การออกแบบแนะนำผิวทางคอนกรีตแบบไม่เสริมเหล็กกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP) โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์ - ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

โดย

จุฑา สุนิตย์สกุล[1]

ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์[2]

ศตพร กัณฑเจตน์[3]

[1]วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

[2]วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

[3]วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

การออกแบบแนะนำผิวทางคอนกรีตแบบไม่เสริมเหล็กกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP) โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์ - ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

***จุฑา สุนิตย์สกุล*[1]**
***ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์*[2]**
***ศตพร กัณฑเจตน์*[3]**

[1]วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
[2]วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
[3]วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปกรมทางหลวงจะดำเนินการก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตในรูปแบบที่มีเหล็กเสริมกันร้าวหรือเหล็กตะแกรง (JRCP) โดยได้ดำเนินก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตครั้งแรกในปี 2503 ที่ทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว ระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร และได้เปิดการจราจรในปี 2507 โดยมีระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางเท่ากับ 6 เมตร (สั้นที่สุดในบรรดาถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง) ซึ่งมีการใช้งานได้ดี ไม่พบปัญหาการอัดทะลัก (Pumping) ทั้งที่ก่อสร้างโดยปราศจากชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ต่อมาได้การก่อสร้างถนนคอนกรีตบนถนนเพชรเกษม (ช่วงบางแค – นครปฐม) ซึ่งก่อสร้างโดยปราศจากชั้นทรายรองถนนคอนกรีตเช่นกัน โดยมีระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางเท่ากับ 33 เมตร (ยาวที่สุดในบรรดาถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง) เมื่อเปิดใช้งานไม่นานก็เกิดปัญหาการอัดทะลัก ซึ่งเข้าใจว่าเกิดจากปัญหาวัสดุชั้นรองถนนคอนกรีตมีค่า PI สูงมากซึ่งแม้จะมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมวัสดุทราย ไปแล้วก็ตาม จึงได้ดำเนินการใช้ชั้นทรายรองถนนคอนกรีตเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางสามารถดำเนินการได้หลายขนาดโดยที่ผ่านมาได้จัดสร้างขึ้นมาหลายขนาดต่าง ๆ กัน คือ 6.0 7.5 10.0 15.0 และ 33.0 เมตร โดยถ้ามีระยะห่างมากก็จะต้องเสริมเหล็กกันร้าวเพิ่มขึ้น และถ้าระยะห่างน้อยลง ก็จะต้องเสริมเหล็กกันร้าวน้อยลง แต่ปริมาณรอยต่อจะมากขึ้น ต่อมาได้มีการพัฒนาแบบมาตรฐานสำหรับถนนคอนกรีตจึงนิยมใช้ระยะห่างระหว่างรอยต่อทางขวางเท่ากับ 10 เมตร ตามที่ได้แนะนำตามแบบมาตรฐาน

ปัจจุบันหลายประเทศในแถบอเมริกาเหนือและยุโรปตะวันตก ได้มีการใช้ถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตแบบไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างรอยต่อสั้น แต่ยังคงใช้เหล็กยึด (Tie Bar) และเหล็กเดือย (Dowel Bar) เนื่องจากพบว่าถนน JPCP มีอายุการใช้งานที่มากกว่าถนน Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) บทความนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบแนะนำโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์ - ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200 ที่ใช้ผิวทางคอนกรีตแบบไม่เสริมเหล็กกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP) ซึ่งคาดว่าจะทำให้ระยะความกว้างของรอยแตกตามขวางมีระยะลดลง ทำให้ลดปัญหา การเกิดการอัดทะลักบริเวณรอยต่อ ลดการบำรุงรักษาบริเวณรอยต่อ และทำให้การก่อสร้างทำได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

บทนำ

ถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตเป็นถนนประเภททางผิวทางแข็ง (Rigid Pavement) เนื่องจากปอร์ตแลนด์คอนกรีตมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) สูง ซึ่งจะรับน้ำหนักในลักษณะเดียวกับแผ่นพื้น (Plate) จึงทำให้สามารถกระจายน้ำหนักจากการจราจรลงสู่ดินคันทางเป็นพื้นที่กว้าง มีผลให้หน่วยแรง (Stress) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงต่อหน่วยพื้นที่รับแรงที่เกิดขึ้นในดินคันทางมีค่าต่ำ ส่งผลให้มีการแอ่นตัวน้อยมากเมื่อมีน้ำหนักกระทำบนผิวทาง จึงนิยมใช้สำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรมาก หรือมีปริมาณรถบรรทุกหนักที่สูง

ในการออกแบบโครงสร้างถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต จะต้องพิจารณาถึงชั้นวัสดุใต้ผิวทางปอร์ตแลนด์คอนกรีต คุณภาพของคอนกรีต ปริมาณการจราจร การออกแบบทางเรขาคณิต ความหนาของผิวทางปอร์ตแลนด์คอนกรีต และรอยต่อ การกำหนดให้มีรอยต่อเพื่อใช้ในการควบคุมรอยแตก การก่อสร้างทำได้สะดวก ควบคุมการเคลื่อนตัว และสามารถถ่ายน้ำหนักการจราจรระหว่างแผ่นคอนกรีต

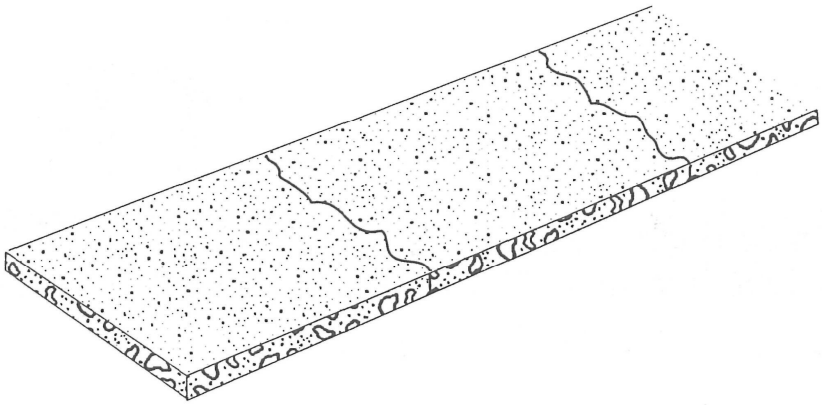
คอนกรีตเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ จะมีการหดตัวแต่เนื่องจากความเสียดทานระหว่างผิวทางคอนกรีตและชั้นรองถนนคอนกรีต ทำให้เกิดรอยแตกเกิดขึ้นตามภาพที่ 1.1 โดยจะมีระยะห่างระหว่างรอยแตกประมาณ 12 ถึง 45 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศภายหลังการก่อสร้าง และวัสดุชั้นรองถนนคอนกรีต และภายหลังการก่อสร้างถนนผิวทางคอนกรีตความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นระหว่างผิวคอนกรีตด้านบนและด้านล่าง จะทำให้เกิดการโก่งตัวของคอนกรีตความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นระหว่างผิวคอนกรีตด้านบนและด้านล่าง จะทำให้เกิดการโก่งตัวของคอนกรีต (Curling and Warping) ผลของการโก่งตัวดังกล่าวและน้ำหนักจากการจราจร ทำให้เกิดรอยแตกตามภาพที่ 1.2 ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดให้เกิดจุดอ่อนตัวขั้นในถนนผิวทางคอนกรีต เพื่อให้เกิดรอยแตกในบริเวณที่ต้องการดังที่แสดงในภาพที่ 1.3 ในการถ่ายเทแรงกระทำจากการจราจรระหว่างรอยต่อ จะอาศัยการขัดกันของวัสดุมวลรวม (Aggregate Interlock) และหรือเหล็กเดือย (Dowel Bars) ซึ่งจะเป็นเหล็กกลมเรียบซึ่งใช้ระหว่างรอยต่อตามขวาง

กรมทางหลวง ได้ดำเนินก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตครั้งแรกในปี 2503 ที่ทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว ก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ปราศจากชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร มีระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร และได้เปิดการจราจรในปี 2507 ซึ่งมีการใช้งานได้ดี ไม่พบปัญหาการ Pumping ต่อมาได้ก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตสายที่สองคือสายกรุงเทพ-นครปฐม ก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 33 เมตร ระยะทางประมาณ 40.5 กิโลเมตร ถนนสายนี้เกิดปัญหาการ Pumping ภายหลังการก่อสร้างได้ไม่นาน ผลจากการเกิด Pumping ของถนนสายนี้ ทำให้กรมทางหลวงก่อสร้างถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต โดยมีชั้นทรายรองถนนคอนกรีต (ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ 2527) โดยในความคิดเห็นของผู้จัดทำบทความนี้ ถนนคอนกรีตที่ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 33 เมตร จะเกิดหดตัวจากสภาพแวดล้อมมากกว่าถนนคอนกรีตที่ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร จึงอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดการอัดทะลัก

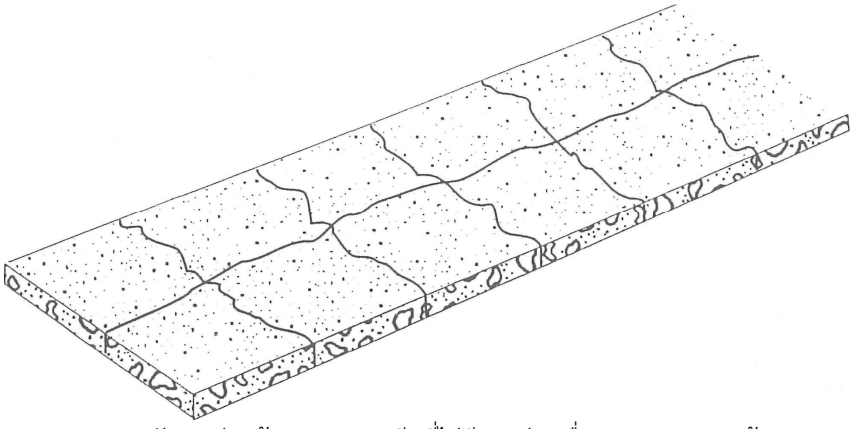
ในปี 1995 กรมทางหลวง ได้จัดทำแบบมาตรฐานปอร์ตแลนด์คอนกรีต บริเวณรอยต่อแผ่นคอนกรีต (Joint) ใช้ Dowel Bars เป็นเหล็กในการถ่ายเทแรงกระทำจากการจราจร ซึ่งเป็นเหล็กเส้นกลม SR 24 ตาม มอก. 20 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ระยะห่าง 300 มิลลิเมตร สำหรับถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตความหนา 230 และ 250 มิลลิเมตร ในปี 2015 แบบมาตรฐานปอร์ตแลนด์คอนกรีต กรมทางหลวงได้เปลี่ยนเหล็ก Dowel Bars เป็นเหล็กเส้นกลม คุณสมบัติตาม AASHTO M36 Grade 60 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30, 32 และ 35 มิลลิเมตร สำหรับถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตความหนา 230, 250 และ 280 มิลลิเมตรตามลำดับ ระยะห่าง 300 มิลลิเมตร และในปัจจุบัน กรมทางหลวงได้ออกแบบถนนปอร์ตคอนกรีตบนวัสดุชั้นรองถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต ชนิดต่างๆ เช่นหินคลุก ทราย ดินซีเมนต์ และแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นต้น

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

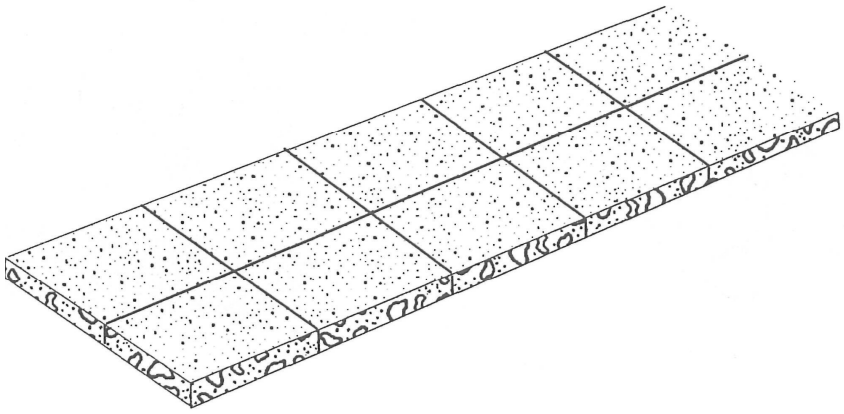
ถนน JPCP ไม่เสริมเหล็กตะแกรงกันการแตกร้าว จึงมีระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางน้อยกว่า 15 ฟุต (4.6 เมตร) ทำให้เกิดการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศน้อย เมื่อความกว้างของรอยแตกมีระยะแคบ ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำจากผิวจราจรลงสู่โครงสร้างชั้นทางด้านล่างได้น้อย จึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น FHWA (2007)



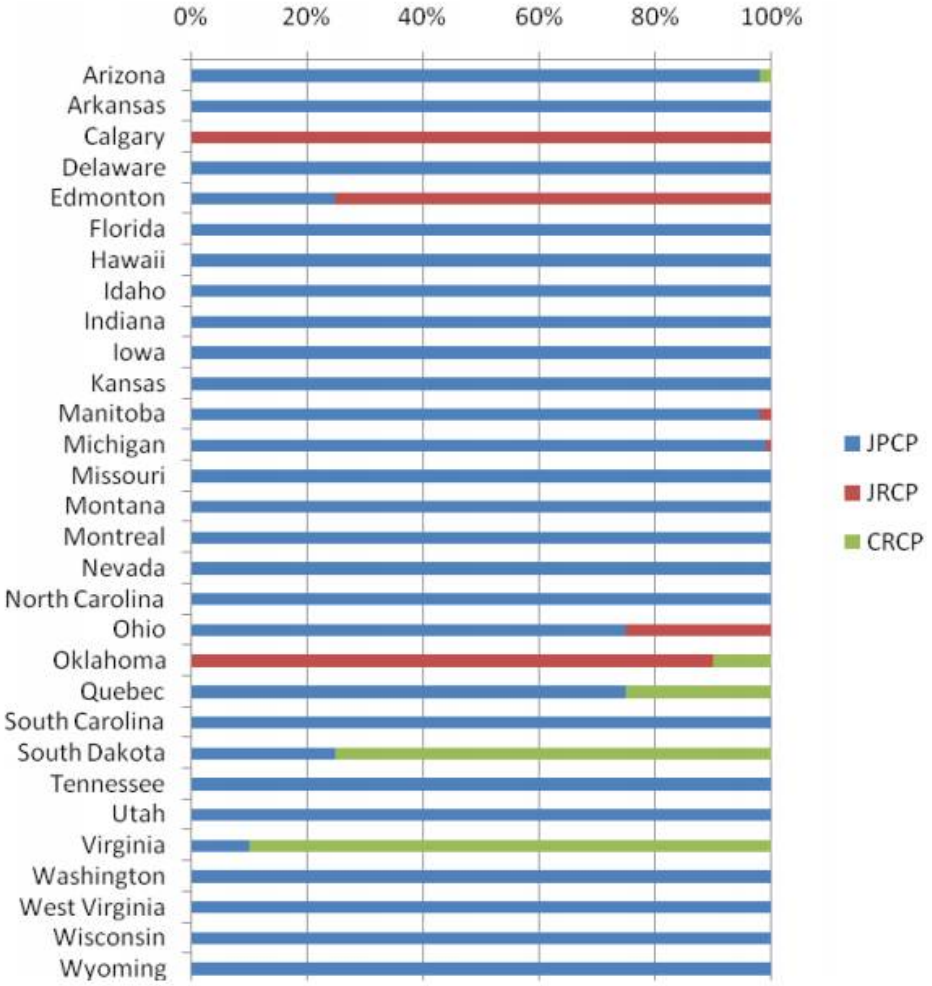
ภาพที่ 1.1 การแตกเริ่มต้นภายหลังการก่อสร้างถนนคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ



ภาพที่ 1.2 การแตกภายหลังการก่อสร้างถนนคอนกรีตที่ไม่มีรอยต่อ เนื่องจากสภาพแวดล้อมและการจราจร



ภาพที่ 1.3 Properly jointed pavement



ภาพที่ 2 ภาพแสดงผลแบบสอบถามของ ACPA

การกำหนดความหนาของถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต

การออกแบบความหนาสามารถดำเนินการได้ โดยใช้วิธีการตาม PCA 1984 หรือ AASHTO 1993 ในการออกแบบแนะนำนี้จะกำหนดความหนาตามวิธีการของ AASHTO 1993

<u>การกำหนดความหนาของถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต ตามวิธีการของ AASHTO 1993</u>

ในทศวรรษที่ 1950 AASHTO ได้จัดทำแปลงทดสอบที่เมือง Ottawa มลรัฐ Illinois เพื่อจัดทำวิธีการออกแบบความหนาถนนแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical Design) โดยในปี 1961 ได้จัดทำวิธีการออกแบบฉบับแรก และได้ดำเนินการปรับปรุงจนถึงปี 1993 ซึ่งมีสมการที่ใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 1

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

โดยที่

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

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

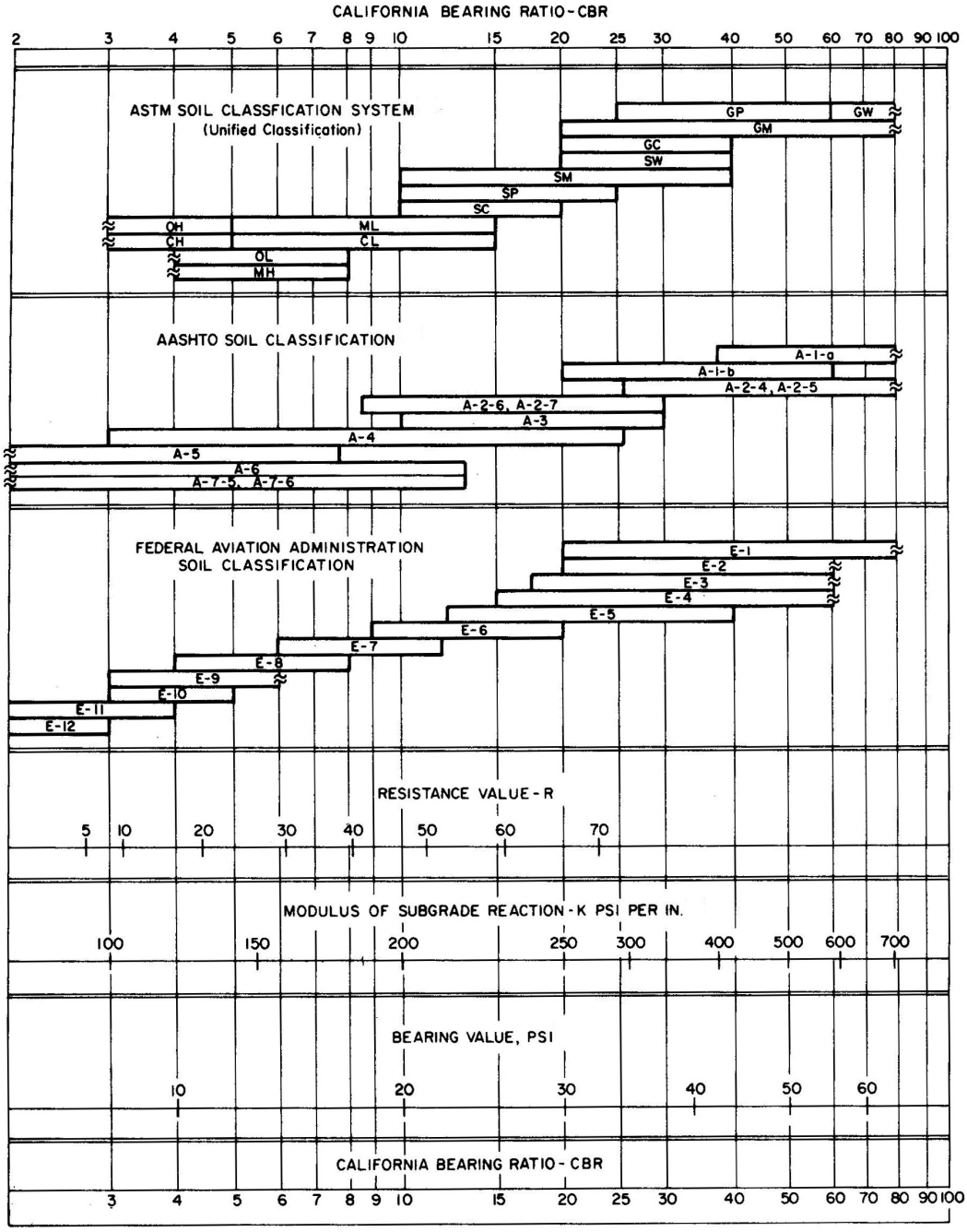
ΔPSI = Difference between the initial design serviceability index, po, and the design terminal serviceability index, pt

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) ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 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

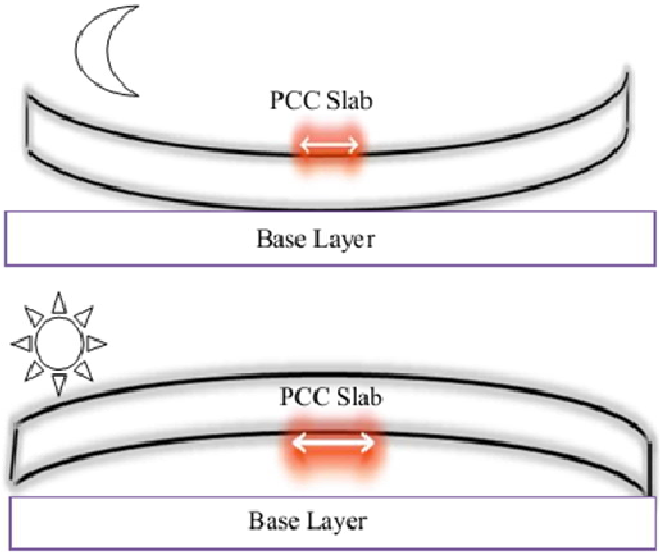
ตารางที่ 1.3 ตารางแสดงค่า Load Transfer Coefficient (J)

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

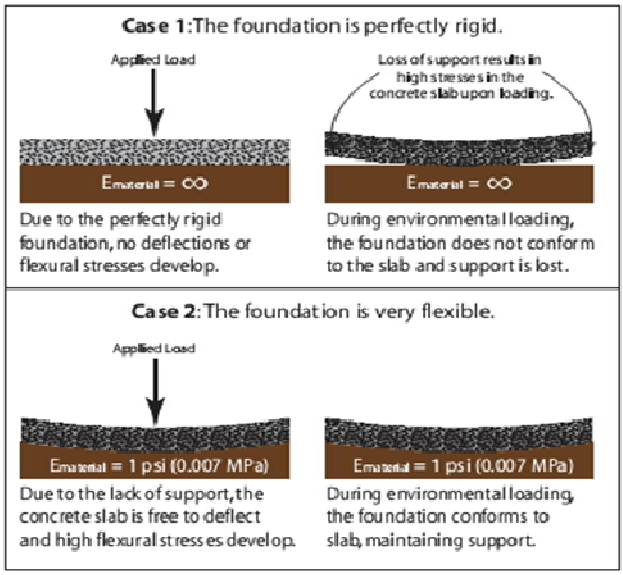
หน่วยแรงที่เกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อมและแรงเสียดทาน

ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นระหว่างผิวคอนกรีตด้านบนและด้านล่าง จะทำให้เกิดการโก่งตัวของคอนกรีตในลักษณะเฉพาะตัวดังแสดงในภาพที่ 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 ผิวด้านบนการโกร่งตัวขึ้น จะทำให้เกิดรอยบริเวณกึ่งกลางแผ่นถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต

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



ภาพที่ 4 การโก่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น (Curing and Warping) (Jung et. al., 2010)



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

การกำหนดระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง

ในการกำหนดระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางเพื่อให้ได้ถนนที่มีอายุการใช้งานยาวนานนั้น สำหรับ JPCP FHWA (2007) แนะนำให้ไม่มากกว่า 15 ฟุต ในการพิจาณากำหนดระยะห่างระหว่างรอยแตกสามารถพิจาณาตามขนาดของ Joint Opening ตามสมการ 2 โดยที่ระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง 4.2 m. จะได้ระยะความกว้างของรอยแตกเป็น 0.12 mm. หรือพิจารณาจาก Curling and Warping Stress ตามสมการที่ (3) โดยที่ l/L มีค่า 4.5 ถึง 5.5 (ACI, 2006) ตามภาพที่ 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 = he coefficient of thermal expansion of concrete (5 ถึง $6*10^{-6}/^{O}F$)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ

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

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

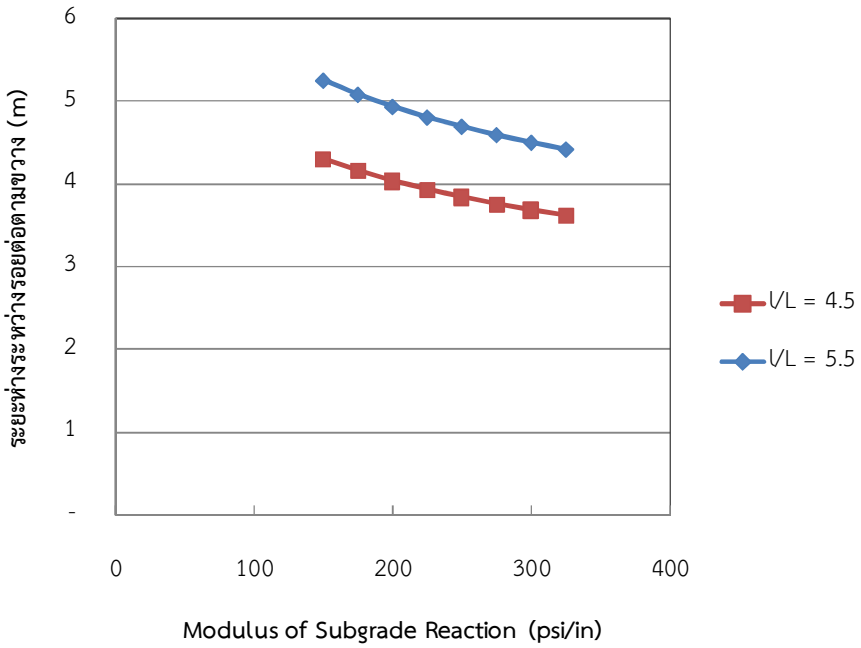
โดยที่ l = Radius of relative stiffness (inch)

Ec = Modulus of elasticity of concrete (psi)

D = Slab thickness (inch)

μ = Poisson's ratio

k = Modulus of subgrade reaction psi/in



ภาพที่ 6 การพิจารณาระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวางสำหรับความหนาถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต 25 เซนติเมตร

การพิจารณาขนาดของ Tie Bar

เหล็ก Tie Bars ใช้สำหรับยึดแผ่นถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตเข้าตามด้วยกัน โดยไม่ใช้ในการถ่ายน้ำหนักเช่นเดียวกันกับ Dowel Bars แบบมาตรฐานกรมทางหลวงสำหรับถนน JRCP ปี 2015 Tie Bars เป็นเหล็ก SD 40 มีคุณสมบัติตาม มอก. 24 ขนาด 16 mm. ยาว 76 cm. ระยะห่าง 60 cm. ซึ่งการพิจารณาเหล็ก Tie Bars สำหรับ JPCP จะดำเนินการพิจารณาออกแบบเช่นเดียวกันกับ JRCP

การพิจารณาเลือกใช้ขนาดของ Dowel Bars

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

Dowel Bars เป็นท่อนเหล็กกลม ซึ่งจะช่วยลดการแอ่นตัว คอนกรีตบริเวณรอยต่อ และช่วยลด Stress ที่เกิดขึ้นในแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนักและแผ่นคอนกรีตที่อยู่ติดกันในการพิจาณาเลือกใช้ขนาดของเหล็ก 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.) สำหรับถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตความหนาน้อยกว่า 10 in. (254 mm.) และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 in. (38 mm.) สำหรับถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีตความหนาไม่น้อยกว่า 10 in. (254 mm.) โดยมีระยะห่างระห่างเหล็ก Dowel Bars 12 นิ้ว หรือ 300 มิลลิเมตร

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

การออกแบบแนะนำผิวทาง Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200 เป็นการขยายช่องจราจรจาก 2 ช่องเป็น 4 ช่องจราจร ปริมาณการจราจรปี 2560 แสดงในตารางที่ 3

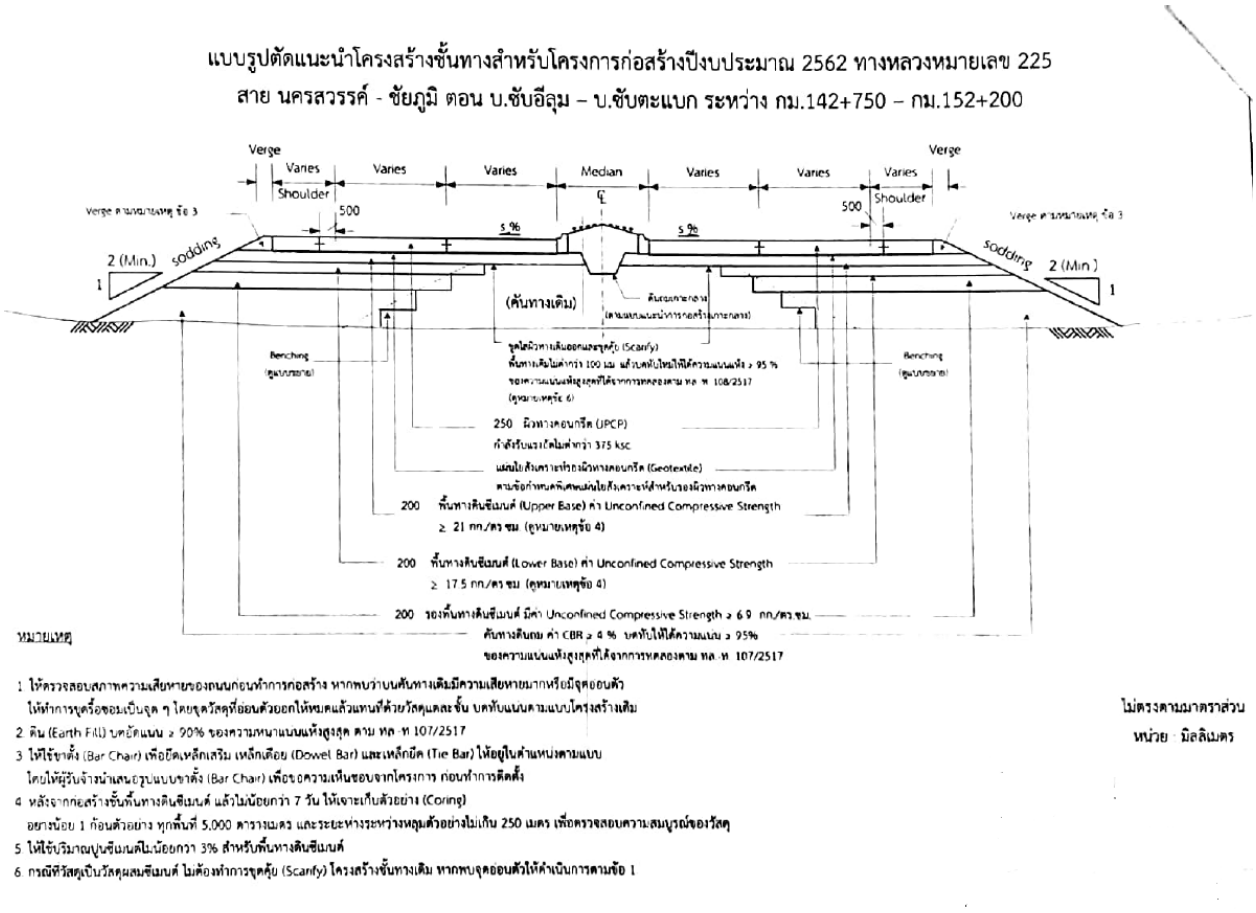
ตารางที่ 3 ตารางแสดงปริมาณการจราจรทางหลวงหมายเลข 225

กม. ที่สำรวจ	ADT	%Tr
118+082	9,172	31.88
128+809	6,625	32.60
138+907	2,965	18.99

การออกแบบความหนา JPCP สามารถดำเนินการได้ตาม JRCP ซึ่งในการออกแบบนี้จะดำเนินการตามวิธีการของ AASHTO 1993 แสดงในตารางที่ 4 โดยแบบแนะนำโครงสร้างชั้นทางแสดงในภาพที่ 5 แบบแนะนำรายละเอียด JPCP และข้อกำหนดพิเศษวัสดุใยสังเคราะห์แสดงในภาคผนวก ซึ่งวัสดุใยสังเคราะห์จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการอัดทะลัก

ตารางที่ 4 ตารางแสดงรายการคำนวณความหนา JPCP โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

AASHTO 1993 Pavement Thickness Design:					
ADT ปี 2560	9,172	vehicles			
Truck Traffic	31.88	%			
Design Period	20	yrs			
Growth Rate	5	%			
Lane Dist	0.4				
Truck Factor	2				
Construction Time	2	yrs			
Portland Concrete Properties					
fcr	45	ksc			
fc'	375	ksc			
Ec	4,163,023	psi			
ADT (Year Opening to Traffic)	10,112	vehicles			
AESAL (20 Year Design Period)	31,126,111	ESAL			
CBRsubgrade = 4%: k-value =	125	psi/in			
Subbase and Base Thickness =	24	inch			
Thus, k-value =	250	psi/in	=	67.86	kPa/mm.
W18 =	31,126,111			*ESALs Applications Over Design Period*	Typ. Range 0.5 to 100 million
PCC MR =	640	psi		*Concrete Modulus of Rupture*	Typ. Range 550 to 750 psi
E =	4,163,023	psi		*Concrete Elastic Modulus*	Typ. Range 3 to 6 million psi
k-value =	250	psi/in		*Modulus of Subgrade Reaction*	Typ. Range 100 to 500 psi/in
R =	85	%		*Reliability*	Typ. Range 80 to 95%
So =	0.3			*Standard Deviation*	Typ. Range 0.3 to 0.5
J =	2.7			*Load Transfer Coefficient*	Typ. Range 2.2 to 4.4
Cd =	1			*Drainage Coefficient*	Typ. Range 0.9 to 1.1
Pi =	4.5			*Initial Serviceability*	Typ. Range 4.5 to 4.8
Pt =	2.2			*Terminal Serviceability*	Typ. Range 2.0 to 3.0
Design Pavement Concrete Thickness (D)	**10.00**	**inch**	**=**	**25.4**	**cm**



ภาพที่ 7 รูปแสดงรูปตัดแนะนำโครงสร้างชั้นทางโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

บทสรุป

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้ดำเนินการออกแบบแนะนำโครงสร้างชั้นทางโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200 โดยใช้ผิวทางคอนกรีตแบบไม่เสริมเหล็กกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP) บนชั้นดินซีเมนต์รองถนนปอร์ตแลนด์คอนกรีต แล้วเสร็จ อย่างไรก็ตามเนื่องจากคณะกรรมการพิจารณาราคากลาง ยังไม่มีความมั่นใจว่าบริษัทผู้รับจ้างมีศักยภาพในการทำงานดังกล่าวซึ่งยังไม่เคยมีการดำเนินการมาก่อนสำหรับงานโครงการขนาดใหญ่ของกรมทางหลวง และยังมีความมั่นใจว่าเมื่อไม่มีเหล็กเสริมแล้วจะเกิดปัญหากับความแข็งแรงหรือไม่เพราะแตกต่างจากมาตรฐานเดิมซึ่งเคยใช้การเสริมเหล็กกันร้าว จึงได้เสนอให้เก็บข้อมูลถนนคอนกรีต JPCP เพิ่มเติมก่อน โดยคาดว่าจะดำเนินการในปีงบประมาณต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] 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.

[2] American Concrete Institute (2006), Concrete Overlays for Pavement Rehabilitation.

[3] FHWA (2007), TechBrief: Long-Life Concrete Pavements: Best Practices and Directions from the States., Washington, D.C., USA.

[4 Julie M. Vandenbossche (2005), Effects of Slab Temperature Profiles on Use of Falling Weight Deflectometer Data to Monitor Joint Performance and Detect Void, Transportation Research Board, Washington DC., pp 75-85.

[5] 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.

[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.

[9] TXDOT (2018) Pavement Design Manual

[10] กรมทางหลวง (1995) Standard Drawing for Highway Construction สำนักสำรวจและออกแบบ กรุงเทพ

[11] กรมทางหลวง (2015) Standard Drawing for Highway Construction สำนักสำรวจและออกแบบ กรุงเทพ

[12] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2527), การออกแบบความหนาผิวทางคอนกรีตตามวิธีของ PCA, วารสารวิศวกรรมโยธาและการก่อสร้าง ฉบับที่ 3 ปีที่ 1 หน้าที่ 245-294.

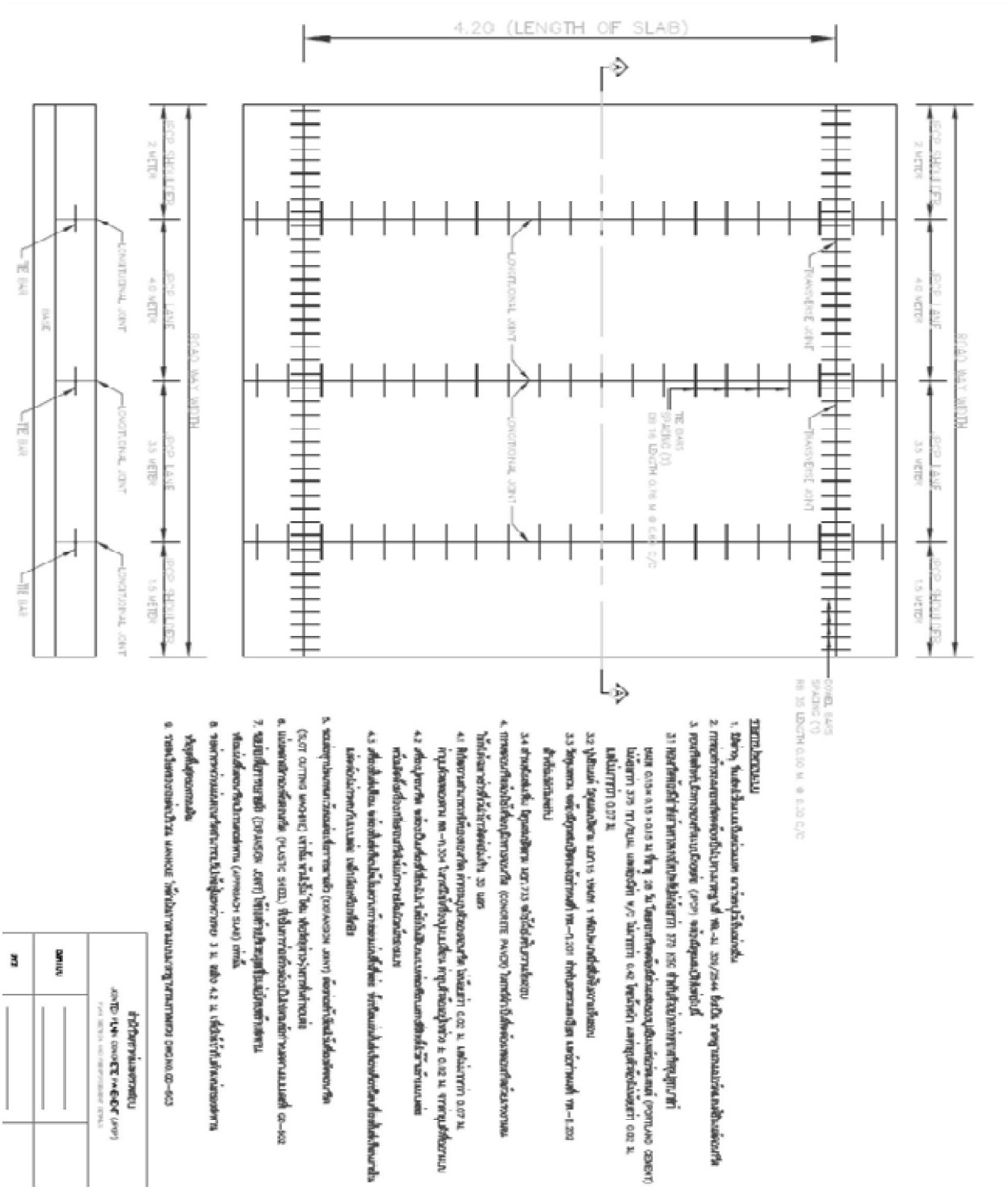
[13] แสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์ และชาโณ พยงค์ศรี (2551) การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทางคอนกรีต การสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2551 โดยโปรแกรม ELMOD สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

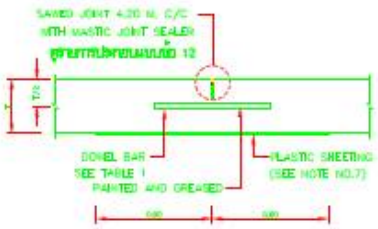
ภาคผนวก ก.

แบบแนะนำรายละเอียด JPCP

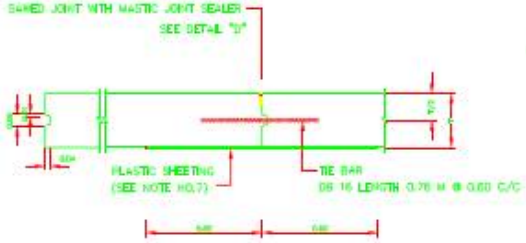
ทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ

ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

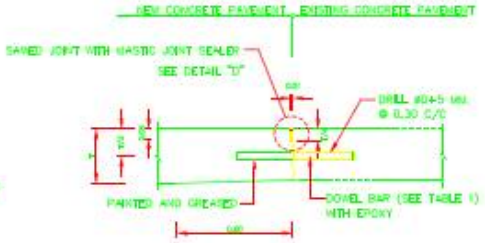




DETAIL OF CONTRACTION JOINT



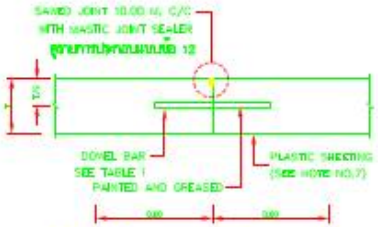
DETAIL OF LONGITUDINAL JOINT



DETAIL OF CONSTRUCTION JOINT

DETAIL OF JOINT BETWEEN NEW AND EXISTING CONCRETE PAVEMENT

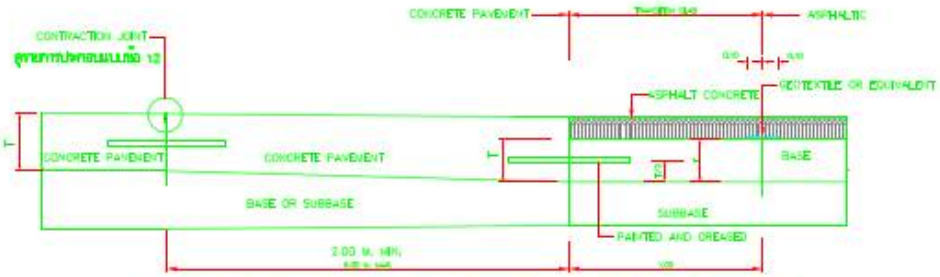
NOT TO SCALE



DETAIL OF CONSTRUCTION JOINT

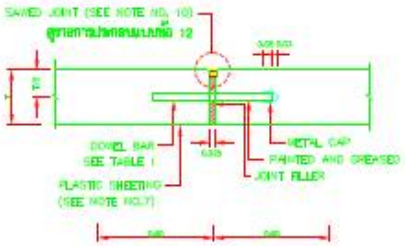
DETAIL OF TRANSVERSE JOINT

NOT TO SCALE

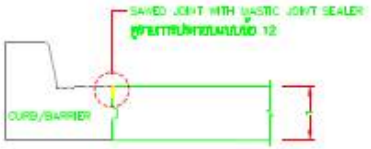


DETAIL OF JOINT BETWEEN CONCRETE PAVEMENT AND FLEXIBLE PAVEMENT

NOT TO SCALE



DETAIL OF EXPANSION JOINT



DETAIL OF DUMMY JOINT

DETAIL OF LONGITUDINAL JOINT

NOT TO SCALE

TABLE 1 DOWEL BAR FOR TRANSVERSE JOINTS

SLAB THICKNESS	DIAMETER (MM)	LENGTH	SPACING
0.25	32	0.50	0.30
0.28	35		

	JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP)	

รายการประกอบแบบ

1. รอยต่างๆ ที่แสดงไว้ในแบบเป็นแนวโดยประมาณ เท่านั้น
2. วัสดุยาแนวยาง (MASTIC JOINT SEALER) ต้องเป็นวัสดุอัดขยายหรือเทร้อนที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.479
3. วัสดุแผ่นกั้นรอยต่อ (JOINT FILLER) ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.1041 และ มอก.1079
4. รอยต่อทุกประเภทยกเว้นรอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ต้องก่อสร้างโดยใช้เครื่องมือตัดคอนกรีต (SLOT CUTTING MACHINE) เท่านั้น ห้ามใช้ฆ้อน โซ่ หรือวัสดุอื่นๆในการตัดแต่งรอยต่อ
5. การเตรียมรอยต่อสำหรับวัสดุยาแนวยาง
   5.1 ต้องทำความสะอาดรอยต่อด้วยเครื่องเป่าลมเพื่อกำจัดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกทุกประเภทออก และรอยต่อต้องอยู่ในสภาพแห้งเท่านั้น
   5.2 การทาน้ำยารองพื้นรอยต่อ (JOINT PRIMER) ก่อนยาแนวด้วยวัสดุยาแนวยาง (MASTIC JOINT SEALER) ต้องใช้แปรงทาหรือเครื่องพ่นในการทำ โดยที่รอยต่อต้องถูกทำให้แห้งก่อนที่จะยาแนววัสดุยาแนวยางต่อไป ภายในเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง และจะต้องมีการทำความสะอาดอีกครั้งก่อนการยาแนว เพื่อให้มั่นใจว่าพื้นผิวมีคุณสมบัติที่เหมาะสม
   5.3 ต้องทำการยาแนวรอยต่อแล้วเสร็จภายในเวลาที่เร็วที่สุด
   5.4 การยาแนวรอยต่อจะต้องใช้เครื่องมือสำหรับการยาแนวรอยต่อ
6. เหล็กเสริมรอยต่อตามยาว (TIE BAR) จะต้องเป็นเหล็กข้ออ้อย (DEFORMED BSR) ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก.24 เกรด SD40 สำหรับเหล็กเสียบจะต้องเป็นเหล็กกลมผิวเรียบ (PLAIN AND ROUND BAR) มีกำลังที่จุดคราก (YIELD SERENGTH) ไม่น้อยกว่า 420 MPa และมีคุณภาพตามมาตรฐาน AASHTO M31 GRADE 60 หรือ ASTM A615 GRADE 60
7. แผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีต (PLASTIC SHEEL) ที่ใช้ในการก่อสร้างต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้
   7.1 แผ่นพลาสติกต้องมีความหนา 0.07 มม. โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 7%
   7.2 ความกว้างของแผ่นพลาสติกต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.20 ม.
   7.3 แผ่นพลาสติกต้องมีลักษณะเหนียว ไม่มีรู กันน้ำ และไม่มีรู บริเวณขอบต้องเป็นแถบตรง บริเวณที่ทำการทับและบริเวณที่ทองต้องสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
   7.4 แผ่นพลาสติกต้องยาวต่อเนื่องตลอดความกว้างของช่องจราจรทั้งหมด ถ้าจำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อแผ่นพลาสติก ให้ทำเป็นรอยต่อตามยาว โดยให้แผ่นพลาสติกที่จะทำการเชื่อมต่อวางซ้อนกันอย่างน้อย 20 ซม.
8. กาวอีพ็อกซี่ (EPOXY) ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM A884/A884M–12 หรือเทียบเท่า
9. แผ่นใยสังเคราะห์ (GEOTEXTILE) รองใต้ผิวทาง ASPHAL CONCRETE ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน AASHTO A289–05 หรือเทียบเท่า
10. รอยต่อเพื่อการขยายตัว (EXPANSION JOINT) ให้ใช้บริเวณชุดเชื่อมต่อโครงสร้างสะพาน หรือแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณพื้นที่ทางเข้าสะพาน (APPROACH SLAB) เท่านั้น
11. การก่อสร้างถนนคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 309/2544 ซึ่งเป็นมาตรฐานถนนแอ่งสเตนเลสสตีลมาตรฐานกรมทางหลวง DWG NO.CD–602
12. รายละเอียดของการตัดรอยต่อ และการวางตำแหน่งของเหล็กเส้นให้เป็นไปตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง DWG NO.CD–602

ภาคผนวก ข.

ข้อกำหนดพิเศษแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต (Geotextile) ทางหลวงหมายเลข 225 นครสวรรค์-ชัยภูมิ ตอน บ.ซับอีลุม - บ.ซับตะแบก ช่วง กม. 142+780 ถึง 152+200

๑. คุณสมบัติวัสดุ

แผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้ ต้องเป็นใยสังเคราะห์แบบไม่ถักทอ (Non Woven Geotextile) ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตที่ได้รับการรับรองตามาตรฐาน ISO9001 โดยมีกรรมวิธีผลิตแบบ Needle Punch หรือ Spun Bond ไม่อนุญาตให้ใช้วัสดุที่ผลิตโดยให้ความร้อน (Thermal Treatment) สามารถทนต่อสภาพความเป็นด่างของคอนกรีตได้ดี ขนาดม้วนมีความกว้างไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร และความยาวไม่น้อยกว่า 100 เมตร โดยมีฉลากแสดงชื่อสินค้า ชนิด รุ่น และเลขหมายการผลิตที่ชัดเจน แสดงบนริมนอกของม้วนแผ่นใยสังเคราะห์ทุกม้วน แผ่นใยสังเคราะห์ที่ไม่มีการแสดงเครื่องหมายดังกล่าว กรมทางหลวงจะไม่รับและผู้ขายจะต้องนำกลับโดยทันที แผ่นใยสังเคราะห์จะต้องเก็บโดยใช้วัสดุทึบแสงคลุมเก็บไว้ในที่ร่ม ห้ามโดนแสงอาทิตย์โดยตรงนานเกิน 15 วัน เพราะจะทำให้เสียคุณสมบัติของวัสดุ แผ่นใยสังเคราะห์จะต้องสามารถทนทานต่อสารเคมีต่างๆที่มีอยู่ในธรรมชาติ และสามารถทนความเป็นกรดด่างได้ระหว่าง pH 2 – pH 13 และแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องมีคุณสมบัติขั้นต่ำ ดังนี้

คุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต

คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	มาตรฐานการทดสอบ
น้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 400 กรัม/ตร.ม.	ISO 9864 หรือ ASTM D 5261
Alkali Resistant	≥ 96% Polypropelene/Polyethelene	ใบรับรองจากผู้ผลิต

๒. การทดสอบวัสดุ

ผู้รับจ้างจะต้องจัดส่งตัวอย่างแผ่นใยสังเคราะห์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติตามตารางคุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์สำหรับรองผิวทางคอนกรีต โดยค่าใช้จ่ายเป็นของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

การสุ่มชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ผู้ควบคุมงานจะระบุตำแหน่งการสุ่มชักตัวอย่างจากวัสดุที่ผู้รับจ้างส่งมอบทุกๆ 5,000 ตารางเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง เมื่อจัดเก็บเสร็จแล้วให้ผู้รับจ้างจัดส่งไปทดสอบ โดยผู้ควบคุมงาน หรือตัวแทนเป็นผู้ร่วมในการส่งตัวอย่างออกไปทดสอบด้วย หากผลการทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์คุณลักษณะเฉพาะที่กำหนด ผู้รับจ้างจะต้องนำแผ่นใยสังเคราะห์ทั้งหมดกลับไปและส่งมอบแผ่นใยสังเคราะห์ชุดใหม่ ตามจำนวนที่กำหนดเดิม เพื่อดำเนินการสุ่มชักตัวอย่างอีกครั้ง

อนึ่ง ค่าคุณสมบัติอื่นๆ ที่กรมทางหลวงไม่สามารถทดสอบได้ ให้ผู้ขายส่งเอกสารรับรอง (Statement of Quality) เพื่อยืนยันการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์

๓. การก่อสร้าง

ก่อนทำการก่อสร้าง ให้ทำการเตรียมสภาพชั้นทางที่จะทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์ ไม่ให้มีเศษวัสดุ หรือ ก้อนวัสดุ ที่อาจทำให้เกิดการฉีกขาดของแผ่นใยสังเคราะห์ หากผิวมีลักษณะหยาบและมีคมให้ปรับสภาพความเหมาะสมโดยใช้ทรายปรับพื้นผิวก่อน แล้วจึงเริ่มทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์

การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ให้ปูในทิศทางของช่องจราจรแนบไปกับพื้นผิว โดยให้มีระยะทาบระหว่างแผ่นไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เมื่อทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์แล้ว ให้ทำการตอกยึดด้วยหมุดหรือวัสดุอื่นใด โดยให้ผู้รับจ้างเสนอวิธีในการตอกยึดนำเสนอเพื่อรับการอนุมัติจากกรมทางหลวง และก่อนเทคอนกรีตให้ทำการพรมน้ำให้ชุ่ม

****