รายงานฉบับที่ วพ.326 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
REPORT NO. RD. 326 BUREAU OF ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT

ถนนซีเมนต์คอนกรีตแบบมีรอยต่อในกรมทางหลวง

Joint Plain Concrete Pavement in Department of Highways

โดย

นายจุฑา สุนิตย์สกุล
นายชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์
นายฉัตรชัย จันทร

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

ถนนซีเมนต์คอนกรีตแบบมีรอยต่อในกรมทางหลวง

Joint Plain Concrete Pavement in Department of Highways

โดย

นายจุฑา สุนิตย์สกุล
นายชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์
นายฉัตรชัย จันทร

รายงานฉบับที่ วพ. 326

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

กรกฎาคม 2567

รายงานนี้เป็นแนวความคิดของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

คำนำ

ปัจจุบันปริมาณการจราจรในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องมีการพัฒนาการดำเนินการที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับปริมาณการจราจร เช่น การก่อสร้างผิวทางที่มีประสิทธิภาพ สามารถรองรับปริมาณจราจรได้ และให้มีการบำรุงรักษาน้อยที่สุด ดังนั้น กรมทางหลวงจึงได้ดำเนินการก่อสร้างผิวทาง Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) เนื่องจากถนนซีเมนต์คอนกรีตเป็นถนนประเภทผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) สูง ส่งผลให้มีการแอ่นตัวน้อยมากเมื่อมีน้ำหนักกระทำบนผิวทาง โดยจะรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกับแผ่นพื้น (Plate) ทำให้สามารถกระจายน้ำหนักจากการจราจรลงสู่ดินคันทางเป็นเนื้อที่กว้าง มีผลให้หน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในดินคันทางมีค่าต่ำ

นอกจากนี้ ผิวทาง JPCP ยังมีค่าก่อสร้างต่ำ มีประสิทธิภาพสูง มีความเรียบสูง และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความเหมาะสมกับสภาพปริมาณการจราจรในประเทศไทยที่มีปริมาณรถบรรทุกสูงอีกด้วย

(นายอภิรัฐ ไชยวงศ์น้อย)
อธิบดีกรมทางหลวง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช วิศวกรใหญ่ด้านวิจัยและพัฒนา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการ ให้คำแนะนำ แก้ไขงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทั้งการทดสอบในภาคสนามและผู้เกี่ยวข้องในส่วนกลาง

ถนนซีเมนต์คอนกรีตแบบมีรอยต่อในกรมทางหลวง

****

จุฑา สุนิตย์สกุล **ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์** **ฉัตรชัย จันทร**

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง **สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ** **สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ**
กรมทางหลวง

บทคัดย่อ

ถนนซีเมนต์คอนกรีตเป็นถนนประเภททางผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) เนื่องจากซีเมนต์คอนกรีตมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) สูง ส่งผลให้มีการแอ่นตัวน้อยมากเมื่อมีน้ำหนักกระทำบนผิวทาง ซึ่งจะรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกับแผ่นพื้น (Plate) จึงทำให้สามารถกระจายน้ำหนักจากการจราจรลงสู่ดินคันทางเป็นเนื้อที่กว้าง มีผลให้หน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในดินคันทางมีค่าต่ำ

ในการออกแบบโครงสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีต จะต้องพิจารณาถึงชั้นวัสดุใต้ผิวทางซีเมนต์คอนกรีต คุณภาพของคอนกรีต ปริมาณการจราจร การออกแบบทางเลขาคณิต ความหนาของผิวทางซีเมนต์คอนกรีต และรอยต่อ การกำหนดให้มีรอยต่อเพื่อใช้ในการควบคุมรอยแตก การก่อสร้างทำได้สะดวก ควบคุมการเคลื่อนตัว และสามารถถ่ายน้ำหนักการจราจรระหว่างแผ่นคอนกรีต

ปัจจุบันปริมาณการจราจรในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องมีการพัฒนาการดำเนินการที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับปริมาณการจราจร เช่น ก่อสร้างผิวทางที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรได้ และมีการบำรุงรักษาน้อย ดังนั้นกรมทางหลวงจึงได้ดำเนินการก่อสร้างผิวทาง Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) ซึ่งมีค่าก่อสร้างต่ำ มีประสิทธิภาพสูง มีความเรียบสูง มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผิวทาง JPCP จึงมีความเหมาะสมกับสภาพปริมาณการจราจรในประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณรถบรรทุกสูง

DISCLAIMER

The contents of this report reflect only the views of the authors, who are responsible for the facts and the accuracy of the data presented herein. The contents do not necessarily reflect the official views or policies of the Department of Highways, Thailand. Department of Highways does not endorse products or manufacturers. Trademarks or manufacturers' names appear in this report only because they are considered essential to the objectives of the document. This report does not constitute any standard, specification, or regulation.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ

สารบัญรูปประกอบ

สารบัญตาราง

บทคัดย่อ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินการ 4

1.3 ประโยชน์ของการวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบความหนาของถนนซีเมนต์คอนกรีต 5

2.2 หน่วยแรงที่เกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อมและแรงเสียดทาน 8

2.3 การกำหนดระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง 10

2.4 การพิจารณาเหล็กเดือย (Dowel Bars) 12

2.5 การพิจารณาขนาดของ Tie Bars 13

บทที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่าง JPCP และ JRCP 14

3.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของถนน JPCP และ JRCP 14

3.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 15

3.2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตเหล็ก 15

3.2.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์ 17

3.3 การเปรียบเทียบด้านราคาค่าก่อสร้าง

บทที่ 4 สรุปผล 21

4.1 สรุปผล

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก ก

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางแสดงค่า Reliability for Various Functional Classifications (R)	7
1.2	2 ตารางแสดงค่า Z_R จากค่า Reliability (R) ที่พิจารณาเลือกใช้	7
1.3	ตารางแสดงค่า Load Transfer Coefficient (J)	8
2	ตารางแสดง PCA 1975 Recommended Dowel Size and Length	12
3	ขนาด Dowel Bar ที่ใช้ในผิวทาง JPCP	13
4	เหล็กยึด Tie Bar สำหรับ JPCP	13
5	ข้อดีและข้อด้อยของถนน JPCP และ JRCP	16
6	ราคาต้นทุนค่าก่อสร้างถนน JPCP และ JRCP	18
7	ราคาต้นทุนรอยต่อตามขวาง (Contraction Joints) ของถนน JPCP และ JRCP สำหรับความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 28 เซนติเมตร ความกว้าง 12 เมตร	19
8	ราคาต้นทุนรอยต่อตามยาว (Longitudinal Joints) ของถนน JPCP และ JRCP สำหรับความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 28 เซนติเมตร ความกว้าง 12 เมตร	19

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การแตกเริ่มต้นภายหลังการก่อสร้างถนนคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ	2
1.2	การแตกภายหลังการก่อสร้างถนนคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ เนื่องจากสภาพแวดล้อมและการจราจร	3
1.3	Properly jointed pavement	3
2	ภาพแสดงผลแบบสอบถามของ ACPA (ACPA, 2005)	4
3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแข็งแรงของดินชนิดอื่นๆ	6
4	ภาพแสดง Curling and Warping เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น	9
5	แบบจำลองการเกิดการแอ่นตัวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น กรณีที่ชั้นพื้นทางมีลักษณะแกร่ง (Perfectly Rigid) และลักษณะยืดหยุ่น (Flexible) (Jung et. al., 2010)	9
6.1	การพิจารณาระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางสำหรับความหนาถนนซีเมนต์คอนกรีต 25 เซนติเมตร	11
6.2	การพิจารณาระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางสำหรับความหนาถนนซีเมนต์คอนกรีต 30 เซนติเมตร	11

บทที่1

1.1 บทนำ

ถนนซีเมนต์คอนกรีตเป็นถนนประเภททางผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) เนื่องจากซีเมนต์คอนกรีตมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) สูง ส่งผลให้มีการแอ่นตัวน้อยมากเมื่อมีน้ำหนักกระทำบนผิวทาง ซึ่งจะรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกับแผ่นพื้น (Plate) จึงทำให้สามารถกระจายน้ำหนักจากการจราจรลงสู่ดินคันทางเป็นเนื้อที่กว้าง มีผลให้หน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในดินคันทางมีค่าต่ำ

ในการออกแบบโครงสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีต จะต้องพิจารณาถึงชั้นวัสดุใต้ผิวทางซีเมนต์คอนกรีต คุณภาพของคอนกรีต ปริมาณการจราจร การออกแบบทางเรขาคณิต ความหนาของผิวทางซีเมนต์คอนกรีต และรอยต่อ การกำหนดให้มีรอยต่อเพื่อใช้ในการควบคุมรอยแตก การก่อสร้างทำได้สะดวก ควบคุมการเคลื่อนตัว และสามารถถ่ายน้ำหนักการจราจรระหว่างแผ่นคอนกรีต

คอนกรีตเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ จะมีการหดตัวแต่เนื่องจากความเสียดทานระหว่างผิวทางคอนกรีตและชั้นรองถนนคอนกรีต ทำให้เกิดรอยแตกเกิดขึ้นตามรูปที่ 1.1 โดยจะมีระยะห่างระหว่างรอยแตกประมาณ 12 ถึง 45 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศภายหลังการก่อสร้าง และวัสดุชั้นรองถนนคอนกรีต และภายหลังการก่อสร้างถนนผิวทางคอนกรีตจะเกิดการ Curling and Warping และน้ำหนักจากการจราจร ทำให้เกิดรอยแตกตามรูปที่ 1.2 ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดให้เกิดจุดอ่อนตัวขึ้นบนผิวทางคอนกรีต เพื่อให้เกิดรอยแตกในบริเวณที่ต้องการตามรูปที่ 1.3 ในการถ่ายเทแรงกระทำจากการจราจรของถนนคอนกรีตระหว่างรอยต่อจะเกิดขึ้นจากการขัดกันของวัสดุมวลรวม (Aggregate Interlock) และ/หรือ การถ่ายแรงโดยใช้เหล็กเดือย (Dowel Bars) ซึ่งจะเป็นเหล็กกลมเรียบ

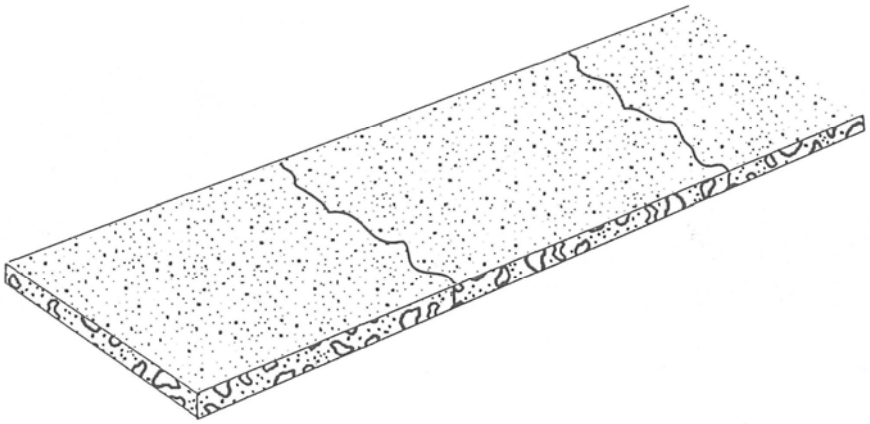
กรมทางหลวง ได้ดำเนินก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตครั้งแรกในปี 2503 ที่ทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว ก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ปราศจากชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร มีระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร และได้เปิดการจราจรในปี 2507 ซึ่งมีการใช้งานได้ดี ไม่พบปัญหาการ Pumping ต่อมาได้ก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตสายที่สองคือสายกรุงเทพ-นครปฐม ก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 36 เมตร ระยะทางประมาณ 41 กิโลเมตร ถนนสายนี้เกิดปัญหาการ Pumping ภายหลังการก่อสร้างได้ไม่นาน ผลจากการเกิด Pumping ของถนนสายนี้ ทำให้กรมทางหลวงก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีต โดยมีชั้นทรายรองถนนคอนกรีต (ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ 2527) โดยในความคิดเห็นของผู้จัดทำบทความนี้ ถนนคอนกรีตที่ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 36 เมตร จะเกิดหดตัวจากสภาพแวดล้อมมากกว่าถนนคอนกรีตที่ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร จึงอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดการอัดทะลัก

ในปี 1995 กรมทางหลวง ได้จัดทำแบบมาตรฐานซีเมนต์คอนกรีต บริเวณรอยต่อแผ่นคอนกรีต (Joint) ใช้ Dowel Bars เป็นเหล็กในการถ่ายเทแรงกระทำจากการจราจร ซึ่งเป็นเหล็กเส้น

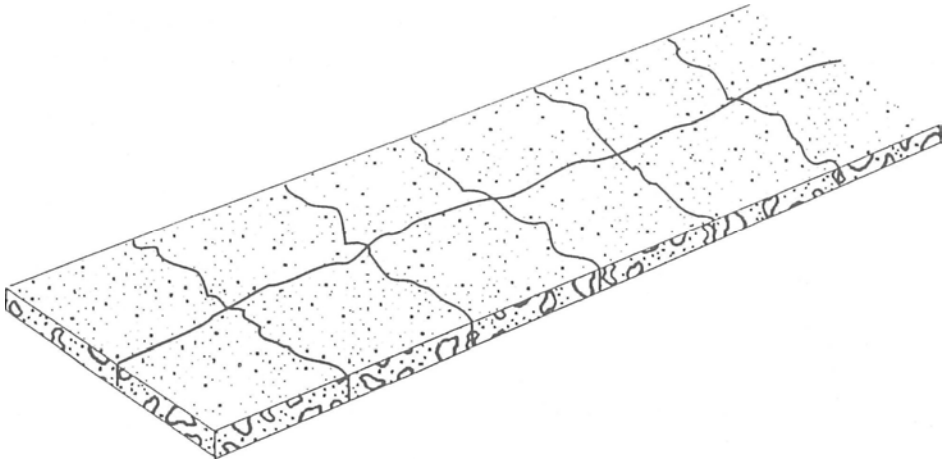
กลม SR 24 ตาม มอก. 20 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ระยะห่าง 300 มิลลิเมตร สำหรับถนนซีเมนต์คอนกรีตความหนา 230 และ 250 มิลลิเมตร ในปี 2015 แบบมาตรฐานซีเมนต์คอนกรีต กรมทางหลวงได้มีการปรับปรุง โดยได้ปรับเปลี่ยนเหล็ก Dowel Bars เป็นเหล็กเส้นกลม คุณสมบัติตาม AASHTO M36 Grade 60 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30, 32 และ 35 มิลลิเมตร สำหรับถนนซีเมนต์คอนกรีตความหนา 230, 250 และ 280 มิลลิเมตรตามลำดับ ระยะห่าง 300 มิลลิเมตร และในปัจจุบัน กรมทางหลวงได้ออกแบบถนนปอร์ตคอนกรีตบนวัสดุชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีต ชนิดต่างๆ เช่น หินคลุก ทราย ดินซีเมนต์ และแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นต้น

ในปี 2005 หน่วยงาน The American Concrete Pavement Association (ACPA) ได้จัดทำแบบสอบถามหน่วยงานราชการในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ที่ดูแลด้านงานทางพบว่ามีการใช้ JPCP เป็นหลักดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้หลายมลรัฐในประเทศสหรัฐไม่ใช้ JRCP เช่น มลรัฐ Texas (TXDOT, 2018) เนื่องจากปัญหาการบำรุงรักษารอยต่อตามขวาง

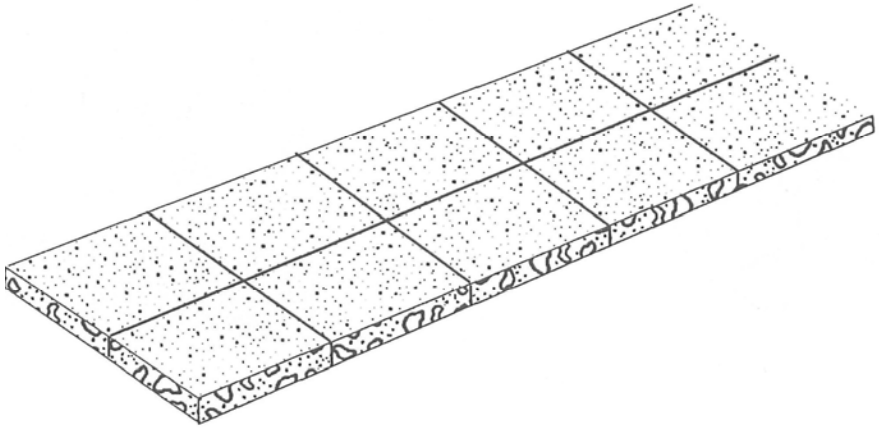
ถนน JPCP ไม่เสริมเหล็กตะแกรงกันการแตกร้าว จึงมีระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางน้อยกว่า 15 ฟุต (4.6 เมตร) ทำให้เกิดการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศน้อย เมื่อความกว้างของรอยแตกมีระยะแคบ ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำจากผิวจราจรลงสู่โครงสร้างชั้นทางด้านล่างได้น้อย จึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น FHWA (2007)



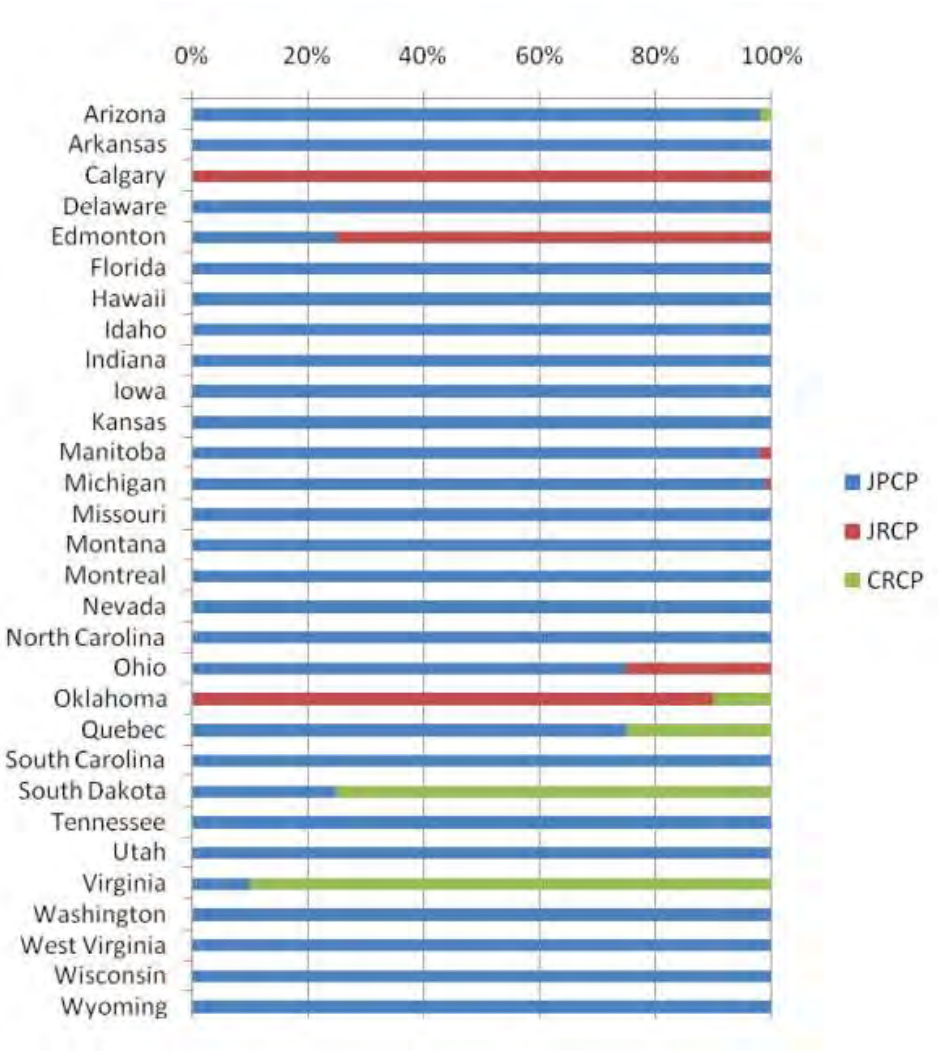
รูปที่. 1.1 การแตกเริ่มต้นภายหลังการก่อสร้างถนนคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ



รูปที่. 1.2 การแตกภายหลังการก่อสร้างถนนคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ เนื่องจากสภาพแวดล้อมและการจราจร



รูปที่. 1.3 Properly jointed pavement



รูปที่ 2 ภาพแสดงผลแบบสอบถามของ ACPA (ACPA, 2005)

1.2 วัตถุประสงค์ของดำเนินการ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- เพื่อจัดทำแบบก่อสร้าง Joint Plain Concrete Pavement (JPCP)
- เพื่อจัดทำข้อกำหนดต่างๆ ประกอบแบบแนะนำ JPCP สำหรับการบูรณะและก่อสร้างถนน

1.3 ประโยชน์ของการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการมีดังต่อไปนี้

- กรมทางหลวง ได้มีแบบก่อสร้าง JPCP
- กรมทางหลวง สามารถค่าก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวง
- ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบความหนาของถนนซีเมนต์คอนกรีต

การออกแบบความหนาสามารถดำเนินการได้ โดยใช้วิธีการตาม AASHTO 1993 ในทศวรรษที่ 1950 AASHTO ได้จัดทำแปลงทดสอบถนนผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและแอสฟัลต์ ที่เมือง Ottawa มลรัฐ Illinois เพื่อจัดทำวิธีการออกแบบความหนาถนนแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical Design) โดยในปี 1961 ได้จัดทำวิธีการออกแบบฉบับแรก และได้ดำเนินการปรับปรุงจนถึงปี 1993 ซึ่งมีสมการที่ใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 1

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624\times10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32p_t)\times\log_{10}\left[\frac{(S_c')(C_d)(D^{0.75}-1.132)}{215.63(J)\left(D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(E_c/k\right)^{0.25}}\right)}\right] \quad (1)$$

โดยที่

W_{18} = Predicted Number of 80 KN (18,000 lb.) ESALs

Z_R = Standard normal deviate (ได้จากค่า R ตามตารางที่ 1.1 และตารางที่ 1.2)

S_o = Combined standard error of the traffic prediction and performance prediction โดยมีค่า 0.30-0.40 สำหรับการออกแบบถนนคอนกรีต

D = Slab depth (inches)

J = Load transfer coefficient (value depends upon the load transfer efficiency) ตารางที่ 1.3

p_t = Terminal serviceability index

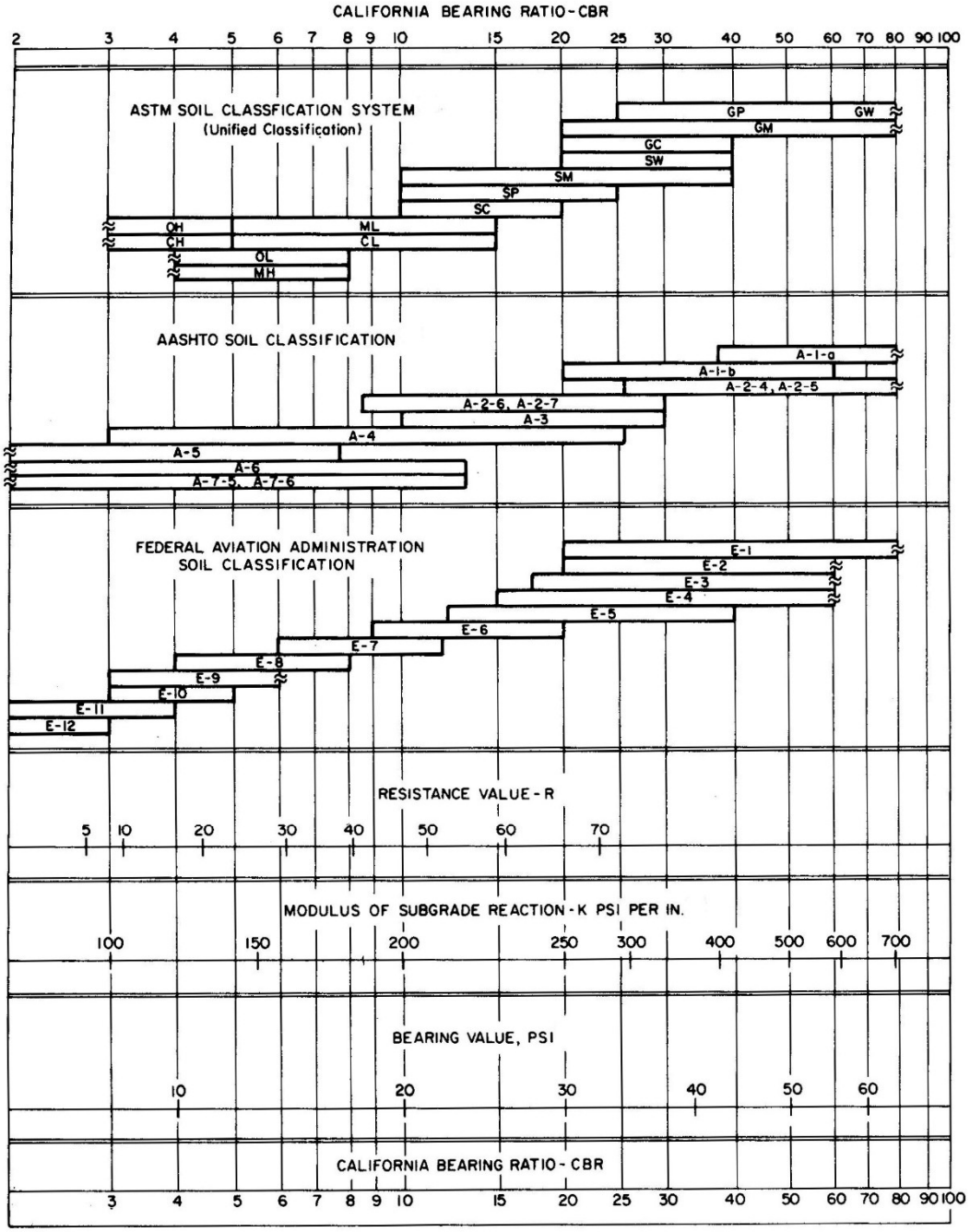
ΔPSI = Difference between the initial design serviceability index, po, and the design terminal serviceability index, pt

S'_c = Modulus of rupture of PCC (flexural strength) (psi)

C_d = Drainage coefficient (มีค่าประมาณ 0.8-1.2)

E_c = Elastic modulus of PCC = $57{,}000(f'_c)^{0.5}$ (psi)

k = Modulus of subgrade reaction (psi/in) ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแข็งแรงของดินชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงค่า Reliability for Various Functional Classifications (R)

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85 – 99.9	80 – 99.9
Principal Arterials	80 – 99	75 – 95
Collectors	80 – 95	75 – 95
Local	50 – 80	50 – 80

ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงค่า Z_R จากค่า Reliability (R) ที่พิจารณาเลือกใช้

Reliability R (Percent)	Standard Normal Deviate (Z_R)
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

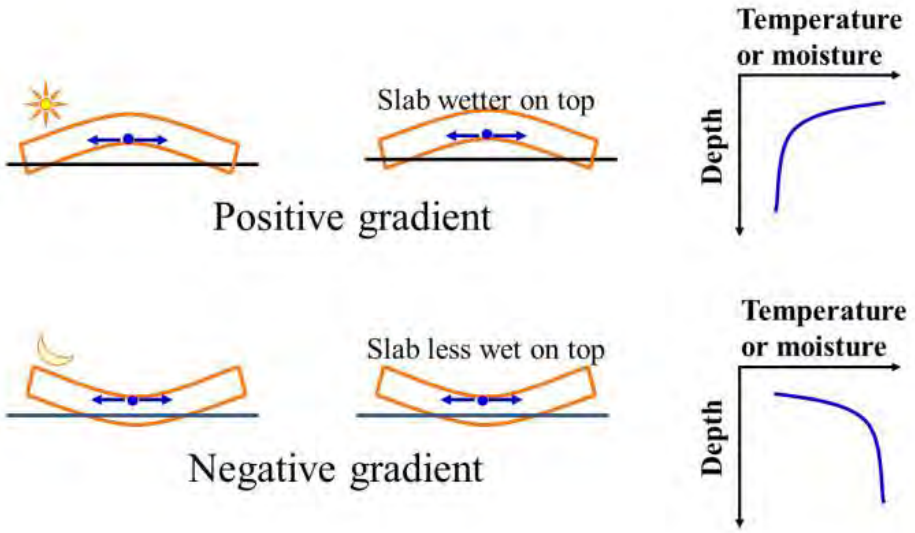
ตารางที่ 1.3 ตารางแสดงค่า Load Transfer Coefficient (J)

Condition	J Factor
Undoweled PCC on crushed aggregate surfacing	3.8
Doweled PCC on crushed aggregate surfacing	3.2
Doweled PCC on HMA (without widened outside lane) and tied PCC shoulders	2.7
CRCP with HMA shoulders	2.9 – 3.2
CRCP with tied PCC shoulders	2.3 – 2.9

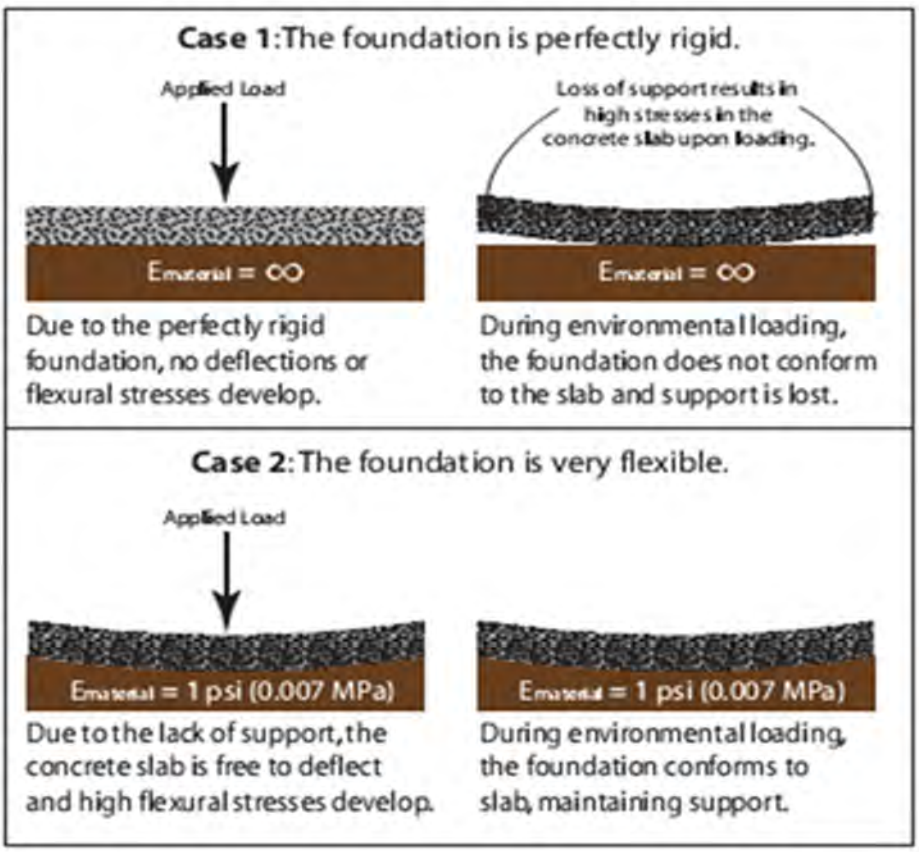
2.2 หน่วยแรงที่เกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อมและแรงเสียดทาน

ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นระหว่างผิวคอนกรีตด้านบนและด้านล่าง จะทำให้เกิดการโก่งตัวของคอนกรีตในลักษณะเฉพาะตัวดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า Curling และ Warping ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้บ่อยครั้ง คอนกรีตอาจเกิดความล้า ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืน (Curling) และการเปลี่ยนแปลงความชื้น (Warping) ในแต่ละวัน โดยจะมีปัจจัยหลายอย่างที่จะช่วยรั้งการเกิดการโก่งตัวเช่นนี้ได้ ได้แก่ น้ำหนักของผิวคอนกรีต เหล็กเดือย เหล็กยึด การขัดกันของผิวคอนกรีต (Aggregate Interlock) และแรงเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีตกับชั้นรองถนนคอนกรีต ผลของการเกิด Curling และ Warping จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง และหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเพิ่มขึ้นจากปกติ ซึ่งคอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงจึงอาจไม่มีปัญหา แต่ในกรณีที่เกิดแรงดึงในคอนกรีต อาจส่งผลให้เสียหายเกิดเป็นรอยแตกได้โดยเฉพาะในช่วงที่คอนกรีตยังพัฒนากำลังอยู่ ภายหลังเปิดการจราจร ผิวด้านบนการโก่งตัวขึ้น จะทำให้เกิดรอยบริเวณกึ่งกลางแผ่นถนนซีเมนต์คอนกรีต

กรณีที่ชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตที่แกร่งมากเกินไป อาจไม่เป็นผลดีเพราะเมื่อเกิด Curling และ Warping บริเวณขอบหรือบริเวณกลางแผ่นคอนกรีตอาจเกิดลักษณะเป็นช่องว่าง หรือทำให้ไม่สามารถถ่ายแรงลงไปที่ชั้นรองพื้นทางได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตที่มีความยืดหยุ่นดี จะสามารถปรับสภาพให้คอนกรีตสามารถถ่ายแรงได้สม่ำเสมอกว่า ทั้งนี้จะต้องพิจารณาขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย (รูปที่ 5) โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน สำหรับวัสดุประเภทพื้นทางผสมซีเมนต์ อยู่ในช่วงระหว่าง 300 – 800 psi (21 – 56.2 ksc) (Jung et. al., 2010)



ภาพที่ 4 ภาพแสดง Curling and Warping เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 5 แบบจำลองการเกิดการแอ่นตัวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นกรณีที่ชั้นพื้นทางมีลักษณะแกร่ง (Perfectly Rigid) และลักษณะยืดหยุ่น (Flexible) (Jung et. al., 2010)

2.3 การกำหนดระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง

ในการกำหนดระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางเพื่อให้ได้ถนนที่มีอายุการใช้งานยาวนานนั้น สำหรับ JPCP FHWA (2007) แนะนำให้ไม่มากกว่า 15 ฟุต ในการพิจารณากำหนดระยะห่างระหว่างรอยแตกสามารถพิจารณาตามขนาดของ Joint Opening ตามสมการ 2 โดยที่ระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง 4.0 m. จะได้ระยะความกว้างของรอยแตกเป็น 0.12 mm. หรือพิจารณาจาก Curling and Warping Stress ตามสมการที่ (3) โดยที่ l/L มีค่า 4.5 ถึง 5.5 (ACI, 2006) ตามรูปที่ 6

$$\Delta L = CL(\alpha_t \Delta T + \varepsilon) \quad (2)$$

โดยที่ ΔL = ระยะความกว้างของรอยแตกเนื่องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

C = Adjustment factor due to slab subbase friction 0.65 for stabilized base and 0.8 for granular subbase

α_t = The coefficient of thermal expansion of concrete (5 ถึง $6*10^{-6}$/°F)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ

ε = Drying shrinkage coefficient of concrete (0.5 ถึง $2.5*10^{-4}$)

$$\ell = \left[\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot (1-\mu^2) \cdot k}\right]^{0.25} \quad (3)$$

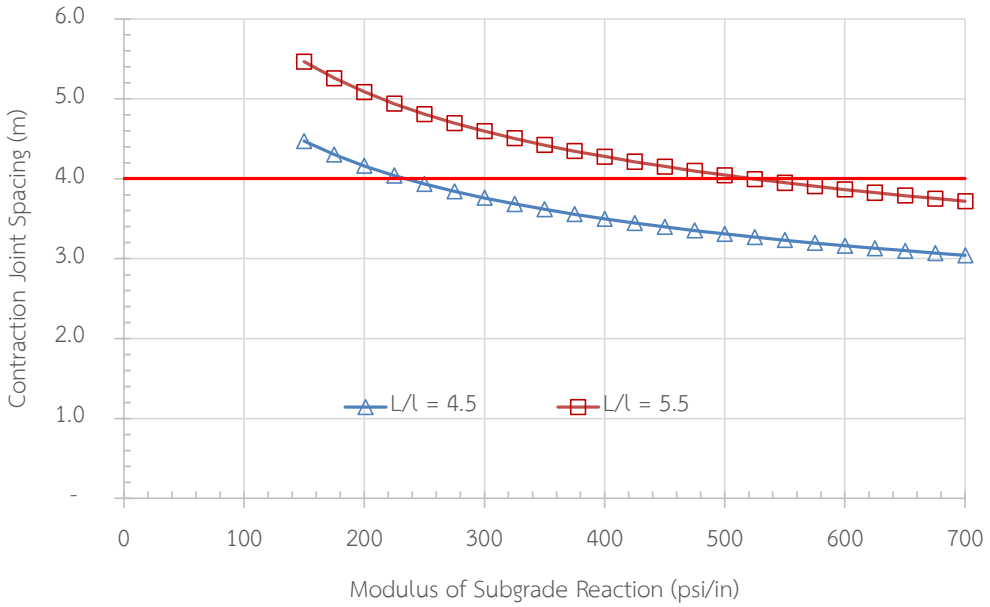
โดยที่ l = Radius of relative stiffness (inch)

Ec = Modulus of elasticity of concrete (psi)

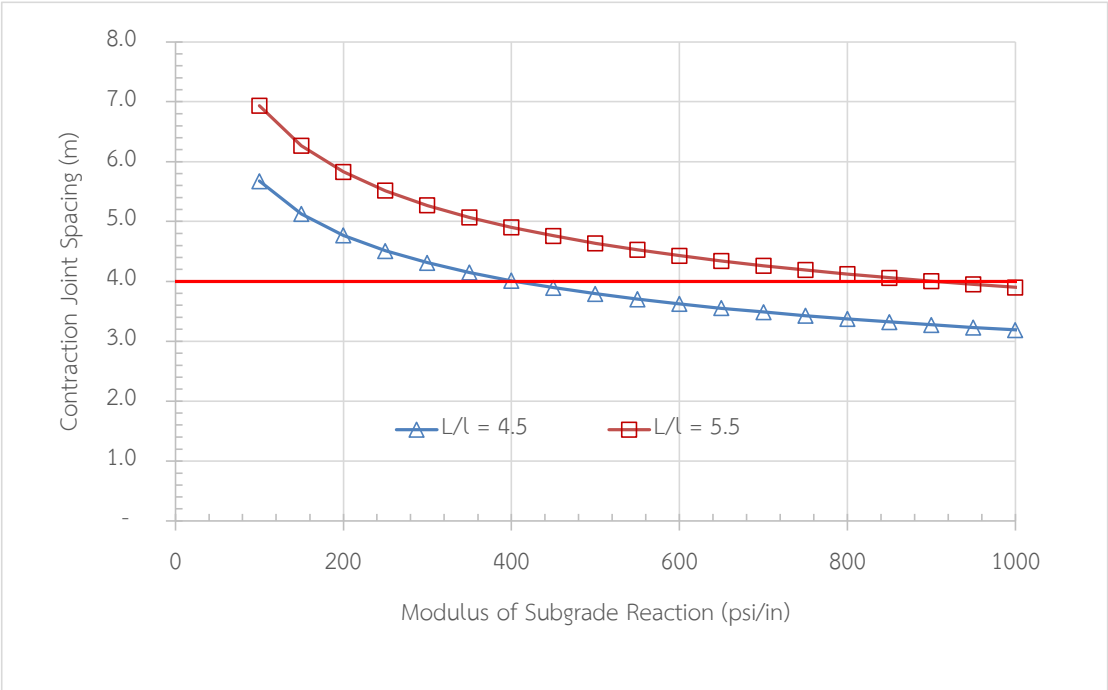
D = Slab thickness (inch)

μ = Poisson's ratio

k = Modulus of subgrade reaction psi/in



รูปที่ 6.1 การพิจารณาระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง
สำหรับความหนาถนนซีเมนต์คอนกรีต 25 เซนติเมตร



รูปที่ 6.2 การพิจารณาระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง
สำหรับความหนาถนนซีเมนต์คอนกรีต 30 เซนติเมตร

2.4 การพิจารณาเหล็กเดือย (Dowel Bars)

ถนนที่มีปริมาณ ESALs น้อยกว่า 5 ล้านเที่ยว ผู้ออกแบบสามารถพิจารณารอยต่อตามขวางที่ไม่มี Dowel Bar ได้ แต่ในกรณีที่ปริมาณ ESALs มากกว่า 5 ล้านเที่ยว ผู้ออกแบบควรพิจารณาให้มี Dowel Bars เพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักโดยการยอมให้แผ่นถนนซีเมนต์คอนกรีตที่รับน้ำหนักถ่ายน้ำหนักบางส่วนล่วงหน้าไปยังแผ่นถนนซีเมนต์คอนกรีตที่อยู่ติดกันก่อนที่น้ำหนักจริงจะข้ามไปสู่แผ่นถัดไป

Dowel Bars เป็นท่อนเหล็กกลม ซึ่งจะช่วยลดการแอ่นตัว คอนกรีตบริเวณรอยต่อ และช่วยลด Stress ที่เกิดขึ้นในแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนักและแผ่นคอนกรีตที่อยู่ติดกันในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดของเหล็ก Dowel Bars ตามวิธีการของ Portland Cement Association (PCA) ปี 1975 แสดงในตารางที่ 2 โดยมีระยะห่างระห่างเหล็ก Dowel Bars 12 นิ้ว หรือ 300 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 ตารางแสดง PCA 1975 Recommended Dowel Size and Length

Slab Thickness (in.)	Dowel Diameter (in.)	Dowel Length (in.)
5	0.625	12
6	0.750	14
7	0.875	14
8	1.000	14
9	1.125	16
10	1.250	18
11	1.333	18
12	1.500	20
All dowels spaced at 12 in. on centers		

ในปี 1991 PCA ได้แนะนำการเลือกใช้ Dowel Bars ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 in. (32 mm.) และ 1.50 in (38 mm.) สำหรับถนนซีเมนต์คอนกรีตความหนาน้อยกว่า 10 in. (254 mm.) และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 in. (38 mm.) สำหรับถนนซีเมนต์คอนกรีตความหนาไม่น้อยกว่า 10 in. (254 mm.) โดยมีระยะห่างระห่างเหล็ก Dowel Bars 12 นิ้ว หรือ 300 มิลลิเมตร

AASHTO ในปี 1993 ได้แนะนำให้ใช้ Dowel Bars ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1/8 เท่าของความหนาถนนซีเมนต์คอนกรีต หรือกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก Dowel Bars ตามขั้นตอนของแต่ละหน่วยงานหรือตามประสบการณ์ โดยมีระยะห่างระห่างเหล็ก Dowel Bars 12 นิ้ว หรือ 300 มิลลิเมตรและความยาว 18 นิ้ว

ในการจัดทำแบบ JPCP ของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้ดำเนินการใช้ขนาดเหล็กเดือยตามตารางที่ 3 โดยใช้ความยาว 48 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าระหว่าง 45 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน AASHTO (1993) และ 50 เซนติเมตร ตามแบบมาตรฐาน JRCP ของกรมทางหลวง

ตารางที่ 3 ขนาด Dowel Bar ที่ใช้ในผิวทาง JPCP

JPCP Thickness (cm.)	Dowel Diameter (mm.)	Dowel Length (cm.)
25	32	48
28	35	48
มากกว่า 30	38	48

2.5 การพิจารณาขนาดของ Tie Bars

เหล็กยึดจะทำหน้าที่ในการยึดแผ่นผิวทางซีเมนต์ในทิศทางการจราจรเข้าด้วยกัน โดยใช้เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars) ทั้งนี้เหล็กยึดไม่สามารถใช้ถ่ายแรงได้เทียบเท่ากับ Dowel Bars

Caltrans ใช้ Tie bars เหล็กข้ออ้อยเบอร์ 6 (19.05 มิลลิเมตร) เกรด 60 (Fy = 4,218 ksc) ความยาว 2.5 ฟุต (75 เซนติเมตร) ระยะห่าง 2 ฟุต 4 นิ้ว (70 เซนติเมตร) สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้พิจารณาใช้ DB16 เกรด SD40 หรือ SD 50 ความยาว 76 เซนติเมตร สำหรับถนนผิวทาง JPCP จำนวนเหล็ก Tie Bars สำหรับ JPCP 1 แผง (4.0 เมตร) ตามที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เหล็กยึด Tie Bar สำหรับ JPCP

Tie Bars	JPCP Thickness					
	23	25	28	30	32	35
DB16 SD40	6	6	7	-	-	-
DB16 SD50	5	5	6	6	7	7

บทที่ 3
การเปรียบเทียบระหว่าง JPCP และ JRCP

3.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของถนน JPCP และ JRCP

กรมทางหลวง ได้ดำเนินการใช้ถนนซีเมนต์คอนกรีตมาเป็นเวลามากกว่า 50 ปี แต่ถนนซีเมนต์คอนกรีตส่วนมากเป็นถนนซีเมนต์คอนกรีตแบบ JRCP ซึ่งต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อควบคุมการแตกร้าว และแร่เหล็กเป็นแร่ที่ไม่มีมากในประเทศไทย จึงต้องนำเข้าเหล็กมาเพื่อใช้ผลิตเหล็กเสริม และในขั้นตอนการผลิตจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นการก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตโดยไม่ต้องทำการเสริมเหล็กควบคุมรอยแตกเช่น ถนน JPCP จะทำให้ค่าก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตมีราคาลดลงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

การตัดรอยต่อตามขวางเพื่อการหดตัว (Contraction Joints) ให้มีระยะห่างลดลงจาก JRCP ที่ระยะ 10 เมตร เป็น 4.0 เมตร จะทำให้มีรอยต่อตามขวางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ต้องมีการเปลี่ยนวัสดุรอยต่อเพิ่มมากขึ้น แต่จากการเก็บข้อมูลถนน JPCP และ JRCP ที่มีสภาพภูมิอากาศ สิ่งแวดล้อม ปริมาณการจราจร เป็นต้น ที่ใกล้เคียงในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อการจัดทำวิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทางในรูปแบบ Mechanistically Empirical Design พบว่าถนนผิวทาง JPCP มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า (Performance) ด้วยราคาค่าก่อสร้างถนนผิวทาง JRCP มีมูลค่าสูงกว่าถนนผิวทาง JPCP แต่มีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่า ดังนั้นในปัจจุบันหน่วยงานทางหลวงต่างๆ จึงยุติการก่อสร้างถนนผิวทาง JRCP (FHWA, 2007) ทั้งนี้งานวิจัย Life Cycle Cost Analysis (LCCA) ของถนนซีเมนต์ซีเมนต์คอนกรีตประเภทต่าง ๆ โดย Kunhee Choi และคณะ (2015) พบว่าถนน JRCP มีอายุการใช้งานน้อยกว่าถนน JPCP ซึ่งหากพิจารณาอายุการใช้งานและการบำรุงรักษาอาจสะดวกและง่ายกว่าจากการไม่มีเหล็กเสริมขวาง ควบคู่ไปกับราคาค่าก่อสร้าง การเลือกใช้ถนน JPCP จึงคาดได้ว่าจะเป็นทางเลือกที่คุ้มค่ากว่าการใช้ถนน JRCP มาก และตารางที่ 5 ได้แสดงข้อดีและข้อด้อยของผิวทางซีเมนต์คอนกรีตแต่ละชนิด

3.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผิวทาง JPCP ไม่มีการเสริมเหล็กเพื่อควบคุมรอยตัดตามขวางแต่จะมีรอยต่อตามขวางเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณเหล็กรอยต่อตามขวางที่เพิ่มขึ้นนั้น มีปริมาณน้อยกว่าเหล็กเสริมเพื่อควบคุมรอยผิวทาง JRCP อีกทั้งผิวทาง JPCP มีการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยกว่าผิวทาง JRCP เนื่องจากมีการกำหนดให้ใช้เถ้าลอย (Fly Ash) จึงสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าเมื่อเทียบกับผิวทาง JRCP นอกจากนี้การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการขับขี่รถยนต์บนผิวทางซีเมนต์คอนกรีตมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ประมาณ 4.7 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงความเร็วในการขับขี่คงที่ (Sumitsawan et al., 2009) ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้ใช้ถนนที่สัญจรบนผิวทางซีเมนต์คอนกรีตจึงมีปริมาณน้อยกว่าถนนแอสฟัลต์คอนกรีต จากข้างต้นจึงสรุปได้ว่าถนนผิว

ทาง JPCP มีประสิทธิภาพดี การบำรุงรักษาน้อย มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าผิวทางชั้นอื่นๆ

3.2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตเหล็ก

ถนนซีเมนต์คอนกรีตแบบ JRCP ซึ่งต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อควบคุมการแตกร้าว และแร่เหล็กเป็นแร่ที่ไม่มีมากในประเทศไทย จึงต้องนำเข้าเหล็กมาเพื่อใช้ผลิตเหล็กเสริมและในขั้นตอนการผลิตจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กมีการใช้พลังงานมากในขบวนการผลิต ซึ่งจากการสำรวจในปี 2563 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กมีการใช้พลังงานประมาณ 5.9 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งโลก และปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ (Izumi et al., 2021) ขั้นตอนการผลิตเหล็กเสริมจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการทำเหมืองแร่เหล็ก จนถึงขั้นตอนการรีดเหล็กสำหรับใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าทุก 1 ตันการผลิตเหล็ก จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1.89 ตัน (Worldsteel, 2023)

3.2.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์มีการใช้พลังงานมาก ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการทำเหมืองหินปูนจนถึงขั้นตอนการขนส่งปูนซีเมนต์สำหรับใช้ในการก่อสร้างฯ PCA ได้ประมาณทุก 1 ตันการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 900 กิโลกรัม รูปแบบ JPCP ของกรมทางหลวง กำหนดให้สามารถใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ซึ่งการทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ซีเมนต์ลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง

ดังนั้นการก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตโดยไม่ต้องทำการเสริมเหล็กควบคุมรอยแตก เช่น ถนน JPCP จะทำให้ค่าก่อสร้างและบูรณะทางหลวงของถนนซีเมนต์คอนกรีตลดลงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ตารางที่ 5 ข้อดีและข้อด้อยของถนน JPCP และ JRCP

ข้อดี	ข้อด้อย
ถนน JRCP	
- เป็นรูปแบบการก่อสร้างที่บุคลากรของกรมทางหลวง มีความคุ้นเคย	- การซ่อมบำรุงและบูรณะทำได้ยากลำบากกว่า JPCP เนื่องจากมีเหล็กเสริมกันร้าวกีดขวางค่าบูรณะถนนมีมูลค่าสูงกว่า - Road User Cost สูงกว่าเนื่องจากต้องมีการบูรณะมากกว่า - น้ำซึมสู่โครงสร้างชั้นทางได้มากขึ้นเนื่องจากระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางมากกว่าทำให้เกิดการหดตัวมากขึ้น ความกว้างรอยตามขวางเพิ่มมากขึ้น
ถนน JPCP	
- ความเสียหายและการบูรณะบริเวณรอยต่อตามขวางลดลงเนื่องจากระยะห่างระหว่างรอยต่อสั้นกว่า - การก่อสร้างทำได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นเนื่องจากไม่ต้องใส่เหล็กเสริมกันร้าว - มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าถนน JRCP เนื่องจากมีราคาค่าก่อสร้างต่ำกว่าแต่มีอายุการใช้งานนานกว่า - ถนนมีความเรียบมากกว่าถนน JRCP (ค่าความเรียบภายการก่อสร้างสมมุติให้มีค่าเท่ากัน)	- เป็นรูปแบบการก่อสร้างที่บุคลากรของกรมทางหลวง ไม่มีความคุ้นเคยแต่ลักษณะการก่อสร้างถนนเหมือนกัน - มีการบำรุงรักษารอยต่อในการเปลี่ยน Joint Sealers เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณรอยต่อตามขวางเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าบูรณะก่อสร้างน้อยกว่าเนื่องจากมีประสิทธิภาพใช้งานสูงกว่า

3.3 การเปรียบเทียบด้านราคาค่าก่อสร้าง

เนื่องจากถนน JPCP ไม่มีการใช้เหล็กเสริมยกเว้นเหล็กตามแนวต่อตามขวางและตามยาว ราคาค่าก่อสร้างผิวทาง JPCP ลดลง 15.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผิวทางซีเมนต์คอนกรีตความหนา 28 เซนติเมตร โดยค่าก่อสร้างตามที่แสดงในตารางที่ 6 7 และ 8 เป็นดังนี้

ราคาค่าก่อสร้างถนนผิวทาง JRCP = 11,460,994.31 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร

ราคาค่าก่อสร้างถนนผิวทาง JPCP = 9,644,732.01 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร

$$\text{ราคาค่าก่อสร้างลดลง} = \frac{๑๑,๔๖๐,๙๙๔.๓๑ - ๙,๖๔๔,๗๓๒.๐๒}{๑๑,๔๖๐,๙๙๔.๓๑} \times ๑๐๐ = ๑๕.๘\%$$

ถึงแม้ว่าถนนผิวทาง JPCP มีระยะรอยแตกตามขวางทุก 4 เมตร มากกว่าถนนผิวทาง JRCP แต่ถนนผิวทาง JPCP มีราคาค่าก่อสร้างถูกกว่าถนนผิวทาง JRCP 15.8% สำหรับผิวทางซีเมนต์คอนกรีตหนา 28 เซนติเมตร ดังนั้น การใช้ถนนผิวทาง JPCP จะเป็นการประหยัดงบประมาณของประเทศได้ หรือได้ถนนที่มีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น

ตารางที่ 6 ราคาต้นทุนค่าก่อสร้างถนน JPCP และ JRCP
สำหรับความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 28 เซนติเมตร ความกว้าง 12 เมตร

รายการ								JRCP	JPCP
ปริมาณงาน							=	๑๒,๐๐๐.๐๐ ตร.ม.	๑๒,๐๐๐.๐๐ ตร.ม.
Pavement Size							=	๓.๕๐x๑๐.๐๐ ม.	๓.๕๐x๔.๐๐ ม.
Pavement Thickness							=	๐.๒๘ ม.	๐.๒๘ ม.
ปริมาณงาน							=	๓,๓๖๐.๐๐ ลบ.ม.	๓,๓๖๐.๐๐ ลบ.ม.
ค่าติดตั้งเครื่องผสม	=	๑๕๐๐๐๐	/	๒๘,๐๐๐			=	๕.๓๖ บ/ลบ.ม.	๕.๓๖ บาท/ลบ.ม.
ค่าคอนกรีต+ค่าติดตั้งเครื่องผสม	=	๒,๒๑๑.๑๒	+	๕.๓๖			=	๒,๒๑๖.๔๘ บ/ลบ.ม.	๒,๒๑๖.๔๘ บาท/ลบ.ม.
คิดจากพื้นที่							=	๓๕.๐๐ ตร.ม.	๑๔.๐๐ ตร.ม.
ค่าคอนกรีต							=	๒๑,๗๒๑.๔๘ บาท	๘,๖๘๘.๕๙ บาท
ค่าขนส่ง ๒ กม. JRCP	=	๒.๐๐	x	๑๖.๐๑	x	๙.๘๐	=	๓๑๓.๘๐ บาท	
ค่าขนส่ง ๒ กม. JPCP	=	๒.๐๐	x	๑๖.๐๑	x	๓.๙๒	=		๑๒๕.๕๒ บาท
ค่าเหล็กมุม DB๑๖ SD๔๐	=	๕.๘๖	กก.		x	๒๖.๘๒	=	๑๕๗.๑๙ บาท	
ค่าเหล็กเสริม JRCP: DB๑๒	=	๒๓๕.๒	กก.		x	๒๖.๘๒	=	๖,๓๐๖.๙๑ บาท	
ค่าลวดผูกเหล็ก (๒.๕%)	=	๕.๘๗๙	กก.		x	๓๐.๗๒	=	๑๘๐.๖๐ บาท	
ค่าไม้แบบ ๒ ด้าน : JRCP	=	๒๐.๖	x	๑๐.๐๐			=	๒๐๖.๐๐ บาท	
ค่าไม้แบบ ๒ ด้าน : JPCP		๒๐.๖	x	๔.๐๐			=		๘๒.๔๐ บาท
ค่าปูผิวคอนกรีต : JRCP	=	๑๒.๓๖	x	๓๕			=	๔๓๒.๖๐ บาท	
ค่าปูผิวคอนกรีต : JPCP		๑๒.๓๖	x	๑๔					๑๗๓.๐๔ บาท
ค่าบ่ม : JRCP	=	๙.๙๕	x	๓๕			=	๓๔๘.๒๕ บาท	
ค่าบ่ม : JRCP		๙.๙๕	x	๑๔					๑๓๙.๓๐ บาท
ค่าขัดหยาบผิวพื้น : JRCP	=	๓๐.๐๐	x	๓๕			=	๑,๐๕๐.๐๐ บาท	
ค่าขัดหยาบผิวพื้น : JPCP		๓๐.๐๐	x	๑๔					๔๒๐.๐๐ บาท
ค่าใช้จ่ายรวม	=						=	๓๐,๗๑๖.๘๓ บาท	๙,๒๐๘.๘๕ บาท
ค่างานต้นทุนซีเมนต์คอนกรีต	=						=	๘๗๗.๖๒ บาท/ตร.ม.	๖๕๗.๗๗ บาท/ตร.ม.
ราคาต่อ ๑ กิโลเมตร	=	๑๒,๐๐๐.๐๐					=	๑๐,๕๓๑,๔๘๓.๘๔ บาท/กม.	๗,๘๙๓,๒๙๘.๙๗ บาท/กม.
ค่ารอยต่อตามยาว : JRCP	=	๓,๐๐๐.๐๐		เมตร	x	๙๙.๗๒	=	๒๙๙,๑๖๒.๘๓ บาท	
ค่ารอยต่อตามยาว : JPCP	=	๓,๐๐๐.๐๐		เมตร	x	๙๕.๑๕	=		๒๘๕,๔๔๗.๖๐ บาท
ค่ารอยต่อตามขวาง : JRCP	=	๑,๒๐๐.๐๐		เมตร	x	๕๒๕.๒๙	=	๖๓๐,๓๔๗.๖๔ บาท	
ค่ารอยต่อตามขวาง : JPCP	=	๒,๘๘๐.๐๐		เมตร	x	๕๐๙.๐๒	=		๑,๔๖๕,๙๘๕.๔๕ บาท
รวมราคาต่อ ๑ กิโลเมตร							=	๑๑,๔๖๐,๙๙๔.๓๑ บาท/กม.	๙,๖๔๔,๗๓๒.๐๒ บาท/กม.

ตารางที่ 7 ราคาต้นทุนรอยต่อตามขวาง (Contraction Joints) ของถนน JPCP และ JRCP
สำหรับความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 28 เซนติเมตร ความกว้าง 12 เมตร

Contraction Joint : JRCP

คิดจากความยาว	๓.๕๐๐ ม.				
ค่าเหล็กเดือย ๓๕ มม.	๔๕.๓๑๖ กก.	@	๓๑.๔๑	=	๑๔๒๓.๓๖
ค่าเหล็ก SR๒๔ RB๖	๕.๓๐๖ กก.	@	๒๘.๔๖	=	๑๕๑.๐๑
ค่าเชื่อมเหล็ก	๕.๓๐๖ กก.	@	๑๐.๐๐	=	๕๓.๐๖
ค่าตัด Joint + หยอดยาง	๓.๕๐๐ ม.	@	๒๔.๖๑	=	๘๖.๑๔
ทาสี + จาระบี	๑๒.๐๐๐ ชุด	@	๔.๐๐	=	๔๘.๐๐
Joint Sealer	๑.๗๑๐ ลิตร	@	๔๕.๐๐	=	๗๖.๙๕
ค่าใช้จ่ายรวม				=	๑๘๓๘.๕
ค่างานต้นทุน				=	๕๒๕.๒๙ บาท / ม.

Contraction Joint : JPCP

คิดจากความยาว	๓.๕๐๐ ม.				
ค่าเหล็กเดือย ๓๕ มม.	๔๓.๕๐๓ กก.	@	๓๑.๔๑	=	๑๓๖๖.๔๓
ค่าเหล็ก SR๒๔ RB๖	๕.๓๐๖ กก.	@	๒๘.๔๖	=	๑๕๑.๐๑
ค่าเชื่อมเหล็ก	๕.๓๐๖ กก.	@	๑๐.๐๐	=	๕๓.๐๖
ค่าตัด Joint + หยอดยาง	๓.๕๐๐ ม.	@	๒๔.๖๑	=	๘๖.๑๔
ทาสี + จาระบี	๑๒.๐๐๐ ชุด	@	๔.๐๐	=	๔๘.๐๐
Joint Sealer	๑.๗๑๐ ลิตร	@	๔๕.๐๐	=	๗๖.๙๕
ค่าใช้จ่ายรวม				=	๑๗๘๑.๖
ค่างานต้นทุน				=	๕๐๙.๐๒ บาท / ม.

ตารางที่ 8 ราคาต้นทุนรอยต่อตามยาว (Longitudinal Joints) ของถนน JPCP และ JRCP
สำหรับความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 28 เซนติเมตร ความกว้าง 12 เมตร

Longitudinal Joint : JRCP

คิดจากความยาว	๑๐.๐๐๐ ม.				
ค่าเหล็ก SD๔๐	๒๐.๔๕๕ กก.	@	๒๖.๘๒	=	๕๔๘.๖๑
ค่าตัด Joint + หยอดยาง	๑๐.๐๐๐ ม.	@	๒๔.๖๑	=	๒๔๖.๑๐
Joint Sealer	๔.๕๐๐ ลิตร	@	๔๕	=	๒๐๒.๕๐
ค่าใช้จ่ายรวม				=	๙๙๗.๒๑
ค่างานต้นทุน				=	๙๙.๗๒ บาท / ม.

Longitudinal Joint : JPCP

คิดจากความยาว	๔.๐๐๐ ม.				
ค่าเหล็ก SD๕๐	๖.๘๑๘ กก.	@	๒๙.๕๐	=	๒๐๑.๑๖
ค่าตัด Joint + หยอดยาง	๔.๐๐๐ ม.	@	๒๔.๖๑	=	๙๘.๔๔
Joint Sealer	๑.๘๐๐ ลิตร	@	๔๕	=	๘๑.๐๐
ค่าใช้จ่ายรวม				=	๓๘๐.๖๐
ค่างานต้นทุน				=	๙๕.๑๕ บาท / ม.

บทที่ 4
สรุปผล

4.1 สรุปผล

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การใช้ถนนผิวทาง JPCP จะทำให้ค่าก่อสร้างบูรณะถนนจะมีมูลค่าลดลง ลดค่าใช้จ่ายในการบูรณะเนื่องจากถนนผิวทาง JPCP มีประสิทธิสูงกว่าถนนผิวทาง JRCP

2. ถนน JPCP มีความเรียบมากกว่าถนน JRCP ภายหลังการเปิดการจราจรเนื่องจากระยะห่างระหว่างรอยตัดตามขวางมีระยะสั้นกว่าจึงทำให้เกิดการแอ่น/โกร่งตัวน้อยกว่า

3. ถนน JPCP คาดว่าจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนน JRCP เนื่องจากระยะห่างระหว่างรอยตัดตามขวางมีระยะสั้นกว่า จึงทำให้เกิดการหด/ยืดตัวน้อยกว่า ยังผลให้น้ำสามารถซึมผ่านได้น้อยกว่า โครงสร้างทางด้านล่างมีอายุการใช้งานยาวนานเพิ่มขึ้น

4. เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีการใช้เหล็กเสริมกันการแตกร้าวและได้กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) และเถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนการผลิตเหล็กเสริมรวมทั้งปูนซีเมนต์ซีเมนต์ และเถ้าลอยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน

5. ลดภาระการจัดสรรงบประมาณในการบูรณะทางหลวง เนื่องจากถนน JPCP มีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่าถนน JRCP และมีแนวทางการบำรุงรักษาถนนคอนกรีต JRCP เฉพาะจุด (ไม่ต้องบูรณะ Full Depth ทั้งแผง 35 ตารางเมตร)

6. ผู้ขับขี่รถยนต์จะมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

7. สามารถใช้ในการซ่อมแซมถนนผิวทาง JRCP ที่มีอยู่เดิม เพื่อสามารถลดพื้นที่ที่จะต้องทำการซ่อมแซมแบบลึกได้ (Full Depth Repair)

เอกสารอ้างอิง

1. ACPA (2005) ACPA 2005 Survey of State Agencies. ACI 2006
2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC.Caltrans Highway Design Manual
3. FHWA (2007), Tech Brief: Long-Life Concrete Pavements: Best Practices and Directions from the States., Washington, D.C., USA.Izumi et al 2021
4. Aloreaza Mokhtar and Mohsen Nasooti (2020) A Decision Support tool for Cement Industry to Select Energy Efficiency Measures, Energy Strategy Review
5. Yoshito Izumi, Atsushi Iizuka and Hsing-Jung Ho (2021) Calculation of Greenhouse Gas Emissions for a Carbon Recycling System Using Mineral Carbon Capture and Utilization Technology in the Cement Industry, Journal of Cleaner Production.
6. Portland Cement Association, (1975), Basic Concrete Construction Practices, John Wiley &Sons, Inc., NY., USA.
7. Portland Cement Association, The Design for Concrete Highway and Street Pavements. PCA, Skokie, IL, USA. (1984).
8. Portland Cement Association, (1991), Concrete Paving – 100 Years of Progress Through Innovation. Concrete in Highway Transportation, No. 10, Portland Cement Association, Skokie, IL., USA.Sumisawan et al 2009
9. Palinee Sumitsawan, Stefan Romanoschi and Siamak A. Ardekani (2009) Effect of Pavement Type on Fuel Consumption and Emissions, Proceedings of the 2009 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa.
10. TXDOT (2021) Pavement Design Manual, Texas Department of Transportation, Texas
11. Jung Y.S., Zollinger D.G., Cho B.G., Won M., and Wimsatt A.J. (2010). “Subbase and Subgrade Performance Investigation and Design Guidelines for Concrete Pavement, Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office.

12. Kunhee Choi, Hyun Woo Lee, Zhuting Mao, Sarel Lavy, Boong Yeol Ryoo (2015), Environmental, Economic, and Social Implications of Highway Concrete Rehabilitation Alternatives, American Society of Civil Engineers, V.A., USA.
13. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2527), การออกแบบความหนาผิวทางคอนกรีตตามวิธีของ PCA, วารสารวิศวกรรมโยธาและการก่อสร้าง ฉบับที่ 3 ปีที่ 1 หน้าที่ 245-294

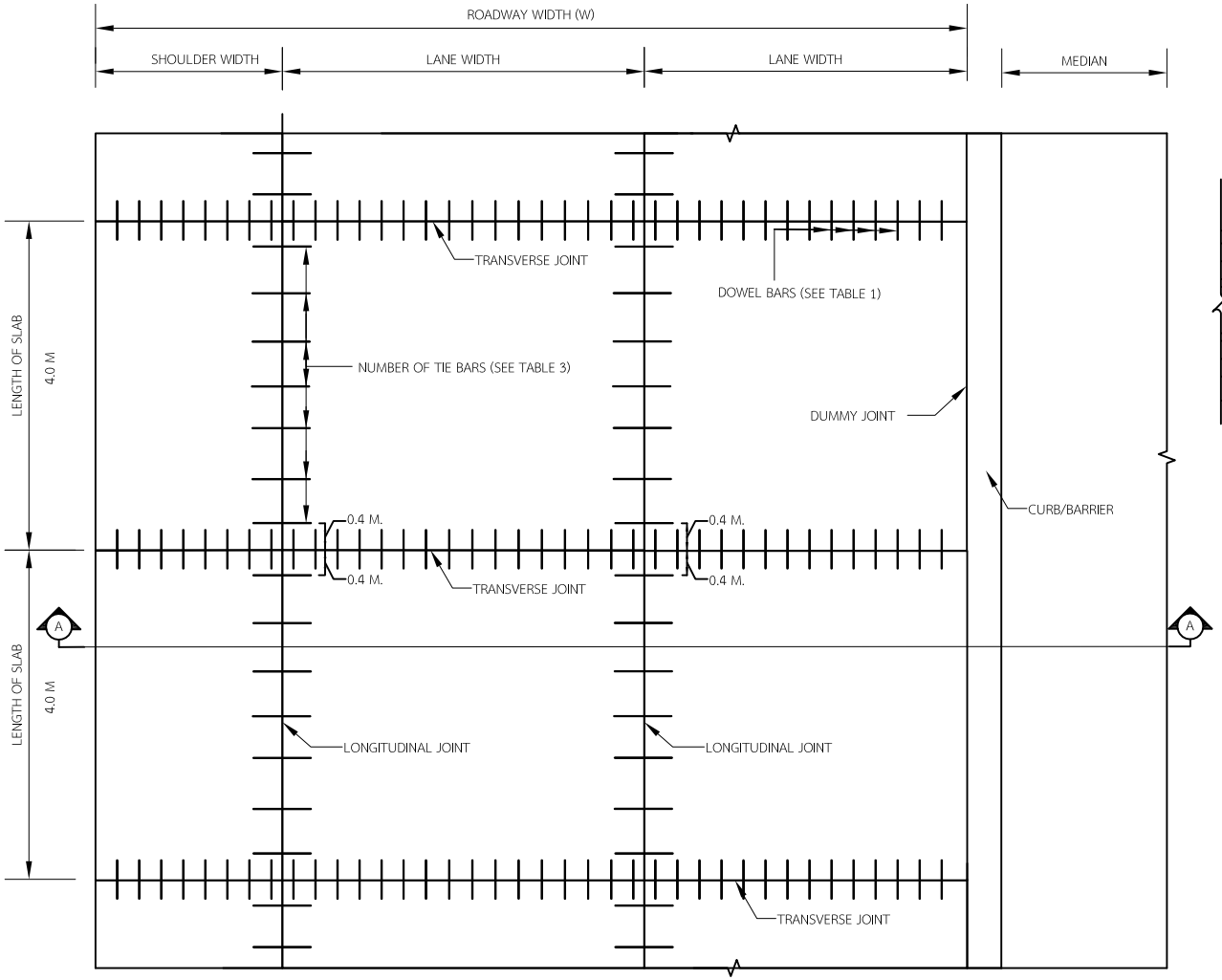
ภาคผนวก ก

แบบก่อสร้างแนะนำ Joint Plain Concrete Pavement (JPCP)

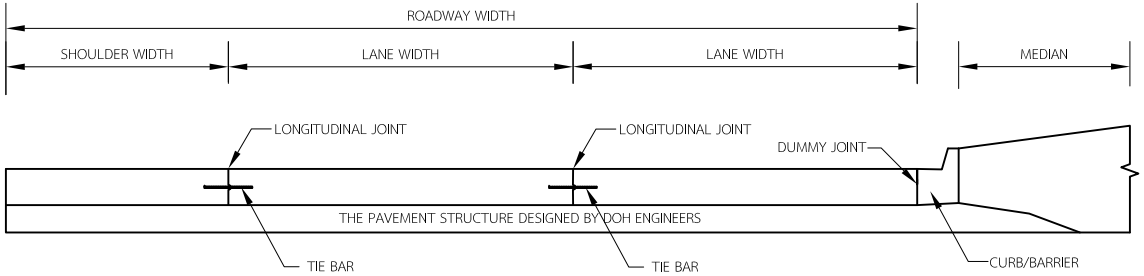
รายการประกอบแบบ

1. มิติต่างๆ ที่แสดงไว้ในแบบเป็นหน่วยเมตร ยกเว้นระบุไว้เป็นอย่างอื่น
2. การก่อสร้างถนนคอนกรีตต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.309 "มาตรฐานถนนซีเมนต์คอนกรีต"
3. คอนกรีตสำหรับผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ (JPCP) ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
   3.1 คอนกรีตต้องมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดประลัยไม่น้อยกว่า 350 KSC สำหรับตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ขนาด 0.15 x 0.15 x 0.15 ม. ที่อายุ 28 วัน และค่าโมดูลัสแตกร้าวไม่น้อยกว่า 42 KSC สำหรับตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปคาน ขนาด 0.15 x 0.15 x 0.60 ม. ที่อายุ 28 วัน โดยคอนกรีตต้องมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 350 กก./ลบ.ม. หรือสามารถใช้เถ้าลอยมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2135 ทดแทนปูนซีเมนต์ได้ไม่เกินร้อยละ 15 ของปริมาณปูนซีเมนต์ ทั้งนี้ปริมาณเถ้าลอยต้องไม่น้อยกว่า 45 กก./ลบ.ม. และปริมาณปูนซีเมนต์ต้องไม่น้อยกว่า 305 กก./ลบ.ม. โดยต้องมีค่า W/B ไม่มากกว่า 0.42 โดยน้ำหนัก และค่ายุบตัวไม่มากกว่า 0.07 ม. และต้องบ่มก้อนตัวอย่างในขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม ตามการบ่มที่พื้นที่ก่อสร้าง
   3.2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็น ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป สัญลักษณ์ GU ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594 หรือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 หรือชนิดอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง
   3.3 วัสดุมวลรวม ต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก.201 สำหรับมวลรวมละเอียด และข้อกำหนดที่ ทล.-ก.202 สำหรับมวลรวมหยาบ
      3.3.1 ห้ามใช้กรวดเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ
      3.3.2 สามารถใช้ Manufactured Sand (M-Sand) ที่มีคุณภาพตาม ทล.-ก.201 ข้อกำหนดมวลรวมละเอียดสำหรับผสมคอนกรีต และหินที่นำมาผลิต M-Sand ต้องไม่มีองค์ประกอบของแร่ที่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์หรือน้ำแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรซึ่งอาจเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายได้ เช่น แร่โดโลไมต์ แร่แอนไฮไดรต์ เป็นต้น โดยให้เก็บตัวอย่าง M-Sand จากโรงงานผสมคอนกรีต เพื่อทดสอบหาขนาดคละและปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมละเอียดตาม ทล.-ก 201 ทุกการใช้งานคอนกรีต 500 ลบ.ม.
   3.4 สารเคมีผสมเพิ่ม มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.733 จะใช้เมื่อได้รับความเห็นชอบจากโครงการฯ ก่อนใช้งาน
4. การเทคอนกรีตต้องใช้เครื่องปูผิวทางคอนกรีต (CONCRETE PAVER) หรือ SLIP FORM PAVER ในกรณีจำเป็นที่จะต้องเทคอนกรีตด้วยแรงงาน คนให้เทได้เฉพาะช่วงที่เว้นไว้ยาวติดต่อไม่เกิน 30 เมตร
   4.1 พิกัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต ค่าความยุบตัวของคอนกรีต ไม่มากกว่า 0.07 ม. ค่ายุบตัวทดลองตาม ทล.-ท.304
   4.2 เครื่องปูคอนกรีต ต้องเป็นเครื่องที่เลื่อนไปมาได้อัตโนมัติบนแบบหล่อหรือบนรางที่ติดตั้งไว้ด้านข้างแบบหล่อ หรือที่มีแบบด้านข้างที่เคลื่อนที่พร้อมกับเครื่องปู พร้อมติดตั้งเครื่องเกลี่ยคอนกรีตให้แผ่กระจายเต็มผิวหน้าของแบบ
   4.3 เครื่องสั่นสะเทือน ต้องสั่นสะเทือนได้เต็มความกว้างของแผ่นพื้นที่หล่อ ทั้งชนิดแผ่นสั่นสะเทือนหรือชนิดเครื่องสั่นสะเทือนภายใน แต่ต้องไม่กระทบกับแบบหล่อ เหล็กเดือย หรือเหล็กยึด
   4.4 ในกรณีที่ก่อสร้างโดยการตั้งแบบหล่อจะต้องมีความสูงไม่น้อยกว่าความหนาแผ่นพื้นคอนกรีต และห้ามใช้วัสดุมวลรวมละเอียด เช่น ทราย หรือหินฝุ่น เป็นต้น อุดช่องว่างระหว่างใต้แบบหล่อกับชั้นรองถนนคอนกรีต
5. ระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางแผ่นคอนกรีตสามารถปรับให้อยู่ในระหว่างระยะ 3.2 ม. จนถึง 4.0 ม. เพื่อให้เข้ากับตำแหน่งของสะพาน หรือจุดสิ้นสุดของถนนเดิม
6. ระยะห่างระหว่างรอยต่อตามยาว
   6.1 ต้องไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร ในบริเวณผิวจราจร
   6.2 ต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ในบริเวณไหล่ทาง
7. รายละเอียดของรอยต่อบริเวณ MANHOLE ให้ดำเนินการตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง DWG.NO.GD-603
8. น้ำยาบ่มคอนกรีตหลังการพ่นจะต้องมีลักษณะเป็น FILM เคลือบผิวหน้าถนน JPCP
9. ชั้นรองถนนคอนกรีตสามารถพิจารณาใช้แอสฟัลต์คอนกรีต , หินคลุกปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ (CTB), หินคลุกผสมซีเมนต์, ดินซีเมนต์, Cement Concrete รองผิวทาง, หรือหินคลุก โดยห้ามนำวัสดุใด ๆ ปรับระดับชั้นรองถนนคอนกรีตให้ได้ระดับตามแบบ และวัสดุชั้นรองถนนคอนกรีตให้มีคุณสมบัติตามรายละเอียดดังนี้
   9.1 แอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนคอนกรีต ข้อกำหนดวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีต และตาม ทล .-ม.408
   9.2 หินคลุกปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ (CTB) ตาม ทล.-ม.214
   9.3 หินคลุกผสมซีเมนต์ ตาม ทล.-ม.203
   9.4 ดินซีเมนต์ ตาม ทล.-ม.204 โดยให้เจาะเก็บตัวอย่าง (Coring) ที่อายุการบ่มไม่น้อยกว่า 7 วัน ทุกพื้นที่ 5,000 ตารางเมตร เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของวัสดุ
   9.5 ซีเมนต์คอนกรีตรองผิวทางซีเมนต์คอนกรีตรอง ต้องมีค่ากำลังต้านทางแรงอัดประลัยไม่น้อยกว่า 210 KSC สำหรับตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ขนาด 0.15 x 0.15 x 0.15 ม. ที่อายุ 28 วัน โดยคอนกรีตต้องมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 180 กก./ลบ.ม. หรือสามารถใช้เถ้าลอยมีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2135 ทดแทนปูนซีเมนต์ได้ไม่เกินร้อยละ 15 ของปริมาณปูนซีเมนต์ โดยต้องมีค่า W/B ไม่มากกว่า 0.48 โดยน้ำหนัก และค่ายุบตัวไม่มากกว่า 0.10 ม. และต้องบ่มก้อนตัวอย่างในขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม ตามการบ่มที่พื้นที่ก่อสร้าง
   9.6 หินคลุกรองถนนคอนกรีต ตาม ทล.-ม.212 มีค่า CBR ≥ 80% ขนาดคละต้องมีส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ≤ 10 % ทั้งนี้
      - วัสดุฯตามข้อ 9.2 - 9.5 ต้องมีชั้น Interlayer เช่น วัสดุตามข้อ 9.1 หรือแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต (GEOTEXTILE INTERLAYER FOR CEMENT CONCRETE PAVEMENT)
      - วัสดุฯ ตามข้อ 9.6 อาจพิจารณาใช้ชั้น Interlayer เช่น วัสดุตามข้อ 9.1 หรือแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต (GEOTEXTILE INTERLAYER FOR CEMENT CONCRETE PAVEMENT)
10. สุ่มทดสอบความหนาของถนนคอนกรีต โดยการเจาะเก็บ จำนวนไม่น้อยกว่า 2 จุด ต่อพื้นที่ไม่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร โดยจุดที่สุ่มเจาะเก็บตัวอย่างต้องไม่อยู่ในแนวร่องล้อของรถบรรทุก หรือใช้อุปกรณ์ GPR ทดสอบเพื่อประมาณความหนา (ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นของผู้รับจ้าง)
11. วัสดุยารอยต่อ (MASTIC JOINT SEALER) ต้องเป็นวัสดุยืดหยุ่นชนิดเทร้อนที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก .479
12. วัสดุแผ่นกั้นรอยต่อ (JOINT FILLER) ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก .1041 และ มอก.1079
13. รอยต่อทุกประเภทยกเว้นรอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ต้องก่อสร้างโดยใช้เครื่องตัดคอนกรีต (SLOT CUTTING MACHINE) เท่านั้นห้ามใช้ไม้ โฟม หรือวัสดุต่างๆในการตั้นทำรอยต่อ
14. การเตรียมรอยต่อสำหรับวัสดุยารอยต่อ
   14.1 ต้องทำความสะอาดรอยต่อด้วยเครื่องเป่าเพื่อกำจัดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกทุกประเภทออก และรอยต่อต้องอยู่ในสภาพแห้งเท่านั้น
   14.2 การทารองพื้นรอยต่อ (JOINT PRIMER) ก่อนหยอดวัสดุยารอยต่อ (MASTIC JOINT SEALER) ต้องใช้แปรงหรือเครื่องพ่นในการทำ โดยที่รอยต่อต้องถูกทำให้แห้งก่อนที่จะเทวัสดุยารอยต่อที่ผ่านการให้ความร้อนและละลายโดยการนำความร้อนจนได้อุณหภูมิที่กำหนด
   14.3 ต้องทำการบากร่องรอยต่อแล้วเทวัสดุยารอยต่อให้เร็วที่สุด
   14.4 การเทวัสดุยารอยต่อจะต้องใช้เครื่องมือสำหรับการเทวัสดุยารอยต่อ
15. เหล็กเสริม ที่ใช้ในการก่อสร้างต้องไม่เป็นสนิมและเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้
   15.1 เหล็กเสริมรอยต่อตามยาว (TIE BAR) จะต้องเป็นเหล็กข้ออ้อย (DEFORMED BAR) ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก .24
   15.2 เหล็กเดือยจะต้องเป็นเหล็กกลมผิวเรียบ (PLAIN AND ROUND BAR) มีกำลังที่จุดคราก (YIELD STRENGTH) ไม่น้อยกว่า 420 MPa และมีคุณภาพตามมาตรฐาน AASHTO M31 GRADE 60 หรือ ASTM A615 GRADE 60 และห้ามใช้เหล็กที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ในระหว่างการผลิต (HEAT TREATMENT) โดยบริเวณปลายเหล็กเดือยต้องเรียบ และใช้ในตัดเหล็กในการตัดเท่านั้น การติดตั้งเหล็กเดือย ต้องวางขนานกับชั้นรองผิวทางคอนกรีต และมีทิศทางตามแนวการจราจร
16. แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (PLASTIC SHEET) ที่ใช้ในการก่อสร้างต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM E1745 และเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้
   16.1 แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต ใช้สำหรับหินคลุกรองถนนคอนกรีตเท่านั้น ให้ยกเลิกการใช้แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต ในกรณีที่ชั้นรองถนนคอนกรีตเป็นวัสดุ แอสฟัลต์คอนกรีต หรือแผ่นใยสังเคราะห์
   16.2 แผ่นพลาสติกต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 0.30 มม. โดยให้นายช่างผู้ควบคุมงานทำการสุ่มตรวจความหนาของแผ่นพลาสติกทุกวันที่ทำการก่อสร้าง
   16.3 ความกว้างของแผ่นพลาสติกต้องไม่น้อยกว่า 1.20 ม.
   16.4 แผ่นพลาสติกต้องมีลักษณะโปร่งใส ไม่มีสี กันน้ำ และไม่มีรู บริเวณขอบต้องเป็นเส้นตรง บริเวณที่ทำการพับและบริเวณที่พอง ต้องสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นรูและขาด
   16.5 แผ่นพลาสติกต้องยาวต่อเนื่องตลอดความกว้างของช่องจราจรทั้งหมด ถ้าจำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อแผ่นพลาสติกให้ทำบริเวณรอยต่อตามยาว โดยให้แผ่นพลาสติกที่จะทำการเชื่อมต่อวางซ้อนทับกันอย่างน้อย 20 ซม.
17. กาวอีพ็อกซี่ (EPOXY) ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM A884/A884M-12 หรือเทียบเท่า
18. แผ่นใยสังเคราะห์ (GEOTEXTILE) รองใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต น้ำหนักไม่น้อยกว่า 180 กรัม/ตร.ม. และต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน AASHTO A288-05 หรือเทียบเท่า
19. รอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ใช้ในบริเวณจุดเชื่อมต่อโครงสร้างสะพาน หรือแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณคอสะพาน (APPROACH SLAB) หรือกรณีที่ผิวทางคอนกรีตเดิมเป็น Expansion Joint เท่านั้น
20. การเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบ ให้ดำเนินการที่พื้นที่ก่อสร้างก่อนการเทคอนกรีตและบ่มตามสภาพการบ่มถนนจริงเท่านั้น
21. ดำเนินการตัดรอยต่อตามขวางให้รวดเร็วที่สุด โดยถ้าเกิดรอยแตกตามขวางไม่ตรงกับรอยตัดตามขวางที่ได้ดำเนินการไว้ ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการก่อสร้างใหม่ทั้งแผ่น และค่าใช้จ่ายจะต้องเป็นของผู้รับจ้าง
22. การกวาดผิวหน้าถนนคอนกรีต ความลึกของรอยกวาดต้องประมาณ 2 - 3 มม.
23. ให้ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบค่าโมดูลัสแตกร้าว จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อพื้นที่ไม่มากกว่า 10,000 ตร.ม.

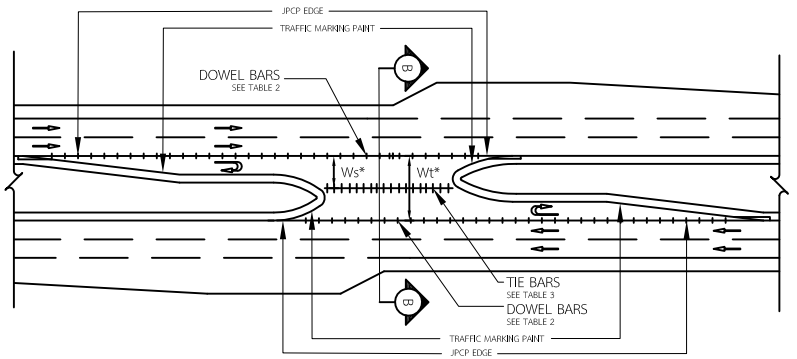
JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) SPACIFICATIONS	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-001



PLAN

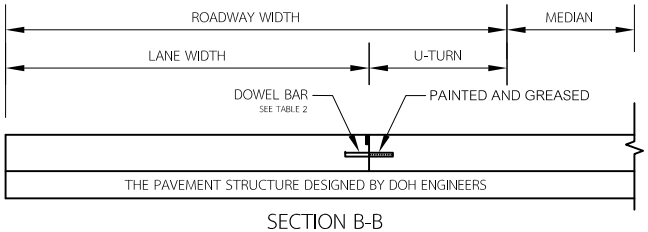


SECTION A-A



DETAILS OF JOINT OF U-TURN

* Wt ≤ 15.0 เมตร
* 3.0 เมตร ≤ Ws ≤ 4.5 เมตร



SECTION B-B

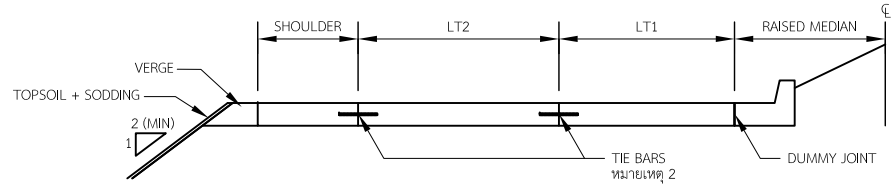
หมายเหตุ : ให้ผู้รับจ้างจัดทำรูปแบบรอยต่อ บริเวณทางร่วมทางแยก เสนอต่อโครงการก่อนดำเนินการก่อสร้าง

หมายเหตุ

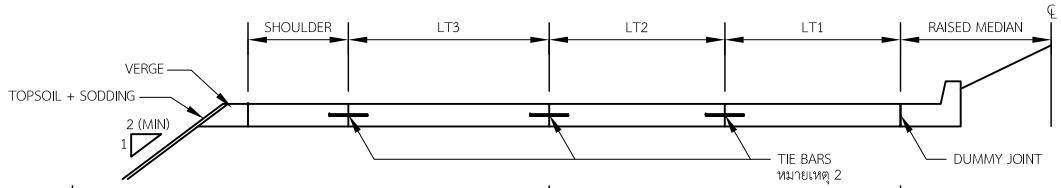
1. ให้ดู DETAIL OF JOINTS ในแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-005 และ DWG-MAI-JPCP-006 สำหรับรายละเอียดรอยต่อชนิดต่างๆ
2. ขนาดและจำนวน TIE BAR ให้ใช้ตาม TABLE 3 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
3. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว TRANSVERSE JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 1 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
4. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว LONGITUDINAL JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 2 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
5. ระยะ DISTANCE FROM FREE EDGE TO FREE EDGE ต้องไม่เกิน 15 M.

NOT TO SCALE

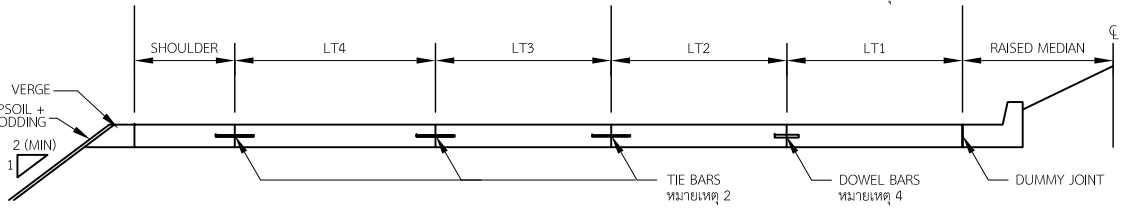
JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) PLAN SECTION AND REINFORCEMENT DETAILS	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-002



2 LANES WITH RAISED MEDIAN



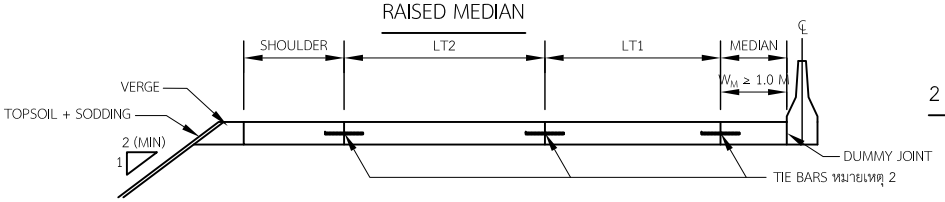
3 LANES WITH RAISED MEDIAN



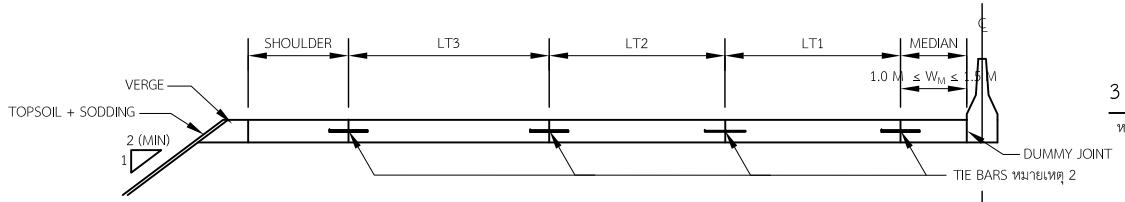
4 LANES WITH RAISED MEDIAN

หมายเหตุ 5

RAISED MEDIAN

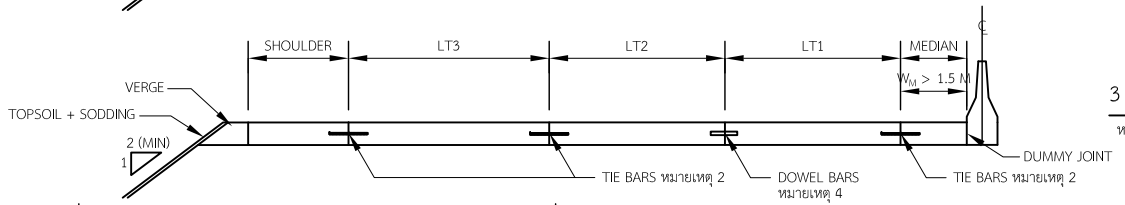


2 LANES WITH BARRIER MEDIAN



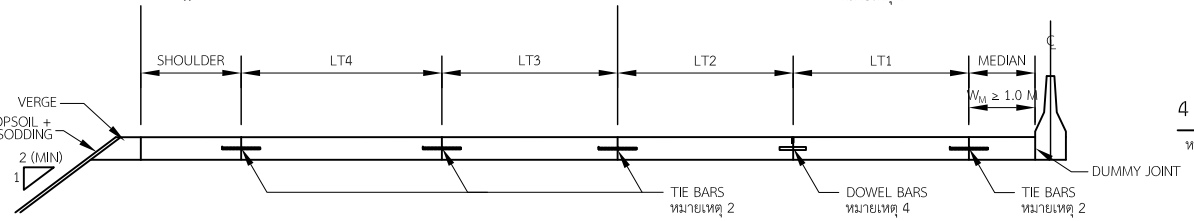
3 LANES WITH BARRIER MEDIAN

หมายเหตุ 5



3 LANES WITH BARRIER MEDIAN

หมายเหตุ 5



4 LANES WITH BARRIER MEDIAN

หมายเหตุ 5

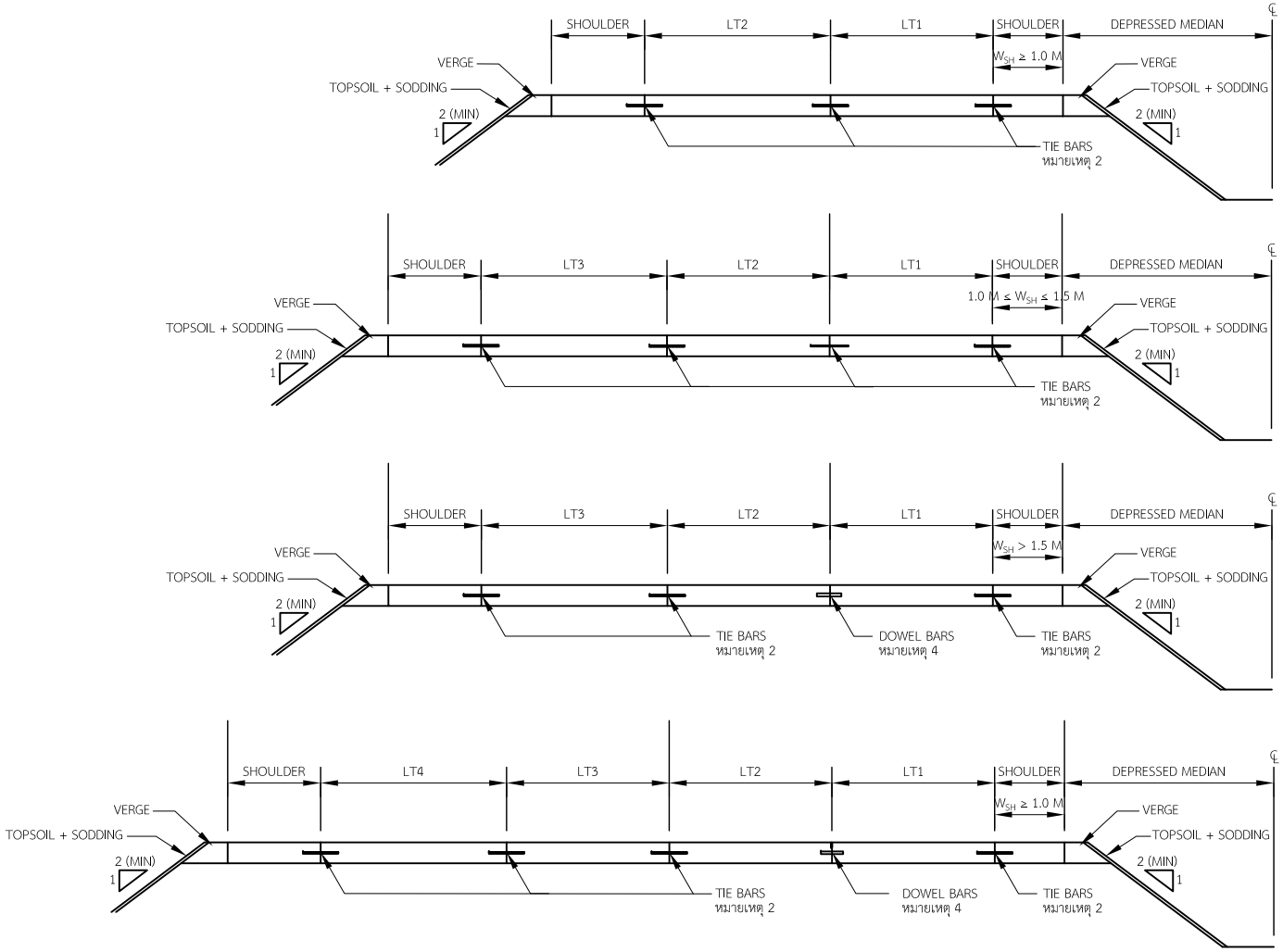
BARRIER MEDIAN

หมายเหตุ

1. ให้ดู DETAIL OF JOINTS ในแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-005 และ DWG-MAI-JPCP-006 สำหรับรายละเอียดรอยต่อชนิดต่างๆ
2. ขนาดและจำนวน TIE BAR ให้ใช้ตาม TABLE 3 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
3. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว TRANSVERSE JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 1 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
4. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว LONGITUDINAL JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 2 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
5. ระยะ DISTANCE FROM FREE EDGE TO FREE EDGE ต้องไม่เกิน 15 M.

NOT TO SCALE

JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) LONGITUDINAL JOINT REINFORCEMENT DETAILS	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-003



2 LANES WITH DEPRESSED MEDIAN

3 LANES WITH DEPRESSED MEDIAN

หมายเหตุ 5

3 LANES WITH DEPRESSED MEDIAN

หมายเหตุ 5

4 LANES WITH DEPRESSED MEDIAN

หมายเหตุ 5

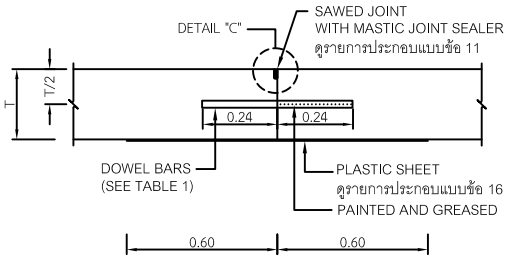
DEPRESSED MEDIAN

หมายเหตุ

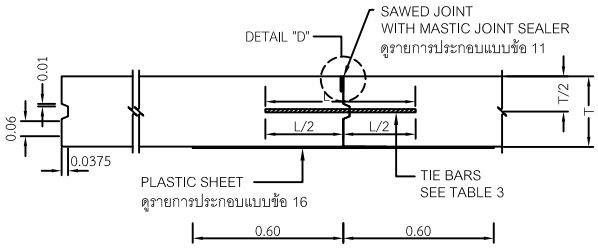
1. ให้ดู DETAIL OF JOINTS ในแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-005 และ DWG-MAI-JPCP-006 สำหรับรายละเอียดรอยต่อชนิดต่างๆ
2. ขนาดและจำนวน TIE BAR ให้ใช้ตาม TABLE 3 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
3. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว TRANSVERSE JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 1 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
4. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว LONGITUDINAL JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 2 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
5. ระยะ DISTANCE FROM FREE EDGE TO FREE EDGE ต้องไม่เกิน 15 M.

NOT TO SCALE

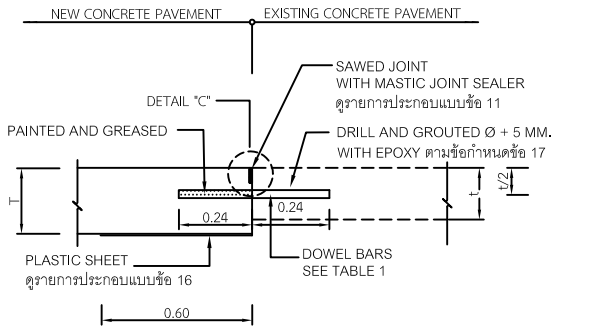
JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) LONGITUDINAL JOINT REINFORCEMENT DETAILS	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-004



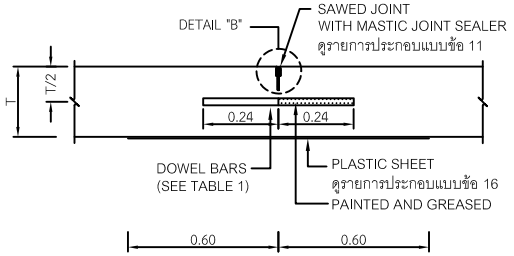
DETAIL OF CONSTRUCTION JOINT



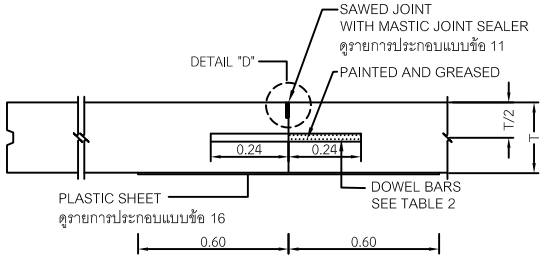
DETAIL OF LONGITUDINAL JOINT WITH TIE BAR



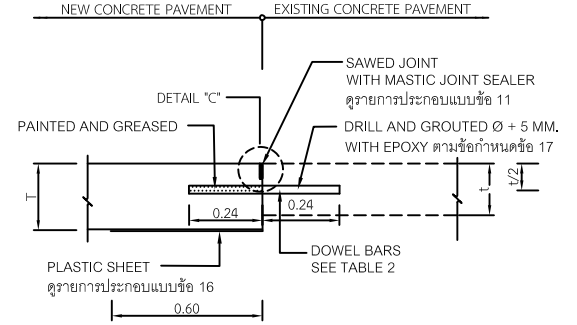
DETAIL OF JOINT BETWEEN NEW AND EXISTING CONCRETE PAVEMENT (TRANSVERSE JOINT)



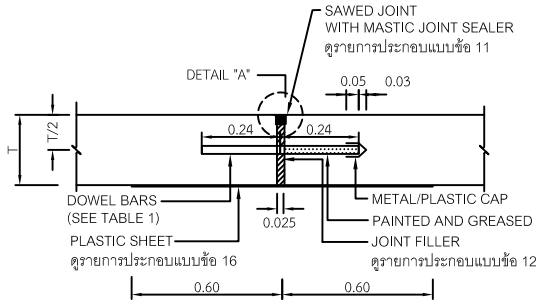
DETAIL OF CONTRACTION JOINT



DETAIL OF LONGITUDINAL JOINT WITH DOWEL BARS

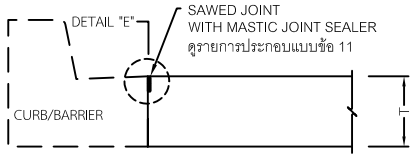


DETAIL OF JOINT BETWEEN NEW AND EXISTING CONCRETE PAVEMENT (LONGITUDI NAL JOINT)

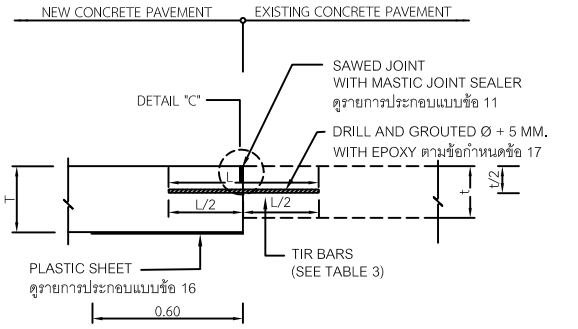


DETAIL OF EXPANSION JOINT

ดูรายการประกอบแบบข้อ 19



DETAIL OF DUMMY JOINT



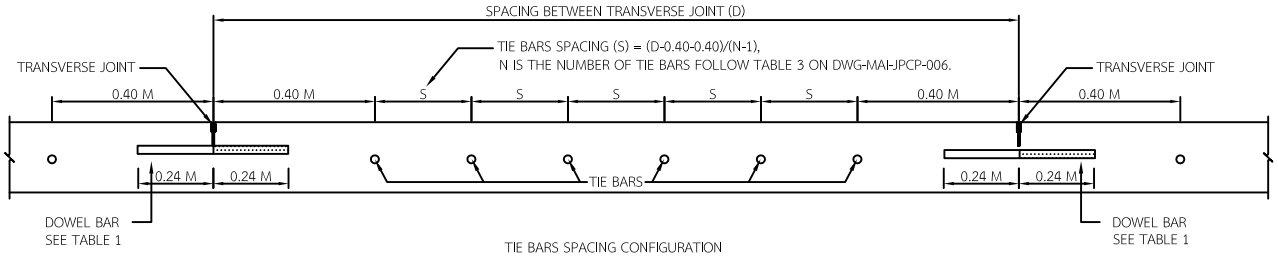
DETAIL OF JOINT BETWEEN NEW AND EXISTING CONCRETE PAVEMENT (LONGITUDINAL JOINT)

หมายเหตุ

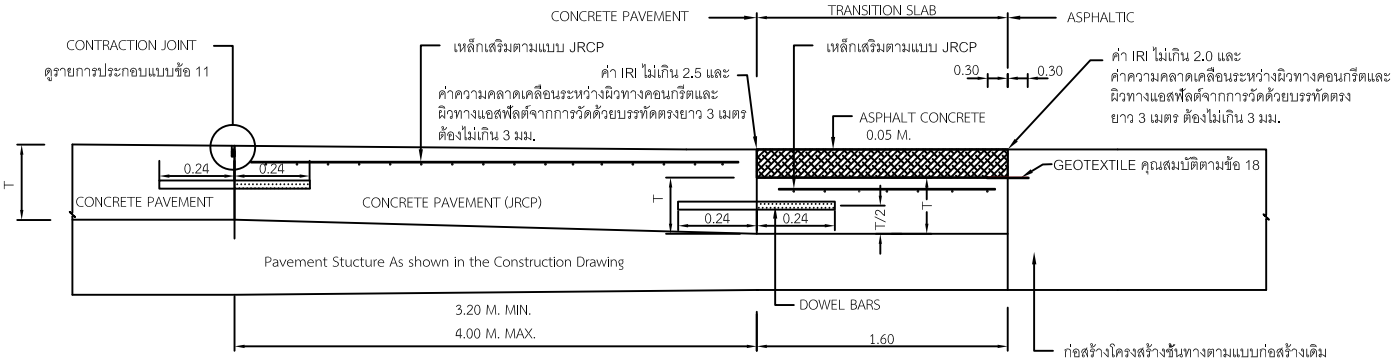
1. ให้ดู DETAIL OF JOINTS ในแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-005 และ DWG-MAI-JPCP-006 สำหรับรายละเอียดรอยต่อชนิดต่างๆ
2. ขนาดและจำนวน TIE BAR ให้ใช้ตาม TABLE 3 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
3. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว TRANSVERSE JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 1 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
4. ขนาดและการจัดวาง DOWEL BAR บริเวณแนว LONGITUDINAL JOINT ให้ใช้ตาม TABLE 2 ตามแบบ NO. DWG-MAI-JPCP-006
5. ระยะ DISTANCE FROM FREE EDGE TO FREE EDGE ต้องไม่เกิน 15 M.

NOT TO SCALE

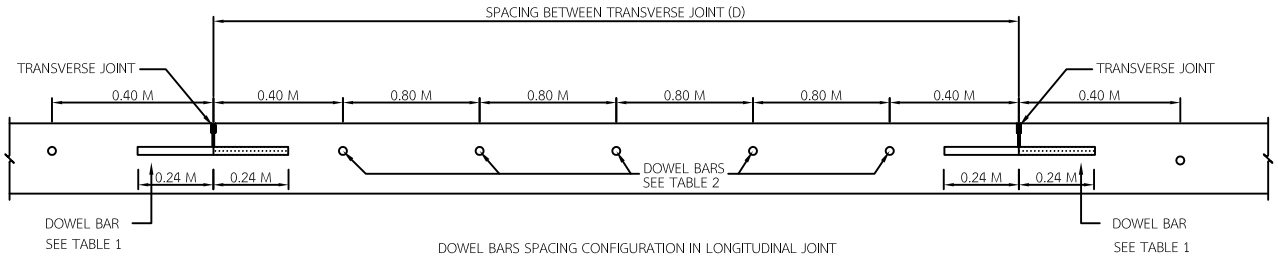
JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) DETAILS OF JOINT	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-005



TIE BARS SPACING CONFIGURATION



DETAIL OF JOINT BETWEEN CONCRETE PAVEMENT AND FLEXIBLE PAVEMENT



DOWEL BARS SPACING CONFIGURATION IN LONGITUDINAL JOINT

TABLE 1 DOWEL BAR FOR TRANSVERSE JOINTS

SLAB THICKNESS, T (M)	DIAMETER (MM)	LENGTH (M)	SPACING (M)
0.23	30	0.48	0.30
0.25	32		
0.28	35		
≥ 0.30	38		

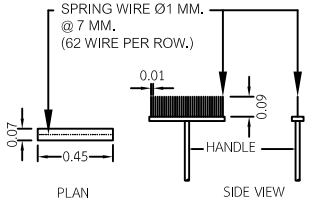
TABLE 2 DOWEL BAR FOR LONGITUDINAL JOINTS

SLAB THICKNESS, T (M)	DIAMETER (MM)	LENGTH (M)	SPACING (M)
0.23	30	0.48	0.80
0.25	32		
0.28	35		
≥ 0.30	38		

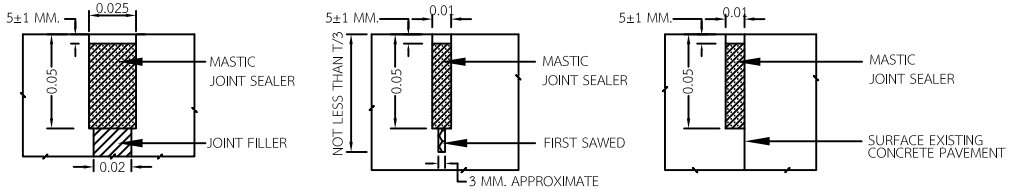
TABLE 3 NUMBER OF TIE BARS FOR LONGITUDINAL JOINTS (N)**

TYPE OF STEEL	DISTANCE FROM FREE EDGE TO FREE EDGE ≤ 15 M*					
	SLAB THICKNESS, T (M)					
	0.23	0.25	0.28	0.30	0.32	0.35
	NUMBERS OF TIE BAR IN A SLAB (N)**					
DB 16, SD40 LENGTH 0.76 M.	6	6	7	-	-	-
DB 16, SD50 LENGTH 0.76 M.	5	5	6	6	7	7

* THE MAXIMUM DISTANCE FROM FREE EDGE TO FREE EDGE IS 15 METERS.
** THE TIE BARS SPACING CONFIGURATION IS SHOWN IN "THE TIE BARS SPACING CONFIGURATION".



DETAIL OF BROOM SURFACE CONCRETE PAVEMENT

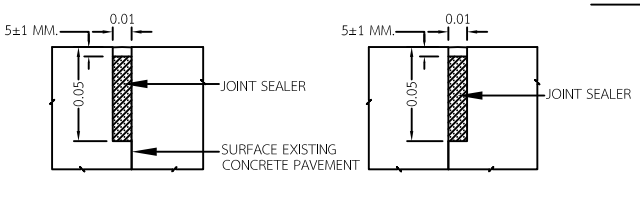


DETAIL "A" (EXPANSION JOINT)

DETAIL "B" (CONTRACTION JOINT)

DETAIL "C" (CONSTRUCTION JOINT)

DETAIL OF SAWED JOINT FOR TRANSVERSE JOINT



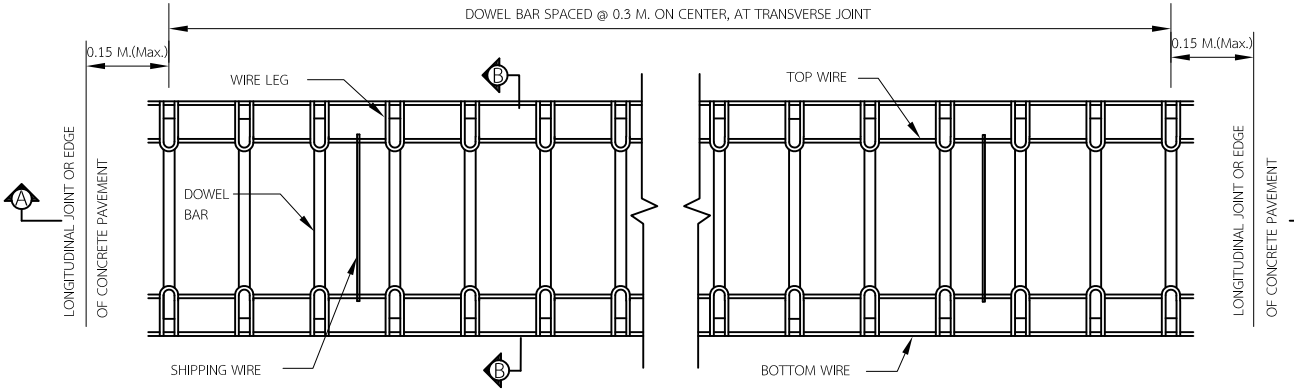
DETAIL "D" (LONGITUDINAL JOINT)

DETAIL "E" (DUMMY JOINT)

DETAIL OF SAWED FOR LONGITUDINAL JOINT

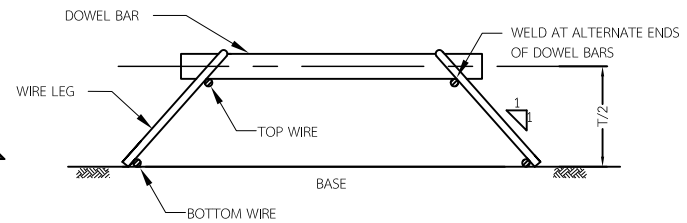
NOT TO SCALE

JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) DETAILS OF TIE BARS	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-006

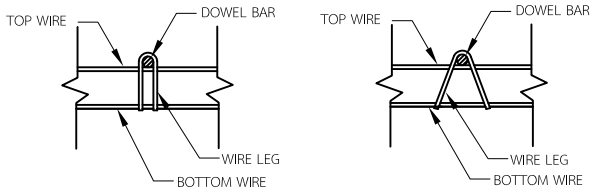


PLAN VIEW

"U" SHAPE ASSEMBLE SHOWN



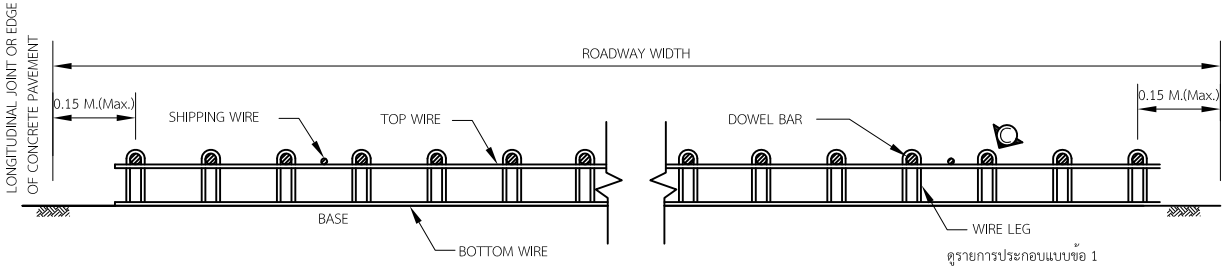
SECTION Ⓑ



"U" SHAPE

"V" SHAPE

DETAIL Ⓒ

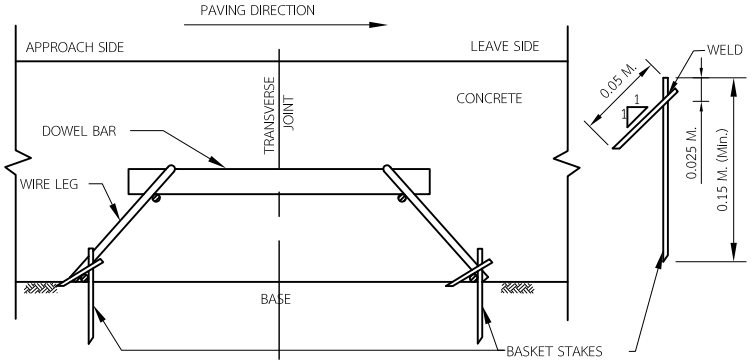


ดูรายการประกอบแบบข้อ 1

SECTION Ⓐ

ELEVATION VIEW

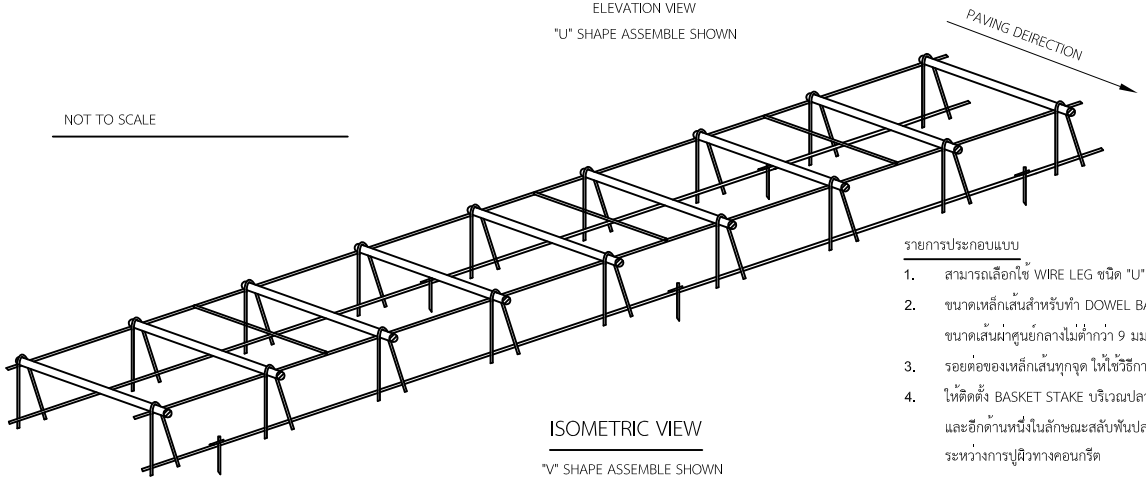
"U" SHAPE ASSEMBLE SHOWN



BASKET STAKE

ดูรายการประกอบแบบข้อ 4

NOT TO SCALE



ISOMETRIC VIEW

"V" SHAPE ASSEMBLE SHOWN

รายการประกอบแบบ

1. สามารถเลือกใช้ WIRE LEG ชนิด "U" SHAPE หรือ ชนิด "V" SHAPE ก็ได้ อย่างใดอย่างหนึ่ง
2. ขนาดเหล็กเส้นสำหรับทำ DOWEL BASKET และ BASKET STAKE ให้ใช้เหล็กเส้นกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 9 มม.
3. รอยต่อของเหล็กเส้นทุกจุด ให้ใช้วิธีการเชื่อม
4. ให้ติดตั้ง BASKET STAKE บริเวณปลายทั้งสองข้างและกึ่งกลางของ DOWEL BASKET ด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งในลักษณะสลับฟันปลา เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของ DOWEL BASKET ระหว่างการปูผิวทางคอนกรีต

NOT TO SCALE

JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) DETAILS OF BASKET STAKES	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-007

ข้อกำหนดแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต (GEOTEXTILE INTERLAYER FOR CEMENT CONCRETE PAVEMENT)

1. คุณสมบัติวัสดุ

แผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้ต้องเป็นใยสังเคราะห์แบบไม่ถักทอ (Non Woven Geotextile) ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO9001 โดยมีกรรมวิธีผลิตแบบ Needle Punch หรือ Spun Bond ไม่อนุญาตให้ใช้วัสดุที่ผลิตโดยให้ความร้อน (Thermal Treatment) สามารถทนต่อสภาพความเป็นด่างของคอนกรีตได้ดีขนาดม้วนมีความกว้างไม่น้อยกว่า 3.50 เมตรและความยาวไม่น้อยกว่า 100 เมตรโดยมีฉลากแสดงชื่อสินค้าชนิดรุ่นและเลขหมายการผลิตที่ชัดเจนแสดงบนริมนอกของม้วนแผ่นใยสังเคราะห์ทุกม้วนแผ่นใยสังเคราะห์ที่ไม่มีการแสดงเครื่องหมายดังกล่าวกรมทางหลวงจะไม่รับและผู้ขายจะต้องนำกลับโดยทันทีแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องเก็บโดยใช้วัสดุทึบแสงคลุมเก็บไว้ในที่ร่มห้ามโดนแสงอาทิตย์โดยตรงนานเกิน 15 วันเพราะจะทำให้เสียคุณสมบัติของวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องสามารถทนทานต่อสารเคมีต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติและสามารถทนความเป็นกรดด่างได้ระหว่า pH 2 - pH 13 และแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องมีคุณสมบัติขั้นต่ำดังนี้

คุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต

คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	มาตรฐานการทดสอบ
น้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 400 กรัม/ตร.ม.	ISO 9864 หรือ ASTM D 5261
Alkali Resistant	≥ 96 % Polypropylene หรือ Polyethylene เท่านั้น	ใบรับรองจากผู้ผลิตทดสอบจากหน่วยงานทดสอบสากลที่เป็นอิสระจากผู้ผลิตหรือผลการทดสอบโดยกรมทางหลวง

2. การทดสอบวัสดุ

2.1 ก่อนเริ่มการก่อสร้างฯ ผู้รับจ้างจะต้องจัดส่งใบรับรองจากผู้ผลิตจากหน่วยงานทดสอบสากลที่เป็นอิสระจากผู้ผลิต พร้อมตัวอย่างแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อทดสอบคุณสมบัติตามตารางคุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีตโดยค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นของผู้รับจ้าง ในกรณีที่ผู้รับจ้างไม่มีใบรับรองแผ่นใยสังเคราะห์จากหน่วยหน่วยงานทดสอบสากลที่เป็นอิสระจากผู้ผลิต นายช่างควบคุมโครงการฯ จะต้องสุ่มเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม เพื่อทดสอบที่กรมทางหลวงทุกๆ 5,000 ตารางเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง จนเสร็จสิ้นการก่อสร้าง

2.2 ในการรับวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ ให้นายช่างควบคุมตรวจสอบใบรับรองจากผู้ผลิตจากหน่วยงานทดสอบสากลที่เป็นอิสระจากผู้ผลิต และนายช่างควบคุมโครงการฯ ให้ทำการสุ่มชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบผู้ควบคุมงานจะระบุตำแหน่งการสุ่มชักตัวอย่างจากวัสดุที่ผู้รับจ้างส่งมอบทุกๆ 1,000 ตารางเมตร ต่อ 1 ตัวอย่างจากกองเก็บวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อทดสอบตามข้อ 2.3 ในกรณีที่ผู้รับจ้างไม่มีใบรับรองแผ่นใยสังเคราะห์จากหน่วยหน่วยงานทดสอบสากลที่เป็นอิสระจากผู้ผลิต นายช่างควบคุมโครงการฯ จะต้องสุ่มเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม เพื่อทดสอบที่กรมทางหลวงทุกๆ 5,000 ตารางเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง จนเสร็จสิ้นการก่อสร้างและสุ่มชักตัวอย่างจากวัสดุที่ผู้รับจ้างส่งมอบ ทุกๆ 1,000 ตารางเมตรต่อ 1 ตัวอย่างจากกองเก็บวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อทดสอบตามข้อ 2.3

2.3 ในระหว่างการก่อสร้าง นายช่างควบคุมโครงการฯ จะต้องทำการสุ่มชักตัวอย่างจากวัสดุที่บริเวณพื้นที่ก่อสร้างเพิ่มเติมทุกวันที่ทำการเทคอนกรีต โดยให้ผู้รับจ้างจัดส่งตัวอย่างไปทดสอบที่โครงการก่อสร้างเท่านั้น ด้วยการชั่งน้ำหนัก ซึ่งค่าน้ำหนักจะต้องเป็นไปตามตารางคุณสมบัติฯ โดยจะต้องแตกต่างจาก ค่าน้ำหนักตัวอย่างแผ่นใยสังเคราะห์ตามข้อ 2.1 ไม่เกินร้อยละ 5 และให้ดำเนินการนำตัวอย่างแผ่นใยสังเคราะห์แช่ในน้ำเพื่อตรวจสอบค่าความหนาแน่นแบบง่าย หากผลการทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์คุณลักษณะเฉพาะที่กำหนดและค่าน้ำหนักแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดสอบตามข้อ 2.1 เกินร้อยละ 5 ผู้รับจ้างจะต้องนำแผ่น ใยสังเคราะห์ทั้งหมดกลับไปและส่งมอบแผ่นใยสังเคราะห์ชุดใหม่ตามจำนวนที่กำหนดเดิมเพื่อดำเนินการสุ่มชักตัวอย่างอีกครั้ง ตามข้อ 2.1 และห้ามนำไปใช้ในการก่อสร้างฯ อนึ่งค่าคุณสมบัติอื่นๆที่กรมทางหลวงไม่สามารถทดสอบได้ให้ผู้ขายส่งเอกสารรับรอง (Statement of Quality) ทดสอบจากหน่วยงานทดสอบสากลที่เป็นอิสระจากผู้ผลิต เพื่อยืนยันการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์

3. การก่อสร้าง

ก่อนทำการก่อสร้าง ให้ตรวจสอบแผ่นใยสังเคราะห์ถ้าพบว่ามีการเสื่อมสภาพ หรือพบว่าการเก็บแผ่นใยสังเคราะห์ที่ไม่มีวัสดุทึบแสงคลุมไม่ให้ผู้รับจ้างนำแผ่นใยสังเคราะห์นำไปใช้ในการก่อสร้าง และให้ทำการเตรียมสภาพชั้นทางที่จะทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์ไม่ให้มีเศษวัสดุหรือก้อนวัสดุที่อาจทำให้เกิดการฉีกขาดของแผ่นใยสังเคราะห์หากผิวมีลักษณะหยาบและมีคมให้ปรับสภาพความเหมาะสมโดยใช้ชั้นทรายเล็กน้อยปรับพื้นผิวก่อนแล้วจึงเริ่มทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์

การปูแผ่นใยสังเคราะห์ให้ปูในทิศทางของช่องจราจรแนบไปกับพื้นผิวโดยให้มีระยะทาบระหว่างแผ่นไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตรเมื่อทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์แล้วให้ทำการตอกยึดด้วยหมุดหรือวัสดุอื่นใดโดยให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีในการตอกยึดนำเสนอเพื่อรับการอนุมัติจากกรมทางหลวงและก่อนเทคอนกรีตให้ทำการพรมน้ำให้ชุ่ม

ในระหว่างการก่อสร้างที่สถานที่ทำการก่อสร้างผิวทางคอนกรีต ผู้รับจ้างจะต้องคลุมแผ่นใยสังเคราะห์ที่เหลือสำหรับการทาบแผ่นใยสังเคราะห์

ในระหว่างการก่อสร้างห้ามนำเครื่องปู (PAVER) หรือเครื่องจักรใดๆ วิ่งบนแผ่นใยสังเคราะห์

JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) SPECIAL PROVISION OF GEOTEXTILE UNDER JPCP	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-008

ข้อกำหนดวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีต

ข้อกำหนดนี้ประกอบด้วย การควบคุมคุณภาพวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีตและใช้ร่วมกับ ทล.-ม. 408 มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt) สำหรับงานก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีตของกรมทางหลวง ในกรณีที่มีความขัดแย้งระหว่างข้อกำหนดแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีต และ ทล.-ม. 408 ให้ยึดถือเอาตามข้อกำหนดนี้

1. วัสดุ
   - 1.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีต ให้เป็นไปตามตารางที่ ก-1
   - 1.2 ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ตามข้อกำหนด ทล.-ก. 401 ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง (Specification for Asphalt Cement) หรือ PG64S$_t$ ตามข้อกำหนด ทล.-ก. 411 ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท Performance Grade โดยวิธีทดสอบความคืบคืนกลับจากการกระทำซ้ำของแรงเค้น (Specification for Performance - Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test)
   - 1.3 กรณีที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ให้ตรวจสอบค่า Penetration ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 403 วิธีการทดลองหาค่า Penetration ของวัสดุแอสฟัลต์ ทุกวันที่มีการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต และทุกการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตไม่มากกว่า 750 ตัน
2. โรงผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

   โรงผสมแอสฟัลต์คอนกรีตต้องมีเครื่องพิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์ปริมาณมวลรวม แอสฟัลต์ซีเมนต์ และวัสดุอื่นใดที่ใช้ในการผสมเพื่อผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตทุกครั้งของการผสม
3. เครื่องจักรบดทับ

   รถบดล้อเหล็กและรถบดล้อเหล็กแบบสั่นสะเทือนต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 8 ตัน
4. การก่อสร้าง
   - 4.1 การออกแบบและการควบคุมคุณภาพส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ให้ดำเนินการโดยส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
   - 4.2 ให้นายช่างควบคุมโครงการฯ ตรวจสอบ
     - 4.2.1 ชั้น Prime Coat ถ้าพบจุดหลุดร่อนให้ทำการแก้ไขก่อนการก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต
     - 4.2.2 ชั้นพื้นทางก่อนการก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าพบจุดอ่อนตัวหรือจุดที่จะทำให้เกิดความไม่แข็งแรงขึ้นได้ ให้ทำการขุดรื้อโครงสร้างชั้นทางที่อ่อนตัวออก แล้วก่อสร้างใหม่ตามแบบก่อสร้างฯ ก่อนปูแอสฟัลต์คอนกรีต และมิให้ก่อสร้างแอสฟัลต์คอนกรีตหากชั้นพื้นทางมีความชื้นสูงที่จะทำให้ถนนเกิดความเสียหายได้
   - 4.3 ห้ามปูแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนคอนกรีต ถ้าชั้นพื้นทางมีความชื้นที่ส่งผลต่อคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนคอนกรีต
   - 4.4 ภายหลังการปูแอสฟัลต์คอนกรีตโดย Paver แล้วห้ามนำแอสฟัลต์คอนกรีตมาสาดเพื่อเพิ่มความหนา
   - 4.5 ในการตกแต่งรอยต่อชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตภายหลังการปูแอสฟัลต์คอนกรีตด้วย Paver ห้ามดันมวลรวมหยาบเข้าในบริเวณที่ยังมิได้บดทับ

ตารางที่ ก-1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร (นิ้ว)	9.5 (3/8)
สำหรับชั้นทาง		AC under PCCP
ความหนา	มิลลิเมตร	20 - 50
ขนาดตะแกรง	มิลลิเมตร (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวลรวม
12.5	(1/2)	100
9.5	(3/8)	95 - 99
4.75	(เบอร์ 4)	55 - 85
2.36	(เบอร์ 8)	32 - 67
1.18	(เบอร์ 16)	
0.6	(เบอร์ 30)	
0.3	(เบอร์ 50)	7 - 23
0.15	(เบอร์ 100)	
0.075	(เบอร์ 200)	4 - 10
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตต้องไม่น้อยกว่าปริมาณ (น้ำหนัก) ที่ใช้ในการกำหนดราคากลาง		
Dust to Effective Binder Ratio (%)		1.0 - 1.6
Air Void (%)		3 - 3.5
VMA (%)		≥15.5
Tensile Strength Ratio (TSR) ตาม AASHTO T283		0.80
ห้ามใช้มวลรวมหยาบที่มีค่า Water Absorption มากกว่า 2.0%		

JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) SPECIAL PROVISION OF ASPHALT CONCRETE UNDER JPCP	DATE 04/11/2024 DWG. NO. MAI-JPCP-009

รายงานฉบับที่ : วพ. 326 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

ผู้เขียน : จุฑา สุนิตย์สกุล ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์ และนายฉัตรชัย จันทร

ชื่อเรื่อง : ถนนซีเมนต์คอนกรีตแบบมีรอยต่อในกรมทางหลวง

บทคัดย่อ : ถนนซีเมนต์คอนกรีตเป็นถนนประเภททางผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) เนื่องจากซีเมนต์คอนกรีตมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) สูง ส่งผลให้มีการแอ่นตัวน้อยมากเมื่อมีน้ำหนักกระทำบนผิวทาง ซึ่งจะรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกับแผ่นพื้น (Plate) จึงทำให้สามารถกระจายน้ำหนักจากการจราจรลงสู่ดินคันทางเป็นเนื้อที่กว้าง มีผลให้หน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในดินคันทางมีค่าต่ำ

ในการออกแบบโครงสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีต จะต้องพิจารณาถึงชั้นวัสดุใต้ผิวทางซีเมนต์คอนกรีต คุณภาพของคอนกรีต ปริมาณการจราจร การออกแบบทางเลขาคณิต ความหนาของผิวทางซีเมนต์คอนกรีต และรอยต่อ การกำหนดให้มีรอยต่อเพื่อใช้ในการควบคุมรอยแตก การก่อสร้างทำได้สะดวก ควบคุมการเคลื่อนตัว และสามารถถ่ายน้ำหนักการจราจรระหว่างแผ่นคอนกรีต

ปัจจุบันปริมาณการจราจรในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องมีการพัฒนาการดำเนินการที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับปริมาณการจราจร เช่น ก่อสร้างผิวทางที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรได้ และมีการบำรุงรักษาน้อย ดังนั้นกรมทางหลวงจึงได้ดำเนินการก่อสร้างผิวทาง Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) ซึ่งมีค่าก่อสร้างต่ำ มีประสิทธิภาพสูง มีความเรียบสูง มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผิวทาง JPCP จึงมีความเหมาะสมกับสภาพปริมาณการจราจรในประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณรถบรรทุกสูง

ศัพท์เฉพาะเรื่อง : JPCP, Concrete Pavement

ทล.วพ./ว./2568/ท.