า Truck Factor จะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณของรถบรรทุกหนักปกติ และรถบรรทุกหนักเกินพิกัด ค่า Truck Factor สำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ (3 เพลา) ที่แนะนำให้ใช้สำหรับการออกแบบถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงในประเทศไทยควรอยู่ระหว่าง 2.0-2.6 ในการเลือกใช้ค่าควรยึดหลักดังนี้

ในถนนนอกเมือง ถนนประเภท Through Traffic ให้ใช้ค่า 2.0

ถนนรอบ ๆ เมืองใหญ่ เช่น บริเวณกรุงเทพมหานครที่มีการจราจรคับคั่ง หรือถนนที่มีการจราจรผ่านไปได้ช้า ควรใช้ค่าในเกณฑ์สูง โดยอาจจะใช้ค่า 2.6 หรือ 2.3 แล้วแต่ดุลยพินิจของวิศวกร ผู้ออกแบบ¹

¹ ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2537. "การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง", วารสารทางหลวง. ฉบับที่ 10 ตุลาคม ปีที่ 31, หน้า 5.

หรือจากการศึกษาของ JICA ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแนะนำให้ใช้ค่าดัง
มี

ตาราง ก.4 ค่าตัวคูณใช้เปรียบเทียบหาจำนวนเพลาดียวมาตรฐาน ของ JICA

ประเภทรถ	ตัวคูณเปรียบเทียบ (Truck Factor)
รถยนต์โดยสารขนาดใหญ่	0.50
รถบรรทุก 6 ล้อ	0.76
รถบรรทุก 10 ล้อ	1.24

ที่มา : จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมทาง. กรุงเทพฯ. : ฟิสิกส์-
เซ็นเตอร์การพิมพ์. หน้า 241.

หรือจากการศึกษาหาค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ
ในทางสาย ดอนเมือง-สระบุรี มีค่าดังนี้

ตาราง ก.5 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย
ดอนเมือง - สระบุรี

ประเภทรถ	ตัวคูณเปรียบเทียบ (Truck Factor)
รถบรรทุก 2 เพลา (6 ล้อยาง)	0.50
รถบรรทุก 3 เพลา (10 ล้อยาง)	1.87
รถบรรทุก 4 เพลา (กึ่งพ่วง)	2.95
รถบรรทุก 5 เพลา (พ่วง)	3.50

ที่มา : ชีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2537. “การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง”,
วารสารทางหลวง. ฉบับที่ 6 มิถุนายน ปีที่ 31, หน้า 14.

หรือจากการศึกษาหาค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย ปากช่อง-นครราชสีมา-ขอนแก่น มีค่าดังนี้

ตาราง ก.6 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย ปากช่อง-ขอนแก่น

ประเภทรถ	ตัวคูณเปรียบเทียบ (Truck Factor)
รถบรรทุก 2 เพลา (6 ล้อยาง)	0.58 - 0.65
รถบรรทุก 3 เพลา (10 ล้อยาง)	2.06 - 2.60
รถบรรทุก 5 เพลา (พ่วง)	4.07

ที่มา : ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2537. "การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง", วารสารทางหลวง. ฉบับที่ 6 มิถุนายน ปีที่ 31, หน้า 14.

และค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ จากการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง ของทางหลวงหมายเลข 11 สาย ลำปาง-ลำพูน โดย บริษัท TEAM CONSULTING ENGINEERS CO., LTD. มีนาคม ค.ศ. 1994 มีค่าดังนี้

ตาราง ก.7 ค่า Truck Factor ของรถบรรทุกหนักประเภทต่าง ๆ ในทางสาย ลำปาง-ลำพูน

ประเภทรถ	ตัวคูณเปรียบเทียบ (Truck Factor)
รถยนต์โดยสารขนาดใหญ่	0.60
รถบรรทุก 6 ล้อ	0.63
รถบรรทุก 10 ล้อ	1.58

ที่มา : ทางหลวง, กรม. 2537. Pavement Design Route NO.11 LAMPANG-LUMPHUN. หน้า 4.

ภาคผนวก ข

การหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ

1. ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ¹

ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมได้จากการสำรวจดินเดิม และมาทำการทดลองหาค่ากำลังรับน้ำหนักจะได้ข้อมูลจำนวนมากตามจำนวนตัวอย่างที่เก็บมา หรือจำนวนการทดลองในสนาม แล้วแต่วิธีดำเนินการทดลอง (โดยปกติจะทำการทดลองโดยทดสอบทางกล เช่น CBR ส่วนการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน โดยใช้ระบบการจำแนกประเภทของดินนั้น จำเป็นต้องใช้วิศวกรรมเทคนิคที่มีความชำนาญเป็นอย่างมาก) ค่าเหล่านั้นจะต้องคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมของถนนที่จะก่อสร้างจริง ๆ โดยเฉพาะสภาพน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ที่จะมีผลต่อความแข็งแรงของดินเดิมเหล่านั้นภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

2. การเลือกค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ²

ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิม ที่ได้จากการทดลองจะต้องนำมาเลือกค่า (เป็นตัวแทน) ที่จะนำมาออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง โดยเริ่มจากการจัดแบ่งถนนที่มีค่าทดลองใกล้เคียงกันเป็นช่วง ๆ ที่มีความยาวที่สามารถทำงานได้สะดวกในทางปฏิบัติในแต่ละช่วงให้เลือกค่าที่เหมาะสมซึ่งเรียกว่า Design Subgrade Strength Value ในการออกแบบตามวิธีของ The Asphalt Institute MS-1 จะเลือกค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมที่ 90 เปอร์เซ็นต์ไทล์ โดยส่วนใหญ่ของกรมทางหลวงจะเลือกค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ วิธีการเลือกให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

¹ ขงยุทธ ป้อมเย็น. 2532. "การออกแบบ Flexible Pavement", การออกแบบชั้นทางและเทคนิคธรณี พ.ศ. 2508-2528. เล่ม 4. กรุงเทพฯ. หน้า 147.

² The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., pp. 22-23.

- จัดเรียงลำดับค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมที่ทดลองได้ทุกค่าตามลำดับตัวเลขจากน้อยไปหามาก ถ้าซ้ำกันก็เขียนซ้ำ
- เริ่มจากค่าต่ำสุดแต่ละค่าที่ทดลองมาได้ คำนวณเปอร์เซ็นต์ของจำนวนค่าทั้งหมดที่ค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่านั้น
- เขียนกราฟโดยให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมเป็นแกนนอน และเปอร์เซ็นต์ของกำลังรับน้ำหนักของดินเดิม ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าเป็นแกนตั้ง แล้วลากเส้นโค้งผ่านจุดต่าง ๆ ที่พล็อตไว้
- จากกราฟที่เขียนได้ ให้ลากเส้นตรงในแนวนอนจากจุดที่มีเปอร์เซ็นต์ไทล์เท่ากับ 80 ไปพบกับเส้นโค้งของกราฟ จากจุดตัดบนเส้นกราฟจึงลากเส้นในแนวตั้งไปตัดกับแกนนอน ก็จะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมที่ใช้ในการออกแบบ

3. ตัวอย่างการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมที่ใช้ในการออกแบบ

ถนนช่วงหนึ่งทดลองค่า CBR ของดินเดิมได้ค่าดังนี้ 9, 6, 12, 7, 8, 7, 10, 9, 11, 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หาค่า Design Subgrade Strength Value (CBR) ตามขั้นตอนดังนี้

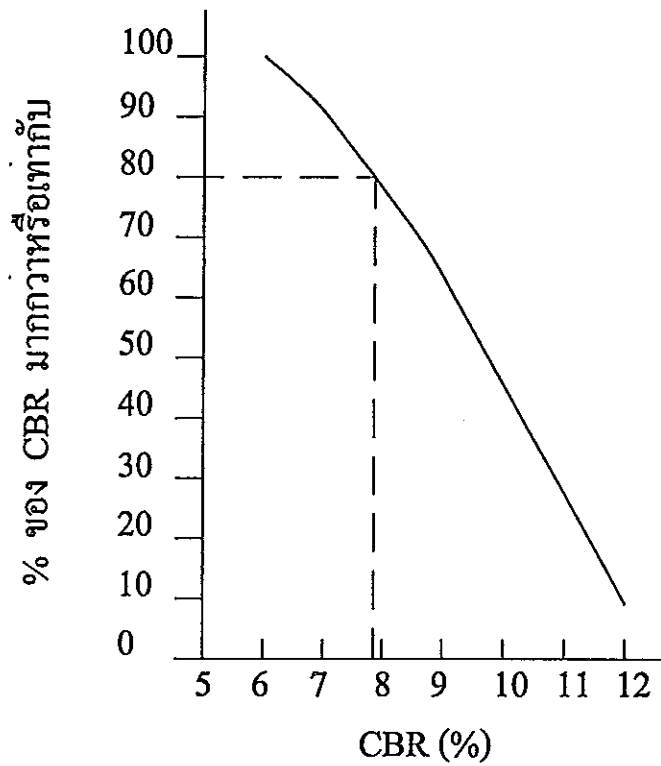
- เรียงลำดับค่า CBR ใหม่ได้ 6, 7, 7, 8, 9, 9, 10, 10, 11, 11 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง ข.1
- คำนวณเปอร์เซ็นต์ของค่า CBR ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า แต่ละค่าดังตาราง ข.1
- เขียนกราฟหาค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ดังภาพประกอบ ข.1
- อ่านค่า Design Subgrade Strength Value (CBR) จากค่าที่ 80 เปอร์เซ็นต์ จะประมาณ 7.8% (เลือกใช้ค่า CBR = 7%) ภาพประกอบ ข.1

ตาราง ข.1 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของค่า CBR ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า

CBR (%)	จำนวนที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า	เปอร์เซ็นต์ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า
6	11	$(11/11)*100 = 100$
7		
7	10	$(10/11)*100 = 90.9$
8	8	$(8/11)*100 = 72.7$
9		
9	7	$(7/11)*100 = 63.6$
10		
10	5	$(5/11)*100 = 45.4$
11		
11	3	$(3/11)*100 = 27.3$
12	1	$(1/11)*100 = 9.1$

ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 23.

ภาพประกอบ ข.1 กราฟหาค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์



ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 23.

ภาคผนวก ก

การออกแบบความหนาโครงสร้างชั้นทาง

1. การออกแบบผิวทางแบบลาดยาง

1.1 วิธีของ The Asphalt Institute 1970¹

เป็นวิธีที่กรมทางหลวงใช้ออกแบบในปัจจุบัน หลักการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางโดยกรรมวิธีนี้ มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาสำหรับใช้ในการออกแบบคือ ปริมาณการจราจร (ADT) ปริมาณรถบรรทุกหนักและรถโดยสารหนัก การเติบโตของปริมาณการจราจร อายุการออกแบบของถนนและความแข็งแรงของดินเดิม ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1.1.1 ปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนน (Traffic Loading)

1.1.1.1 การหาปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนน

ปริมาณการจราจรในถนนต่าง ๆ แตกต่างกันไปทั้งปริมาณ และน้ำหนักบรรทุก จึงจำเป็นต้องหาแฟกเตอร์มาคูณเพื่อกำหนดปริมาณ หรือจำนวนของปริมาณการจราจรมาตรฐานเรียกว่า Load Equivalent Factor ซึ่งใช้เป็นตัวคูณเปลี่ยนน้ำหนักเพลามากกว่า หรือน้อยกว่า 18,000 ปอนด์ (ดูภาพประกอบ ก.1) และกรมทางหลวงได้ใช้รถที่จะออกแบบได้แก่ Heavy Bus, Medium Truck และ Heavy Truck (รายละเอียดในภาคผนวก ก.)

¹ The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., pp. 9-76.

1.1.1.2 การประมาณปริมาณการจราจร

การหาค่าปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนนในอนาคต อาจหาได้จากข้อมูลของปริมาณการจราจรในปัจจุบัน และประมาณอัตราการเพิ่มขึ้นของการจราจรในอนาคตจากกองวางแผน กรมทางหลวง หรือทำการตรวจสอบเพิ่มเติมในส่วนที่จำเป็น เช่น น้ำหนักของรถบรรทุก ปริมาณรถบรรทุก และทิศทางที่รถบรรทุกหนักใช้ถนน

คำจำกัดความของค่าต่าง ๆ ที่ใช้เกี่ยวกับการจราจร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การจราจร มีดังนี้

- Design Lane หมายถึงช่องทางจราจรที่คาดว่าจะมีปริมาณของรถบรรทุกวิ่งผ่านสูงสุด โดยปกติแล้วจะเป็นช่องทางใดช่องทางหนึ่งหรือช่องซ้ายสุดสำหรับถนนที่มีมากกว่า 4 ช่องจราจร

- Design Period หมายถึงจำนวนปีที่นับจากการเปิดการจราจรในถนนที่ก่อสร้างขึ้นจนถึงปีที่ทำการบูรณะลาดยาง

- Design Traffic Number (DTN) หมายถึงค่าเฉลี่ยปริมาณการจราจรในช่วงปีที่ออกแบบของค่าเทียบเท่าเพลาคิวมาตรฐาน (Equivalent Standard Axle Load)หนัก 18,000 ปอนด์

- Initial Daily Traffic (IDT) หมายถึงจำนวนยานพาหนะเฉลี่ยต่อวัน ที่คาดว่าจะใช้ถนนที่ออกแบบในปีแรกที่เปิดใช้งาน

- Initial Traffic Number (ITN) หมายถึงจำนวนการจราจรเฉลี่ยต่อวันที่เทียบเท่ากับจำนวนที่วสะสมของเพลาคิวมาตรฐานหนัก 18,000 ปอนด์ ในปีแรกที่เปิดใช้งาน

1.1.1.3 การหาค่า Design Traffic Number (DTN) หาได้จากจำนวนการจราจรที่ใช้รูปแบบในช่วงเวลา 20 ปี มีค่าดังสมการที่ 1

$$DTN_{20} = \frac{W}{20 * 365} \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ W_{18} = จำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลาเดี่ยวมาตรฐานขนาด
18,000 ปอนด์ (EAL_{18})

ถ้าจำนวนปีออกแบบไม่ใช่ 20 ปี จะต้องปรับแก้ด้วยค่าแฟกเตอร์ดัง

สมการที่ 2

$$\text{แฟกเตอร์ปรับแก้} = \frac{(1+r)^n - 1}{20r} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ r = อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร (% ต่อปี)

n = ระยะเวลาการออกแบบ (ปี)

การหา DTN จะหาได้จากการคำนวณข้างต้นหรือหาได้จาก
วิธีการดังนี้คือ

1. ประมาณค่า IDT จากการสำรวจปริมาณการจราจรหรือ
จากการเก็บสถิติการจราจรติดต่อเป็นเวลาหลายปีหรือประมาณจากข้อมูลการจราจรสาย
ที่ใกล้เคียง

2. ประมาณจำนวนรถบรรทุกหนัก (A) เป็นเปอร์เซ็นต์
จากการจราจรทั้งหมด

3. หาค่าเปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกหนัก (B) ที่เล่นในช่อง
จราจรที่ออกแบบ (Design Lane) หรืออาจจะประมาณได้จากตาราง ค.1

4. คำนวณหาจำนวนรถบรรทุกหนักในช่องจราจรที่ออก
แบบดังสมการที่ 3

$$\text{จำนวนรถบรรทุกหนัก} = (\text{IDT}) * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} \dots\dots\dots (3)$$

5. ประมาณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรถบรรทุก (Average
Gross Weight) จากข้อมูลการสำรวจน้ำหนักรถบรรทุก

ตาราง ค.1 เปอร์เซนต์ของรถบรรทุกหนักที่แล่นในช่องจราจรที่ออกแบบ

จำนวนช่องจราจร (รวมสองทิศทาง)	เปอร์เซนต์ของรถบรรทุกหนักที่แล่นใน ช่องจราจรที่ออกแบบ
2	50
4	45 (หรือ 35-48)
6 หรือมากกว่า	40 (หรือ 25-48)

ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., pp. 22-23.

6. นำหนักเพลาดเดี่ยว (Standard Single Axle Load) สูงสุด ที่ใช้ออกแบบ (ที่กรมทางหลวงใช้เป็นมาตรฐานในการออกแบบมีค่า 18,000 ปอนด์)

7. ใช้ข้อมูลจากข้อ 1 ถึง 6 คำนวณหาค่า ITN โดยใช้ Nomograph ดังภาพประกอบ ค.1 หรือจะคำนวณหาค่า ITN ได้จากสมการที่ 4

$$\log(\text{ITN}) = -10.68 + 3.40 \log(S) + 1.33 \log(W) + 1.05 \log(N) \dots \quad (4)$$

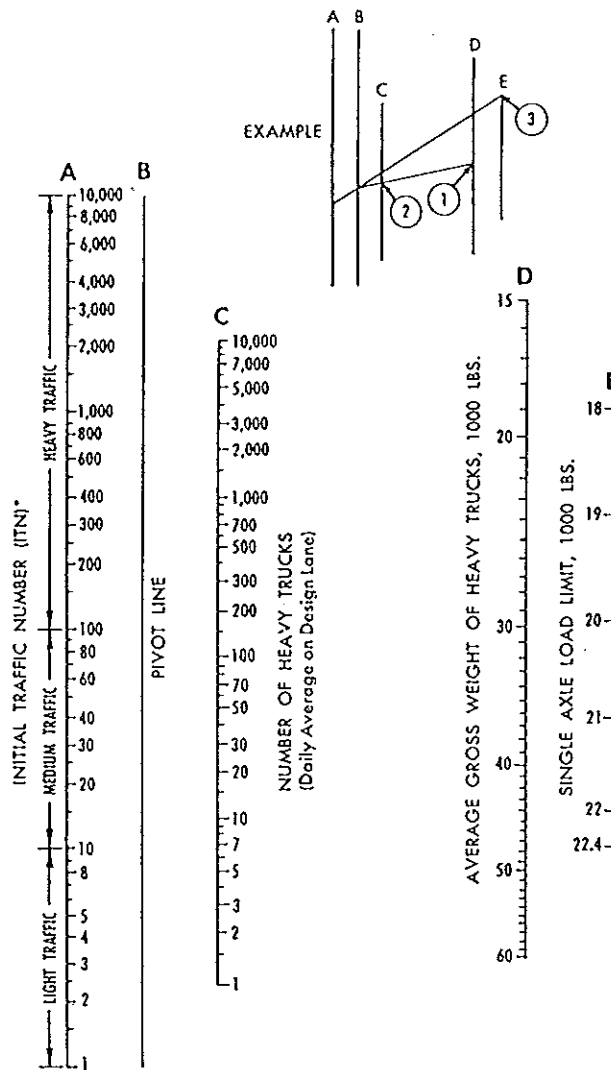
เมื่อ S = นำหนักพิกัดของเพลาดเดี่ยว (x1,000 ปอนด์)

W = นำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุก (ปอนด์)

N = จำนวนรถบรรทุก (คัน)

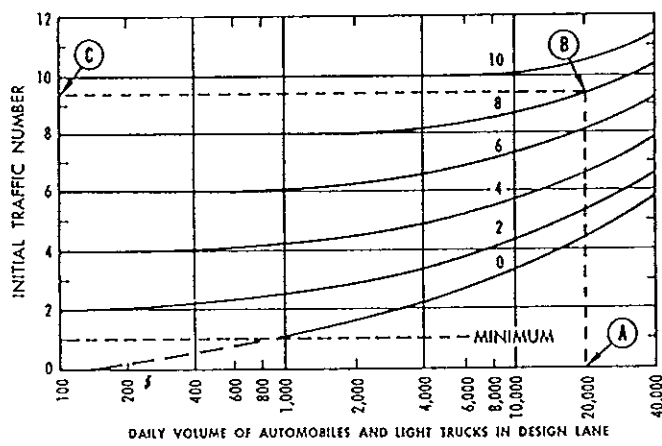
8. ค่า ITN ที่ได้ถ้ามีค่าต่ำกว่า 10 โดยที่จำนวนรถนั่งและรถบรรทุกเล็กมีเปอร์เซนต์สูงมาก ค่า ITN ที่ได้จำเป็นที่จะต้องมีการปรับแก้ โดยใช้ภาพประกอบ ค.2

ภาพประกอบ ค.1 แผนภูมิใช้หาค่าปริมาณจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน (ITN)



ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 14.

ภาพประกอบ ค.2 แผนภูมิใช้หาค่าปรับแก้ ITN ที่มีปริมาณต่ำกว่า 10



ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 15.

9. ประมาณอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจรหรือแนวโน้มการเพิ่มปริมาณการจราจร จากสถิติหรือข้อมูลที่เก็บมาได้จากการนับรถในถนนสายต่างๆ

10. จากข้อ 8 และข้อ 9 จะหาค่า DTN ได้โดยการหาค่าแฟกเตอร์ปรับแก้ก่อน ดังสมการที่ 2 (เพราะ ITN ในข้อ 7 เป็นค่า DTN สำหรับระยะเวลาการออกแบบ 20 ปี และอัตราการเพิ่มของการจราจรเป็น 0%)

11. คูณ ITN กับแฟกเตอร์ปรับแก้ในข้อ 11 จะได้ค่า DTN20 นำไปหาความหนาของโครงสร้างชั้นทาง (Full Depth, T_A)

1.1.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ (รายละเอียดในภาคผนวก ข.)

1.1.3 เลือกค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับใช้ในการออกแบบ (รายละเอียดในภาคผนวก ข.)

1.1.4 การหาความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

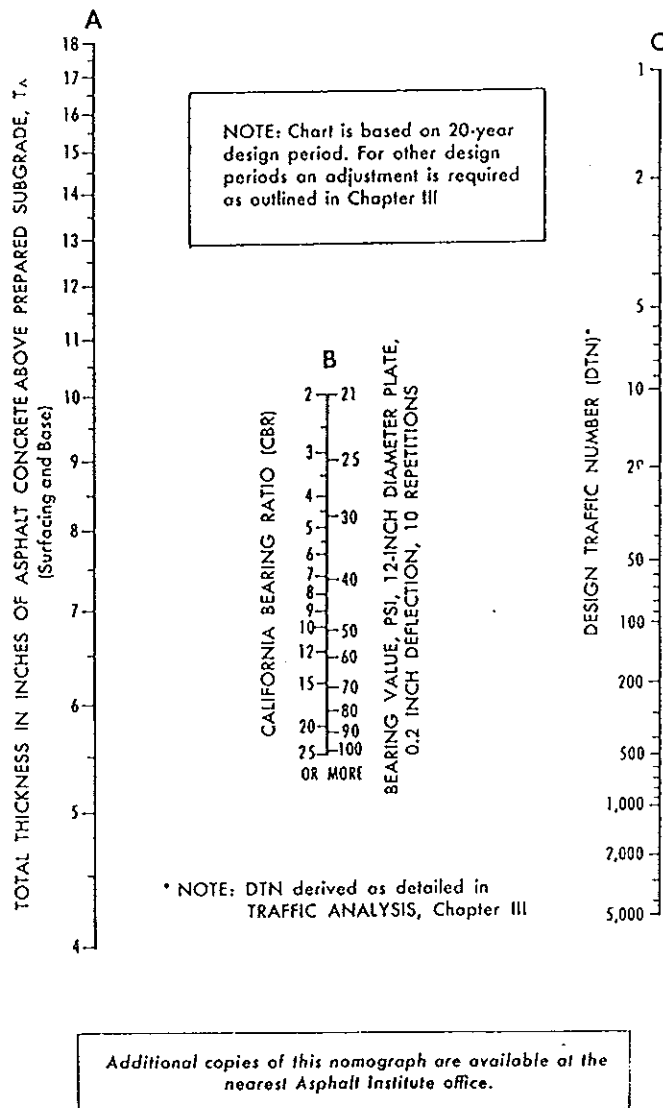
การกำหนดความหนาของโครงสร้างชั้นทาง รวมทั้งความหนาของชั้นต่าง ๆ มีวิธีการอยู่มากมาย โดยใช้ค่าน้ำหนักของยานพาหนะ และกำหนดวัสดุดินเดิมมาคำนวณ ในที่นี้จะยึดหลักวิธีการของ The Asphalt Institute ที่กรมทางหลวงได้นำมาใช้ในปัจจุบัน วิธีการนี้ได้ให้ความหนาอยู่ในรูปของ Full-Depth Asphalt Thickness (T_A) คือ Asphalt Concrete บนชั้นดินเดิม โดยใช้ Nomograph ดังภาพประกอบ ก.3 หรือจะคำนวณหาค่า T_A ได้จากสมการที่ 5

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97 \log DTN}{(CBR)^{0.4}} \dots\dots\dots (5)$$

The Asphalt Institute ได้กำหนดความหนาดำสุดของค่า T_A ไว้

ดังตาราง ก.2

ภาพประกอบ ค.3 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของชั้นทาง (T_A)



ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., p. 28.

ตาราง ค.2 ค่าความหนาต่ำสุดของค่า T_A ที่ The Asphalt Institute กำหนด

Design Traffic Number	Minimum T_A	
	in	cm.
DTN < 10	4	10.0
DTN 10 – 100	5	12.5
DTN 100 – 1,000	6	15.0
DTN > 1,000	7	17.5

ตาราง ค.3 การจำแนกค่าต่าง ๆ ของวัสดุที่มีคุณภาพต่ำหรือสูง

การทดลอง	วัสดุคุณภาพต่ำ	วัสดุคุณภาพสูง
CBR (ค่าต่ำสุด, %) หรือ ค่า R (ค่าต่ำสุด)	20	100
Liquid Limit (ค่าสูงสุด, %)	25	25
Plastic Limit (%)	6	NP
Sand Equivalent (ค่าต่ำสุด)	25	50
% Passing No. 200 Sieve (ค่าสูงสุด)	12	7

ที่มา : The Asphalt Institute. 1970. Thickness Design Full-Depth Asphalt Pavement Structure for Highway and Street. Manual Serial NO.1 (MS-1). 8th Ed., pp. 30-42.

ด้วยเหตุที่ราคาของ Asphaltic Concrete มีราคาสูง จึงต้องมีการพิจารณาใช้ (Granular Material) ซึ่งมีราคาถูกกว่ามาแทนบางส่วนของความหนา Asphaltic Concrete โดยกำหนดค่าเทียบเท่าที่เรียกว่า Equivalent Thickness หรือ Substitution Ratio (Sr) ขึ้น โดย The Asphalt Institute ได้กำหนดค่า Sr ไว้ดังนี้

1. สำหรับ High Quality Granular Material Sr = 2.00

2. สำหรับ Low Quality Granular Material Sr = 2.70

เมื่อเทียบกับ Asphaltic Concrete ซึ่งมีค่า Sr = 1.00 โดยคุณภาพของวัสดุชั้นทางต่าง ๆ ที่เรียกว่ามีคุณภาพสูงหรือต่ำจะเป็นไปตามตาราง ค.3

ค่า Equivalent Thickness หรือ Substitution Ratio (Sr) ในบทความทางวิชาการ การสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ประจำปีงบประมาณ 2543¹

Asphalt Concrete : Hot Mix – Sand Asphalt Bases = 1.3:1

Asphalt Concrete : Liquid Emulsified Asphalt Bases = 1.4:1

Asphalt Concrete : Untreated Granular Bases = 2:1

Asphalt Concrete : Untreated Granular Subbases = 2.7:1

Asphalt Concrete : Selected Materials “A” = 3.5:1

Asphalt Concrete : Selected Materials “B” = 3.7:1

ข้อกำหนดสำหรับวัสดุโครงสร้างทางตามมาตรฐานของกรมทางหลวงจะเป็นดังนี้²

Crushed Rock, Soil Aggregate Type Base Lab CBR ไม่น้อยกว่า 80% สำหรับผิวทางแบบ Asphaltic Concrete และไม่น้อยกว่า 90% สำหรับผิวทางแบบ Surface Treatment

Soil Aggregate Subbase Lab CBR ไม่น้อยกว่า 25%

Selected Material “A” Lab CBR ไม่น้อยกว่า 10%

Selected Material “B” Lab CBR ไม่น้อยกว่า 6%

¹ ยงยุทธ แต่ศิริ และชาติพงษ์ รตโนภาต. 2543. “การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง”, บทความทางวิชาการ การสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ประจำปี งบประมาณ 2543. กรุงเทพฯ. หน้า 81.

² ทางหลวง, กรม. ม.ป.พ. มาตรฐานงานทาง. กรุงเทพฯ. หน้า 23-93.

1.2 วิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31)¹

วิธีนี้ใช้ออกแบบทางลาดยางในประเทศแถบโซนร้อนและบริเวณใกล้เคียง
เหมาะสำหรับถนนที่มีรถบรรทุกหนักแล่นผ่านเฉลี่ยวันละประมาณ 1,500 คัน อายุการ
ใช้งานของถนน 10-15 ปี ขั้นตอนในการออกแบบมีดังนี้

1.2.1 หาปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนน (Traffic Loading)

ในการคำนวณหาปริมาณการจราจรที่จะมาแล่นบนถนนตลอดช่วงอายุการใช้งาน
ของถนนนั้น จะถูกคิดให้อยู่ในรูปของจำนวนน้ำหนักกดผ่านเพลาคี่ขวมาตรฐาน
18,000 ปอนด์ โดยพิจารณาน้ำหนักเนื่องจากรถบรรทุก ส่วนน้ำหนักเนื่องจากรถนั่ง
ส่วนบุคคล หรือรถขนาดเบาไม่ต้องนำมาคิด (รายละเอียดภาคผนวก ก) หรือใช้ภาพ
ประกอบ ค.4 ช่วยในการคำนวณหาปริมาณของรถบรรทุกที่จะมาใช้ถนนในช่วงอายุ
การใช้งานถนน โดยวิธีการดังนี้คือ

1.2.1.1 เก็บข้อมูลคำนวณหาปริมาณของรถบรรทุกที่จะมาใช้ถนน
เมื่อสร้างเสร็จและเปิดให้รถแล่นผ่านได้

1.2.1.2 ทำนายอัตราการเพิ่มของการจราจรในถนนสายดังกล่าว

1.2.1.3 กำหนดอายุการใช้งานของถนน

1.2.1.4 ใช้ภาพประกอบ ค.4 ช่วยในการคำนวณปริมาณการจราจร
ในช่วงอายุการใช้งาน โดยในภาพประกอบ ค.4 กำหนดให้มีรถบรรทุก 100 คันต่อวัน
เมื่ออ่านค่าได้แล้วให้นำมาเทียบกับข้อมูลจากข้อ ก. ตามอัตราส่วนจำนวนยานพาหนะ

1.2.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ (รายละเอียดใน
ภาคผนวก ข.)

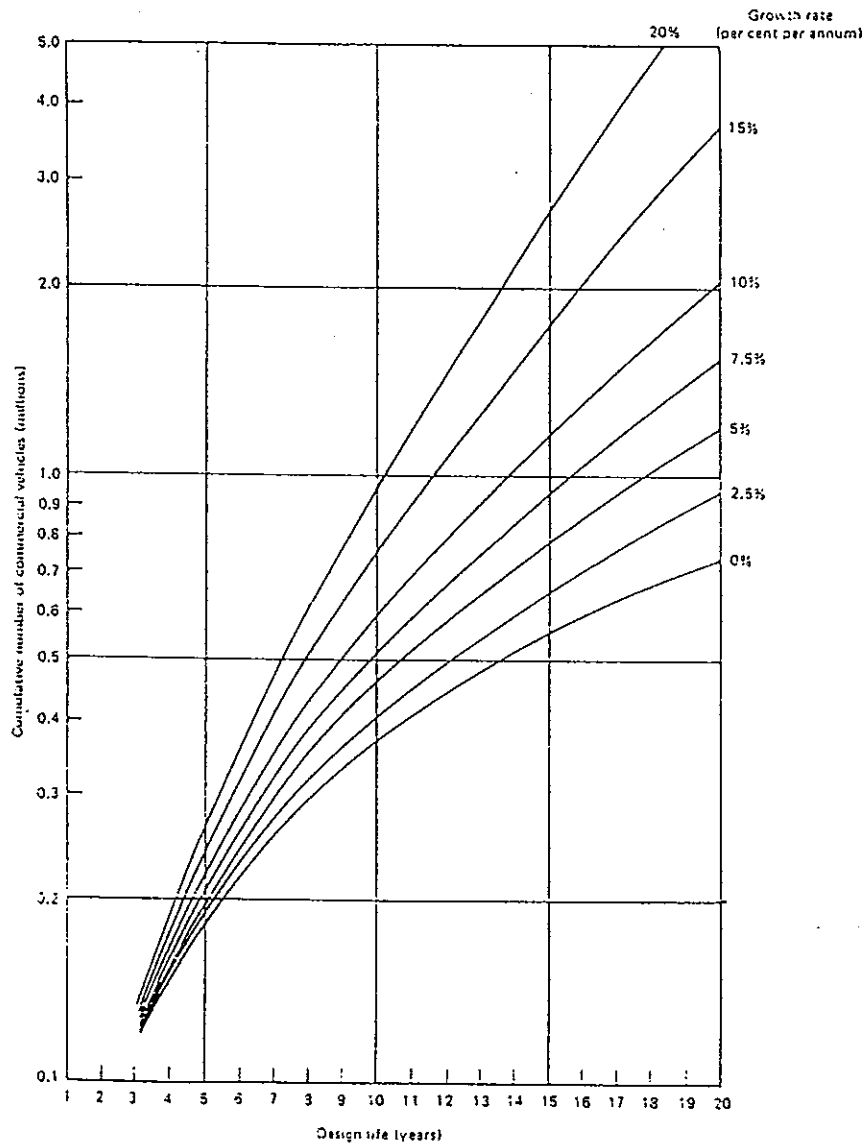
¹ Transport and Road Research Laboratory. 1977. Road Note 31 "A Guide to the
Structural Design of Bitumen-Surface Road in Tropical and Sub-Tropical Countries".
3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. pp. 5-14.

1.2.3 การออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ใช้ข้อมูลจากข้อ 1.2.1 และ ข้อ 1.2.2 กำหนดความหนาของโครงสร้างชั้นทางจาก Design Chart (ภาพประกอบ ค.5) ถ้าคุณสมบัติของดินชั้นทางมีค่า CBR มากกว่าหรือเท่ากับ 25% โครงสร้างของชั้นทางนั้นไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุรองพื้นทาง ถ้าดินชั้นทางมีค่า CBR น้อยกว่า 25% โครงสร้างของชั้นทางจะต้องออกแบบให้มีชั้นรองพื้นทางมากกว่า 10 ซม.

ข้อกำหนดสำหรับวัสดุโครงสร้างทางตามมาตรฐานวิธีการออกแบบของ Road Note 31 จะเป็นดังนี้

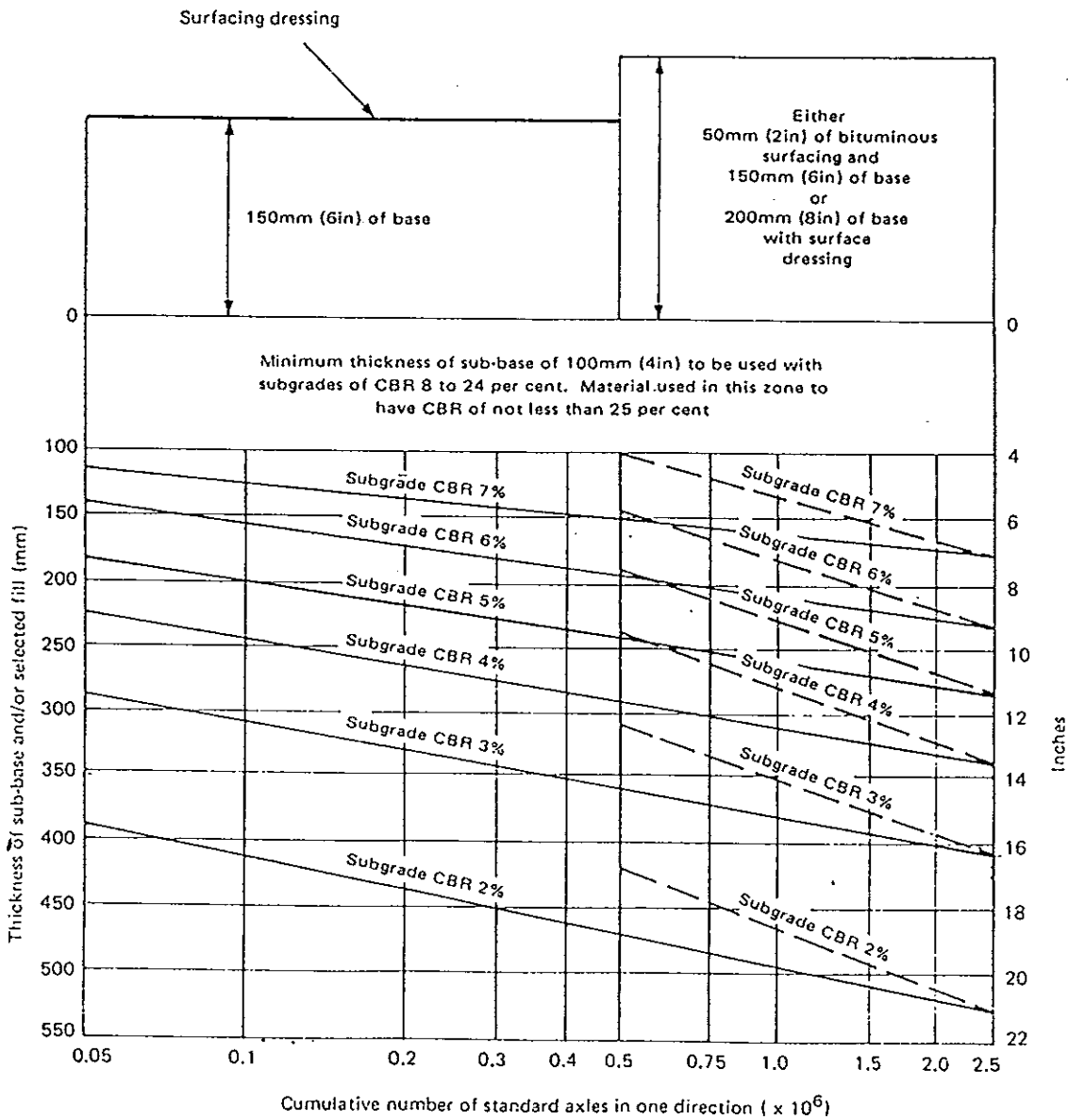
Subbase	Lab CBR ไม่น้อยกว่า 25%
Base	Lab CBR ไม่น้อยกว่า 80%

ภาพประกอบ ก.4 จำนวนรถบรรทุกที่จะมาใช้ถนนในช่วงอายุการใช้งานสำหรับ
ADT ของรถบรรทุก 100 คันต่อวัน ในปีแรกที่เปิดถนน



ที่มา : Transport and Road Research Laboratory. 1977. Road Note 31 "A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surface Road in Tropical and Sub-Tropical Countries". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 6.

ภาพประกอบ ค.5 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของ รองพื้นทาง พื้นทาง และผิวทาง
ของผิวทางลาดยางตามวิธี TRL (Road Note 31)



ที่มา : Transport and Road Research Laboratory. 1977. Road Note 31 "A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surface Road in Tropical and Sub-Tropical Countries". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 9.

1.3 วิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials 1972 (AASHTO)¹

วิธีนี้ ได้อาศัยผลการทดสอบถนนตัวอย่าง ในระหว่างปลายปี ค.ศ. 1950 ถึง ต้นปี ค.ศ. 1960 ที่เมืองออตตาวา รัฐอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้สร้าง แผนภูมิสำหรับการออกแบบ โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

1.3.1 เลือกค่าแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้ (Pt)

ค่าของแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้จะมีค่าเท่ากับ 2 และ 2.5 ค่าต่ำสุดของแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้หมายถึง ความสามารถที่ทางหลวงจะทนทานให้ใช้บริการได้เมื่อสิ้นสุดอายุตามปริมาณการจราจรที่ได้ คาดคะเนไว้ ก่อนที่จะได้ทำการซ่อม ทำผิวทางใหม่หรือทำการก่อสร้างทางใหม่ สำหรับทางหลวงที่มีมาตรฐานสูง ควรใช้ค่าแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้ เท่ากับ 2.5 ส่วนทางหลวงที่มีมาตรฐานต่ำ ควรใช้ค่าแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้เท่ากับ 2.0 สำหรับทางหลวงสายย่อย ควรใช้แฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้เท่ากับ 2.0 แต่ให้คิดอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติ

1.3.2 กำหนดปริมาณการจราจรที่จะมาเล่นบนถนนตลอดอายุการใช้งาน เปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์ น้ำหนักเนื่องจากรถยนต์ นั่งส่วนบุคคล หรือรถขนาดเบาไม่ต้องนำมาคิด (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

1.3.3 กำหนดค่าแฟกเตอร์ทางภูมิภาค (Regional Factor, R)

ค่าแฟกเตอร์ทางภูมิภาคจะขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิภาคในท้องถิ่นนั้น ค่าของแฟกเตอร์ทางภูมิภาคได้แสดงไว้ในตาราง ค.4

¹ Yoder, E. J. and Witczak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. pp. 506-517.

ตาราง ก.4 ค่าของแฟกเตอร์ทางภูมิภาค

เงื่อนไข	ค่าของแฟกเตอร์ทางภูมิภาค
ชั้นใต้พื้นของทางแข็งตัวในฤดูหนาว	0.2 – 1.0
ชั้นใต้พื้นของทางแข็ง	0.3 – 1.5
ชั้นใต้พื้นของทางเปียก	4.0 – 5.0

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 510.

1.3.4 จำนวนค่าตัวเลขโครงสร้าง (Structural Number, SN)

ตัวเลขโครงสร้าง หมายถึง ค่าดัชนีซึ่งได้จากการวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณการจราจร สภาพของดินใต้ชั้นทาง และแฟกเตอร์ทางภูมิภาค ซึ่งจะแปลงเป็นค่าของความหนาของโครงสร้างชั้นทางแต่ละชั้น โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทาง (Layer Coefficient) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับประเภทของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างทางชั้นนั้น ๆ ดังสมการที่ 1

$$SN = \frac{(a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3)}{2.54} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ a_1 = สัมประสิทธิ์ของชั้นผิวทาง

a_2 = สัมประสิทธิ์ของชั้นพื้นทาง

a_3 = สัมประสิทธิ์ของชั้นรองพื้นทาง

D_1 = ความหนาของชั้นผิวทาง (ซม.)

D_2 = ความหนาของชั้นพื้นทาง (ซม.)

D_3 = ความหนาของชั้นรองพื้นทาง (ซม.)

โดยที่ค่าของสัมประสิทธิ์ของชั้นทางแต่ละชั้น จะหาได้จากตาราง

ค.5 หรือภาพประกอบ ค.6

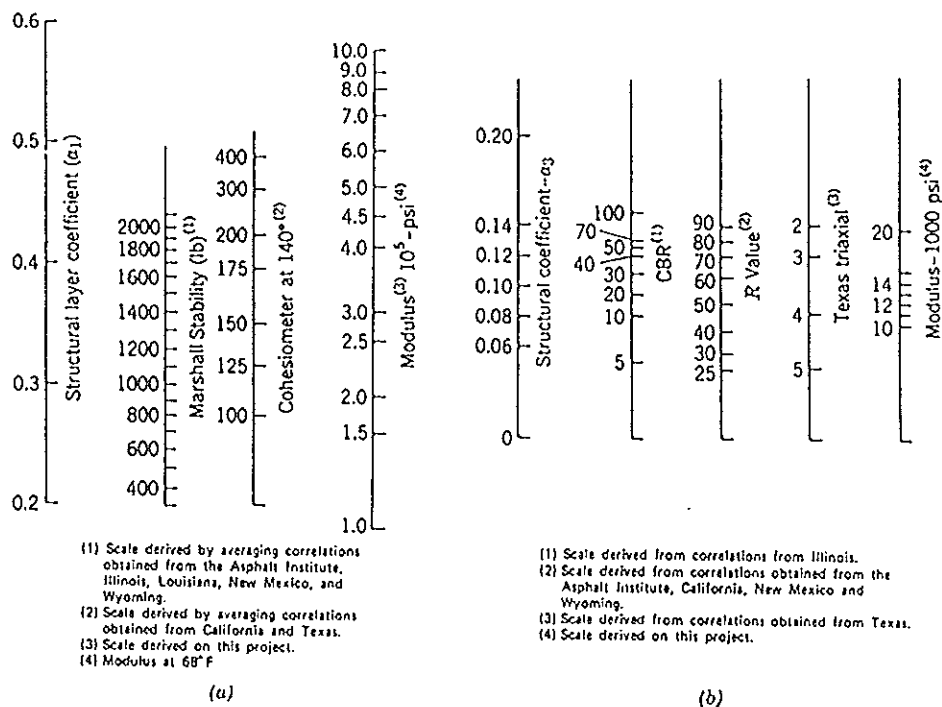
ค่าของตัวเลขโครงสร้างที่ได้จากสมการที่ 1 จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าของตัวเลขโครงสร้างที่ได้จากภาพประกอบ ค.7 และ ค.8

ตาราง ค.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทาง

Pavement Component	Coefficient
Surface Course	
Roadmix (Low Stability)	0.20
Plantmix (High Stability)	0.44
Sand Asphalt	0.40
Base Course	
Sandy Gravel	0.07
Crushed Stone	0.14
Cement – treated (No Soil – Cement)	
Compressive Strength @ 7 Days	
650 psi or More	0.23
400 psi to 650 psi	0.20
400 psi or Less	0.15
Bituminous – Treated	
Coarse – Graded	0.34
Sand Asphalt	0.15 – 0.30
Subbase Course	
Sandy Gravel	0.11
Sand or Sandy Clay	0.05 – 0.10

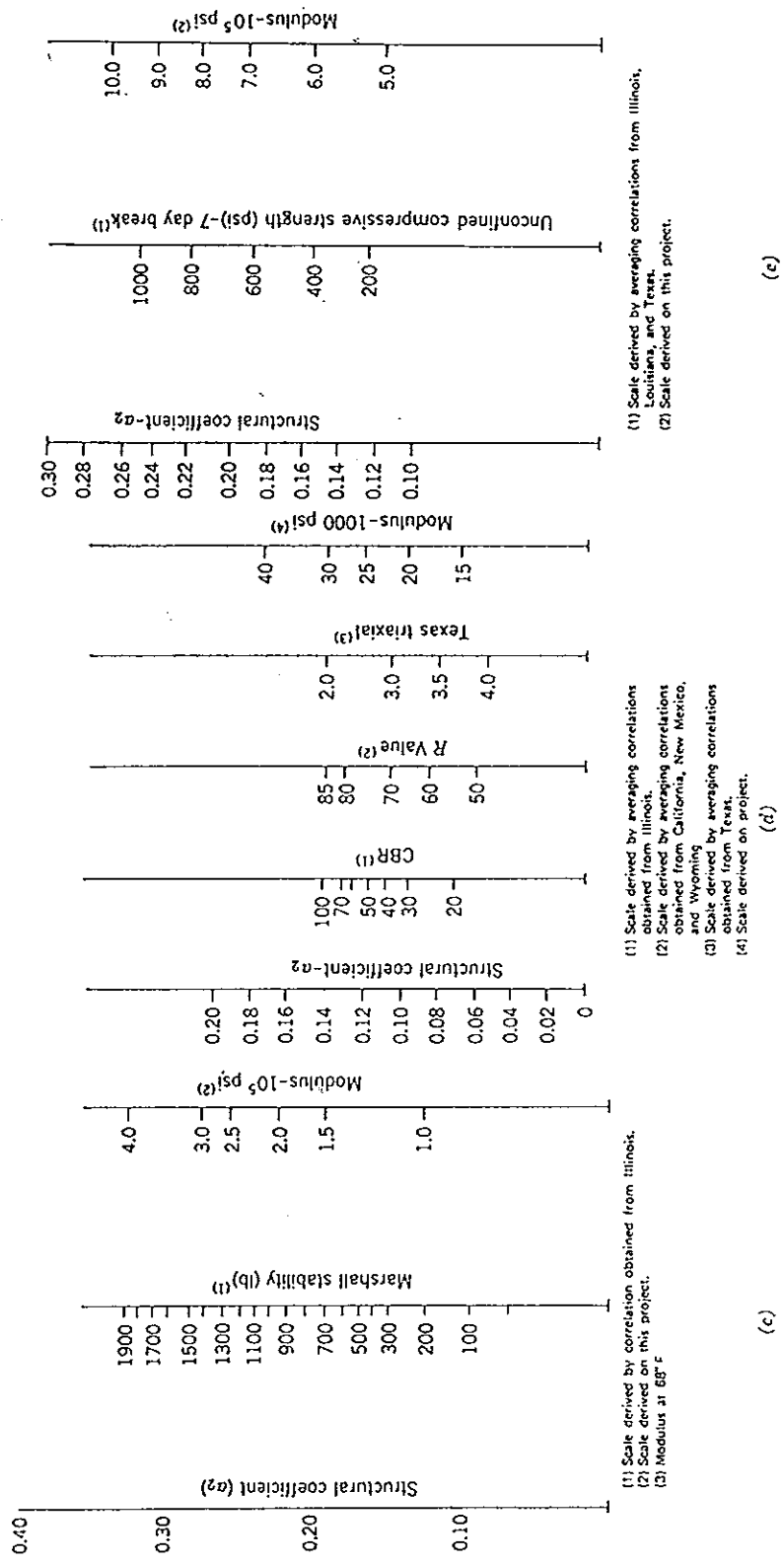
ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 512.

ภาพประกอบ ค.6 แผนภูมิสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทาง



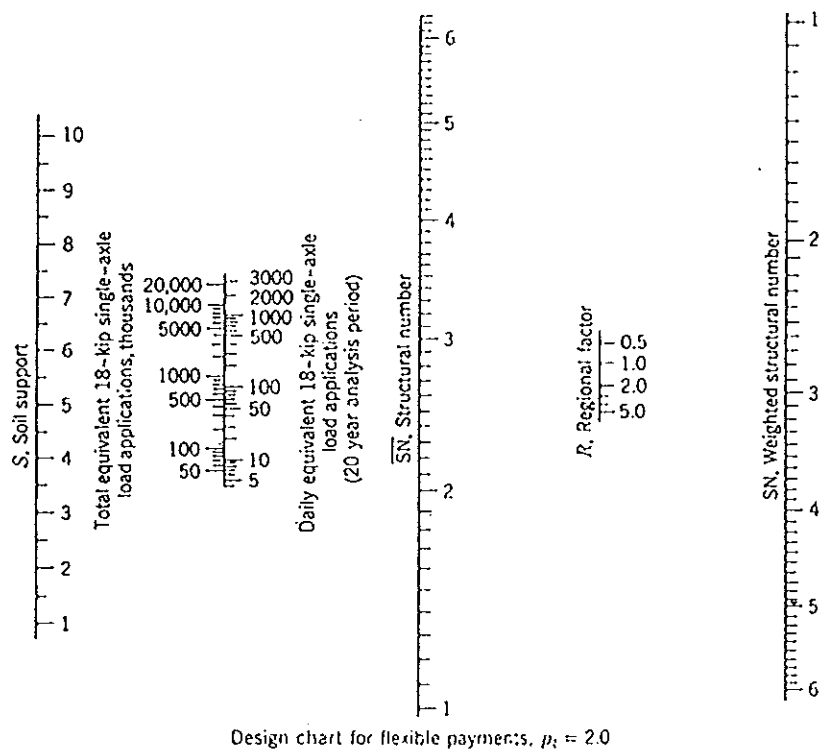
ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 514.

ภาพประกอบ ก.6 แผนภูมิสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทาง (ต่อ)



Yoder E. J. and Witezak M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc.

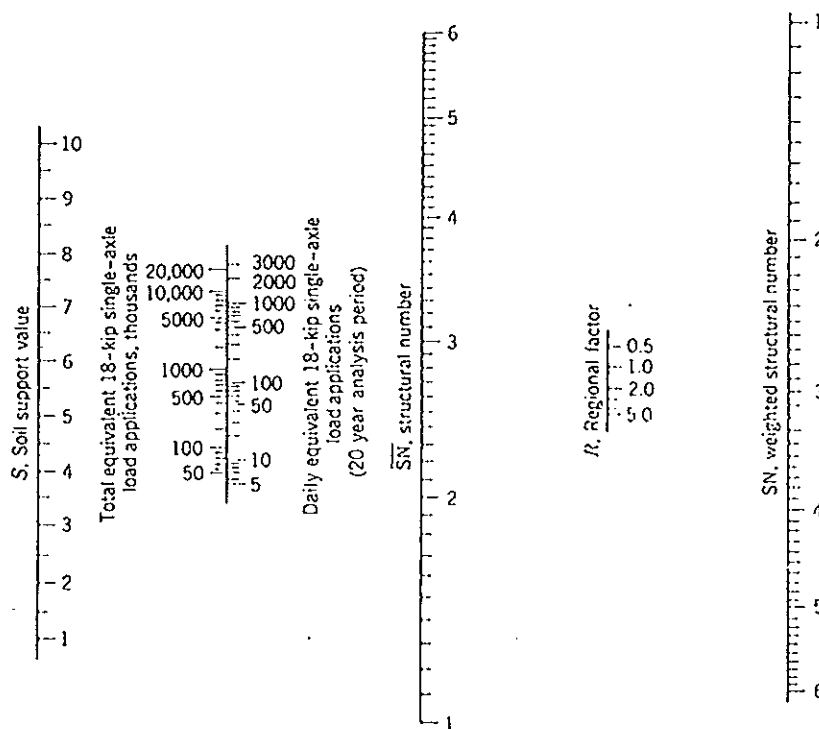
ภาพประกอบ ค.7 แผนภูมิสำหรับหาค่า SN สำหรับ $P_t = 2.0$



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT

DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 509.

ภาพประกอบ ค.8 แผนภูมิสำหรับหาค่า SN สำหรับ $P_t = 2.5$



Design chart for flexible pavements. $p_t = 2.5$

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT

DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 509.

ในภาพประกอบ ค.9 ได้แสดงถึงกรรมวิธีการตรวจสอบค่าของตัวเลขโครงสร้างของชั้นทางแต่ละชั้น สำหรับการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง กล่าวคือโดยการเลือกค่าความสามารถรองรับได้ที่เหมาะสมของชั้นทางแต่ละชั้น แล้วหาค่าของตัวเลขโครงสร้างโดยการแทนค่าในสมการหรือหาจากแผนภูมิในภาพประกอบ ค.6 จากความแตกต่างของค่าตัวเลขโครงสร้างที่ต้องการสำหรับชั้นทางแต่ละชั้น จะหาความหนาดำสุดของชั้นทางแต่ละชั้นได้

1.3.5 ค่าความสามารถรองรับได้ของดิน (Soil Support Value, S)

ค่าความสามารถรองรับได้ของดิน ไม่ใช่ค่าที่หาได้จากการทดสอบ แต่จะเป็นค่าที่ได้จากการเทียบค่าจากผลการทดสอบมาตรฐาน อาทิเช่น ค่า CBR กำลังรับแรงเฉือนของดิน เป็นต้น ซึ่งจะหาได้จากแผนภูมิ ภาพประกอบ ค.10

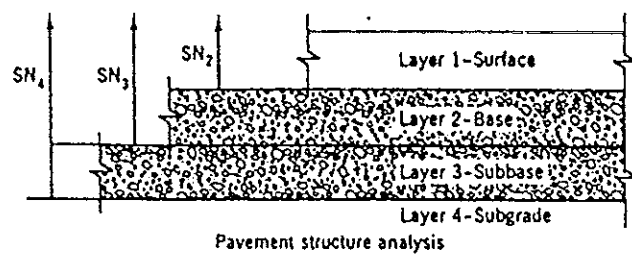
1.3.6 ความหนาดำสุดของชั้นทาง

AASHTO ได้แนะนำให้ใช้ค่าความหนาดำสุดของชั้นทางแต่ละชั้นไว้

ดังนี้คือ

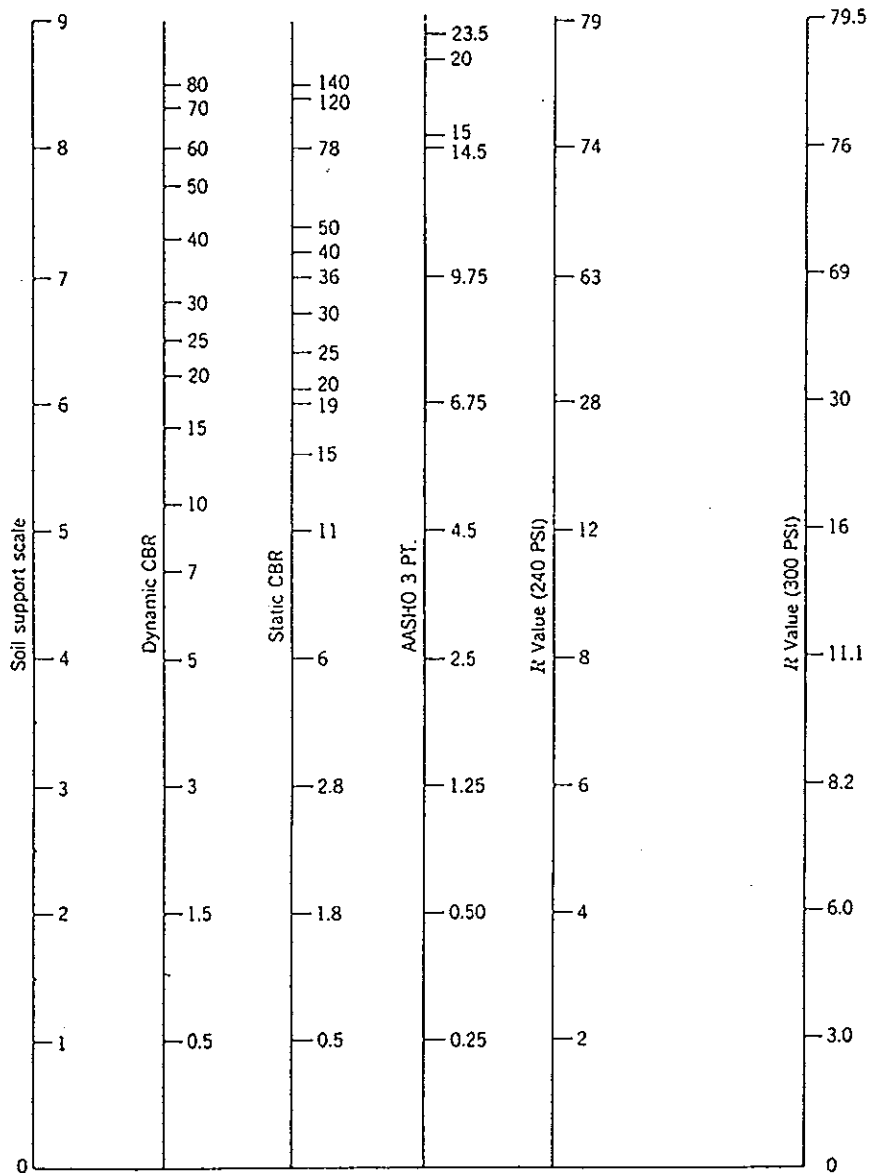
- ชั้นผิวทาง ควรมีความหนาดำสุดไม่น้อยกว่า 5 ซม.
- ชั้นพื้นทาง ควรมีความหนาดำสุดไม่น้อยกว่า 10 ซม.
- ชั้นรองพื้นทาง ควรมีความหนาดำสุดไม่น้อยกว่า 10 ซม.

ภาพประกอบ ค.9 กรรมวิธีการตรวจสอบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง



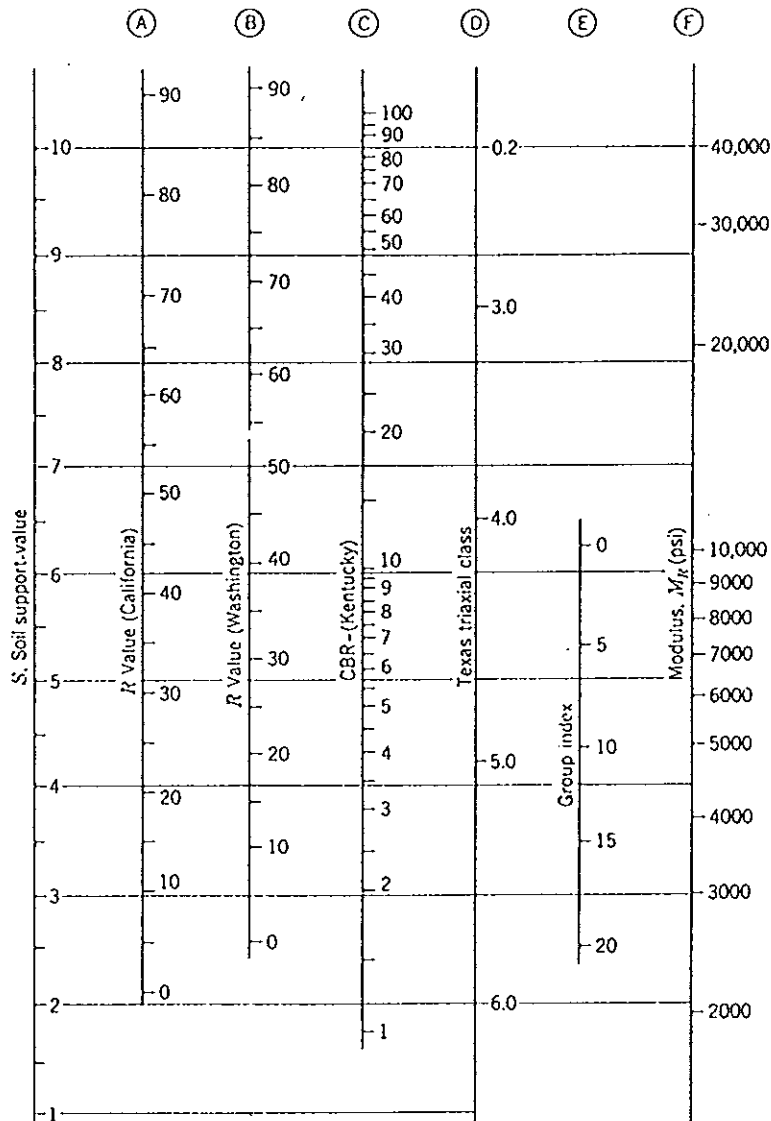
ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 516.

ภาพประกอบ ค.10 แผนภูมิสำหรับเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 516.

ภาพประกอบ ก.10 แผนภูมิสำหรับเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน (ต่อ)



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 517.

2. การออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต

2.1 วิธีของ Portland Cement Association 1966 (PCA)¹

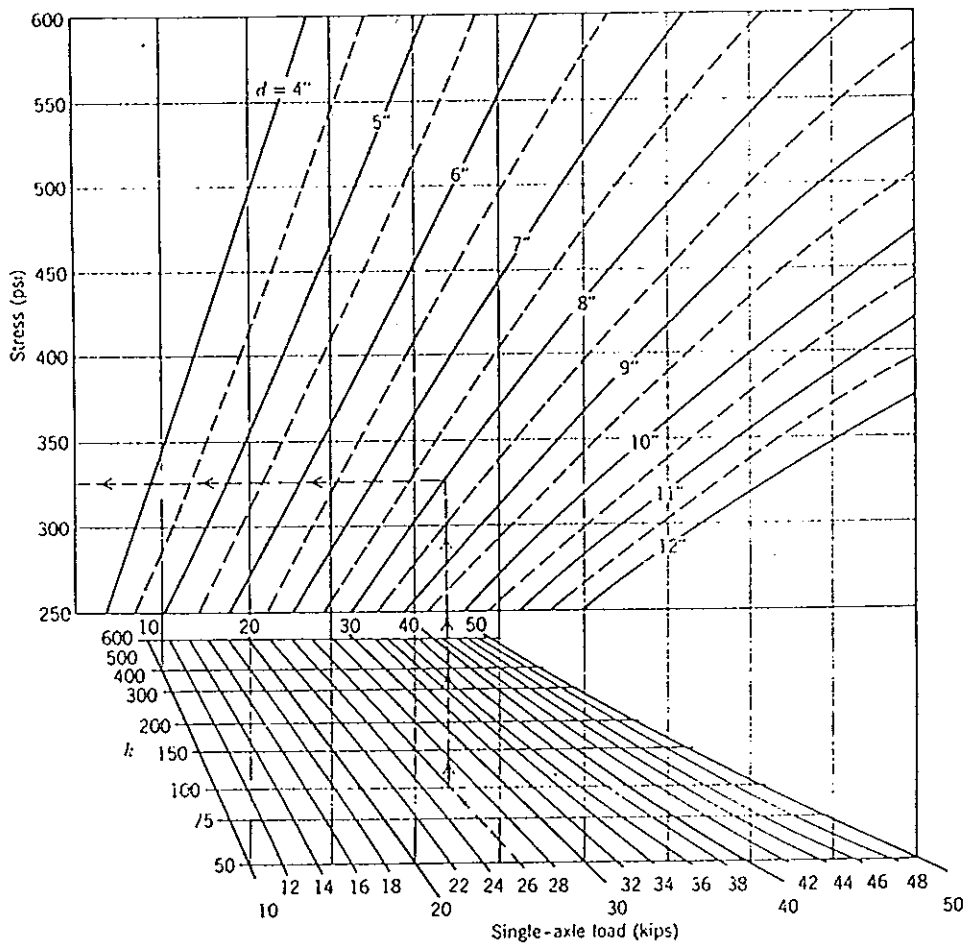
PCA ได้พัฒนาวิธีการออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยคำนึงถึงน้ำหนักที่กระทำซ้ำ ๆ ของน้ำหนักของล้อรถขนาดต่าง ๆ เป็นหลักโดยได้จัดสร้างแผนภูมิการออกแบบดังแสดงในภาพประกอบ ค.11 และ ค.12 ในการใช้แผนภูมินี้จะต้องสมมติความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต อันเนื่องมาจากน้ำหนักเพลานขนาดต่าง ๆ และจากค่าความเค้นที่อ่านได้จากแผนภูมิการออกแบบเมื่อหารด้วยค่าโมดูลัสของการแตกร้าวของคอนกรีต ก็จะได้เทอมที่เรียกว่า อัตราส่วนความเค้น (Stress Ratio) ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะสำหรับน้ำหนักเพลาค่าหนึ่ง ๆ ค่าอัตราส่วนของความเค้นที่ได้นี้ก็มีส่วนกลับของแฟกเตอร์ความปลอดภัยสำหรับน้ำหนักเพลาคู่หนึ่ง ๆ นั่นเอง ถ้าน้ำหนักเพลาสอง ค่าแฟกเตอร์ของความปลอดภัยจะน้อย

จากผลการทดลองโดยการก่อสร้างถนนทดลอง ทดลองกระทำในห้องปฏิบัติการและทำรูปแบบจำลองทดสอบของแผ่นพื้นคอนกรีต PCA ได้พัฒนาตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของความเค้น (ส่วนกลับของแฟกเตอร์ความปลอดภัย) และค่าที่ยอมให้ของน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ (Allowable Repetitions) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตได้แสดงไว้ในตาราง ค.6 จะเห็นได้ว่า ถ้าค่าอัตราส่วนความเค้นต่ำ แฟกเตอร์ความปลอดภัยสูง แสดงว่าน้ำหนักเพลหรือน้ำหนักล้อมีค่าต่ำ ดังนั้นแผ่นพื้นคอนกรีตจะรับน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ ได้มาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าอัตราส่วนของความเค้นสูง แฟกเตอร์ความปลอดภัยต่ำ แสดงว่าน้ำหนักเพลหรือน้ำหนักล้อมีค่าสูง อันจะมีผลทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตรับน้ำหนักที่กระทำซ้ำ ๆ ได้น้อย

ในกรณีที่อัตราส่วนของความเค้นมีค่าเท่ากับ 0.50 ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในตาราง ค.6 ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยจะเท่ากับ 2 ซึ่งในกรณีนี้แผ่นพื้นคอนกรีตจะรับจำนวนเที่ยวของน้ำหนักที่กระทำซ้ำ ๆ ได้ไม่จำกัด หมายความว่าน้ำหนักเพลหรือน้ำหนักล้อที่ตกลงบนแผ่นพื้นคอนกรีตทำให้เกิดความเค้นที่ผิวของแผ่นพื้น ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้น

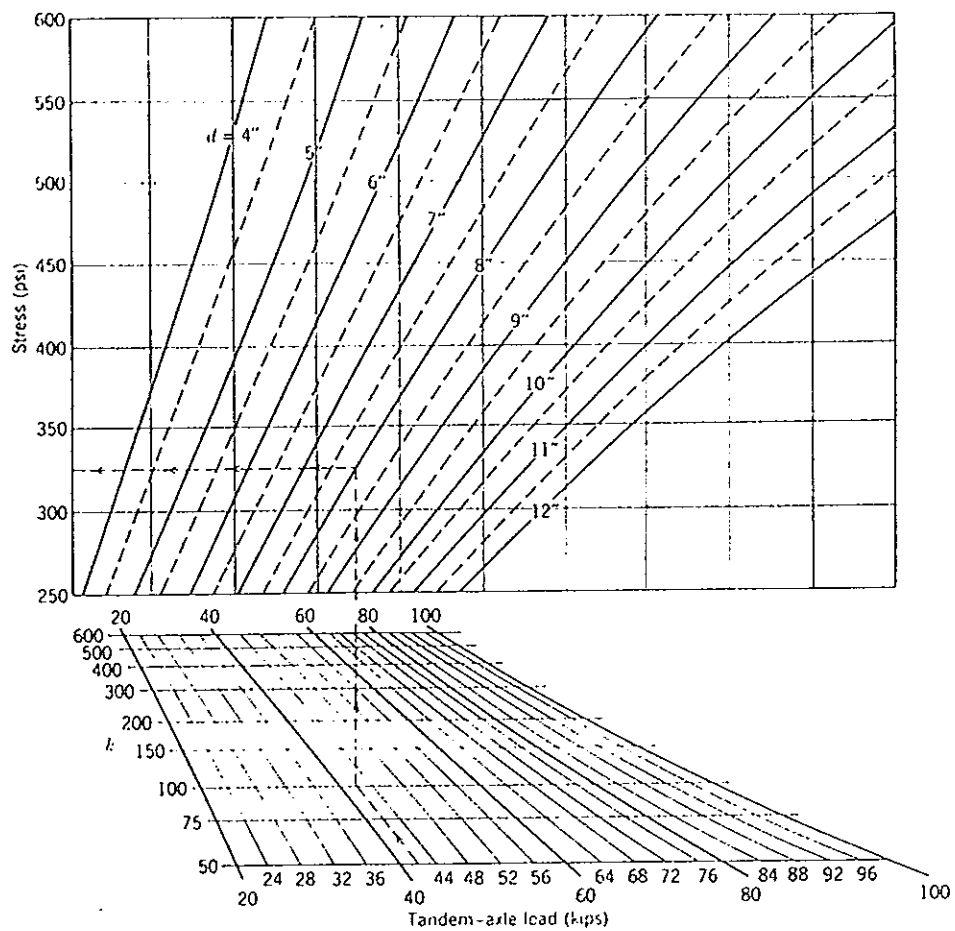
¹ ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2529. การออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตตามวิธีของ PCA. หน้า 8-20.

ภาพประกอบ ค.11 แผนภูมิการออกแบบแบบชนิดเพลลาเดี่ยว



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 604.

ภาพประกอบ ค.12 แผนภูมิการออกแบบชนิดเพลาคู่



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 605.

ตาราง ก.6 อัตราส่วนของความเค้นกับจำนวนเที่ยวที่ยอมให้ของน้ำหนักรถที่กระทำซ้ำ ๆ

อัตราส่วน ความเค้น	จำนวนเที่ยวที่ยอมให้	อัตราส่วน ความเค้น	จำนวนเที่ยวที่ยอมให้
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 603.

นี้เมื่อเอาไปหารค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตแล้ว จะให้ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 2 แผ่นพื้นคอนกรีตจะรับน้ำหนักล้อหรือน้ำหนักเพลลาได้โดยไม่จำกัดจำนวนเที่ยว

ส่วนแฟกเตอร์ปรับแก้ (Projection Factor) สำหรับอายุการออกแบบที่ 20 ปี และ 40 ปี แสดงไว้ในตาราง ค.7

ตาราง ค.7 อัตราการเพิ่มต่อปีของปริมาณการจราจรและแฟกเตอร์ปรับแก้

อัตราการเพิ่มต่อปีของปริมาณการจราจร (%)	แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับ 20 ปี (a)	แฟกเตอร์ปรับแก้สำหรับ 40 ปี (b)
1	1.2	1.2
1.5	1.3	1.3
2	1.5	1.5
2.5	1.6	1.7
3	1.8	1.9
3.5	2.0	2.2
4	2.2	2.5
4.5	2.4	2.8
5	2.7	3.2
5.5	2.9	3.6
6	3.2	4.1

หมายเหตุ : (a) ค่าของแฟกเตอร์ปรับแก้ 20 ปี = $(1+i)^{20}$

(b) ค่าของแฟกเตอร์ปรับแก้ 40 ปี = $\frac{\sum_1^{40} (1+i)^{40}}{40}$

i = อัตราการเพิ่มต่อปีของปริมาณจราจร (%)

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT

DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 607.

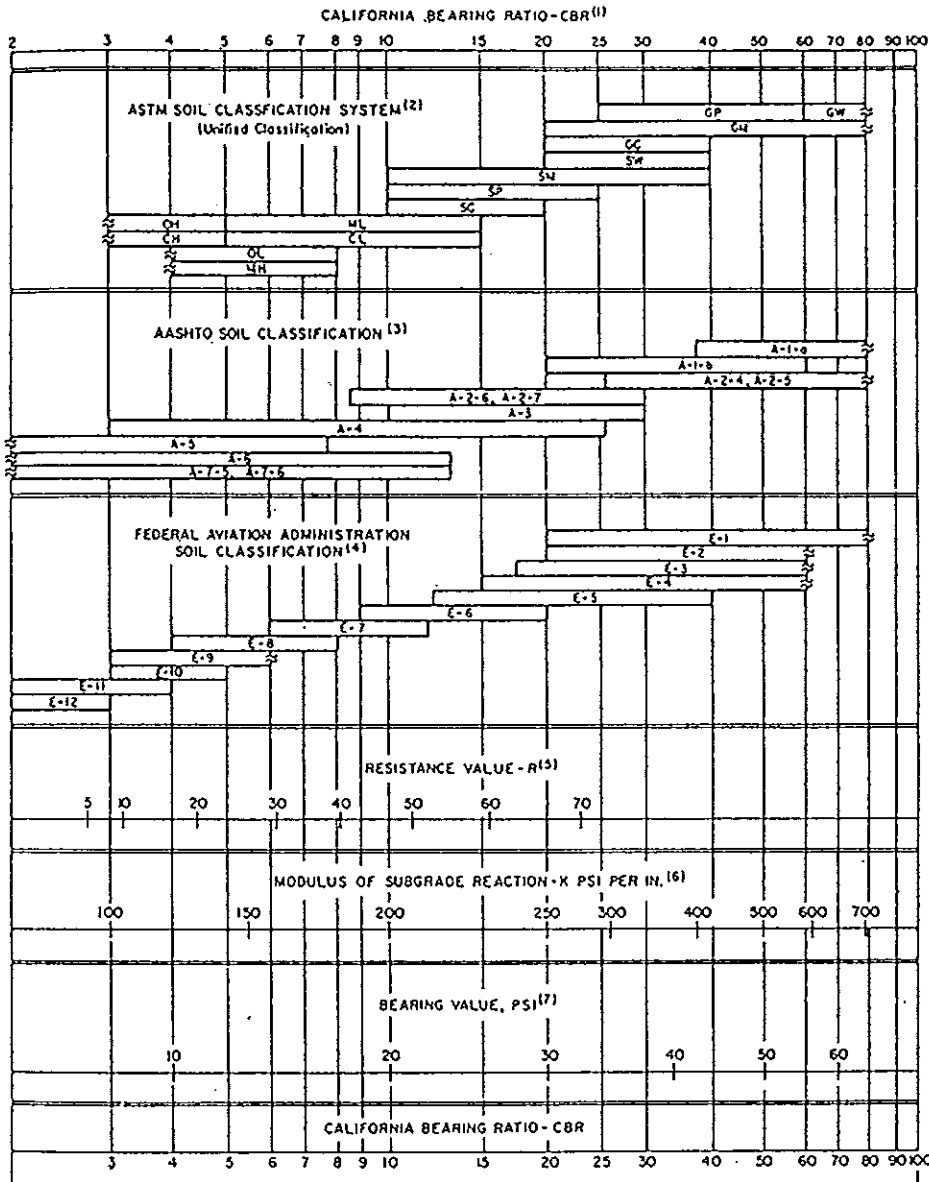
จากภาพประกอบ ค.11 และ ค.12 เมื่อรู้ค่าอัตราส่วนความเค้นก็สามารถที่จะหาค่าที่ยอมให้ของน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ สำหรับน้ำหนักรถแต่ละค่าได้ จากข้อมูลปริมาณการจราจรและการเติบโตของปริมาณการจราจรก็สามารถจะคิดคำนวณจำนวนเที่ยวของน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ ที่เกิดขึ้นจริง ในช่วงอายุของแผ่นพื้นคอนกรีตได้ จากตัวเลขน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ ที่เกิดขึ้นจริงกับน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ ที่ยอมให้ของน้ำหนักรถแต่ละค่า สามารถคำนวณได้ว่าน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ ที่ยอมให้ในช่วงอายุของแผ่นพื้นคอนกรีต ถ้าน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ ที่เกิดขึ้นจริง สูงกว่าน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ ที่ยอมให้เกินร้อยละ 125 แสดงว่าแผ่นพื้นคอนกรีตบางไปที่จะรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อให้มีอายุตามที่กำหนดจะต้องทดลองใหม่ โดยเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตหรือไม่ก็ต้องลดอายุบริการของแผ่นพื้นคอนกรีตให้น้อยลงกว่าที่กำหนด

2.1.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

2.1.1.1 Modulus of Subgrade Reaction (K)

การทดลองหาค่าโมดูลัส Modulus of Subgrade Reaction ในสนามเช่น การทดลองกดแผ่นเหล็ก เป็นต้น เป็นงานทดลองที่อยู่ยาก ไม่สะดวกในการทำงาน และเสียเวลาในการจัดเตรียมเครื่องมือ อีกประการหนึ่ง Yoder และ Witezak ได้พบว่า ค่า Modulus of Subgrade Reaction ไม่มีอิทธิพลต่อความหนาของแผ่นคอนกรีตอย่างเด่นชัด ดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะใช้ค่า Modulus of Subgrade Reaction เฉลี่ย จากแผนภูมิ PCA ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบ ค.13 เนื่องจากแผนภูมิของ PCA ให้ค่า K ของดินกลุ่มต่าง ๆ เป็นช่วง ๆ จึงอาจไม่สะดวกในการใช้งาน Illinois Department of Transportation จึงได้เสนอใช้ค่า K ของดินกลุ่มต่าง ๆ ตามที่แสดงไว้ในตาราง ค.8 ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของดินแต่ละกลุ่ม จากตารางจะเห็นได้ว่าถ้าเรารู้ว่าดินเดิมอยู่ในกลุ่มดินใด หรือรู้ค่า CBR ของดินเดิม ก็สามารถจะบอกได้ทันทีว่าค่า Modulus of Subgrade Reaction ที่ใช้ในการออกแบบควรจะเป็นเท่าไร ถ้าค่า CBR ตกอยู่ในช่วงที่ไม่ได้แสดงไว้ในตารางก็สามารถจะหาค่าประมาณของค่า K ได้

ภาพประกอบ ค.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง K, CBR และ R ของดินประเภทต่าง ๆ



(1) For the basic idea, see O. J. Porter, "Foundations for Flexible Pavements," Highway Research Board Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting, 1942, Vol. 22, pages 100-136.
 (2) ASTM Designation D2487.
 (3) "Classification of Highway Subgrade Materials," Highway Research Board Proceedings of the Twenty-fifth Annual Meeting, 1945, Vol. 25, pages 376-392.
 (4) Airport Paving, U.S. Department of Commerce, Federal Aviation Agency, May 1948, pages 11-16. Estimated using values given in FAA Design Manual for Airport Pavements. (Formerly used FAA Classification; Unified Classification now used.)
 (5) C. E. Warnes, "Correlation Between R Value and k Value," unpublished report, Portland Cement Association, Rocky Mountain-Northwest Region, October 1971 (best-fit correlation with correction for saturation).
 (6) See T. A. Middlebrooks and G. E. Bertram, "Soil Tests for Design of Runway Pavements," Highway Research Board Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting, 1942, Vol. 22, page 152.
 (7) See item (6), page 184.

Approximate Interrelationships of soil classifications and bearing values.

ที่มา : ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2529. การออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตตามวิธีของ PCA. หน้า 17.

ตาราง ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR และ K ของดินประเภทต่าง ๆ

AASHTO	CBR
A-1	20
A-2-4;A-2-5	15
A-2-6;A-2-7	12
A-3	10
A-4;A-5;A-6	3
A-7-5;A-7-6	2

CBR	K
50	500
20	250
10	200
5	140
3	100
2	70

ที่มา : ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2529. การออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีต
ตามวิธีของ PCA. หน้า 18.

2.1.3 รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต (Joint)

ในการก่อสร้างถนนคอนกรีตต้องก่อสร้างเป็นแผ่น ๆ รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตจะต้องออกแบบและควบคุมการก่อสร้างอย่างรอบคอบ เพราะจุดอ่อนของถนนจะมีมากตรงรอยต่อ ถ้าขณะที่ดำเนินการก่อสร้างสามารถควบคุมการบดอัดได้ดี และรอยต่อกระทำได้ดีสมบูรณ์แบบ อายุการใช้งานของถนนจะทนทางเท่ากับหรือมากกว่าที่วิศวกรได้ออกแบบไว้ รายละเอียดรอยต่อประเภทต่าง ๆ แสดงไว้ในภาพประกอบ ค.14

2.1.3.1 รอยต่อเพื่อการหดตัว (Contraction Joint) ทำหน้าที่บังคับให้รอยแตกในแผ่นคอนกรีต (Crack) เกิดตรงจุดที่ต้องการ และถ้ามีการแตกร้าวก็จะเกิดอย่างเป็นระเบียบ การก่อสร้างต้องเทแผ่นคอนกรีตเป็นพื้นเดียวกันตลอดก่อน เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จึงใช้เลื่อยชนิดตัดคอนกรีต เซาะให้เป็นร่องลึกประมาณ $\frac{1}{4}$ ของความหนาของแผ่นคอนกรีต

2.1.3.2 รอยต่อก่อสร้าง (Construction Joint) เป็นรอยต่อที่จะต้องหยุดการเทคอนกรีตหลังจากสิ้นสุดการทำงานในแต่ละวันหรือในช่วงที่มีเหตุจำเป็นจะต้องหยุดการทำงาน เช่น บริเวณทางแยกเข้าซอย หรือเข้าบ้านซึ่งมีรถเล่นเข้าออกทุกวัน จะต้องหยุดช่วงการเทคอนกรีตไว้จนกว่าจะทำทางเบี่ยงการจราจรได้สำเร็จ

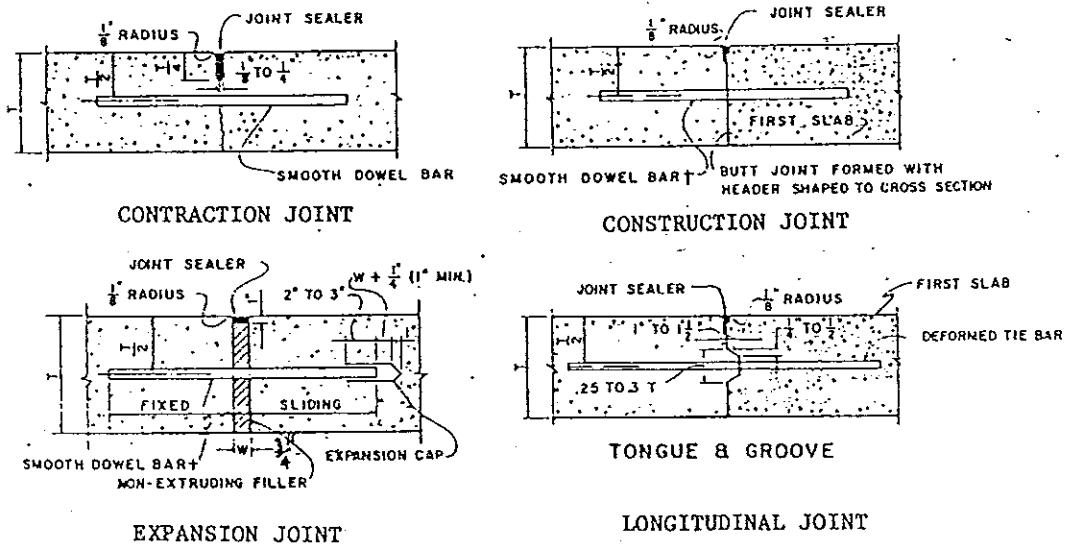
2.1.3.3 รอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint) ทำหน้าที่ป้องกันมิให้ถนนได้รับความเสียหายเนื่องจากการหดตัวและการขยายตัวของแผ่นคอนกรีต เมื่อได้รับอุณหภูมิแตกต่างกัน ระยะช่วงรอยต่อของการขยายตัวนี้ อาจะกำหนดให้มีทุกช่วง 40 เมตร หรือตามความแตกต่างของอุณหภูมิในท้องที่ ๆ ก่อสร้าง

2.1.3.4 รอยต่อตามยาว (Longitudinal Joint) แบ่งรอยต่อตามความยาวของถนนช่วยป้องกันการแตกร้าวของผิวทางคอนกรีตเนื่องมาจากแรงหดตัว ขณะเดียวกันก็ใช้ในการแบ่งช่องจราจร ระหว่างรอยต่อมีเหล็กยึดเรียกว่า Tie Bar

2.1.4 การออกแบบเหล็กเสริมของถนนคอนกรีต

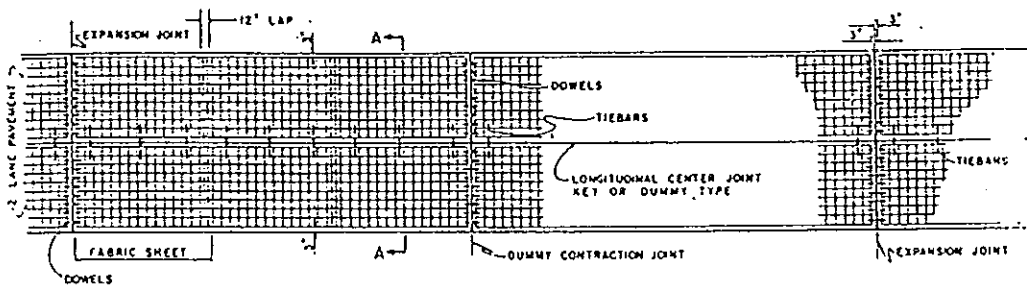
ภาพประกอบ ค.15 แสดงตำแหน่งของรอยต่อและการเสริมเหล็กประเภทต่าง ๆ

ภาพประกอบ ค.14 รายละเอียดรอยต่อประเภทต่าง ๆ ของถนนคอนกรีต



ที่มา : จิรพัฒน์ โชติกลไกร. 2531. วิศวกรรมกรรมทาง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
การพิมพ์. หน้า 257.

ภาพประกอบ ค.15 ตำแหน่งของรอยต่อและการเสริมเหล็กประเภทต่าง ๆ



ที่มา : จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมการทาง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
การพิมพ์. หน้า 257.

2.1.4.1 เหล็กเคียว (Dowel Bar) เป็นเหล็กเสริมตรงรอยต่อประเภท Construction Joint, Expansion Joint และ Contraction Joint ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักของล้อรถระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีต ปลายครึ่งหนึ่งของเหล็กเคียวจะต้องขูบขางมะตอยหรือสีเพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตยึดติดแน่น และแผ่นคอนกรีตสามารถยึดหดตัวได้ไม่แตกร้าว (รายละเอียดการออกแบบในภาคผนวก ง)

2.1.4.2 เหล็กยึด (Tie Bar) ใช้ยึดรอยต่อในแนวตามยาวของถนน เป็นเหล็กข้ออ้อย เนื่องจากต้องการแรงยึดเกาะสูง ป้องกันมิให้แผ่นคอนกรีตแยกหลุดออกจากกัน ปริมาณและความยาวของเหล็กยึดคำนวณได้จาก

$$A_s = \frac{W L f}{f_s}$$

$$L_t = \frac{2 f_s A_{s1}}{\Sigma u}$$

เมื่อ

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม (ชม.²/ความกว้าง 1 ม.)

A_{s1} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม 1 เส้น (ชม.²)

W = น้ำหนักของแผ่นคอนกรีต (กก./ม.²)

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (มีค่าประมาณ 1.5)

L = ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต (ม.)

f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้ (กก./ชม.², 1,500 กก./ชม.²)

L_t = ความยาวของเหล็กยึด (ม.)

Σu = เส้นรอบวงของเหล็กยึด (ชม.)

u = ค่าแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีต (กก./ชม.², 24.50 ชม.²)

2.1.4.3 เหล็กเสริมในแผ่นคอนกรีต (Temperature Reinforcement)

เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตตามแนวยาวและแนวขวางของทิศทางจราจร
ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้รอยแตกร้าวนั้นขยายออกไปจากเดิม

$$A_s = \frac{W L f}{2 f_s}$$

เมื่อ

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม (ชม.²/ม.ของคอนกรีต)

W = น้ำหนักของแผ่นคอนกรีต (กก./ม.²)

f = สัมประสิทธิ์ความเสียหาย (มีค่าประมาณ 1.5)

L = ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต (ม.)

f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้ (กก./ชม.², 1,200 กก./ชม.²)

2.2 วิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29)¹

วิธีนี้ใช้ออกแบบโครงสร้างถนนผิวทางคอนกรีต ซึ่งพิมพ์ออกมาเผยแพร่ครั้งที่ 3 ในปี ค.ศ. 1970 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการออกแบบโครงสร้างถนนผิวทางคอนกรีตชนิดเสริมเหล็กแบบไม่ต่อเนื่องเท่านั้น องค์ประกอบที่ใช้ในการออกแบบได้แก่ ปริมาณการจราจร อายุการใช้งาน อัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร คุณสมบัติของดินคันทาง รองพื้นทาง และคอนกรีต เป็นต้น ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบมีดังนี้

2.2.1 หาปริมาณการจราจรที่จะใช้ถนน

ในการคำนวณหาปริมาณการจราจรที่จะมาเล่นบนถนนตลอดช่วงอายุการใช้งานของถนนนั้น จะใช้ค่าปริมาณการจราจรในช่องทางที่รถบรรทุกหนักแล่นมาออกแบบ และจะถูกคิดให้อยู่ในรูปของจำนวนน้ำหนักกดผ่านเพลาคือมาตรฐาน 18,000 ปอนด์ ส่วนน้ำหนักเนื่องจากรถนั่งส่วนบุคคล หรือรถขนาดเบาไม่ต้องนำมาคิด โดยวิธีการดังนี้คือ

1.2.1.1 เก็บข้อมูลคำนวณหาปริมาณของรถบรรทุกหนักที่จะมาใช้ถนนเมื่อสร้างเสร็จและเปิดให้ใช้บริการได้ หรือจากตาราง ก.9 แสดงปริมาณรถบรรทุกต่อวัน ต่อทิศทางในถนนประเภทต่าง ๆ บริเวณที่อยู่อาศัยและใกล้เคียง ใช้ประกอบในการคำนวณตามภาพประกอบ ก.13

1.2.1.2 จากข้อมูลปริมาณการจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบัน นำไปทำนายอัตราการเพิ่มของการจราจรในถนนสายดังกล่าว ถ้าหากไม่สามารถหาอัตราการเพิ่มของการจราจรจากข้อมูลเดิมได้ ให้ใช้อัตราการเพิ่มของการจราจรเป็น 4% ต่อปี

1.2.1.3 กำหนดอายุการใช้งานของถนน อาจจะกำหนดได้สูงสุดถึง 40 ปี

¹ Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. pp. 5-36.

ตาราง ค.9 ปริมาณรถบรรทุกต่อวัน ต่อทิศทางในถนนประเภทต่าง ๆ บริเวณที่
พักอาศัย และพื้นที่ใกล้เคียง

ประเภทถนน	ปริมาณรถบรรทุก/วัน/ทิศทางขณะ ก่อสร้าง
1. ถนนในหมู่บ้าน ถนนต้นที่มีที่กัลดรถ ปลายถนน	10
2. ถนนผ่านหมู่บ้าน มีรถเมล์ผ่านประมาณ 25 เที่ยว/วัน/ทิศทาง	75
3. ถนนสายสำคัญผ่านหมู่บ้านมีรถเมล์ผ่าน ประมาณ 25-50 เที่ยว/วัน/ทิศทาง	175
4. ย่านศูนย์กลางการค้าในเมือง มีรถขนสินค้าเข้า ออก มีรถเมล์ผ่าน 50 เที่ยว/วัน/ทิศทาง	350

ตาราง ค.10 ค่าตัวคูณใช้เปรียบเทียบเปลี่ยนจำนวนรถบรรทุกให้เป็นจำนวนเพล
มาตรฐาน 18,000 ปอนด์

ประเภทถนน	จำนวนเพล ต่อรถบรรทุก 1 คัน (axb)	จำนวนเพล มาตรฐานต่อจำนวน เพลรถบรรทุก (b)	จำนวนเพล มาตรฐานต่อรถ บรรทุก 1 คัน (axb)
ทางด่วน ทางหลวงสำคัญเชื่อมระหว่างจังหวัดมีรถ บรรทุกแล่น > 1,000 คัน/วัน/ทิศทาง ขณะก่อสร้างทาง	2.7	0.4	1.08
ทางหลวงเชื่อมระหว่างเมืองมีรถบรรทุกแล่น 250- 1,000 คัน/วัน/ทิศทาง ขณะก่อสร้างทาง	2.4	0.3	0.72
ถนนสาธารณะประเภทอื่น	2.25	0.2	0.45

ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural
Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's
Stationery Office. p. 7.

1.2.1.4 ใช้ภาพประกอบ ค.16 - ค.19 และ ค.20 ช่วยในการคำนวณปริมาณการจราจรตลอดช่วงอายุการใช้งาน หรือคำนวณปริมาณการจราจรที่จะมาเล่นบนถนนตลอดอายุการใช้งาน เปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์ น้ำหนักเนื่องจากรถนั่งส่วนบุคคล หรือรถขนาดเบาไม่ต้องนำมาคิด (รายละเอียดภาคผนวก ก) หรือ จะใช้ตาราง ค.10 เป็นตัวคูณในการเปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์

2.2.2 ออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

เมื่อทราบปริมาณการจราจรที่จะเล่นบนถนนตลอดอายุการใช้งาน เปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์ แล้ว กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากแผนภูมิภาพประกอบ ค.21 โดยกำลังอัดของคอนกรีต กำหนดให้ไม่น้อยกว่า 285 กก./ซม.² ที่อายุ 28 วัน ถ้าหากดินคันทางมีค่า CBR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2% จะต้องเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตอีก 2.50 ซม. และถ้าดินคันทางมีค่า CBR มากกว่า 15% จะต้องลดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตลง 2.50 ซม.

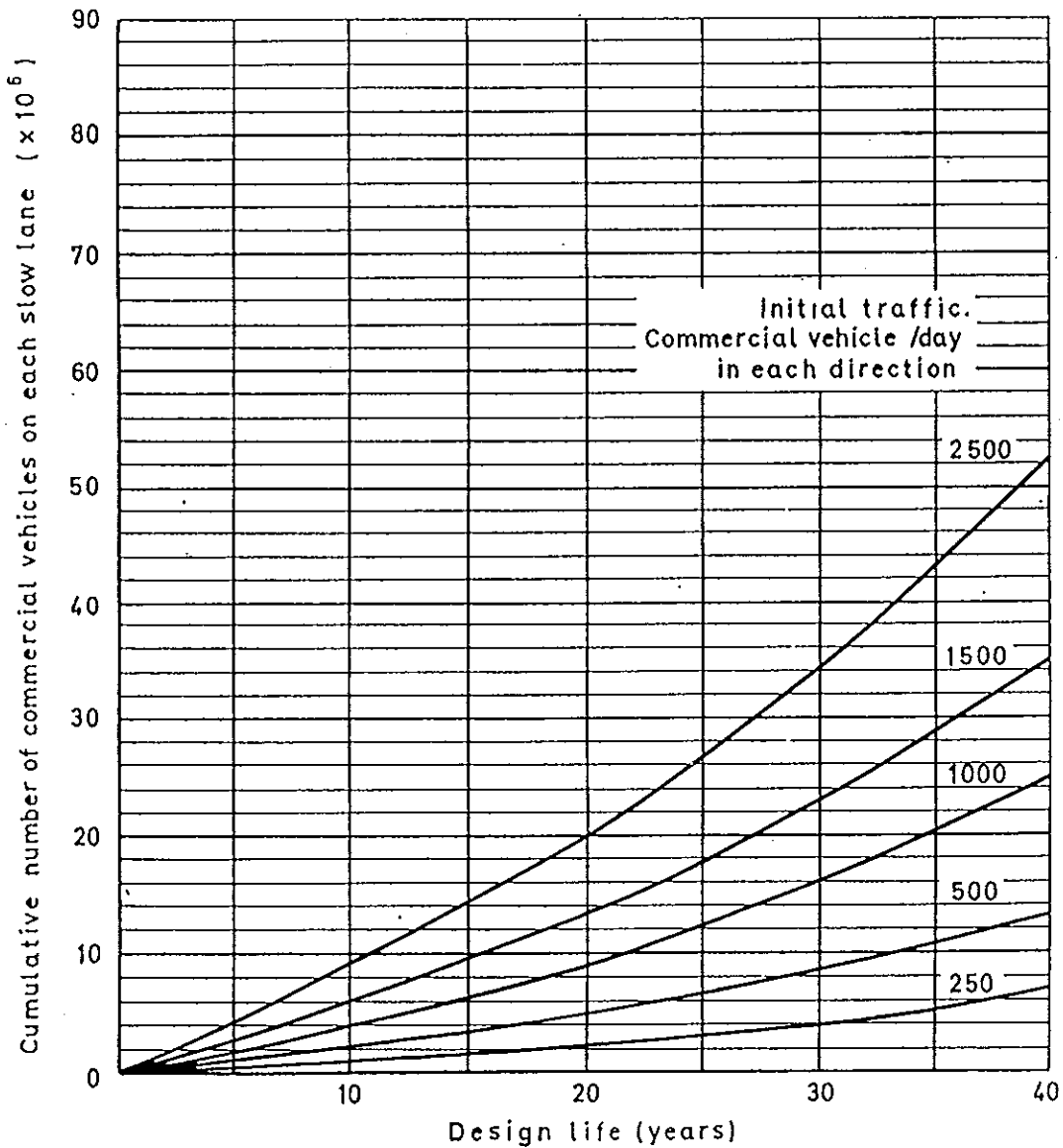
2.2.3 หาปริมาณเหล็กเสริม

เมื่อทราบปริมาณการจราจรที่จะเล่นบนถนนตลอดอายุการใช้งาน เปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์ แล้ว ปริมาณเหล็กเสริมหาได้จากแผนภูมิภาพประกอบ ค.22 ตำแหน่งของเหล็กเสริมกำหนดให้อยู่ต่ำจากผิวทาง 5-6 ซม. และให้ใช้เหล็กตะแกรงประเภท Reinforcement Fabric ถ้าใช้เหล็กเส้นมาผูกเป็นเหล็กตะแกรงจะต้องเป็นเหล็กข้ออ้อย ระยะห่างของเหล็กตะแกรงตามขวาง ต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

2.2.4 ระยะห่างของรอยต่อในแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

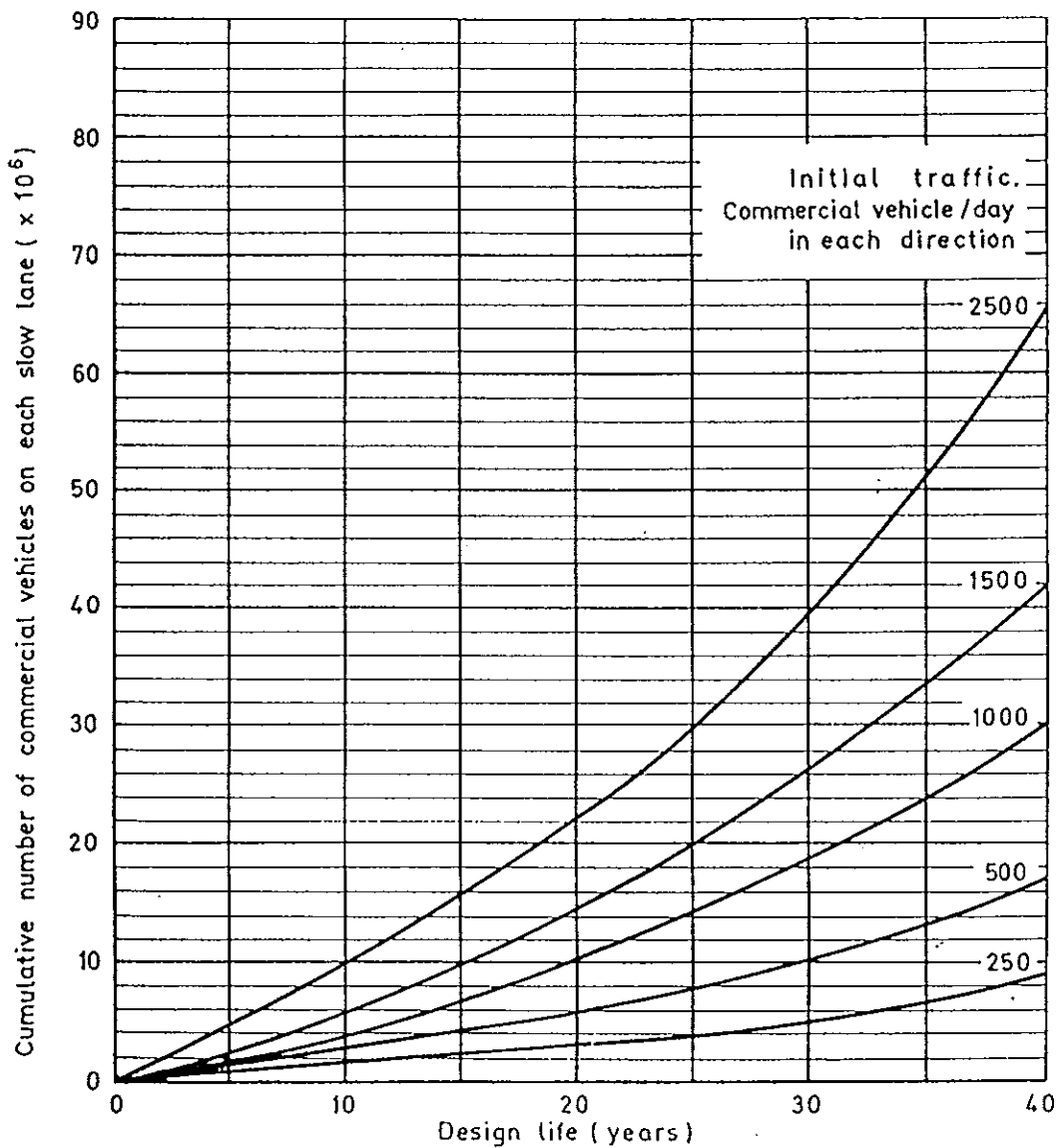
ระยะห่างของรอยต่อในแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณหรือน้ำหนักของเหล็กเสริม โดยกำหนดให้ทุก ๆ รอยต่อที่ 3 เป็นรอยต่อเพื่อการขยายตัว นอกนั้นเป็นรอยต่อเพื่อการหดตัว ถ้าคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างผสมด้วยหินปูน ให้เพิ่มระยะห่างของรอยต่ออีก 20% จากค่าที่อ่านได้จากภาพประกอบ ค.23 ถ้าหากก่อสร้างกระทำใน

ภาพประกอบ ค.16 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องทางจราจร
รถเล่นซ้ำ และอายุการใช้งาน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร
3% ต่อปี



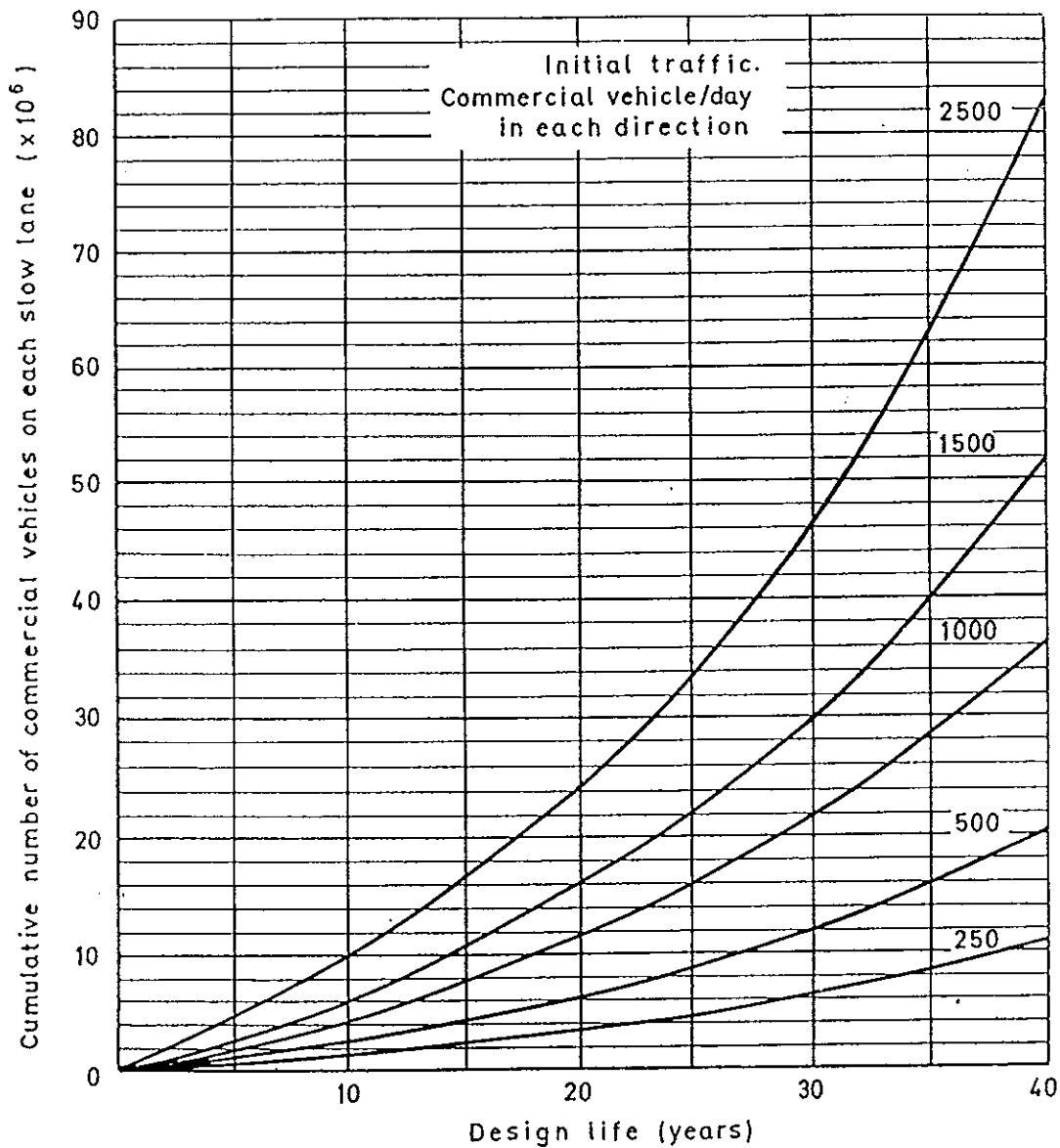
ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 20.

ภาพประกอบ ค.17 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจร
รถเลนซ้าย และอายุการใช้งาน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร
4% ต่อปี



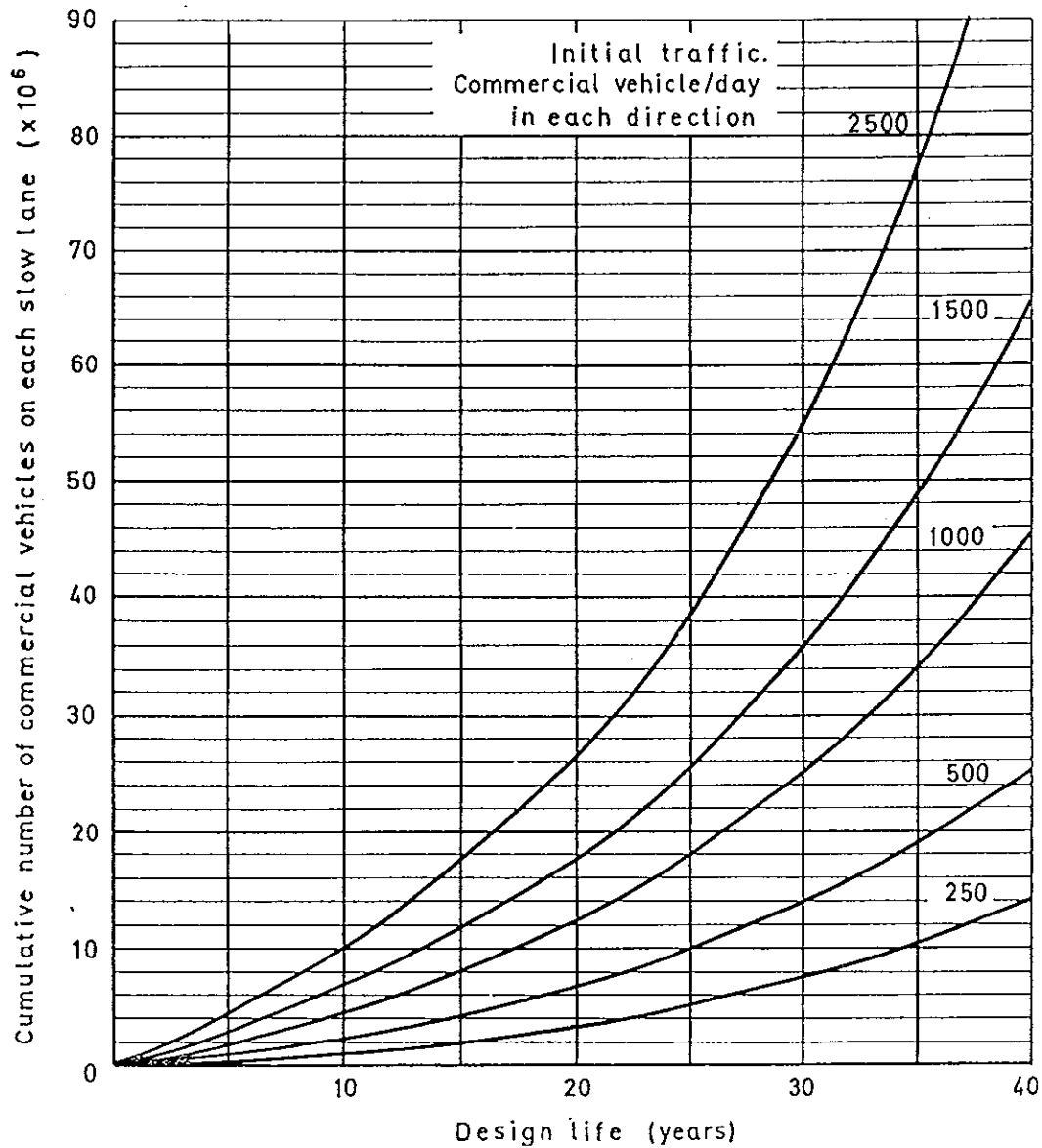
ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 21.

ภาพประกอบ ค.18 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจร
รถเล่นซ้ำ และอายุการใช้งาน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร
5% ต่อปี



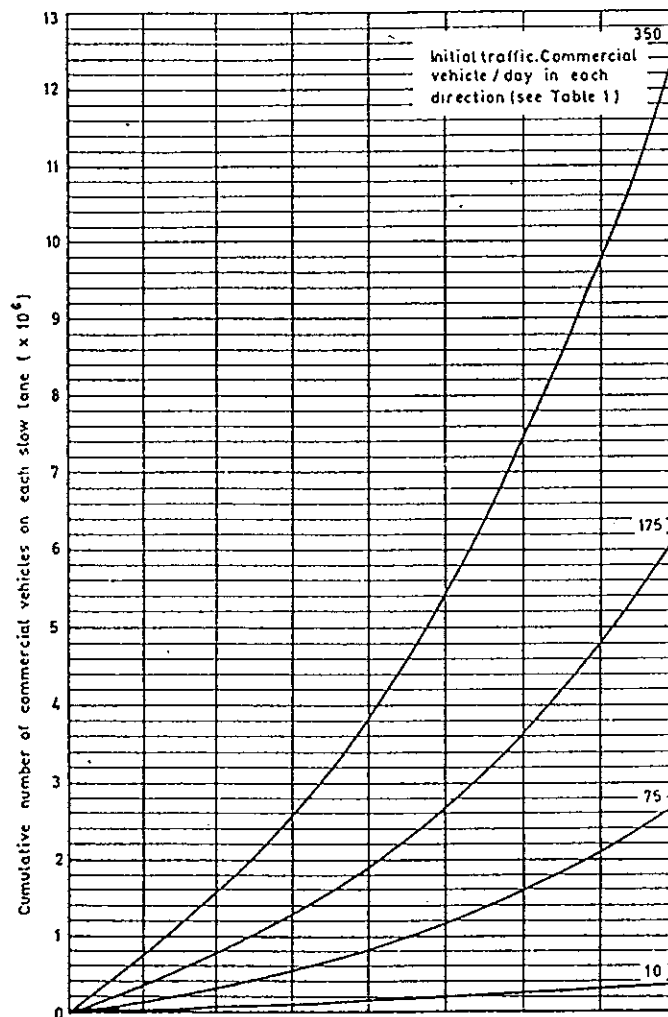
ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 22.

ภาพประกอบ ค.19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในช่องจราจร
รถเลนซ้าย และอายุการใช้งาน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร
6% ต่อปี



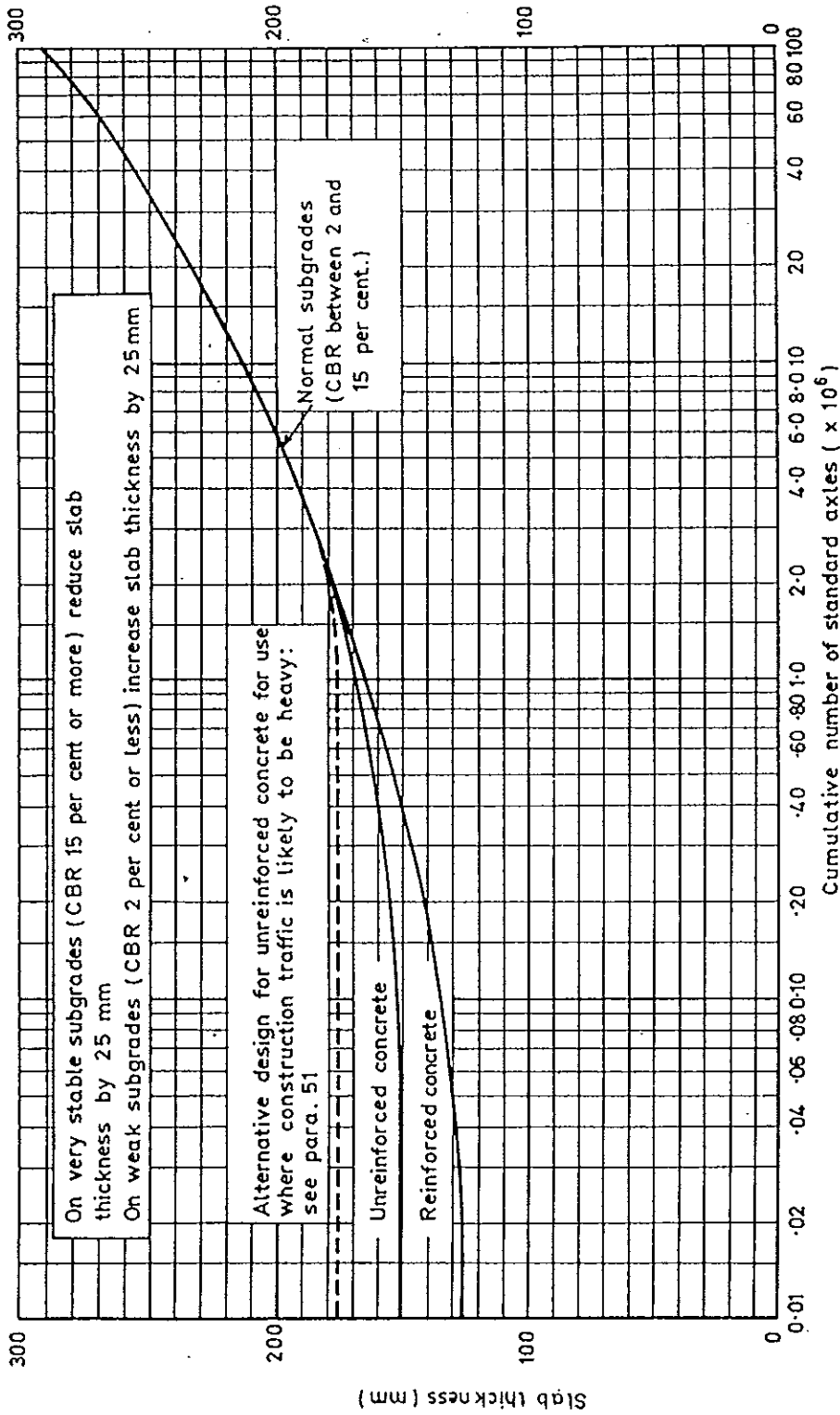
ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural
Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's
Stationery Office. p. 23.

ภาพประกอบ ค.20 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของจำนวนรถบรรทุกในแต่ละทิศทางบนช่องจราจรที่อยู่ติดกับช่องจราจรเลนซ้าย และอายุการใช้งาน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของการจราจร 4% ต่อปี ในบริเวณที่พักอาศัยและพื้นที่ใกล้เคียง



ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 24.

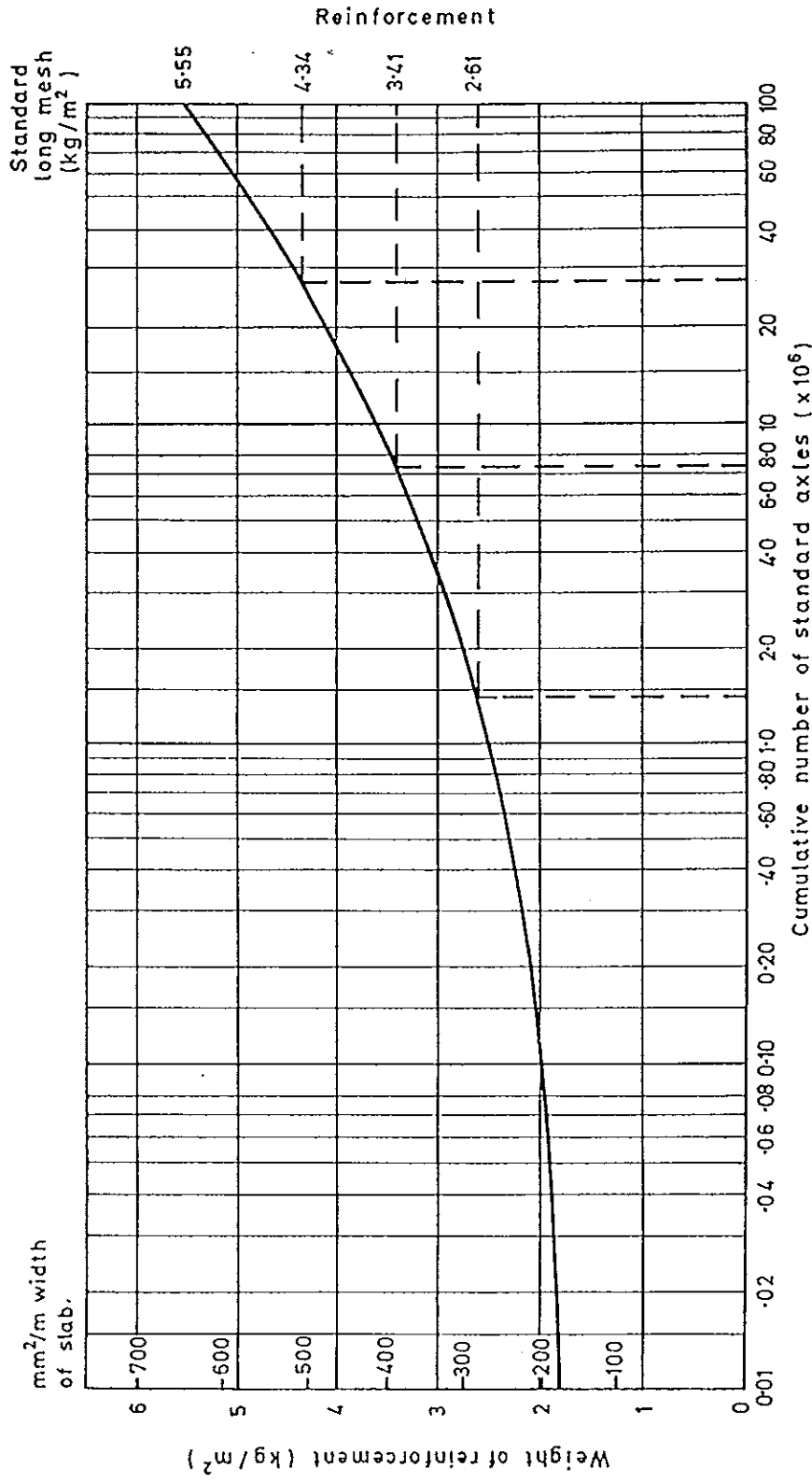
ภาพประกอบ ก.21 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29)



ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed.,

London : Her Majesty's Stationary Office. p. 30.

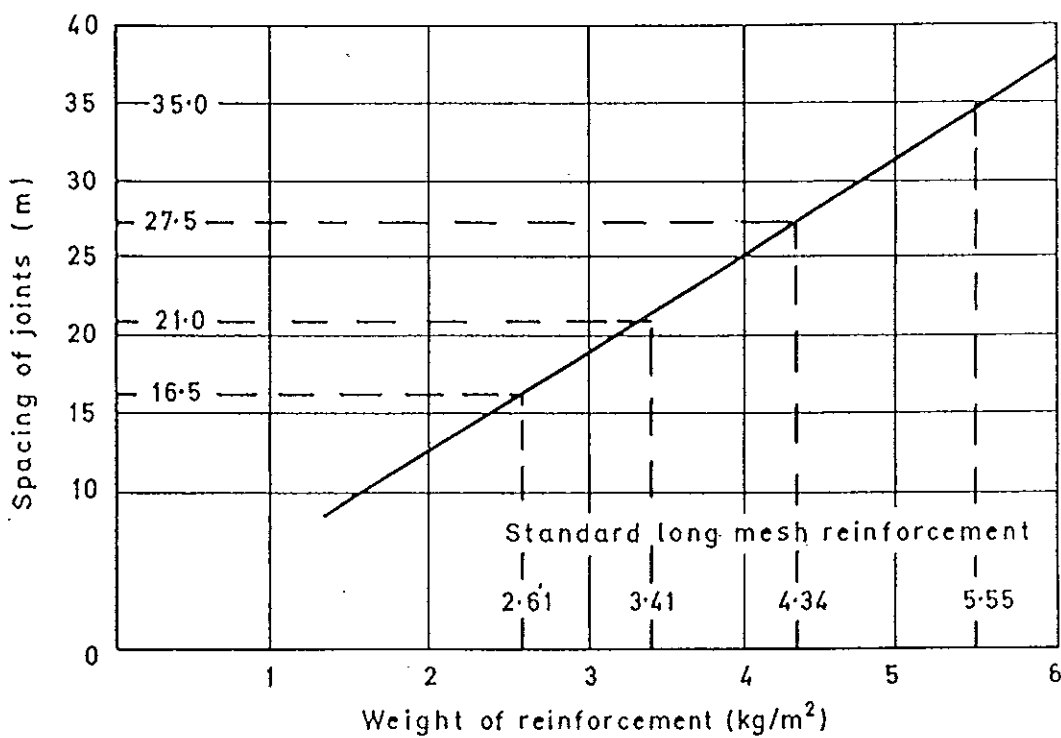
ภาพประกอบ ค.22 แผนภูมิใช้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมในแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29)



ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed.,

London : Her Majesty's Stationery Office. p. 31.

ภาพประกอบ ก.23 แผนภูมิใช้กำหนดระยะห่างของรอยต่อในแผ่นพื้นคอนกรีตตาม
วิธี TRL (Road Note 29)



ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 32.

บริเวณที่มีอากาศร้อน อาจใช้รอยต่อเพื่อการหดตัวแทนรอยต่อเพื่อการขยายตัวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกร

2.2.5 ออกแบบ ขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กยึด

เมื่อทราบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต ก็สามารถหาขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กยึด ได้จากตาราง ค.11

2.2.6 ออกแบบ ขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กเดือย

เมื่อทราบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต ก็สามารถหาขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กเดือย ได้จากตาราง ค.12

2.2.7 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ (รายละเอียดในภาคผนวก ข.)

2.2.8 ออกแบบชั้นรองพื้นทาง

ความหนาต่ำสุดของชั้นรองพื้นทางแสดงไว้ในตาราง ค.13 ซึ่งใช้กับถนนที่ไม่มีการจราจรรถบรรทุกหนักในระหว่างการก่อสร้าง หากระหว่างการก่อสร้างมีรถบรรทุกหนักแล่นผ่านและดินคันทางมีค่า $CBR \leq 4\%$ ต้องเพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางอีก 15 ซม. หรือ เพิ่ม 8 ซม. สำหรับดินคันทางปกติ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำชั้นรองพื้นทางต้องเป็นวัสดุมวลหยาบ คอนกรีตหยาบ หรือวัสดุปรับปรุงคุณภาพ

ตาราง ค.11 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กยึดของผิวทางคอนกรีตตามวิธี TRL (Road Note 29)

ความหนาของแผ่นคอนกรีต (มม.)	Ø (มม.)	ความยาว (มม.)	ระยะห่าง (มม.)
150-180	12	700	750
190-230	12	700	750
≥ 240	16	900	750

ที่มา : จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมกรรมทาง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. การพิมพ์. หน้า 266.

ตาราง ก.12 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กเคียวของผิวทางคอนกรีตตามวิธี
TRL (Road Note 29)

ความหนาของแผ่น คอนกรีต (มม.)	รอยต่อเพื่อการขยายตัว		รอยต่อเพื่อการหดตัว	
	Ø (มม.)	ความยาว (มม.)	Ø (มม.)	ความยาว (มม.)
150-180	20	550	12	400
190-230	25	650	20	500
≥ 240	32	750	25	600

หมายเหตุ ระยะห่างของเหล็กเคียว @ 30 ซม.

ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 13.

ตาราง ก.13 ความหนาต่ำสุดของชั้นรองพื้นทาง กำหนดตามประเภทของดินชั้นทาง
ตามวิธี TRL (Road Note 29)

ประเภทดินชั้นทาง	ข้อกำหนด	ความหนาต่ำสุดของรองพื้นทาง (ซม.)
อ่อน	ดินชั้นทางมี CBR < 2%	15
ปกติ	CBR < 3-4%	8
แข็ง	CBR ≥ 15%	0

ที่มา : Road Research Laboratory. 1970. Road Note 29 "A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads". 3rd Ed., London : Her Majesty's Stationery Office. p. 11.

2.3 วิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials¹

วิธีนี้ได้อาศัยผลการทดสอบถนนตัวอย่าง โดยได้กำหนดบรรทัดฐานของการออกแบบว่า หน่วยแรงค้ำสูงสุดจะเกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตเมื่อน้ำหนักกดผ่านล้อมากระทำที่มุม โดยมีระยะห่างจากมุมของแผ่นพื้นถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่รอยสัมผัสระหว่างล้ออย่างกับผิวทาง เท่ากับ 25 เซนติเมตร (10 นิ้ว) และได้ตั้งข้อสมมติฐานว่า อัตราส่วนของปีวของของคอนกรีต เท่ากับ 0.20 และค่าของหน่วยแรงค้ำที่ยอมให้เกิดขึ้นในคอนกรีต เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ของโมดูลัสแตกร้าว สำหรับออกแบบความหนาของคอนกรีต โดยได้สร้างแผนภูมิสำหรับการออกแบบ โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

2.3.1 เลือกค่าแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้ (Pt)

ค่าของแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้จะมีค่าเท่ากับ 2 สำหรับใช้ในการออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตเพื่อใช้เป็นทางหลวงสายย่อย ส่วนค่าของแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้จะมีค่าเท่ากับ 2.5 สำหรับใช้ในการออกแบบความหนาของผิวทางคอนกรีตเพื่อใช้เป็นทางหลวงสายสำคัญ

2.3.2 กำหนดปริมาณการจราจรที่จะมาเล่นบนถนนตลอดอายุการใช้งาน เปรียบเทียบเปลี่ยนเป็นน้ำหนักเพลามาตรฐาน 18,000 ปอนด์ น้ำหนักเนื่องจากรถนั่งส่วนบุคคล หรือรถขนาดเบาไม่ต้องนำมาคิด (รายละเอียดภาคผนวก ก)

2.3.3 กำหนดค่าโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีต ซึ่งค่าหน่วยแรงค้ำที่ยอมให้เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีต (Working Stress in Concrete, ft') จะมีค่าเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ของค่าโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีต

¹ Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. pp. 606-608.

2.3.4 หากค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิมสำหรับออกแบบ ในการออกแบบ จะใช้ค่าโมดูลัสต้านทานของชั้นดินเดิม (Modulus of Subgrade Reaction, k) โดยทำการทดลองหาค่าโมดูลัสต้านทานของชั้นดินเดิมในสนามเช่น การทดลองกดแผ่นเหล็ก และเลือกค่าที่เหมาะสม หรือใช้วิธีการแปลงค่าจากค่า CBR มาเป็นค่าโมดูลัสต้านทานของชั้นดินเดิม โดยใช้แผนภูมิ (ภาพประกอบ ก.13)

2.3.5 ออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตโดยใช้แผนภูมิ ภาพประกอบ ก.24 สำหรับ $P_t = 2.0$ และ ก.25 สำหรับ $P_t = 2.5$

2.3.6 ออกแบบ ขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กเค็ย เมื่อทราบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต ก็สามารถหาขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กเค็ย ได้จากตาราง ก.14

2.3.7 ออกแบบ ขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กยึด เมื่อทราบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต ก็สามารถหาขนาด ระยะห่าง และความยาว ของเหล็กเค็ย ได้จากตาราง ก.15

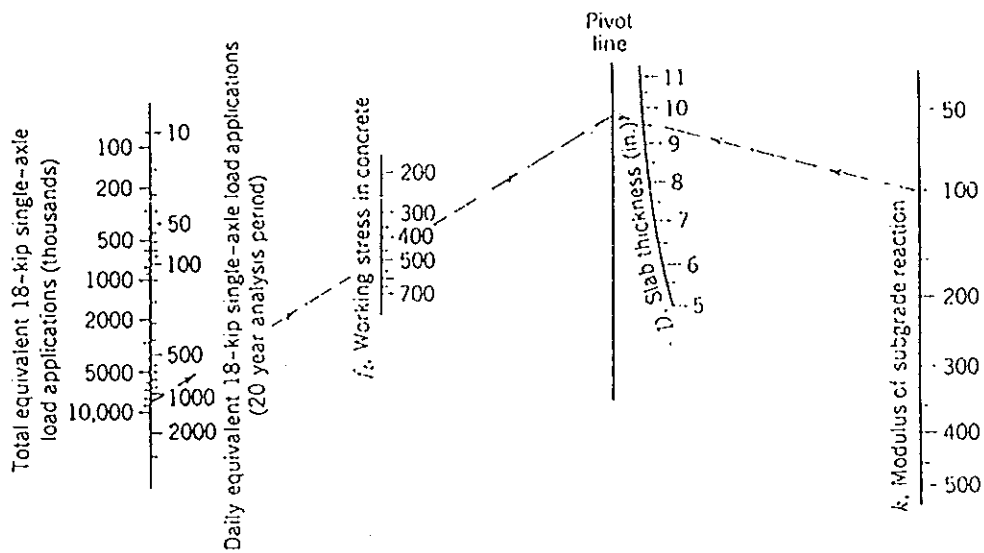
2.3.8 ออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นคอนกรีต (Temperature Reinforcement) การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นคอนกรีต เหมือนกับหัวข้อ 2.1.4.3

ตาราง ก.14 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กเค็ยของผิวทางคอนกรีตตามวิธี AASHTO

ความหนาของแผ่นคอนกรีต (มม.)	∅ (มม.)	ความยาว (มม.)	ระยะห่าง (มม.)
150	19	450	300
180	25	450	300
200	25	450	300
≥ 230	32	450	300

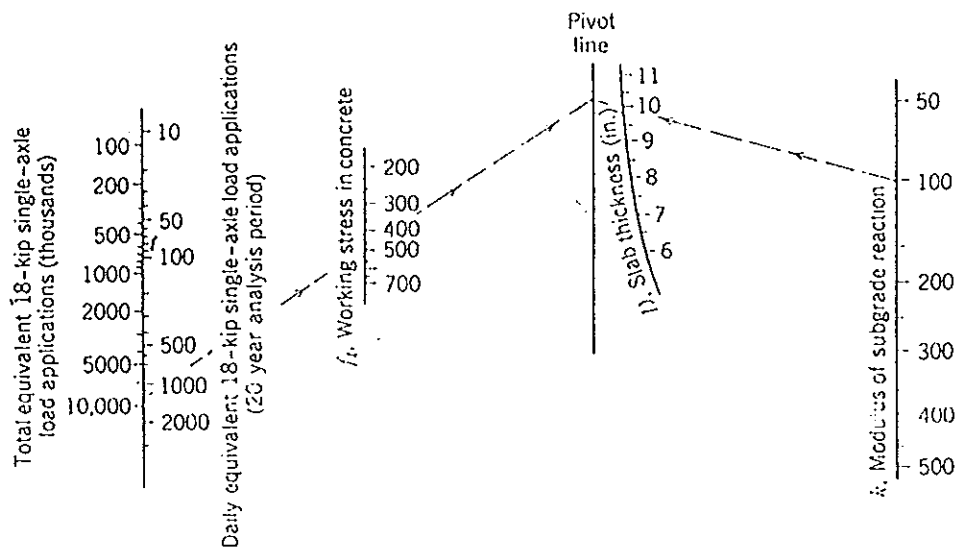
ที่มา : จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมกรรมทาง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์. หน้า 266.

ภาพประกอบ ค.24 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี
AASHTO สำหรับ $P_t = 2.0$



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 608.

ภาพประกอบ ค.25 แผนภูมิใช้กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธี
AASHTO สำหรับ $P_t = 2.5$.



ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 608.

ตาราง ค.15 ขนาด ความยาว และระยะห่างของเหล็กยึดของผิวทางคอนกรีตตามวิธี
AASHTO

ความหนาของแผ่นคอนกรีต (มม.)	Ø (มม.)	ความยาว (มม.)	ระยะห่าง (มม.)
150-180	12	700	750
190-230	12	700	750
≥ 240	16	900	750

ที่มา : จิรพัฒน์ โชติโกกร. 2531. วิศวกรรมการทาง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
การพิมพ์. หน้า 266.

ภาคผนวก ง

การหาหน่วยแรงที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย

1. ทฤษฎีการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย¹

หน่วยแรงที่เกิดในเหล็กเดือย (Dowel Bar) มีสาเหตุมาจาก แรงเฉือน (Shear) โมเมนต์คด (Bending) และแรงกด (Bearing) เหล็กเดือยจะทำหน้าที่ถ่ายโอน น้ำหนัก (Transfer Load) ระหว่างแผ่นคอนกรีตและรับแรงกระแทก เหล็กเดือยจะต้อง มีขนาดใหญ่เพื่อรับ โมเมนต์คดและแรงกดด้วย ปลายด้านหนึ่งของเหล็กเดือยจะฝังยึด แน่นกับแผ่นคอนกรีตและปลายอีกข้างหนึ่งต้องซุบขางมะตอยหรือทาสีเพื่อมิให้เกิดแรง ยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตและเคลื่อนที่ได้ขณะแผ่นคอนกรีตยึดหรือหดตัว

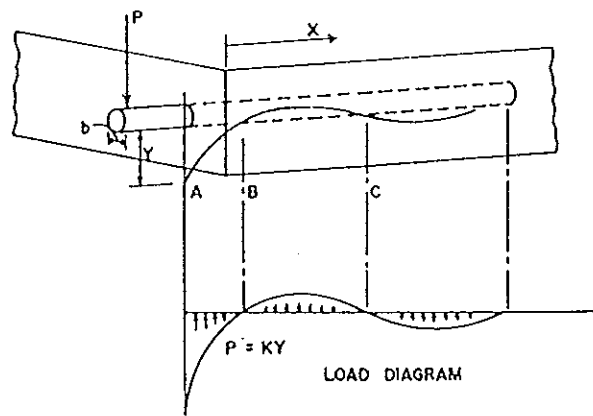
Timoshenko ได้ให้ทฤษฎีเกี่ยวกับเหล็กเดือยที่ฝังอยู่ในคอนกรีต จะแน่นอนตัว เมื่อได้รับแรงคังภาพประกอบ ง.1 ระยะ AB เป็นระยะที่เกิดแรงกดด้านใต้ของเหล็ก และระยะ BC เป็นระยะที่เกิดแรงกดด้านบนของเหล็กและจะเกิดแรงกดด้านใต้ในระยะ ต่อไป ในการวิเคราะห์จะสมมุติว่าเหล็กเดือยมีความยาวไม่จำกัดฝังอยู่ในวัสดุยึดหยุ่น (Elastic Body)

Bradbury และ Friberg ได้แสดงวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับ เหล็กเดือยโดยอาศัยหลักของ Timoshenko ซึ่งค่า Relative Stiffness ของเหล็กเดือยจะ เป็นดังนี้

¹ Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.

2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. pp. 98-99.

ภาพประกอบ ง.1 ลักษณะการรับแรงของเหล็กดัดจากการวิเคราะห์ของ
Timoshenko



PRESSURE EXERTED ON A LOADED DOWEL

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 98.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kb}{4EI}} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ β = Relative Stiffness ของเหล็กเค็ย

K = Modulus of Dowel Support (4.14*10⁴ กก./ซม.³)

b = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเค็ย (ซม.)

E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเค็ย (2.03*10⁶ กก./ซม.²)

I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของเหล็กเค็ย (ซม.⁴)

$$= \frac{\pi b^4}{64}$$

จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของ Timoshenko ค่าการแอ่นตัว (Deflection; y) จะเป็นดังนี้

$$y = \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 EI} [P \cos \beta x - \beta M_o (\cos \beta x - \sin \beta x)] \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ e = ลอการิทึมฐานธรรมชาติ (Natural Logarithm Base)

x = ระยะตามยาวของเหล็กเค็ยวัดจากผิวหน้ารอยต่อ

M_o = โมเมนต์ค้ดของเหล็กเค็ยที่ปลายแผ่นพื้นคอนกรีต

P = น้ำหนักที่เหล็กเค็ยถ่ายไปยังแผ่นพื้นคอนกรีต

Friberg วิเคราะห์ค่าโมเมนต์ค้ดและแรงเฉือนจากสมการที่ 2 ได้ดังสมการที่

3 และ 4

$$-EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M = -\frac{e^{-\beta x}}{\beta} [P \sin \beta x - \beta M_o (\sin \beta x - \cos \beta x)] \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{dM}{dx} = V = -e^{-\beta x} [(2\beta M_0 - P) \sin \beta x + P \cos \beta x] \dots \dots \dots (4)$$

ถ้าให้ความกว้างของรอยต่อ เท่ากับ z ค่าโมเมนต์ที่ผิวคอนกรีตมีค่า

$$M_0 = -Pz/2 \dots \dots \dots (5)$$

จากสมการที่ 2 สำหรับ $x = 0$ และ $M_0 = -Pz/2$ จะได้การแอ่นตัวของเหล็กเคียวที่รอยต่อเท่ากับ

$$y_0 = \frac{P}{4\beta^3 EI} (2 + \beta z) \dots \dots \dots (6)$$

และได้ค่าหน่วยแรงกด (Bearing Stress) บนคอนกรีตที่ผิวรอยต่อเป็น

$$\sigma = K y_0 = \frac{KP}{4\beta^3 EI} (2 + \beta z) \dots \dots \dots (7)$$

ค่าโมเมนต์สูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ แรงเฉือน = 0 ($\frac{dM}{dx} = 0$)

$$M = \frac{-Pe^{-\beta x}}{2\beta} \sqrt{1 + (1 + \beta z)^2} \dots \dots \dots (8)$$

สมการที่ 7 และ 8 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาหน่วยแรงกดโดยตรง แต่ละครณี P เป็นน้ำหนักถ่ายโอน และมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักออกแบบ (Design Load) ถูกถ่ายจากแผ่นพื้นคอนกรีตสู่ชั้นดินคันทางเลย

Bradbury¹ ได้วิเคราะห์แรงที่เกิดในเหล็กเดือย โดยตั้งสมมุติฐานว่า แรงในเหล็กเดือยจากจุด A ไปถึงจุด C ตามภาพประกอบ ง.1 เป็นเส้นตรง (ดูภาพประกอบ ง.2) โดยคิดแรงเฉพาะช่วงระยะ AC เท่านั้น ในการวิเคราะห์ให้ถือว่า ปลายด้านหนึ่งของเหล็กเดือยจะต้องเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเมื่อแผ่นคอนกรีตขยายตัวและหดตัว

สูตรการหาค่า แรงเฉือน โมเมนต์คัต และหน่วยแรงกด ของเหล็กเดือยในแต่ละเส้น จะเป็นดังนี้

$$P = \frac{\pi}{4} b^2 fs' \quad (\text{แรงเฉือน}) \dots\dots\dots (9)$$

$$P = \frac{2b^3 fs}{r + 8.8z} \quad (\text{โมเมนต์คัตในแท่งเหล็ก}) \dots\dots\dots (10)$$

$$P = \frac{fcr^2 b}{12.5(r + 1.5z)} \quad (\text{หน่วยแรงกดบนคอนกรีต}) \dots\dots\dots (11)$$

เมื่อ b = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเหล็กเดือย

r = ความยาวของเหล็กเดือยที่ฝังอยู่ในคอนกรีต

Z = ความกว้างของร่องรอยต่อ

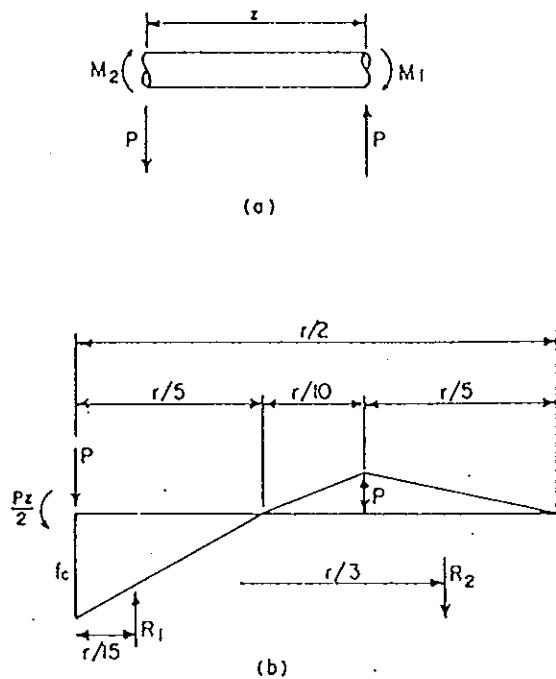
fs' = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของแท่งเหล็ก

fs = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของแท่งเหล็ก

fc = หน่วยแรงดันทที่ยอมให้ของคอนกรีต

¹ จิตรพัฒน์ โชติศิโร. 2543. การออกแบบทาง. กรุงเทพฯ. : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 76-84

ภาพประกอบ ง.2 แรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเคียวจากการวิเคราะห์ของ Bradbury



STRESSES ACTING ON DOWEL. (a) SHEAR AND MOMENTS ON DOWEL AT JOINT; (b) FORCES ACTING ON EMBEDDED DOWEL. (AFTER BRADBURY.)

ที่มา : จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2543. การออกแบบทาง. กรุงเทพฯ. : สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 78

2. แรงกระทำในกลุ่มเหล็กเดือย (Dowel Group Action)

ค่าแรงและโมเมนต์ที่วิเคราะห์มาได้ตามวิธีของ Timoshenko นั้น เป็นค่าแรงที่เกิดในเหล็กเดือยแต่ละเส้น เมื่อนำน้ำหนักล้อมากระทำที่รอยต่อ ค่าแรงที่เกิดก็จะแผ่กระจายไปยังเหล็กเดือยเส้นอื่นที่อยู่ข้างเคียงมากน้อยตามลำดับ Friberg ได้วิเคราะห์ว่า โมเมนต์ลบที่เกิดในเหล็กเดือยจะมีระยะ $1.8l$ ($l = \text{Radius of Relative Stiffness}$) จากจุดที่น้ำหนักกระทำ ตรงจุดที่แรงกระทำเหล็กเดือยจะรับน้ำหนักเต็มที่ และจะรับน้ำหนักลดลงเรื่อย ๆ ไปจนถึงค่าน้ำหนักเท่ากับศูนย์ที่ระยะ $1.8l$ ภาพประกอบ ง.3-1 และถ้าน้ำหนักกระทำมี 2 ล้อ แรงที่เกิดจากล้อที่ B ก็จะซ้อนกัน ภาพประกอบ ง.3-2 ถ้าดินคันทางมีสภาพดี (มีค่า K สูง) l ก็จะมีค่าน้อย ผลของน้ำหนักจากล้อที่จุด B ก็จะมีน้อยมากเมื่อรวมกับล้อที่จุด A ซึ่งอยู่ใกล้ขอบผิวทาง

โดยที่ Radius of Relative Stiffness (l) เป็นค่าบอกความแข็ง (Stiffness) ของพื้นคอนกรีตโดยเปรียบเทียบกับพื้นดินที่รองรับ Westergaard ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นคอนกรีตและพื้นดินที่รองรับไว้ดังนี้

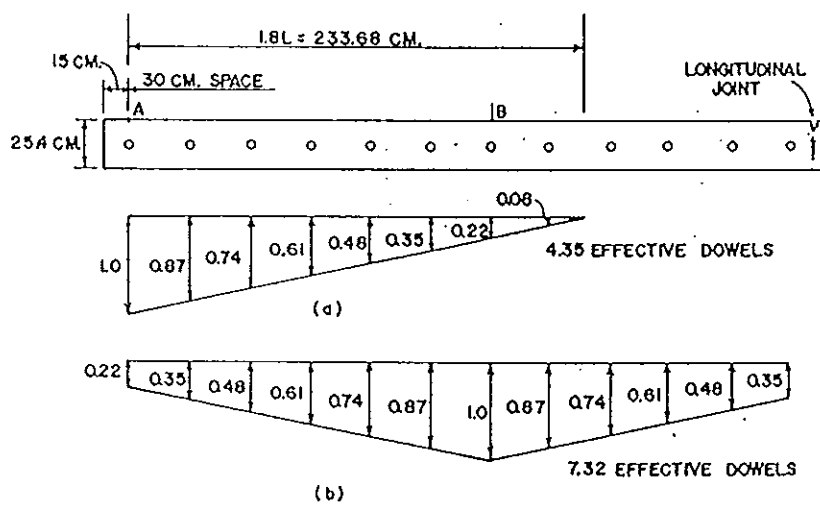
$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^4}{12(1-\mu^2)K}} \dots\dots\dots (12)$$

เมื่อ $l = \text{Radius of Relative Stiffness}$	ซม.
$E = \text{โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต}$	$(2.8 \cdot 10^5 \text{ กก./ซม.}^2)$
$h = \text{ความหนาของแผ่นคอนกรีต}$	ซม.
$\mu = \text{อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต}$	(0.15)
$K = \text{โมดูลัสการต้านแรงของดิน}$	กก./ซม.^3

สำหรับค่าหน่วยแรงกดที่ยอมให้ (Allowable Bearing Stress) ตรงบริเวณคอนกรีตที่สัมผัสกับผิวเหล็กเดือย ACI ได้กำหนดไว้ดังนี้

$$f_b = \left(\frac{10.16 - b}{7.62} \right) f_c' \dots\dots\dots (13)$$

ภาพประกอบ ง.3 แรงที่เกิดในกลุ่มเหล็กเดือย



LOADS ON DOWEL GROUP, PAVE = 25.4 CM., $K = 1384 \text{ Kg} / \text{CM}^3$, 1.9 CM. ROUND DOWELS SPACED 30 CM. C-C. (a) EFFECTIVE DOWELS DUE TO LOAD AT A; (b) EFFECTIVE DOWELS DUE TO LOAD AT B.

ที่มา : Yoder, E. J. and Witzak, M. W. 1975. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. 2nd Ed., Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 101.

เมื่อ f_b = ค่าหน่วยแรงกดที่ยอมรับได้ กก./ชม.³

b = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเดือย ชม.

f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต กก./ชม.²

ความสามารถในการถ่ายน้ำหนักของเหล็กเดือย ตามทฤษฎีแล้ว ถ้าการก่อสร้างทำได้สมบูรณ์แบบ เหล็กเดือยจะสามารถถ่ายน้ำหนักร้อยละ 50 ไปยังแผ่นคอนกรีตถัดไป แต่เมื่อใช้งานไปเหล็กเดือยด้านหนึ่งจะหลวม ทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายน้ำหนักลดลงร้อยละ 5 - 10 ดังนั้นค่าน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบอาจจะใช้เพียงร้อยละ 40 - 50 ของค่าน้ำหนักทั้งหมด

ACI (1958) ได้แนะนำการใช้เหล็กเดือยสำหรับถนนคอนกรีตดังนี้

ตาราง ง.1 ขนาดของเหล็กเดือยสำหรับถนนคอนกรีตที่ ACI แนะนำให้ใช้

ความหนาของแผ่นคอนกรีต ชม.	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเดือย ชม.	ความยาวของเหล็กเดือย ชม.	ระยะห่างของเหล็กเดือย ชม.
15 (6 นิ้ว)	1.875 (3/4 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)
17.5 (7 นิ้ว)	2.5 (1 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)
20 (8 นิ้ว)	2.5 (1 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)
22.5 (9 นิ้ว)	3.125 (1 1/4 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)
25 (10 นิ้ว)	3.125 (1 1/4 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)
27.5 (11 นิ้ว)	3.125 (1 1/4 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)
30 (12 นิ้ว)	3.125 (1 1/2 นิ้ว)	45 (18 นิ้ว)	30 (12 นิ้ว)

ที่มา : ประวัติ คงสม. 2535. “การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดบริเวณเหล็กเดือยในแผ่นพื้นคอนกรีต (Analysis of Dowel Stress in Concrete Pavement)”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (สำเนา)

ภาคผนวก จ

การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบลาดยางโดยวิธี

ของ The Asphalt Institute

1.1 วิเคราะห์ปริมาณการจราจร

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรถบรรทุกหนักมีจำนวน} &= 23+159+38 \\ &= 220 \quad \text{คัน/วัน (สองทิศทาง)} \\ \% \text{ รถบรรทุกหนัก} &= \frac{220}{1,158} * 100 \\ &= 19.00 \% \end{aligned}$$

หาจำนวนรถบรรทุกหนักใน Design Lane

$$\begin{aligned} &= (1,158) \left(\frac{19}{100} \right) \left(\frac{50}{100} \right) \\ &= 110.01 \end{aligned}$$

จากแผนภูมิใช้หาค่าปริมาณจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน (ITN) ภาพประกอบ

จ.1

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรถบรรทุก} &= 21 \quad \text{ตัน} \\ \text{น้ำหนักเพลาดียว} &= 8.2 \quad \text{ตัน} \end{aligned}$$

จำนวนรถบรรทุกหนักใน Design Lane

$$= 110.01$$

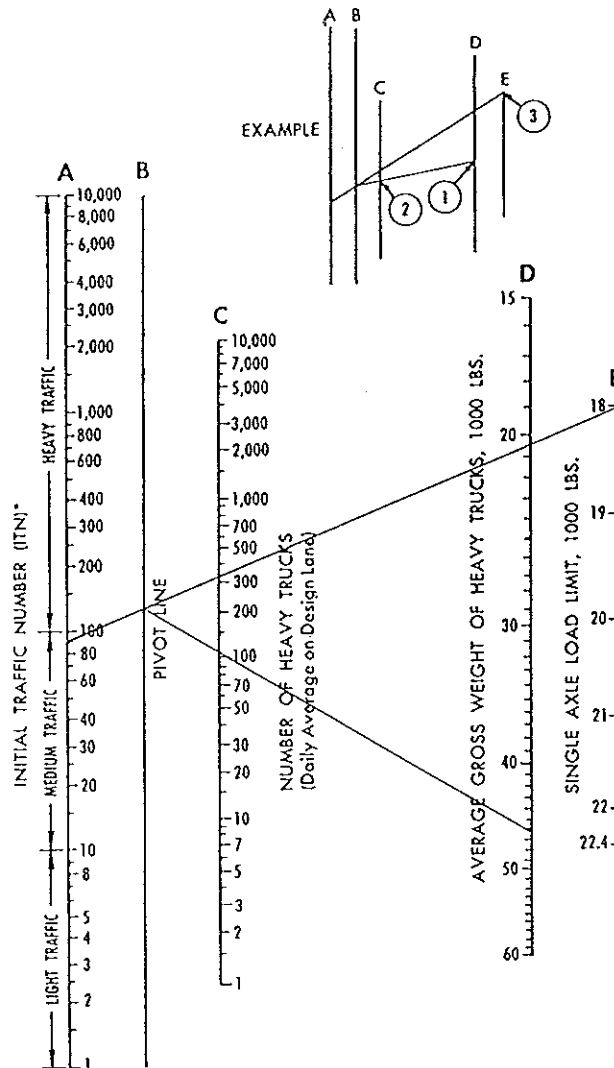
ได้ค่า ITN

$$= 90$$

หาแฟกเตอร์ปรับแก้

$$\begin{aligned} &= \frac{(1+r)^n - 1}{20r} \\ &= \frac{(1+0.05)^7 - 1}{(20)(0.05)} = 0.41 \end{aligned}$$

ภาพประกอบ จ.1 การหาค่าปริมาณจราจรในปีแรกที่เปิดใช้งาน (ITN) จากแผนภูมิ



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

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

ตาราง จ.1 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ CBR ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า

CBR (%)	จำนวนที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า	เปอร์เซ็นต์ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า
2.4	21	100.0
2.8	20	95.2
3.0	19	90.5
3.6	18	85.7
3.7	16	76.2
3.9	15	71.4
4.2	14	66.7
4.4	13	61.9
5.2	12	57.1
5.3	11	52.4
6.4	10	47.6
6.7	9	42.9
7.3	8	38.1
8.4	7	33.3
8.7	6	28.6
11.6	5	23.8
14.3	4	19.0
15.5	3	14.3
26.6	2	9.5
48.7	1	4.8

$$\begin{aligned}
 \text{หาค่า DTN} &= (\text{ITN})(\text{แฟกเตอร์ปรับแก้}) \\
 &= (90)(0.41) \\
 &= 36.9
 \end{aligned}$$

1.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิม

CBR ที่ใช้ในการออกแบบโดยเลือกใช้ค่า ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ โดยการนำค่าของเปอร์เซ็นต์จากราง จ.1 ไปเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า และเปอร์เซ็นต์ CBR ภาพประกอบ จ.2

จากกราฟ (ภาพประกอบ จ.2) อ่านค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ได้ประมาณ 3.6 ใช้ค่า CBR = 3% ในการออกแบบ

1.3 ออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

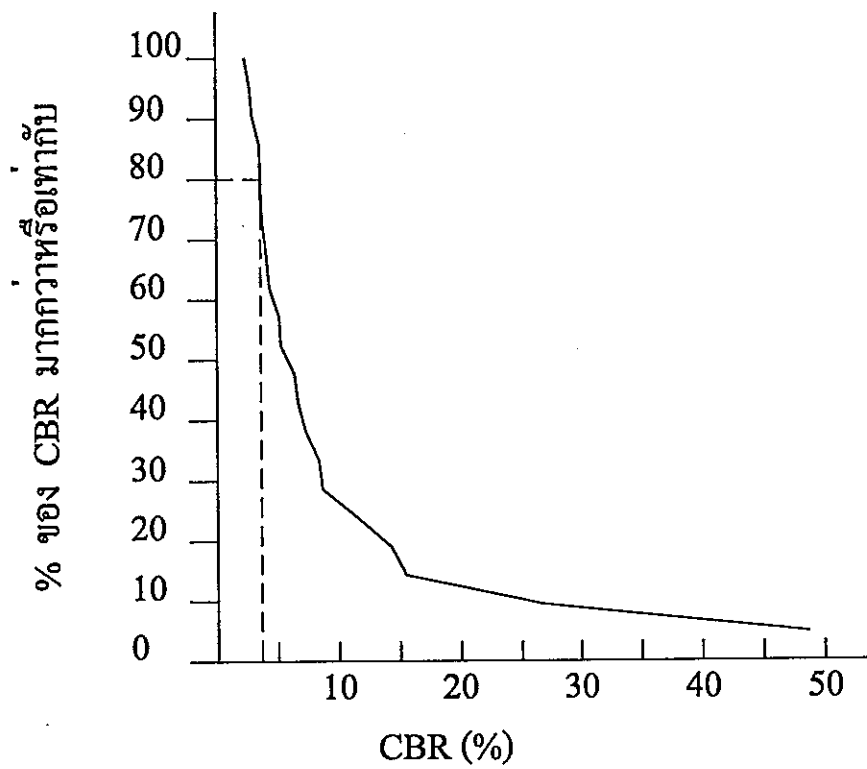
จากแผนภูมิ (ภาพประกอบ จ.3) ใช้กำหนดความหนาของชั้นทาง (T_A) ได้ค่า $T_A = 9.84$ นิ้ว หรือ 25 ซม. และออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง ดังตาราง จ.2

ตาราง จ.2 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TAI

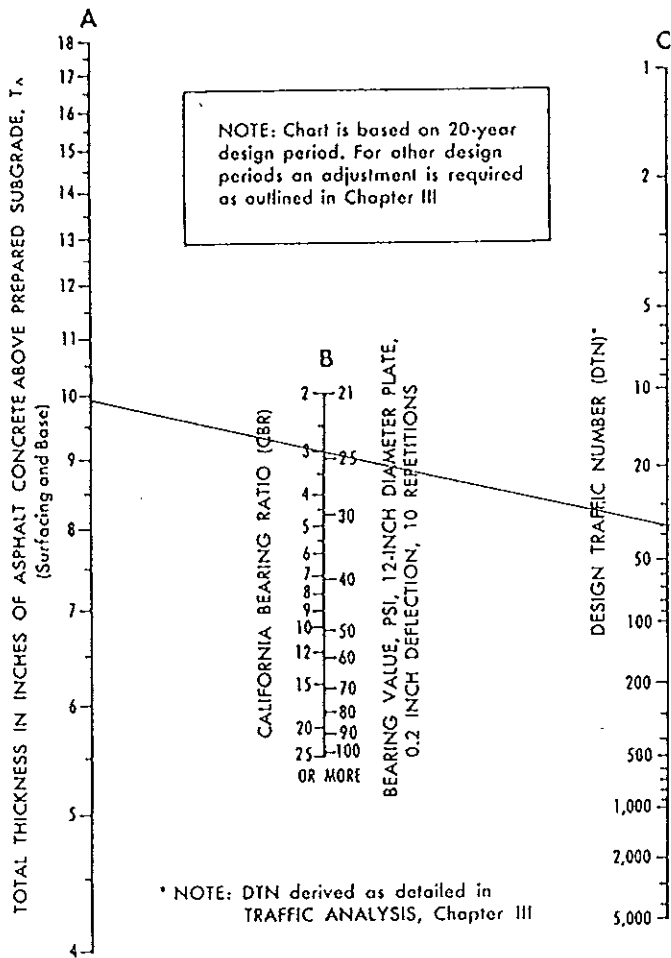
โครงสร้างชั้นทาง	ความหนา (ซม.)	Sr	ความหนาเทียบเท่า Asphaltic Concrete (ซม.)
Asphaltic Concrete	5	1	$5/1 = 5$
พื้นทาง	20	2.0	$20/2 = 10$
รองพื้นทาง	15	2.7	$15/2.7 = 5.56$
วัสดุคัดเลือก "ก"	15	2.7	$15/2.7 = 5.56$
			รวม = 26.12

ค่า T_A Required = 25 ซม. < ค่า T_A ออกแบบ 26.12 ซม. ∴ ใช้ได้

ภาพประกอบ จ.2 การหาค่า CBR ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ไต้จากกราฟ



ภาพประกอบ จ.3 การกำหนดความหนาของชั้นทาง (T_A) ผิวทางลาดยางจาก
แผนภูมิตามวิธี TAI



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

2. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบลาดยางโดยวิธี
ของ Transportation Research Laboratory (Road Note 31)

ใช้ข้อมูลเดียวกับ วิธีของ The Asphalt Institute

2.1 วิเคราะห์ปริมาณการจราจร

จำนวนรถบรรทุกหนักมีปริมาณดังนี้

รถโดยสารขนาดใหญ่ 23 คัน

รถบรรทุกขนาดกลาง 159 คัน

รถบรรทุกขนาดใหญ่ 38 คัน

ทำการแปลงจำนวนรถหนักให้เป็นจำนวนเพลาคือมาตรฐานโดยใช้

แฟกเตอร์ของ JICA คูณจำนวนรถบรรทุกหนัก ดังตาราง จ.3

ตาราง จ.3 การคำนวณปริมาณรถบรรทุกหนักให้เป็นจำนวนเพลาคือมาตรฐาน

ประเภทรถ	จำนวนรถ (คัน)	ตัวคูณเปรียบเทียบ (Truck Factor)	จำนวนเพลาคือ มาตรฐาน(เที่ยว)
รถยนต์โดยสารขนาดใหญ่	23	0.50	11.50
รถบรรทุก 6 ล้อ	159	0.76	120.84
รถบรรทุก 10 ล้อ	38	1.24	47.12
รวมจำนวนเพลาคือมาตรฐาน(สองทิศทาง)			179.46

∴ จำนวนเพลาคือมาตรฐาน(ทิศทางเดียว) = 89.73 เที่ยวต่อวัน

หาปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักกดผ่าน

เพลาคือมาตรฐาน

$$\begin{aligned}
 T &= \left\{ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right\} * T_i * 365 \\
 &= \left\{ \frac{(1+.05)^7 - 1}{0.05} \right\} * 89.730 * 365 \\
 &= 266,662 \quad \text{เที่ยว หรือ ประมาณ } 0.27 * 10^6 \text{ เที่ยว}
 \end{aligned}$$

2.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิม

ค่า CBR ที่ใช้ในการออกแบบ วิธีการหาและเลือกค่า เช่นเดียวกันกับวิธีการของ The Asphalt Institute โดยใช้ค่า $CBR = 3\%$ ในการออกแบบ

2.3 หาคความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

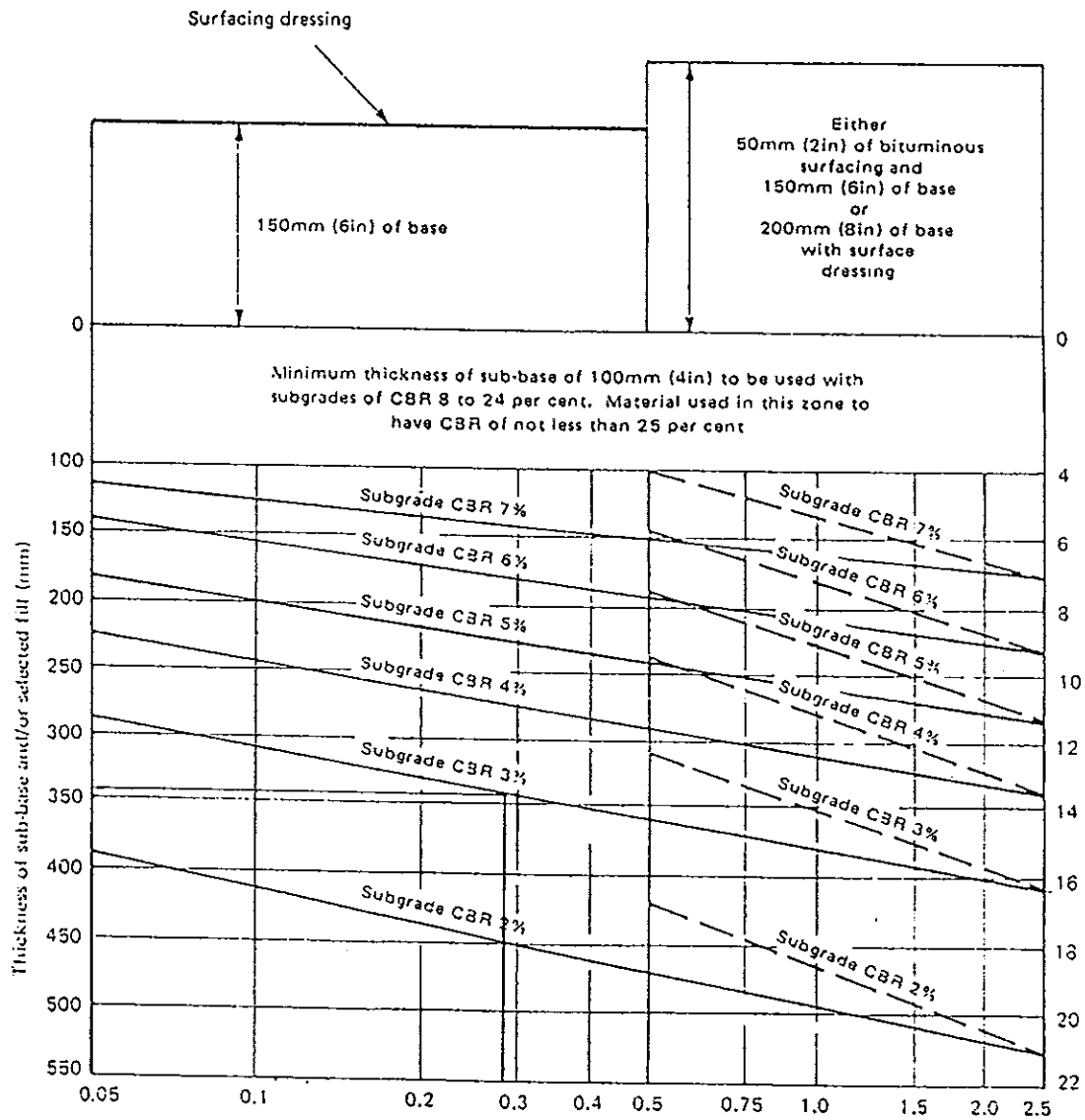
จากแผนภูมิใช้กำหนดความหนาของรองพื้นทาง พื้นทาง และผิวทาง (ภาพประกอบ จ.4)

เมื่อปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักกดผ่านเพลลาเดียวมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.27×10^6 เทียช และค่า CBR ของดินคันทางเท่ากับ 3% ปรากฏว่าได้โครงสร้างชั้นทางดัง ดังตาราง จ.4

ตาราง จ.4 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL (Road Note 31)

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนา (ซม.)
ผิวทาง Surface Dressing	2
พื้นทาง	15
รองพื้นทาง	24

ภาพประกอบ จ.4 การกำหนดความหนาโครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากแผนภูมิ
ตามวิธี TRL (Road Note 31)



3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบลาดยางโดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

3.1 วิเคราะห์ปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักกดผ่านเพลาเดี่ยวยมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 266,662 เทียบ หรือ ประมาณ 0.27×10^6 เทียบ วิธีการคำนวณเหมือนกับข้อ 2.1

3.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิม

3.2.1 ค่า CBR ที่ใช้ในการออกแบบ วิธีการหาและเลือกค่า เช่นเดียวกันกับวิธีการของ The Asphalt Institute โดยใช้ค่า $CBR = 3\%$ ในการออกแบบ

3.2.2 ทำการแปลงค่า CBR เป็นค่า Soil Support Value เมื่อ CBR มีค่าเท่ากับ 3. จะได้ค่า Soil Support Value มีค่าเท่ากับ 3 (ภาพประกอบ จ.5)

3.3 หาคความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

3.3.1 หาค่า Structural Number

เมื่อ

- Soil Support Value = 3
- ปริมาณการจราจรสะสม = 0.27×10^6 เทียบ หรือ 270

(x1,000 เทียบ)

- ค่า Reginal Factor = 4.0
 - ค่าแฟกเตอร์แสดงการสิ้นสุดการใช้บริการได้ (Pt) = 2
- อ่านค่า Structural Number จากภาพประกอบ จ.6 ได้ = 3.8

3.3.2 ออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

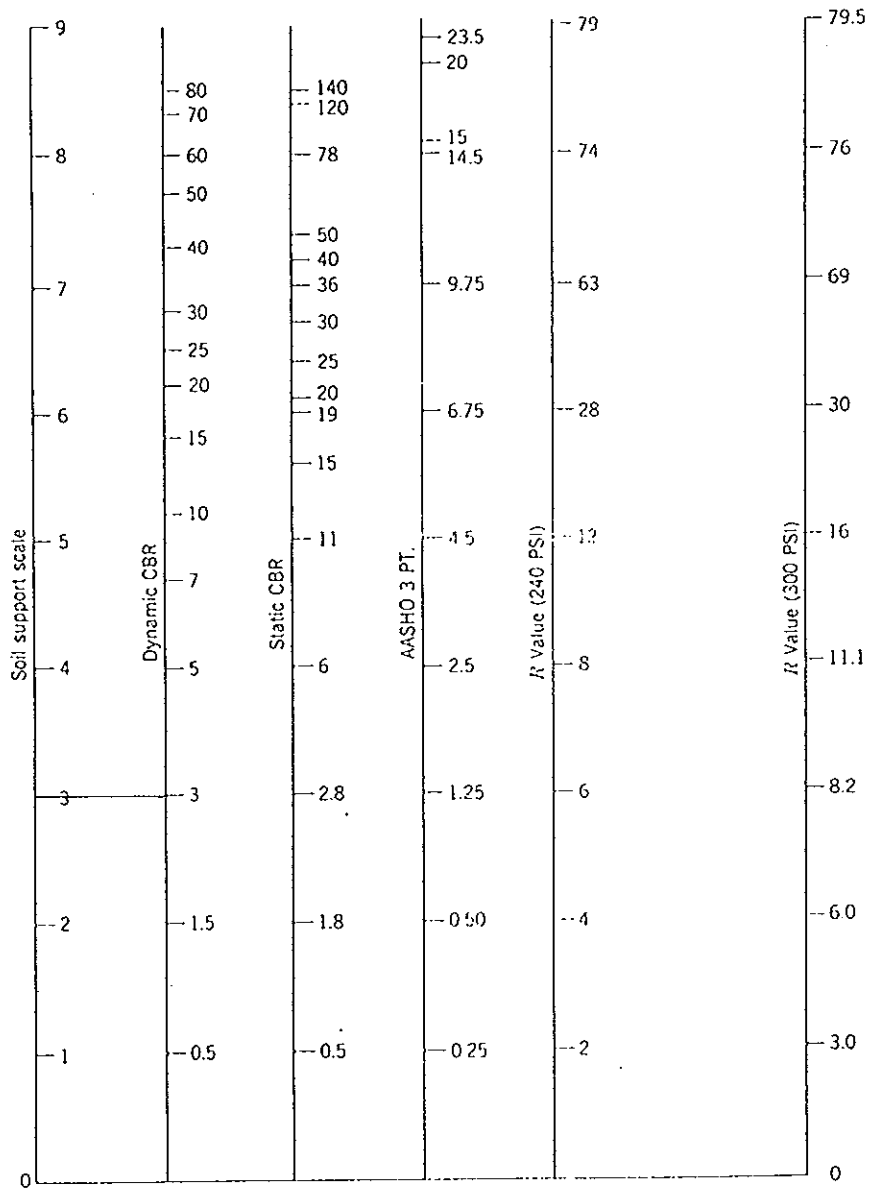
จากตารางที่ ค.5 เลือกวัสดุโครงสร้างชั้นทางและนำค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นทางมาคำนวณออกแบบความหนา ดังตาราง จ.5

ตาราง จ.5 โครงสร้างชั้นทางผิวทางลาดยางจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี
AASHTO

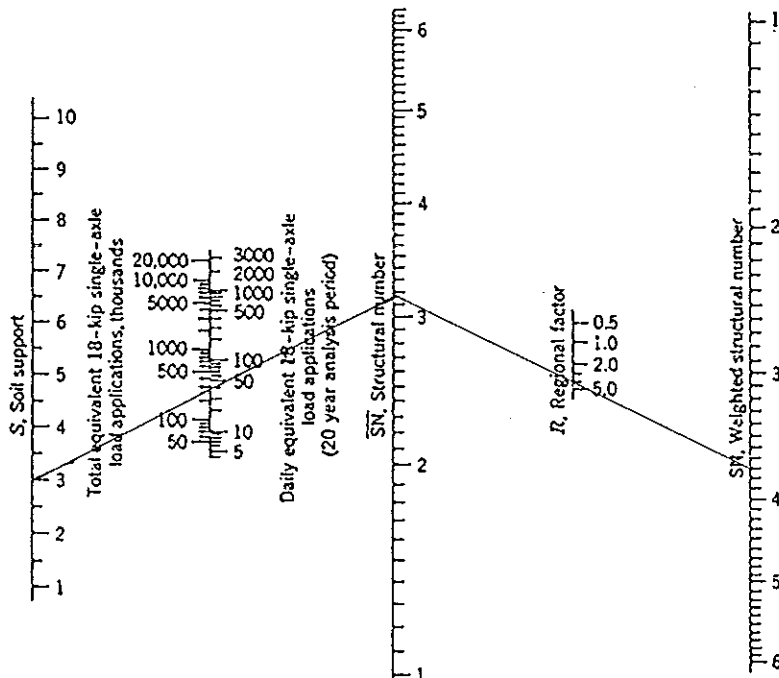
โครงสร้างชั้นทาง	ค่าสัมประสิทธิ์ ของชั้นทาง	ความหนา (ซม.)	(SN)
ผิวทาง Plantmix	0.44	8	1.38
พื้นทาง Crushed Stone	0.14	25	1.38
รองพื้นทาง Sandy Gravel	0.11	25	1.08
รวมค่า SN จากการออกแบบ			3.84

ค่า SN Required = 3.8 < ค่า SN ออกแบบ 3.84 ∴ ใช้ได้

ภาพประกอบ จ.5 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Soil Support Value



ภาพประกอบ จ.6 การหาค่า Structural Number จากแผนภูมิ สำหรับ $P_t = 2$



Design chart for flexible payments, $P_t = 2.0$

4. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธี
ของ Portland Cement Association

4.1 วิธีวิเคราะห์เพื่อการออกแบบ

อายุการใช้งาน = 40 ปี

$$\text{ปริมาณรถบรรทุกที่เวลา 40 ปีในอนาคต} = \frac{20}{100} * \frac{400}{2} * 1.5$$

$$= 60 \text{ คัน/วัน/ช่องจราจร}$$

ตัวเลข 1.5 เป็น Projection Factor ที่อายุ 40 ปี จากตาราง ก.7

โมดูลัสการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีต (t) = 650 ปอนด์/นิ้ว²

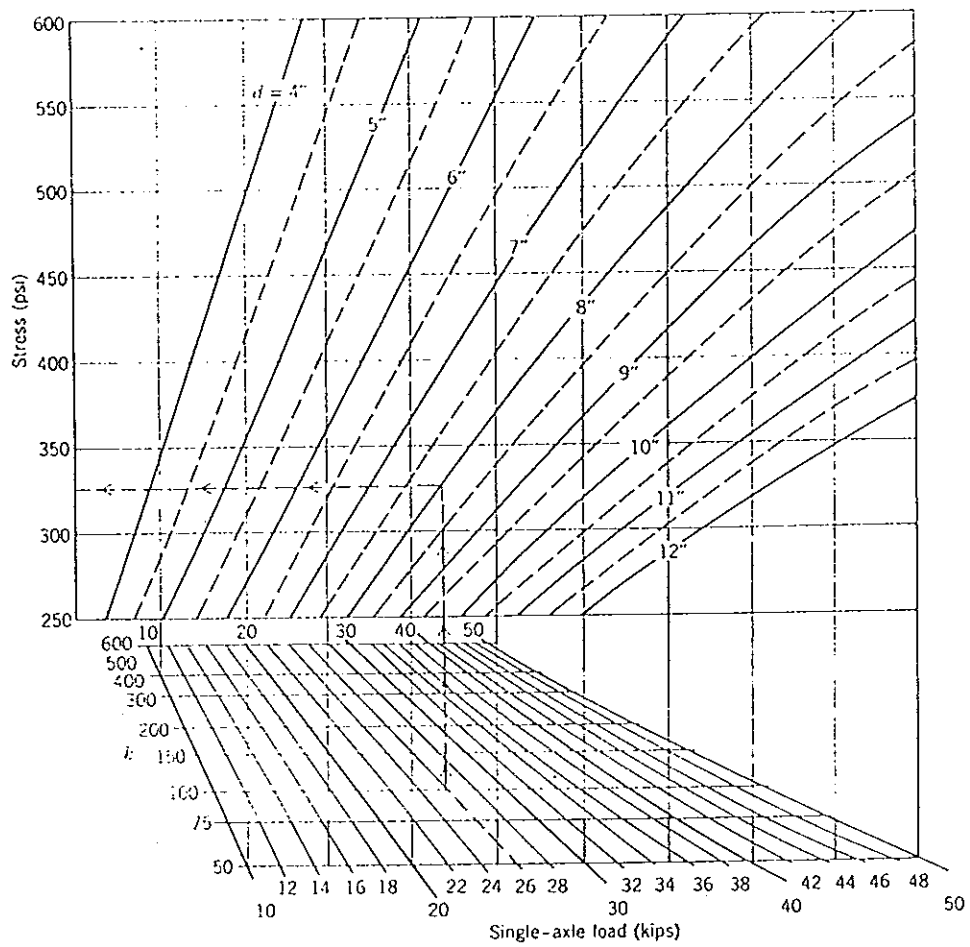
โมดูลัสของดินเคิม (K) = 150 ปอนด์/นิ้ว³

สัมประสิทธิ์ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต = 7 นิ้ว

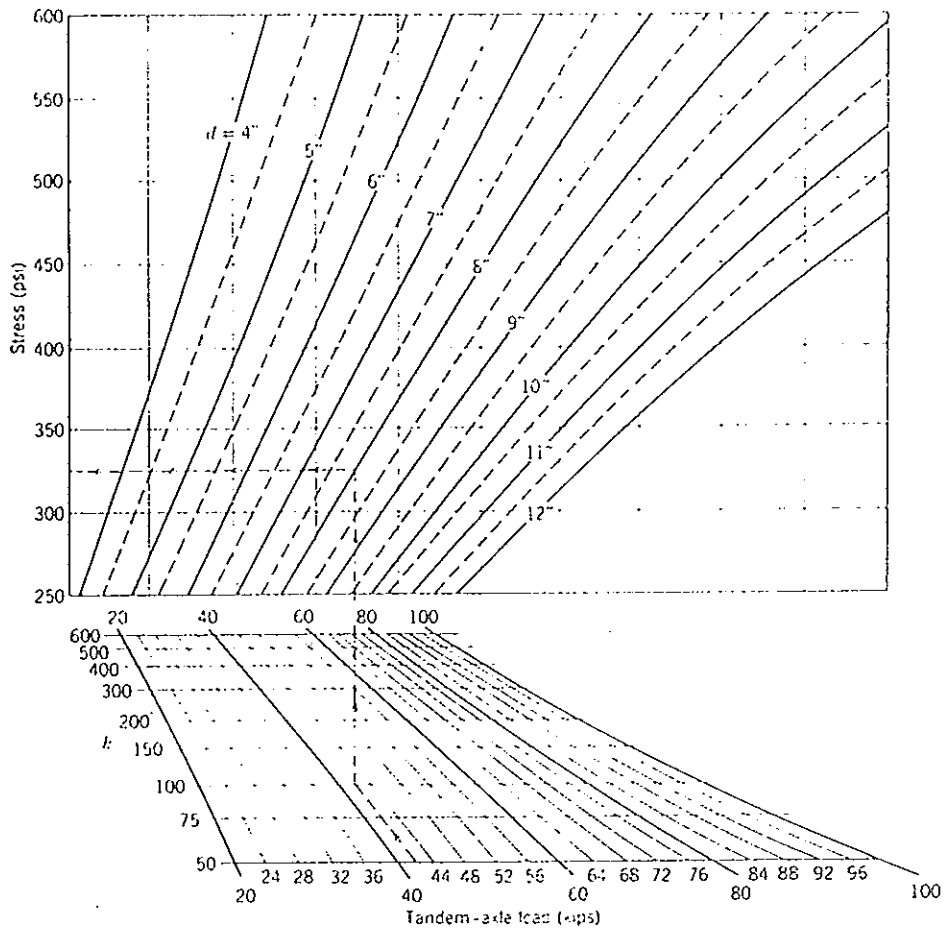
ออกแบบขนาดของแผ่นพื้นคอนกรีต กว้าง 3.50 ม. ยาว 10.00 ม.

∴ ความถ้ำของแผ่นพื้นคอนกรีตสามารถจะประเมินได้ตามตาราง จ.7

ภาพประกอบ จ.7 การหาค่าความเค้นเนื่องจากน้ำหนักล้อรถชนิดเพลาดเดี่ยว



ภาพประกอบ จ.8 การหาค่าความเค้นเนื่องจากน้ำหนักล้อรถชนิดเพลาคู่



ตาราง จ.6 การประเมินความล้าของแผ่นพื้นคอนกรีต

นน.เพลลา (Kips)	Repetition ในช่วง 40 ปี	นน.เพลลา *1.2 (Kips)	t = 7 นิ้ว, K = 150 ปอนด์/นิ้ว ³			
			Stress ปอนด์/นิ้ว ²	Stress Ratio	Repetitionที่ ยอมให้เกิดได้	Percent Used
45 T	876	54.0 T	435	0.670	4,500	19
43 T	876	51.6 T	415	64	11,000	8
41 T	876	49.2 T	410	0.63	14,000	6
39 T	8,760	46.8 T	390	0.60	32,000	27
37 T	7,884	44.4 T	375	0.58	57,000	14
35 T	12,250	42.0 T	350	0.54	180,000	7
33 T	15,800	39.6 T	325	0.50	Unlimited	-
31 T	82,400	37.2 T	310	0.48	Unlimited	-
21 S	28,100	25.2 S	350	0.54	180,000	15
19 S	47,400	22.8 S	325	0.50	Unlimited	-
17 S	53,500	20.4 S	290	0.45	Unlimited	-

T = Tandem Axle , S = Single Axle

ผลรวมความล้าทั้งหมด = 96%

4.2 ความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

จากการสมมติความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตเท่ากับ 7 นิ้ว ถือว่าใช้ได้
เพราะผลรวมของความล้าทั้งหมดน้อยกว่า 125%

อธิบายตารางในการคำนวณ

ช่องที่ 1 คำนวณน้ำหนักเพลลาเฉลี่ยจากตาราง 4.7 โดยเรียงจากน้ำหนักเพลลามาก

สุด

ช่องที่ 2 คำนวณน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ ที่คาดคะเนในช่วง 40 ปี

$$= (\text{จำนวนเพลลา}) \left(\frac{60}{100} \right) (365)(40)$$

ช่องที่ 3 น้ำหนักเพลลาคูณ 1.2

ช่องที่ 4 ค่าความเค้นซึ่งได้จากภาพประกอบ จ.7 และ จ.8 เมื่อความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตเท่ากับ 7 นิ้ว และ ค่าโมดูลัสของดินเดิมมีค่าเท่ากับ 150 ปอนด์/นิ้ว³

$$\text{ช่องที่ 5 ค่าอัตราส่วนความเค้น} = \frac{\text{ความเค้นของช่องที่ 4}}{\text{MR}}$$

ช่องที่ 6 ค่าน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ ที่ยอมให้เกิดได้ (จากตาราง ค.6)

$$\text{ช่องที่ 7 เปอร์เซนต์ความล้าจากน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ} = \left(\frac{\text{ช่องที่ 2}}{\text{ช่องที่ 6}} \right) (100)$$

แสดงถึงค่าเปอร์เซนต์ความล้า ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุก ที่กระทำจะต้องมีค่ารวมไม่เกิน ร้อยละ 125 ถ้ามากกว่าจะต้องออกแบบใหม่โดยเพิ่มความหนาของพื้นถนนให้มากขึ้น หรือไม่ก็ต้องลดอายุบริการของแผ่นพื้นคอนกรีตให้น้อยลงกว่าที่ได้กำหนดไป

4.3 ออกแบบขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

4.3.1 ออกแบบเหล็กเดือย (Dowel Bar)

จากตาราง ง.1 แผ่นพื้นคอนกรีตหนา 7 นิ้ว ใช้เหล็กเดือยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ความยาว 45 ซม. และมีระยะห่าง 30 ซม.

4.3.2 ออกแบบเหล็กยึด (Tie Bar)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{W L f}{f_s} \\ &= \frac{(0.175)(2,400)(3.5)(1.5)}{1,500} \\ &= 1.47 \quad \text{ชม.}^2/\text{ม} \quad \text{ใช้เหล็กขนาด } \varnothing 12 \text{ มม. @ 75 ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_t &= \frac{2 f_s A_{s1}}{\Sigma O_u} \\ &= \frac{(2)(1,500)(\pi)(0.6)^2}{(2)(\pi)(0.6)(24.5)} \\ &= 36.735 \quad \text{ชม.} \quad \text{ใช้ 70.00 ซม.} \end{aligned}$$

4.3.3 ออกแบบเหล็กป้องกันการแตกร้าว

4.3.3.1 เหล็กเสริมตามยาว

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{W L f}{2 f_s} \\
 &= \frac{(0.175)(2,400)(10.0)(1.5)}{(2)(1,200)} \\
 &= 2.625 \text{ ซม.}^2/\text{ม. ใช้เหล็กขนาด } \varnothing 9 \text{ มม. @ } 20
 \end{aligned}$$

ซม.

4.3.3.2 เหล็กเสริมตามขวาง

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{W L f}{2 f_s} \\
 &= \frac{(0.175)(2,400)(3.5)(1.5)}{(2)(1,200)} \\
 &= 0.919 \text{ ซม.}^2/\text{ม. ใช้เหล็กขนาด } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 30
 \end{aligned}$$

ซม.

ตาราง จ.7 สรุป ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี PCA

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ซม.)	ระยะห่าง (ซม.)
Dowel Bar	25	45	30
Tie Bar	12	70	75
เหล็กเสริมตามขวาง	6	-	30
เหล็กเสริมตามยาว	9	-	20

5. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธีของ Transportation Research Laboratory (Road Note 29)

5.1 วิเคราะห์ปริมาณการจราจร

จำนวนรถบรรทุกหนักมีปริมาณดังนี้

- รถโดยสารขนาดใหญ่ 293 คัน
- รถบรรทุกขนาดกลาง 925 คัน
- รถบรรทุกขนาดใหญ่ 1,155 คัน

ทำการแปลงจำนวนรถหนักให้เป็นจำนวนเพลาคือมาตรฐานโดยใช้แฟกเตอร์ของ JICA คูณจำนวนรถบรรทุกหนักดังตาราง จ.9

ตาราง จ.8 การคำนวณปริมาณรถบรรทุกหนักให้เป็นจำนวนเพลาคือมาตรฐาน

ประเภทรถ	จำนวนรถ (คัน)	ตัวคูณเปรียบเทียบ (Truck Factor)	จำนวนเพลาคือ มาตรฐาน(เที่ยว)
รถยนต์โดยสารขนาดใหญ่	293	0.50	146.500
รถบรรทุก 6 ล้อ	925	0.76	703.000
รถบรรทุก 10 ล้อ	1,155	1.24	1,432.200
รวมจำนวนเพลาคือมาตรฐาน(สองทิศทาง)			2,281.700

∴ จำนวนเพลาคือมาตรฐาน(ทิศทางเดียว) = 1,140.850 เที่ยวต่อวัน

หาปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักรถบรรทุก

เพลาคือมาตรฐาน

$$\begin{aligned}
 T &= \left\{ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right\} * T_i * 365 \\
 &= \left\{ \frac{(1+.04)^{15} - 1}{0.04} \right\} * 1,140.850 * 365 \\
 &= 8,338,027 \text{ เที่ยว หรือประมาณ } 8.34 * 10^6 \text{ เที่ยว}
 \end{aligned}$$

5.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิม

ค่า CBR ที่ใช้ในการออกแบบ วิธีการหาและเลือกค่า เช่นเดียวกับกับวิธีการของ The Asphalt Institute โดยใช้ค่า $CBR = 3\%$ ในการออกแบบ

5.3 หาคความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

5.3.1 ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

จากแผนภูมิใช้กำหนดความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต (ภาพประกอบ จ.9) เมื่อปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักกดผ่านเพลตเดี่ยวมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 8.34×10^6 เทียว จะได้แผ่นพื้นคอนกรีตหนา 21 ซม.

5.3.2 หาคความหนาของชั้นรองพื้นทาง

จากตาราง ค.13 เมื่อค่า CBR ของดินกันทางเท่ากับ 3% และในระหว่างการก่อสร้างมีรถบรรทุกหนักแล่นผ่าน ชั้นรองพื้นทางชนิดที่ 1 มีความหนา 8 ซม. และชั้นรองพื้นทางชนิดที่ 2 มีความหนา 8 ซม.

สรุปความหนาของโครงสร้างชั้นทางดังตาราง จ.10

ตาราง จ.9 โครงสร้างชั้นทางผิวทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี

TRL (Road Note 29)

โครงสร้างชั้นทาง	ความหนา (ซม.)
ผิวทางคอนกรีต	21
รองพื้นทางชนิดที่ 1	8
รองพื้นทางชนิดที่ 2	8

5.4 ออกแบบขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

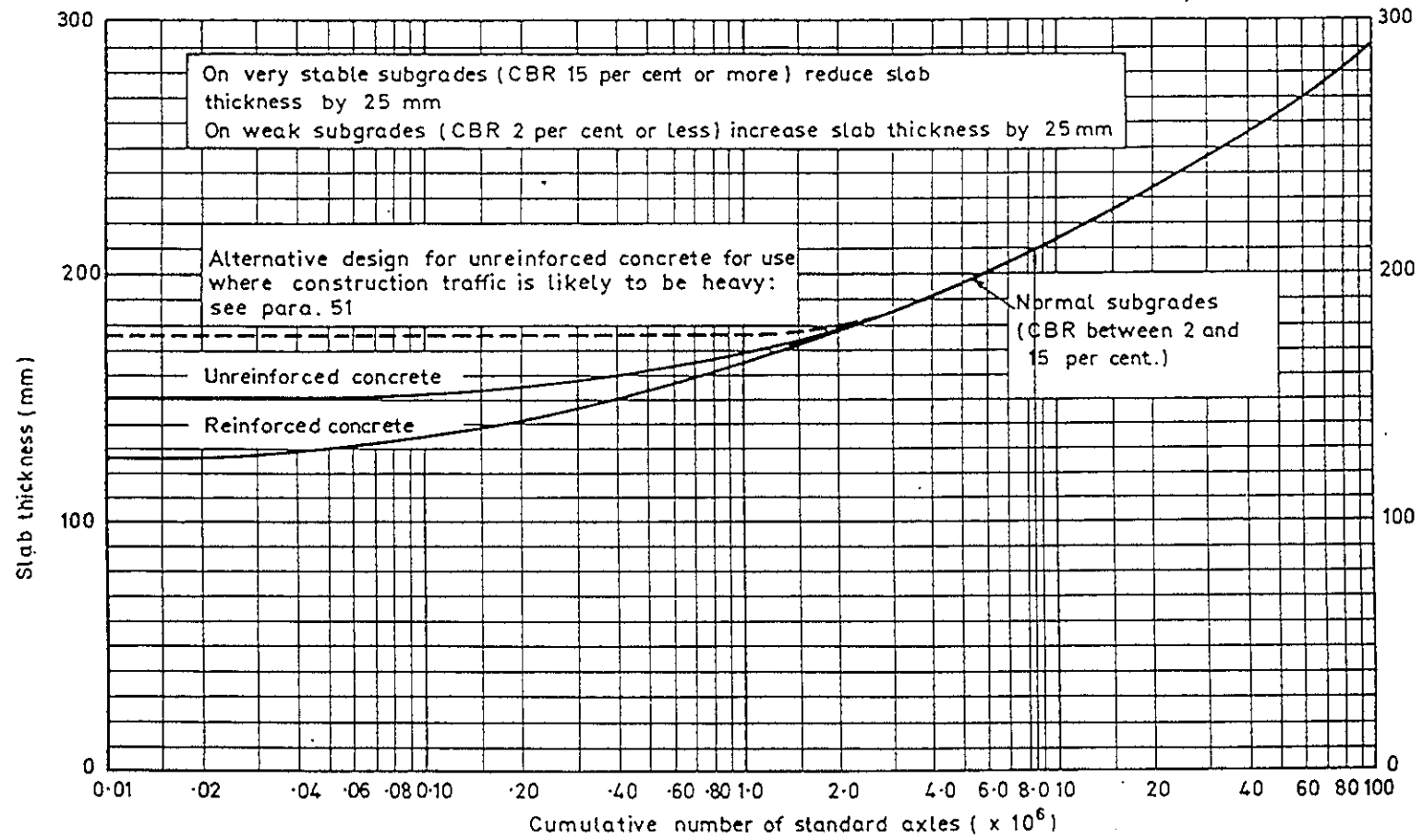
5.4.1 ออกแบบเหล็กเค็ย

จากตาราง ค.12 เมื่อผิวทางคอนกรีตหนา 21 ซม.

- ใช้เหล็กเค็ย \varnothing 25 มม. ความยาว 65 ซม. @ 30 ซม. สำหรับรอยต่อเพื่อการขยายตัว

- ใช้เหล็กเค็ย \varnothing 20 มม. ความยาว 50 ซม. @ 30 ซม. สำหรับรอยต่อเพื่อการหดตัว

ภาพประกอบ จ.9 การหาความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากแผนภูมิตามวิธี TRL (Road Note 29)



5.4.2 ออกแบบเหล็กยึด

จากตาราง ค.11 เมื่อผิวทางคอนกรีตหนา 21 ซม.

- ใช้เหล็กยึด \varnothing 12 มม. ความยาว 70 ซม. @ 75 ซม. สำหรับ

5.4.3 ออกแบบออกแบบเหล็กป้องกันการแตกร้าว

จากแผนภูมิภาพประกอบ จ.11 ได้ปริมาณเหล็กเสริม 3.5 กก./ม.²

- ใช้เหล็ก \varnothing 5 มม. @ 40 ซม. สำหรับเสริมตามขวาง
- ใช้เหล็ก \varnothing 8 มม. @ 10 ซม. สำหรับเสริมตามยาว

ตาราง จ.10 สรุป ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี TRL

(Road Note 29)

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ซม.)	ระยะห่าง (ซม.)
Dowel Bar (เพื่อการขยายตัว)	25	65	30
Dowel Bar (เพื่อการหดตัว)	20	50	30
Tie Bar	12	70	75
เหล็กเสริมตามยาว	8	-	10
เหล็กเสริมตามขวาง	5	-	40

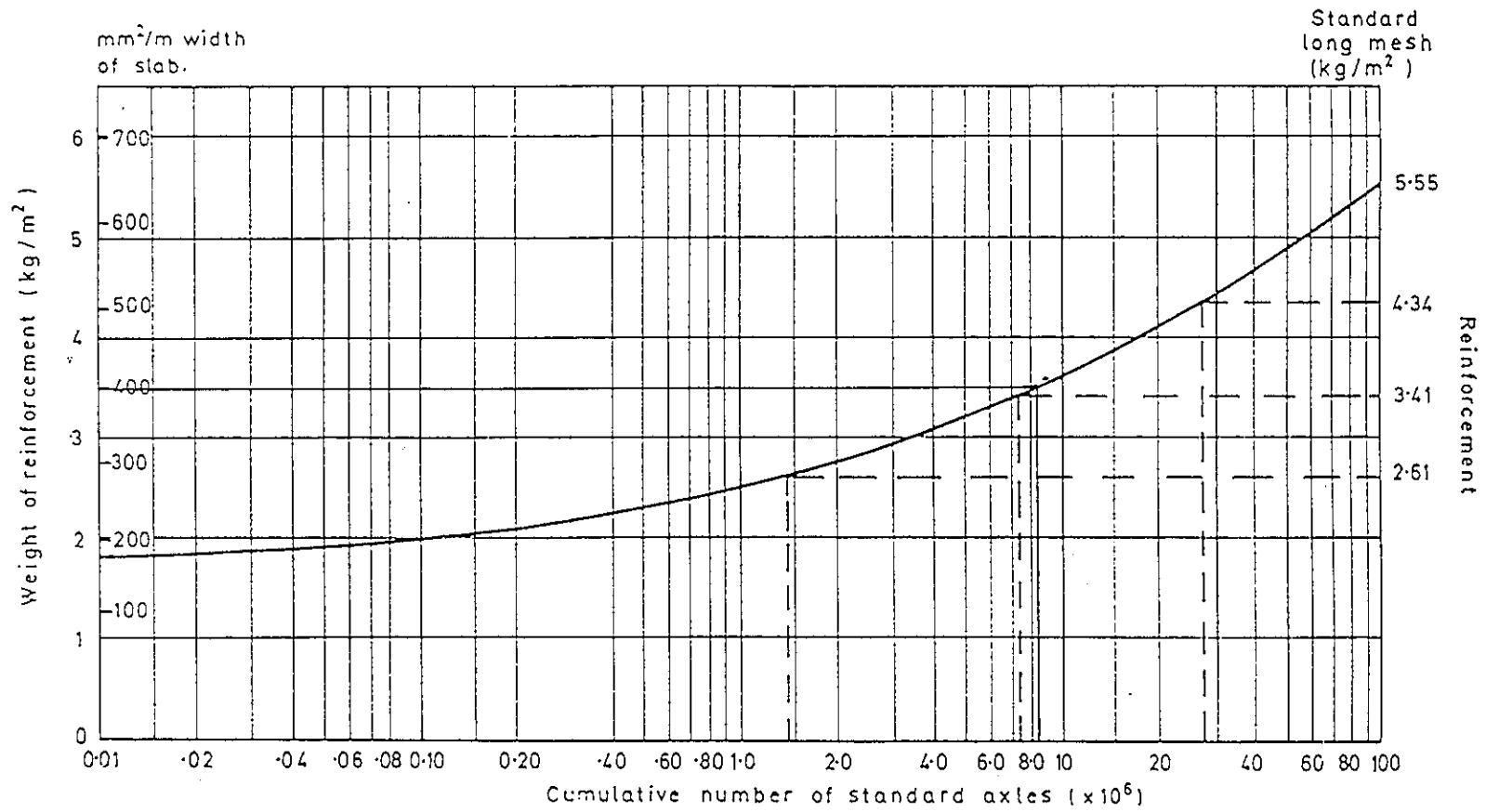
5.5 ออกแบบระยะห่างของรอยต่อ

จากแผนภูมิภาพประกอบ จ.11 เมื่อปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับ 4 กก./ม.² จะได้ระยะห่างของรอยต่อดังนี้

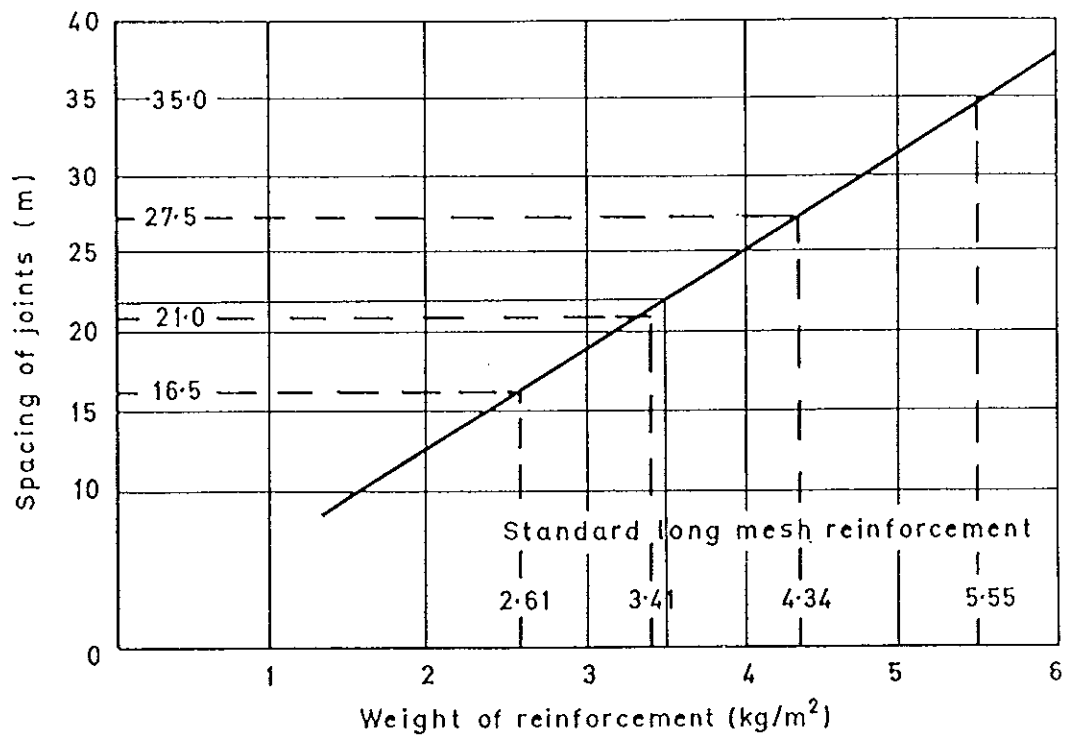
5.5.1 ระยะห่างของรอยต่อเพื่อการหดตัวทุก ๆ ระยะ 27.5 ม.

5.5.2 ระยะห่างของรอยต่อเพื่อการขยายตัวทุก ๆ ระยะ 82.5 ม.

ภาพประกอบ จ.10 การหาปริมาณเหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าวจากแผนภูมิตามวิธี TRL (Road Note 29)



ภาพประกอบ จ.11 การหาระยะห่างของรอยต่อจากแผนภูมิตามวิธี TRL
(Road Note 29)



6. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณออกแบบโครงสร้างชั้นทางผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผิวทางแบบคอนกรีต โดยวิธีของ The American Association of State Highway and Transportation Officials ใช้ข้อมูลเหมือนกันกับข้อมูลการออกแบบตามวิธี Transportation Research Laboratory (Road Note 29) และเพิ่มข้อมูล ค่าโมดูลัสการแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีตใช้เท่ากับ 600 ปอนด์/นิ้ว² หรือเท่ากับ 42 กก./ซม² ค่า $P_t = 2.5$

6.1 วิเคราะห์ปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักรถที่ผ่านเพลาเดี่ยวมาตรฐานเท่ากับ 8,338,027 เที่ยว หรือ ประมาณ 8.34×10^6 เที่ยว วิธีการเหมือนในข้อ 5.1

6.2 หาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเดิม

ค่า CBR ที่ใช้ในการออกแบบ วิธีการหาและเลือกค่า เช่นเดียวกันกับวิธีการของ The Asphalt Institute โดยใช้ค่า $CBR = 3\%$ ในการออกแบบ และทำการแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Modulus of Subgrade Reaction ได้เท่ากับ 100 ปอนด์/นิ้ว³ ภาพประกอบ จ.12

6.3 จำนวนค่าหน่วยแรงค้ำที่ยอมให้ (Working Stress in Concrete, f') เมื่อ MR เท่ากับ 600 ปอนด์/นิ้ว²

$$f' = 0.75 \times 600 = 450 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

6.4 ออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต

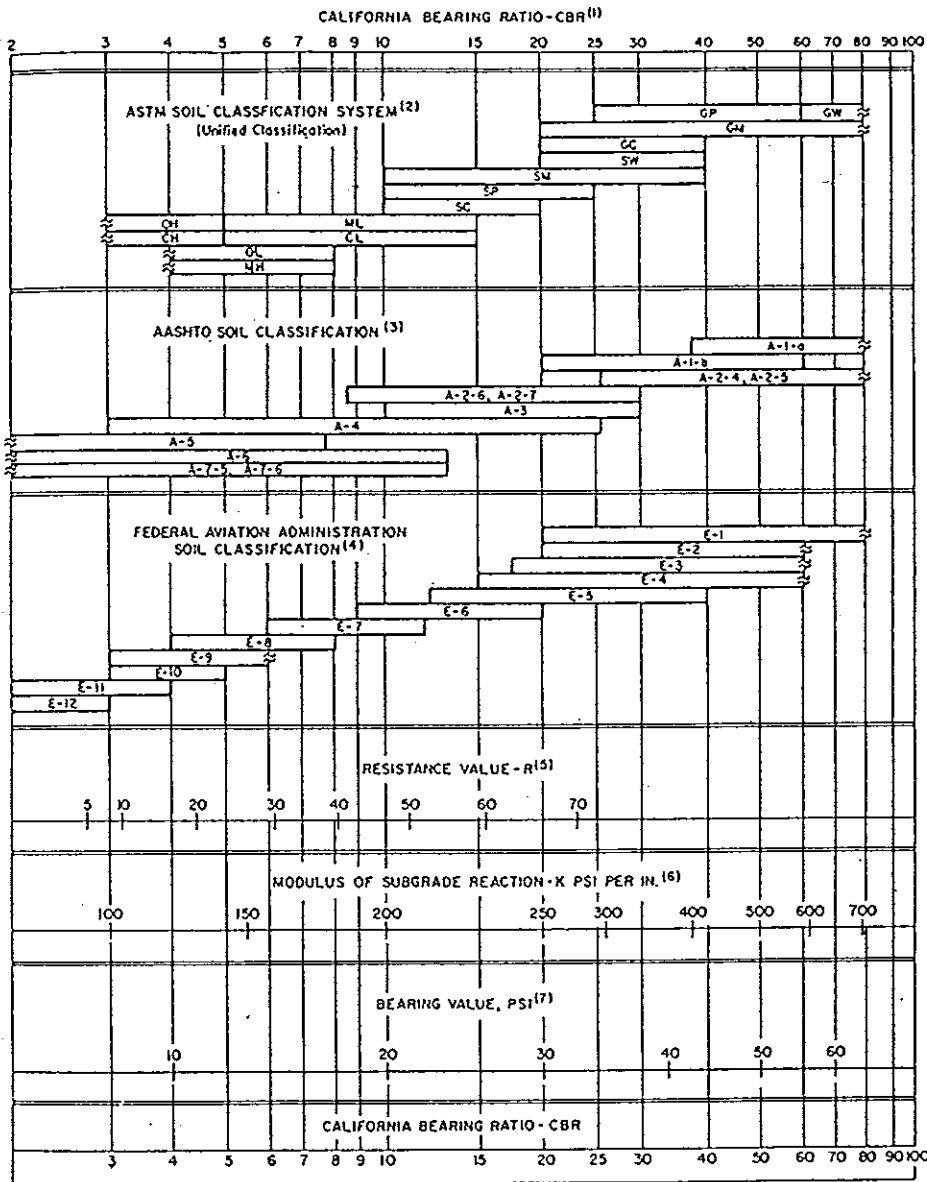
เมื่อปริมาณการจราจรสะสมตลอดช่วงอายุการใช้งานในรูปของน้ำหนักรถที่ผ่านเพลาเดี่ยวมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 8.34×10^6 เที่ยว หรือ 8,340 (1,000 เที่ยว)

$$\text{Modulus of Subgrade Reaction} = 100 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^3$$

$$f' = 450 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

อ่านค่าความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากแผนภูมิภาพประกอบ จ.13 ได้เท่ากับ 10.0 นิ้ว หรือเท่ากับ 25 ซม.

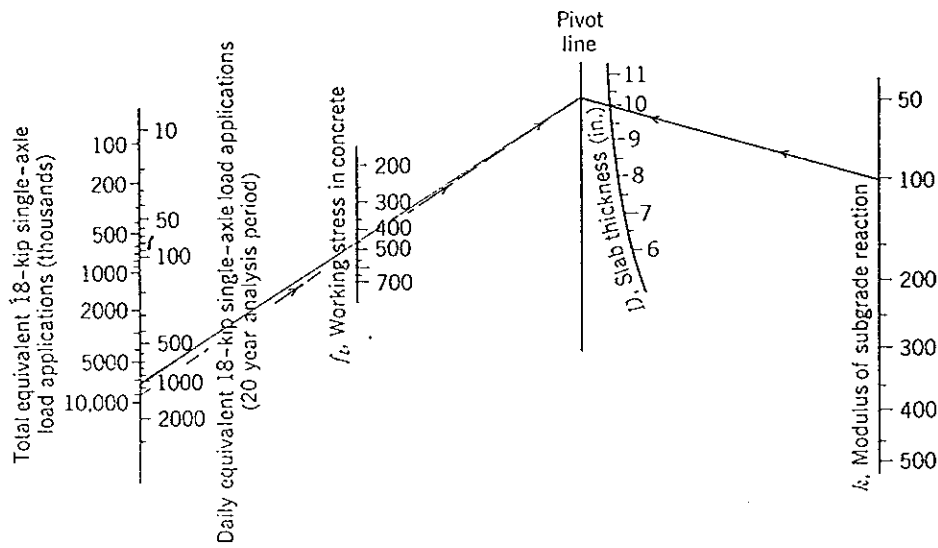
ภาพประกอบ จ.12 การแปลงค่า CBR ให้เป็นค่า Modulus of Subgrade Reaction



(1) For the basic idea, see O. J. Porter, "Foundations for Flexible Pavements," Highway Research Board Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting, 1942, Vol. 22, pages 100-138.
 (2) ASTM Designation D2487.
 (3) "Classification of Highway Subgrade Materials," Highway Research Board Proceedings of the Twenty-fifth Annual Meeting, 1945, Vol. 25, pages 376-392.
 (4) Airport Paving, U.S. Department of Commerce, Federal Aviation Agency, May 1948, pages 11-16. Estimated using values given in FAA Design Manual for Airport Pavements. (Formerly used FAA Classification; Unified Classification now used.)
 (5) C. E. Warnes, "Correlation Between R Value and k Value," unpublished report, Portland Cement Association, Rocky Mountain-Northwest Region, October 1971 (best-fit correlation with correction for saturation).
 (6) See T. A. Middlebrooks and G. E. Berttram, "Soil Tests for Design of Runway Pavements," Highway Research Board Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting, 1942, Vol. 22, page 152.
 (7) See item (6), page 184.

Approximate Interrelationships of soil classifications and bearing values.

ภาพประกอบ จ.13 การหาความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตจากแผนภูมิตามวิธี AASHTO สำหรับ $P_t = 2.5$



6.5 ออกแบบขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ

6.5.1 ออกแบบเหล็กเดือย

จากตาราง ค.14 เมื่อผิวทางคอนกรีตหนา 25 ซม.

- ใช้เหล็กเดือย \varnothing 32 มม. ความยาว 45 ซม. @ 30 ซม.

6.5.2 ออกแบบเหล็กยึด

จากตาราง ค.15 เมื่อผิวทางคอนกรีตหนา 25 ซม.

- ใช้เหล็กเดือย \varnothing 12 มม. ความยาว 64 ซม. @ 80 ซม.

6.5.3 ออกแบบเหล็กป้องกันการแตกร้าว

6.5.3.1 เหล็กเสริมตามยาว

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{W L f}{2 f_s} \\ &= \frac{(0.25)(2,400)(10.0)(1.5)}{(2)(1,200)} \\ &= 3.750 \text{ ซม.}^2/\text{ม. ใช้เหล็กขนาด } \varnothing 9 \text{ มม. @ } 15 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

6.5.3.2 เหล็กเสริมตามขวาง

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{W L f}{2 f_s} \\ &= \frac{(0.25)(2,400)(3.5)(1.5)}{(2)(1,200)} \\ &= 1.312 \text{ ซม.}^2/\text{ม. ใช้เหล็กขนาด } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 20 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

ตาราง จ.11 สรุปรูป ขนาด ระยะห่าง และความยาวของเหล็กเสริมชนิดต่าง ๆ ของผิวทางคอนกรีตจากการคำนวณโดยวิธีปกติตามวิธี AASHTO

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ซม.)	ระยะห่าง (ซม.)
Dowel Bar	32	45	30
Tie Bar	12	64	80
เหล็กเสริมตามยาว	9	-	15
เหล็กเสริมตามขวาง	6	-	20

7. ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาหน่วยแรงที่เกิดในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเดือย

การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์จะตรวจสอบเฉพาะล้อคู่ ส่วนล้อเดี่ยวก็จะมีวิธีการที่คล้าย ๆ กัน

หาค่า Radius of Relative Stiffness (I)

$$I = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{(280,000)(22.86)^3}{12(1-0.15^2)(1.932)}}$$

$$= 110.222$$

ดังนั้น $1.81 = 198.401$

หาค่า Effective Dowel เนื่องจากน้ำหนักล้อทั้ง 4 ล้อ (ภาพประกอบ

จ.14)

คิด Load Transfer Capacity ของเหล็กเดือย 50%

$$\text{น้ำหนักรถ 10 ล้อ 21 ตัน ที่ถ่ายลงแต่ละล้อ} = (0.10)(21)\left(\frac{50}{100}\right)$$

$$= 1.05 \quad \text{ตัน}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,050 \text{ กก.} \\
 \text{ที่จุด A จำนวนเหล็กเคียวที่รับน้ำหนัก} &= 3.825 \\
 \text{น้ำหนักที่เหล็กเคียวเส้นแรกรับเนื่องจากล้อย A} &= \frac{(1050)(1)}{3.825} \\
 &= 274.510 \text{ กก.} \\
 \text{ที่จุด B จำนวนเหล็กเคียวที่รับน้ำหนัก} &= 4.735 \\
 \text{น้ำหนักที่เหล็กเคียวเส้นแรกรับเนื่องจากล้อย B} &= \frac{(1050)(0.834)}{4.735} \\
 &= 184.942 \text{ กก.} \\
 \text{ที่จุด C จำนวนเหล็กเคียวที่รับน้ำหนัก} &= 6.527 \\
 \text{น้ำหนักที่เหล็กเคียวเส้นแรกรับเนื่องจากล้อย C} &= \frac{(1050)(0.078)}{6.526} \\
 &= 12.550 \text{ กก.} \\
 \text{ที่จุด D จำนวนเหล็กเคียวที่รับน้ำหนัก} &= 6.223 \\
 \text{น้ำหนักที่เหล็กเคียวเส้นแรกรับเนื่องจากล้อย D} &= \frac{(1050)(0)}{6.223} \\
 &= 0 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น น้ำหนักที่เหล็กเคียวเส้นแรกรับทั้งหมด} \\
 &= 274.510 + 184.942 + 12.550 + 0 \\
 &= 472.002 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า Relative Stiffness } (\beta) &= \sqrt[4]{\frac{Kb}{4EI}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{(4.14 * 10^4)(2.54)}{(4)(2.03 * 10^6)(2.043)}} \\
 &= 0.282 \text{ ซม.}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\text{หาค่า Deflection (yo) ของเหล็กเคียวเส้นแรก} = \frac{P}{4\beta^3 EI} (2 + \beta z)$$

$$= \left(\frac{472.002}{(4)(0.282)^3 (2.03 \times 10^6)(2.043)} \right) \{2 + (0.282)(0.635)\}$$

$$= 0.00276 \quad \text{ชม.}$$

หาค่า Bearing Stress ในแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณเหล็กเคียวเส้นแรก (σ)

$$= K_y o$$

$$= (4.14 \times 10^4)(0.00276)$$

$$= 114.264 \quad \text{กก./ชม.}^2$$

การคำนวณค่าหน่วยแรงที่เกิดบริเวณเหล็กเคียวในแผ่นพื้นคอนกรีต

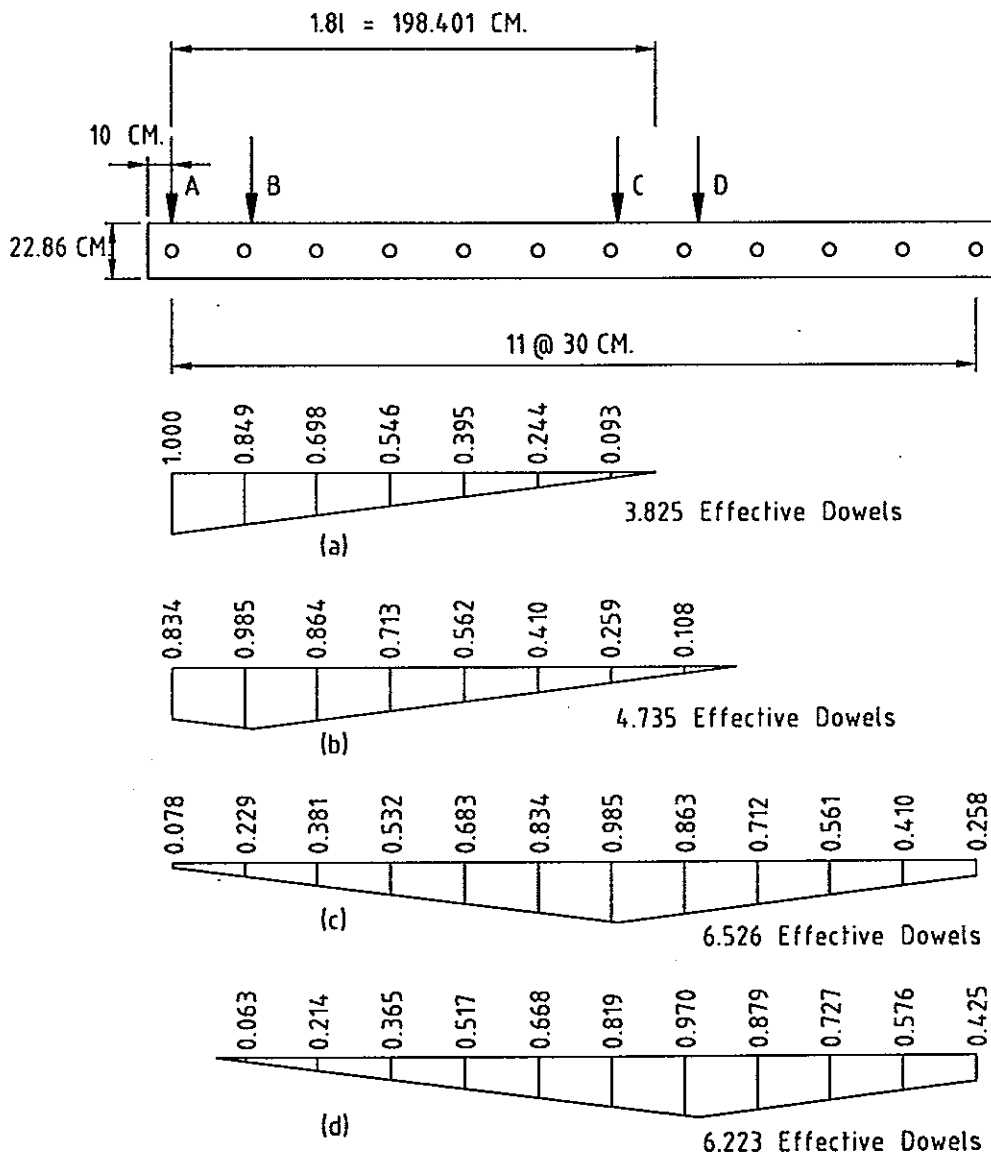
สำหรับเหล็กเคียวเส้นอื่น ๆ พิจารณาทำนองเดียวกัน ดังตาราง

$$\text{หาค่า Allowable Stress (fb)} = \left(\frac{10.16 - b}{7.62} \right) f_c'$$

$$= \left(\frac{10.16 - 2.54}{7.62} \right) 272.79$$

$$= 272.79 \quad \text{กก./ชม.}^2$$

ภาพประกอบ จ.14 Effective Dowel เนื่องจากน้ำหนักล้อทั้ง 4 ล้อ จากการคำนวณปกติ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล นายปิยชาติ ปลื้มภิรมย์นาฏ
วัน เดือน ปีเกิด 11 มิถุนายน พ.ศ. 2507
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา)	มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์	2534

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

วิศวกรโยธา 5 กรมทางหลวง