รายงานฉบับที่ วพ.328 **สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง**

REPORT NO. RD 328 BUREAU OF ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT

การเสริมผิวทางถนนผิวทางยืดหยุ่นด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต และการประเมินผลด้านความแข็งแรงภายหลังการบูรณะ

โดย

จุฑา สุนิตย์สกุล

ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT

RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND

การเสริมผิวทางถนนผิวทางยืดหยุ่นด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต และการประเมินผลด้านความแข็งแรงภายหลังการบูรณะ

โดย

จุฑา สุนิตย์สกุล
ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์

รายงานฉบับที่ วพ. 328

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

กรกฎาคม 2568

รายงานนี้เป็นแนวความคิดของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

คำนำ

กรมทางหลวงได้ดำเนินก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตครั้งแรกในปี พ.ศ. 2503 บนทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว โดยก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (ลูกรัง) ปราศจากชั้นทรายรองถนนคอนกรีต มีระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร (Contraction Joint) คาดว่าเป็นการก่อสร้างผิวทาง Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) โดยมีระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร และได้เปิดการจราจรในปี พ.ศ. 2507 ซึ่งมีการใช้งานได้ดี ไม่พบปัญหาการ Pumping หลังจากนั้นกรมทางหลวงได้มีก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตสายที่สอง คือ สายกรุงเทพ – นครปฐม โดยก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม มีระยะห่างรอยต่อตามขวาง 36 เมตร และมีระยะทางประมาณ 41 กิโลเมตร ซึ่งถนนสายนี้เกิดปัญหาภายหลังการก่อสร้างได้ไม่นาน เป็นผลจากการเกิด Pumping ของถนนสายนี้ กรมทางหลวงจึงเลือกวิธีการก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีต โดยมีชั้นทรายรองถนนคอนกรีต (ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ 2527)

ถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อทำการเปิดการจราจรจะก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพจากยานพาหนะที่ใช้ถนนและจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การเสริมผิวทางจึงเป็นทางเลือกในการบูรณะทางหลวง เพื่อให้ถนนมีการอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งมีวิธีการดำเนินการได้โดยการเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือการเสริมผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) การเสริมผิวทางแบบแข็งด้วยซีเมนต์คอนกรีตมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้แอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับสายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกเป็นจำนวนมาก ในอดีตที่ผ่านมาการเปลี่ยนวัสดุผิวทางจากแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวทางซีเมนต์คอนกรีตจะต้องทำการขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและทำการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางใหม่ ทำให้ต้องมีการปิดการจราจรเป็นระยะเวลายาวนาน และจะต้องทำการขนวัสดุโครงสร้างชั้นทางจากภายนอกพื้นที่ก่อสร้างเข้ามาในพื้นที่ก่อสร้าง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการจราจรและชีวิตประจำวันของผู้ใช้ถนนและผู้อยู่อาศัยในพื้นที่สองข้างทาง ดังนั้นการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยไม่ต้องขุดรื้อโครงสร้างชั้นผิวทางเดิม จะสามารถช่วยลดผลกระทบที่กล่าวในข้างต้นได้

(นายอภิรัฐ ไชยวงศ์น้อย)
อธิบดีกรมทางหลวง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช วิศวกรใหญ่ด้านวิจัยและพัฒนา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการ ให้คำแนะนำ แก้ไขงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทั้งการทดสอบในภาคสนามและผู้เกี่ยวข้องในส่วนกลาง

การเสริมผิวทางถนนผิวทางยืดหยุ่นด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและการประเมินผลด้านความแข็งแรงภายหลังการบูรณะ

****

จุฑา สุนิตย์สกุล **ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์**

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง **สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบทาง**

กรมทางหลวง

บทคัดย่อ

ถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อทำการเปิดการจราจร จะมีการเสื่อมสภาพ เนื่องจากรถที่ใช้ถนนและสิ่งแวดล้อม การเสริมผิวทางจึงเป็นทางเลือกในการบูรณะทางหลวง เพื่อให้ถนนมีการอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถดำเนินการได้ทั้งเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) ในบางสายทางเช่นสายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกเป็นจำนวนมาก การเสริมผิวทางด้วยซีเมนต์คอนกรีตมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้แอสฟัลต์คอนกรีต ในอดีตที่ผ่านมาการเปลี่ยนวัสดุผิวทางจากแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวทางซีเมนต์คอนกรีต จะต้องทำการขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและทำการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางใหม่ ทำให้ต้องมีการปิดการจราจรเป็นระยะเวลายาวนาน และจะต้องทำการขนวัสดุโครงสร้างชั้นทางจากภายนอกพื้นที่ก่อสร้างเข้ามาในพื้นที่ก่อสร้าง ทำให้เกิดปัญหากับผู้ใช้ถนนและผู้อยู่อาศัยในพื้นที่สองข้างทาง ดังนั้นการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยไม่ต้องขุดรื้อโครงสร้างชั้นผิวทางเดิม จะสามารถลดผลกระทบที่กล่าวในข้างต้นได้

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 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ของการศึกษา 2

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา

2.1 การเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 4

2.1.1 การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบไม่เชื่อมติดกับผิวทางเดิม (Unbonded Overlay) 5

2.1.2 การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบเชื่อมติดกับผิวทางเดิม (Bonded Overlay) 5

2.2 การพิจารณาในการเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต 5

2.1.2 การประเมินสภาพโครงสร้างชั้นทางเดิม 5

2.2.2 การเลือกใช้วัสดุเสริมระหว่างผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและผิวทางเดิม (Inter-Layer) 6

2.3 หน่วยแรงที่เกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อมและแรงเสียดทาน 8

2.4 การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง 10

2.4.1 การกำหนดความหนาของถนนซีเมนต์คอนกรีต ตามวิธีการของ AASHTO 1993 10

2.5 Load Transfer Efficiency บริเวณรอยต่อ (Joint) 12

2.6 การทดสอบ Load Transfer Efficiency ด้วยอุปกรณ์ Falling Weight Deflectometer (FWD) 14

2.7 การพิจารณาบูรณะถนนซีเมนต์คอนกรีต 16

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่	**ขั้นตอนการดำเนินงาน**	
3	3.1 บทนำ	17
	3.2 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงที่ใช้ในการศึกษา	17
	3.2.1 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 ตอนศรีราชา – อ่าวอุดม	17
	3.2.2 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 36 ตอนกระทิงลาย- ระยอง	17
	3.2.3 โครงการก่อสร้างบูรณะทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม - จ.ฉะเชิงเทรา	18
	3.2.4 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข -344 ตอน อ.บ้านบึง – บรรจบทางหลวงหมายเลข 331	18
	3.2.5 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง - อ.แกลง	18
	3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ	18
บทที่	**ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์**	
4	4.1 การออกแบบแนะนำโครงสร้างชั้นทาง	19
	4.2 การประเมินความแข็งแรงโครงสร้างชั้นภายหลังการก่อสร้าง	25
บทที่	**สรุปผลการศึกษา ปัญหา/อุปสรรค และข้อเสนอแนะ**	
5	5.1 สรุปผลการวิจัย	37
	5.2 การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ	38
	5.3 ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ	38
	5.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ	39
	5.5 ข้อเสนอแนะ	39

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงค่า Reliability for Various Functional Classifications (R)	13
2.2	ตารางแสดงค่า Z_R จากค่า Reliability (R) ที่พิจารณาเลือกใช้	13
2.3	ตารางแสดงค่า Load Transfer Coefficient (J)	14
2.1	ปริมาณการจราจรรูปแบบผิวทางซีเมนต์คอนกรีตที่ได้ทำการออกแบบฯ	21

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	Pavement Condition และอายุการใช้งานตามแนวทางเลือกโครงสร้างชั้นทาง	3
1-2	ข้อดีและข้อด้อยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางซีเมนต์คอนกรีต	3
2.1	ปริมาณการเสริมผิวซีเมนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกา	4
2.2	ประเภทการเสริมผิวซีเมนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกา	4
2.3	แบบก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินแผ่นดิน ตอน ดาวคะนอง-พระประแดง กม.6+850 ถึง11+915 โดยคงผิวการจรจรเดิม	8
2.4	การโก่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น (Curing and Warping) (Jung et. al., 2010)	9 6
2.6	แบบจำลองการเกิดการแอ่นตัวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นกรณีที่ชั้นพื้นทางมีลักษณะแกร่ง (Perfectly Rigid) และลักษณะยืดหยุ่น (Flexible) (Jung et. al., 2010)	10
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแข็งแรงของดินชนิดอื่นๆ	12
2.7	รูปแสดงการถ่ายเทน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint) ของถนนซีเมนต์คอนกรีต	
7	รูปแสดงการทดสอบ Load Transfer Efficiency ด้วยอุปกรณ์ Falling Weight Deflectometer	16
4.1	รูปตัดแนะนำโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม (ช่วงที่ผิวทางเป็นซีเมนต์คอนกรีต)	22
4.2	รูปตัดแนะนำโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 36 ตอนกระทิงลาย - จ.ระยอง	22
4.3	รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม - จ.ฉะเชิงเทรา	23
4.4.1	รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331	23
4.4.2	รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331	23
4.4.3	รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331	24
4.5.1	รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง-อ.แกลง ช่วง กม. 100+7000 – 101+830	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5.2	รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง-อ.แกลง ช่วง กม. 101+830 – 102+181	25
4.6ก	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม ด้านซ้ายทาง	26
4.6ข	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม ด้านขวาทาง	27
4.7ก	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง ทางหลวงหมายเลข 36 กระทิงลาย – จ.ระยอง ด้านซ้ายทาง	28
4.7ข	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง ทางหลวงหมายเลข 36 กระทิงลาย – จ.ระยอง ด้านขวาทาง	29
4.8ก	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม-จ.ฉะเชิงเทรา ด้านซ้ายทาง	30
4.8ข	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม-จ.ฉะเชิงเทรา ด้านขวาทาง	31
4.9	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – บรรจบทางหลวงหมายเลข 331	32
4.10ก	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง - อ.แกลง ด้านซ้ายทาง	33
4.10ข	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง - อ.แกลง ด้านขวาทาง	34
4.11	ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างระยะประมาณเวลา 1 ปี ทางหลวงหมายเลข 7 พัทยา- มาบตาพุต	35
4.12	ค่าการทรุดตัว (d_o)บริเวณจุดที่ทดสอบกึ่งกลางแผ่น JRCP	36
4.13	ค่าการ Differential Deflection (dd) บริเวณรอยต่อตามขวางถนน JRCP	36
4.14	ค่าการ Load Transfer Efficiency (LTE) บริเวณรอยต่อตามขวางถนน JRCP	36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

กรมทางหลวง ได้ดำเนินก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตครั้งแรกในปี 2503 บนทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ – ลาดพร้าว โดยก่อสร้างบนชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (ลูกรัง) ปราศจากชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร (Contraction Joints) คาดว่าเป็น Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) 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) โดยในความคิดเห็นของผู้เขียน ถนนคอนกรีตที่ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 36 เมตร จะเกิดหดตัวจากสภาพแวดล้อมมากกว่าถนนคอนกรีตที่ระยะห่างรอยต่อตามขวาง 6 เมตร จึงอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำน้ำจากผิวจราจรซึมสู่ชั้นรองพื้นทางด้านล่างและทำให้เกิดการอัดทะลักได้

ถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อทำการเปิดการจราจร จะมีการเสื่อมสภาพ เนื่องจากรถที่ใช้ถนนและสิ่งแวดล้อม การเสริมผิวทางจึงเป็นทางเลือกในการบูรณะทางหลวง เพื่อให้ถนนมีการอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถดำเนินการได้ทั้งเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) ในบางสายทางเช่นสายทางที่มีรถบรรทุกจำนวนมาก การเสริมผิวทางด้วยซีเมนต์คอนกรีตมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้แอสฟัลต์คอนกรีต ในอดีตที่ผ่านมาการเปลี่ยนวัสดุผิวทางจากแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวทางซีเมนต์คอนกรีต จะต้องทำการขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและทำการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางใหม่ ทำให้ต้องมีการปิดการจราจรเป็นระยะเวลายาวนาน และจะต้องทำการขนวัสดุโครงสร้างชั้นทางจากภายนอกพื้นที่ก่อสร้างเข้ามาในพื้นที่ก่อสร้าง ทำให้เกิดปัญหากับผู้ใช้ถนนและผู้อยู่อาศัยในพื้นที่สองข้างทาง ดังนั้นการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยไม่ต้องขุดรื้อโครงสร้างชั้นผิวทางเดิม จะสามารถลดผลกระทบที่กล่าวในข้างต้นได้

ข้อดีในการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นผิวทางเดิมโดยไม่ต้องทำการขุดรื้อมีดังนี้ (1) สามารถลดผลกระทบจากปัญหาการจราจรในระหว่างการบูรณะก่อสร้าง (2) ลดการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติ (3) ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ต้องทำการขนย้ายวัสดุโครงสร้างชั้นทางเดิมและต้องนำวัสดุโครงสร้างชั้นทางใหม่ขนส่งมาใช้ในการก่อสร้าง (4) สามารถลดราคาค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาถนนในอนาคตได้ (5) การก่อสร้างและบูรณะทำได้รวดเร็ว และ (6) ถนนที่เสริมผิวทางด้วย

ผิวทางซีเมนต์คอนกรีตที่สร้างแล้วเสร็จจะมีอายุการใช้งานมากกว่าถนนที่เสริมผิวทางด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต

การพิจารณาอายุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางนั้น เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะได้ความความหนาของโครงสร้างชั้นทางที่แตกต่างกัน ในกรณีที่ออกแบบโดยที่อายุการใช้งานน้อย จะทำให้ต้องทำการบูรณะถนนรวดเร็วมากขึ้นค่าใช้จ่ายในการบูรณะสูง (รูปแบบทางเลือก A ตามภาพที่ 1.1) แต่ถ้าเป็นรูปแบบทางเลือก B ค่าก่อสร้างจะมีมูลค่าสูงกว่ารูปแบบ A แต่จะมีค่าบูรณะต่ำกว่า ดังนั้นในการออกแบบโครสร้างชั้นทางควรที่จะดำเนินการพิจารณา Life Cycle Cost Analysis (LCCA) เพื่อให้โครงสร้างชั้นทางที่มีค่าก่อสร้างรวมค่าบูรณะที่ต่ำ ทั้งนี้รูปแบบที่ใช้ในการพิจารณานั้นควรมีทั้งรูปแบบผิวทางแบบยืดหยุ่นและแบบแข็ง โดยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางซีเมนต์คอนกรีต ต่างมีข้อดีและข้อด้อยตามภาพที่ 1.2

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

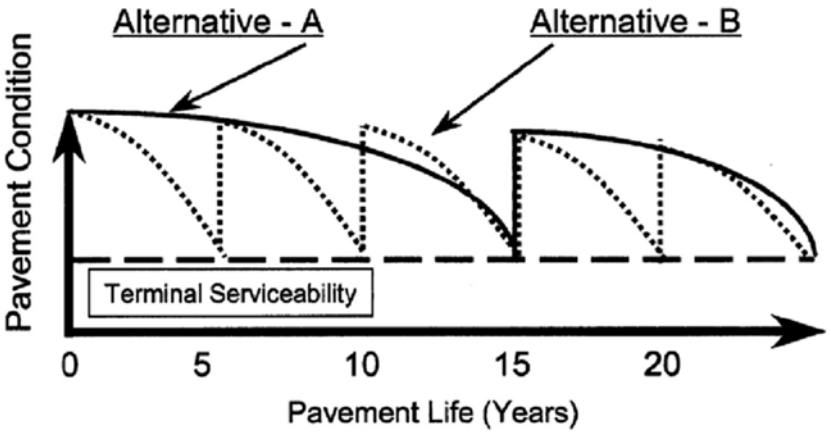
การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- เพื่อประเมินการเสริมผิวทางถนนผิวทางยืดหยุ่นด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต
- เพื่อประเมินผลด้านความแข็งแรงภายหลังการบูรณะ
- เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง

1.3 ประโยชน์ของการศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษามีดังต่อไปนี้

- การเสริมผิวทางถนนผิวทางยืดหยุ่นด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตสำหรับถนนที่ปริมาณการจราจรสูง ของประเทศไทยที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีฝนตกชุกได้ โดยมูลค่าก่อสร้างหรือบูรณะเพิ่มขึ้นไม่มาก
- การเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทำให้สามารถลดค่าบูรณะที่อาจจะเกิดขึ้นและลดผลกระทบต่อผู้ใช้ถนนได้
- สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมลดการใช้วัสดุโครงสร้างชั้นทาง/ผิวทาง และสามารถลดภาระการบูรณะและบำรุงรักษาผิวทาง
- ข้อมูลที่ได้จากการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วย FWD ภายหลังการก่อสร้างโครงการฯ นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางในอนาคต



ภาพที่ 1.1 Pavement Condition และอายุการใช้งานตามแนวทางเลือกโครงสร้างชั้นทาง

Asphalt Concrete Pavement	
Advantage	Disadvantage
Strong Adaptability High Comfort Low Construction Difficulty Simple Maintenance Poor Road Reflection	Poor Water Resistance High Maintenance Cost Poor Environmental Protection\ High Fuel Consumption
Cement Concrete Pavement	
Strong Bearing Capacity and Good Quality Good Durability Long Service Life Abundant Raw Materials and High Economic Benefits	Low Comfort Difficult to Maintain Too Many Joints White Pavement is highly Reflective

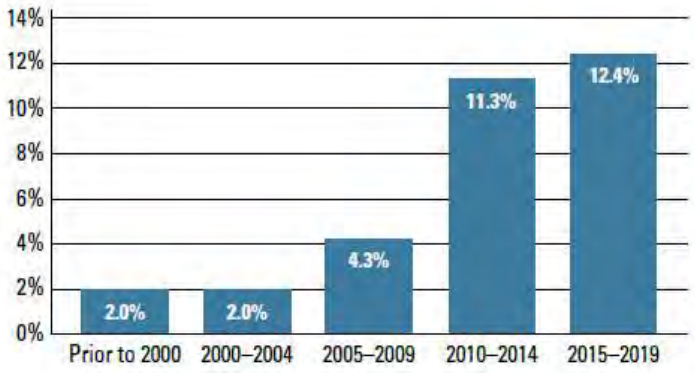
ภาพที่ 1.2 ข้อดีและข้อด้อยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางซีเมนต์คอนกรีต

บทที่ 2

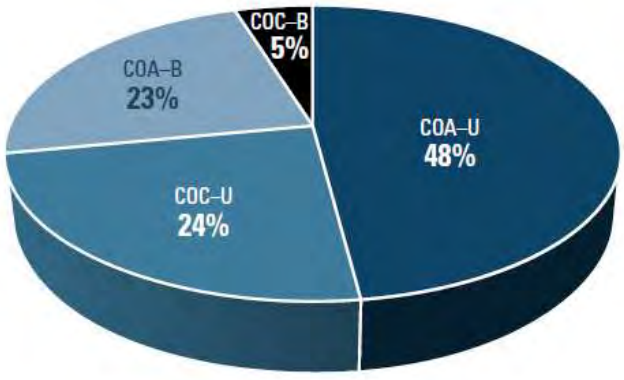
การทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา

2.1 การเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต

การเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต (Concrete on Asphalt: COA) สามารถดำเนินการได้ 2 รูปแบบดังนี้ (1) การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบไม่เชื่อมติดกับผิวทางเดิม (Concrete on Asphalt-Unbonded: COA-U) และ (2) การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบเชื่อมติดกับผิวทางเดิม (Concrete on Asphalt-Bonded: COA-B) ในประเทศสหรัฐอเมริกา การบูรณะถนนด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี ภาพที่ 2.1 และ ภาพที่ 2.2 จำแนกประเภทการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตในประเทศสหรัฐอเมริกา (Cakler et al, 2021)



ภาพที่ 2.1 ปริมาณการเสริมผิวซีเมนต์คอนกรีตในประเทศสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 2.2 ประเภทการเสริมผิวซีเมนต์คอนกรีตในประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.1 การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบไม่เชื่อมติดกับผิวทางเดิม (Unbonded Overlay)

การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบ Unbonded Overlay เป็นการเสริมผิวทางคอนกรีตบนผิวทางเดิมโดยผิวทางคอนกรีตถ่ายแรงไปสู่ผิวทางเดิมเพียงบางส่วน โดยผิวทางใหม่จะเป็นส่วนหลักของโครงสร้างชั้นทางในการรับน้ำหนักจราจร โครงสร้างชั้นทางเดิมจะทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมในการรับกำลังโดยจะทำหน้าที่เป็นชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทาง โดยมักจะมีการเพิ่มชั้นทางระหว่างผิวทางเดิมกับผิวทางใหม่ (Inter-Layer) วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำงานได้ง่าย การออกแบบการเสริมผิวทางสามารถออกแบบได้เช่นเดียวกับการออกแบบผิวทางใหม่ ซึ่งที่ผ่านมา ส่วนออกแบบแนะโครงสร้างชั้นทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้ออกแบบแนะนำการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตด้วยวิธีการนี้

2.1.2 การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบเชื่อมติดกับผิวทางเดิม (Bonded Overlay)

การเสริมผิวทางคอนกรีตแบบ Bonded Overlay เป็นการเสริมผิวทางคอนกรีตบนผิวทางเดิมโดยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตถ่ายแรงไปสู่ผิวทางเดิมทั้งหมด โดยจะเป็นการเสริมกำลังให้กับผิวทางเดิม ดังนั้นจึงสามารถลดความหนาของผิวทางที่นำมาเสริมใหม่ได้ เนื่องจากผิวทางเดิมและผิวทางใหม่จะทำหน้าที่รับแรงร่วมกัน ดังนั้นผิวทางเดิมควรจะยังมีสภาพที่ค่อนข้างดี การออกแบบจะต้องคำนึงถึงการถ่ายแรงระหว่างผิวทางซีเมนต์คอนกรีตใหม่และผิวทางเดิม การซ่อมแซมผิวทางเดิมต้องทำอย่างระมัดระวัง และยังมีข้อควรระวังอีกหลายอย่าง ซึ่งถ้าทำได้อย่างถูกต้องก็จะได้ถนนผิวทางที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงที่สูงและมีอายุยาวนาน คุ้มค่าต่อการลงทุน กรมทางหลวงได้นำวิธีการนี้ในการบูรณะทางแยกระหว่างทางหลวงหมายเลข 344 และทางหลวงหมาย 3245 ปัจจุบันกรมทางหลวงได้ทำการเปลี่ยนผิวทางแยกดังกล่าวเป็นถนนผิวทาง JRCP ความหนา 25 เซนติเมตร

2.2 การพิจารณาเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต

ในการพิจารณาออกแบบเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต ผู้ออกแบบโครงสร้างชั้นทางควรทราบถึงรูปแบบที่จะดำเนินการก่อสร้างหรือบูรณะ เช่น ลักษณะการขยายคันทาง การปรับเปลี่ยนระดับคันทาง การปรับปรุง Crown/Cross Slope ความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางเดิม สภาพพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้าง และข้อจำกัดต่าง ๆ ที่จะดำเนินการ โดยพิจารณาจากหลายองค์ประกอบในการดำเนินการ ลักษณะชุมชน ลักษณะทางกายภาพของถนนเดิม ระดับของสะพานเดิม ความจำเป็นในการปรับปรุงสะพานเดิม ความเรียบ ความเสียหายของถนนเดิม ผลกระทบต่อประชาชนผู้ใช้ทางและผู้อยู่อาศัยบริเวณโครงการฯ เป็นต้น

2.2.1 การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างชั้นทางเดิม

ก่อนที่จะทำการพิจารณาแนวทางในการบูรณะถนนเดิมนั้น ผู้ออกแบบโครงสร้างชั้นทางจะต้องพิจารณาความแข็งแรงของถนนเดิม และลักษณะความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยอาจรวบรวมจากการตรวจสอบประวัติสายทาง ประวัติการบูรณะถนน ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน แล้วทำการตรวจสอบสภาพความเสียหายของถนน โดยอาจทำการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา

(Visual Inspection) ทำการขุดบ่อทดสอบ (Test Pit) ทดสอบการแอ่นตัวของโครงสร้างชั้นทางด้วย Falling Weight Deflectometer เป็นต้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นก่อนที่จะพิจารณาเลือกรูปแบบของการบูรณะถนนที่เหมาะสม ในระหว่างการลงพื้นที่เพื่อสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางและเนื่องจากส่วนมากถนนในกรมทางหลวง ไม่มีด่านช่างน้ำหนักแบบรถไม่ต้องหยุดนิ่ง (Weight In Motion Station) ผู้ออกแบบฯ ควรประเมินการใช้ที่ดินสองข้างทาง และชนิดของวัสดุที่รถบรรทุกขนส่ง เพื่อประเมินน้ำหนักการบรรทุกสำหรับการออกแบบโครงสร้างชั้นทางต่อไป

2.2.2 การเลือกใช้วัสดุเสริมระหว่างผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและผิวทางเดิม (Inter-Layer)

การเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวทางคอนกรีตจะต้องคำนึงถึงหน่วยแรงที่จะเกิดขึ้นกับถนนคอนกรีตใหม่ หากผิวทางเดิมเกิดความเสียหาย ความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจส่งผลให้หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติในผิวซีเมนต์คอนกรีตใหม่ ในกรณีที่ความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นจุดอ่อนตัวหรือเกิดการทรุดตัวของคันทาง จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวก่อน ในการกรณีที่จะทำการยกระดับถนนจากถนนเดิม สามารถใช้วัสดุโครงสร้างชั้นทางมาเสริมระหว่างผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและผิวทางเดิมเพื่อทำให้ถนนคอนกรีตใหม่สามารถถ่ายแรงลงไปในชั้นถนนเดิมได้อย่างสม่ำเสมอ ช่วยในการระบายน้ำ ลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและวัสดุรองถนนคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมระหว่างผิวทางเดิมกับผิวทางใหม่ ได้แก่

1. วัสดุมวลรวม (Unbound Material) ในกรณีที่การยกระดับถนนสูงขึ้นจากเดิมมาก สามารถเลือกใช้วัสดุ Unbound Materials เช่นวัสดุมวลรวมพื้นทางหินคลุก หรือวัสดุรองพื้นทางมวลรวม ในกรณีที่ถนนเดิมเกิดรอยแตกหรือเป็นรอยต่อ ซึ่งไม่ได้เป็นเป็นจุดอ่อนตัวหรือความเสียหายลึกถึงชั้นพื้นทาง อาจไม่จำเป็นต้องทำการขุดรื้อชั้นโครงสร้างทางเดิม โดยพิจารณาเลือกใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดความกว้างของรอยแตกมาใช้เพื่อใช้ช่วยในการถ่ายแรงสู่ชั้นผิวทางเดิมได้อย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ความหนาของชั้น Interlayer จะต้องเป็นตามความหนาที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

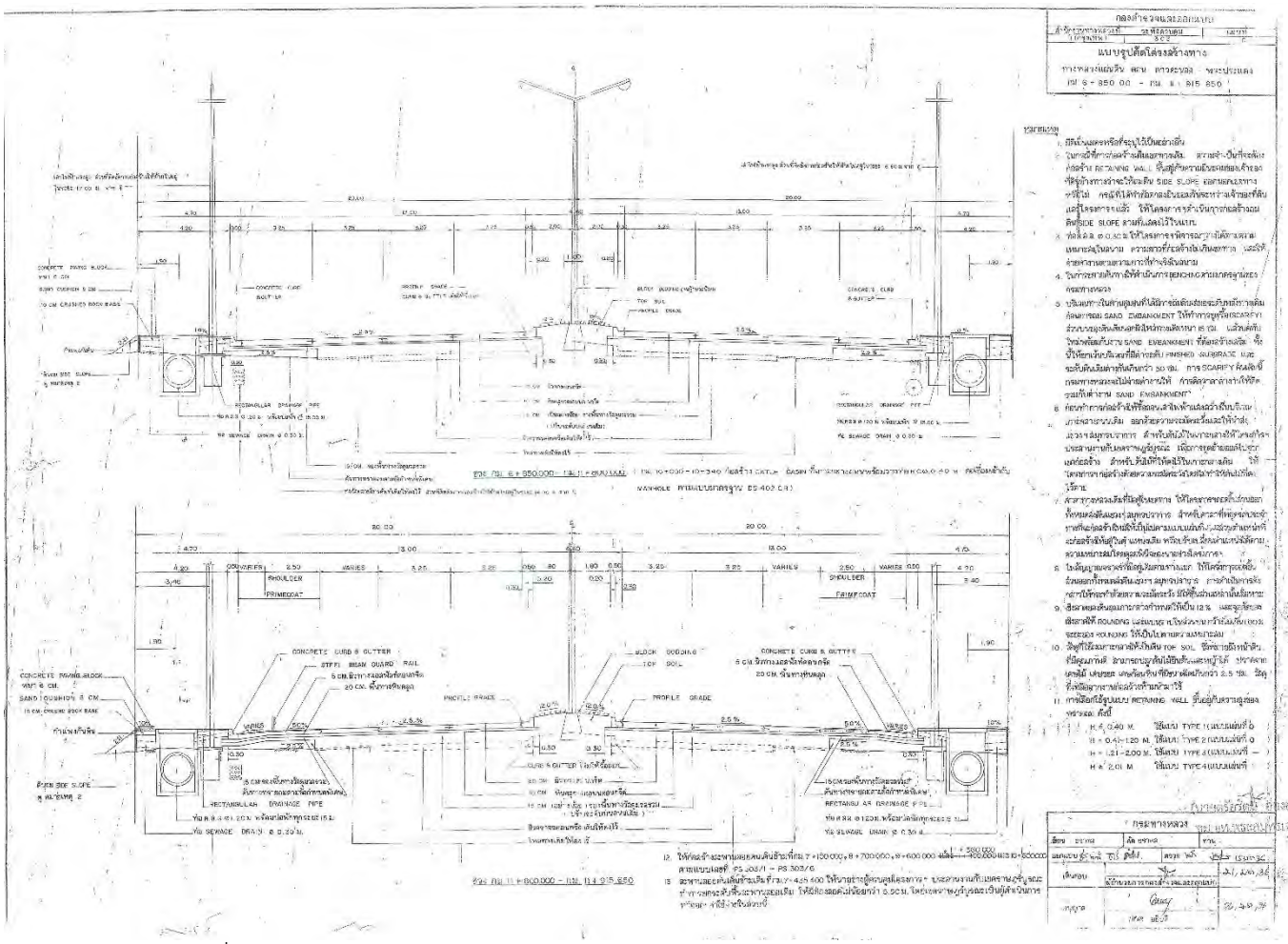
ทั้งนี้ในปี 2536 กรมทางหลวง ได้ดำเนินการออกแบบโครงสร้างชั้นทางทางหลวงแผ่นดิน ตอน ดาวคะนอง - พระประแดง กม.6+850 ถึง11+915 โดยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนถนนผิวทางซีเมนต์คอนกรีตเดิมตามภาพที่ 2.3

2. วัสดุมวลรวมผสมซีเมนต์ เช่น ดินซีเมนต์ หินคลุกผสมซีเมนต์ วัสดุหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ผสมปูนซีเมนต์ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุชั้นปรับระดับได้ แต่จะต้องใช้วัสดุ Interlayer เช่น แอสฟัลต์คอนกรีตในข้อ 3 หรือแผ่นใยสังเคราะห์รองถนนคอนกรีต (Geotextile) ตามข้อ 4 ซึ่งจะช่วยลดแรงเสียดทาน ป้องกันการยึดติดและยังช่วยในการกรองวัสดุมวลละเอียดที่อาจจะอัดทะลักและช่วยในการระบายน้ำ ซึ่งการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เพื่อเป็น Separation layer ระหว่างผิวทาง

ซีเมนต์คอนกรีตและชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ กรมทางหลวง ได้นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 290 วงแหวนเมืองนครราชสีมา ด้านใต้ เป็นสายแรก

3. แอสฟัลต์คอนกรีต ในกรณีผิวทางเดิมมีความเสื่อมสภาพ มีรอยแตกมาก สามารถขูดไสแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมบางส่วนที่เสื่อมสภาพ และก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตทับผิวทางเดิมและก่อสร้างชั้นผิวทางซีเมนต์คอนกรีต เนื่องจากแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ยาก จึงสามารถที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุรองถนนคอนกรีต ทั้งนี้แรงเสียดทานระหว่างชั้นผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีค่าสูง ดังนั้นในการเลือกใช้ JRCP จะต้องพิจารณาการเสริมเหล็กให้เพียงพอ ในปัจจุบันสำนักวิเคราะห์ ได้จัดทำข้อกำหนดแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับเป็นวัสดุชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตตามภาคผนวก ก โดยใช้มวลรวมขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ทั้งนี้เพื่อให้มีความทึบน้ำมากขึ้น มีความคงทน ลดแรงความเสียดทาน และลดปัญหาการเกิดการอัดทะลัก (Pumping)

4. แผ่นใยสังเคราะห์รองถนนซีเมนต์คอนกรีต (Geotextile) การเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นวัสดุที่มีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานตามข้อ 2 เพื่อป้องกันยึดติด ผู้ออกแบบต้องพิจารณาการใช้วัสดุ Interlayer ชนิดแผ่นใยสังเคราะห์ตามภาพที่ 2.4 แผ่นใยสังเคราะห์ควรมีควรมีขนาดน้ำหนักไม่น้อยกว่า 400 กรัมต่อตารางเมตร และมีความต้านทานต่อความเป็นด่างของคอนกรีต ซึ่งแผ่นใยสังเคราะห์รองถนนซีเมนต์คอนกรีต (Geotextile) ใช้ร่วมกับวัสดุที่ข้อ 1 และ ข้อ 2 ที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุโครงสร้างทางด้านล่างและผิวทางซีเมนต์คอนกรีต กรองวัสดุมวลละเอียด ช่วยในการระบายน้ำ และป้องกันการอัดทะลัก โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้จัดทำข้อกำหนดพิเศษวัสดุใยสังเคราะห์ (Geotextile) เพื่อใช้สำหรับรองผิวทางซีเมนต์คอนกรีตตามภาคผนวก ข



ภาพที่ 2.3 แบบก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินแผ่นดิน ตอน ดาวคะนอง-พระประแดง กม.6+850 ถึง11+915 โดยคงผิวการจราจรเดิม

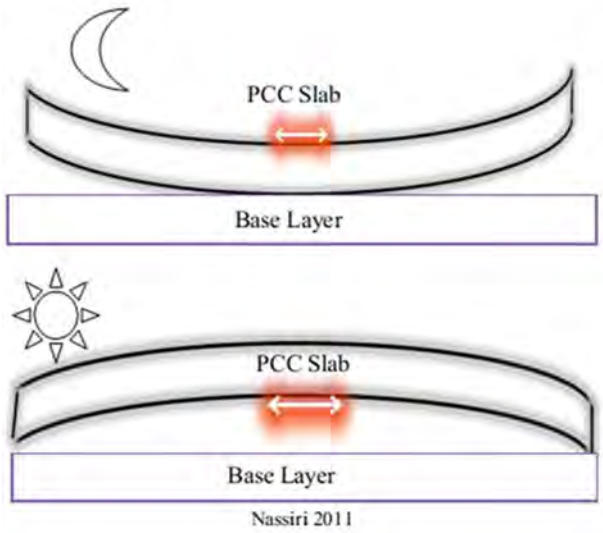
ภาพที่ 2.4 การใช้วัสดุแผ่นใยเคราะห์ในการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต (Cackler et al, 2018)

2.3 หน่วยแรงที่เกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อมและแรงเสียดทาน

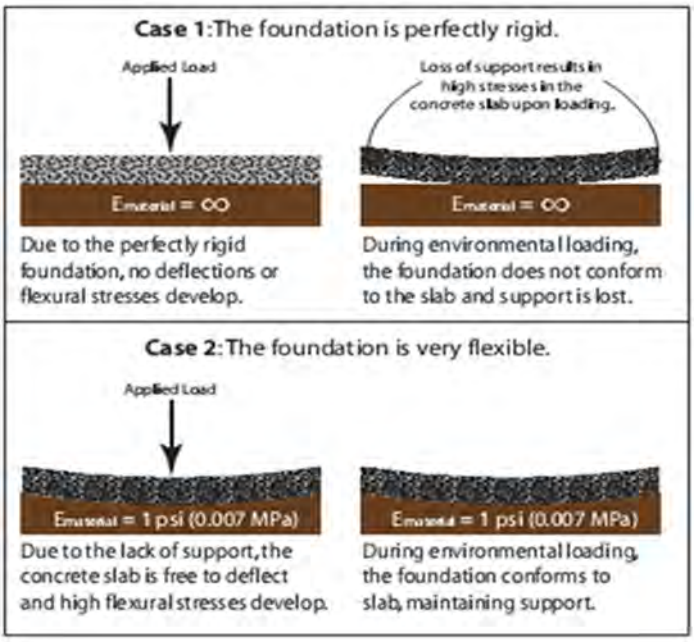
ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นระหว่างผิวคอนกรีตด้านบนและด้านล่าง จะทำให้เกิดการโก่งตัวของคอนกรีตในลักษณะเฉพาะตัวดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า Curling และ Warping ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้บ่อยครั้ง คอนกรีตอาจเกิดความล้า ซึ่งแรงที่

เกิดขึ้นจะขึ้นกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืน (Curling) และการเปลี่ยนแปลงความชื้น (Warping) ในแต่ละวัน โดยจะมีปัจจัยหลายอย่างที่จะช่วยรั้งการเกิดการโก่งตัวเช่นนี้ได้ เช่น น้ำหนักของผิวทางคอนกรีต เหล็กเดือย (Dowel Bar) เหล็กยึด (Tie Bar) การขัดกันของผิวคอนกรีต (Aggregate Interlock) และแรงเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีตกับชั้นรองถนนคอนกรีต ผลของการเกิด Curling และ Warping จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง และหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นจากปกติ ซึ่งคอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงจึงอาจไม่มีปัญหา แต่ในกรณีที่เกิดแรงดึงในคอนกรีต อาจส่งผลให้เสียหายเกิดเป็นรอยแตกได้โดยเฉพาะในช่วงที่คอนกรีตยังพัฒนากำลังอยู่ ภายหลังเปิดการจราจร ผิวด้านบนการโกร่งตัวขึ้น จะทำให้เกิดรอยบริเวณกึ่งกลางแผ่นถนนซีเมนต์คอนกรีต

กรณีที่ชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตที่แกร่งมากเกินไป อาจไม่เป็นผลดีเพราะเมื่อเกิด Curling และ Warping บริเวณขอบหรือบริเวณกึ่งกลางแผ่นคอนกรีตอาจเกิดลักษณะเป็นช่องว่าง หรือทำให้ไม่สามารถถ่ายแรงลงไปที่ชั้นรองพื้นทางได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตที่มีความยืดหยุ่นดี จะสามารถปรับสภาพให้คอนกรีตสามารถถ่ายแรงได้สม่ำเสมอกว่า ทั้งนี้จะต้องพิจารณาขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย (ภาพที่ 2.6) โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน สำหรับวัสดุประเภทพื้นทางผสมซีเมนต์ อยู่ในช่วงระหว่าง 300 – 800 psi (21 – 56.2 ksc) (Jung et. al., 2010)



ภาพที่ 2.4 การโก่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น (Curing and Warping) (Jung et. al., 2010)



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองการเกิดการแอ่นตัวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นกรณีที่ชั้นพื้นทางมีลักษณะแกร่ง (Perfectly Rigid) และลักษณะยืดหยุ่น (Flexible) (Jung et. al., 2010)

2.4 การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

การออกแบบโครงสร้างชั้นทางการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต สามารถใช้วิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทางตามวิธีการเชิงประสบการณ์ (Empirical Design) หรือวิธีการออกแบบประสบการณ์เชิงกล (Mechanistically Empirical Design)

2.4.1 การกำหนดความหนาของถนนซีเมนต์คอนกรีต ตามวิธีการของ AASHTO 1993

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

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624\times10^{7}}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32p_t)\times\log_{10}\left[\frac{(S_c')(C_d)(D^{0.75}-1.132)}{215.63(J)\left(D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(E_c/k\right)^{0.25}}\right)}\right] \quad (๑)$$

โดยที่

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

Z_R = Standard normal deviate (ได้จากค่า R ตามตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2)

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 2.3

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) สามารถพิจารณาได้ตามภาพที่ 2.6 หรือตามวิธีการและแผนภาพใน AASHTO 1993

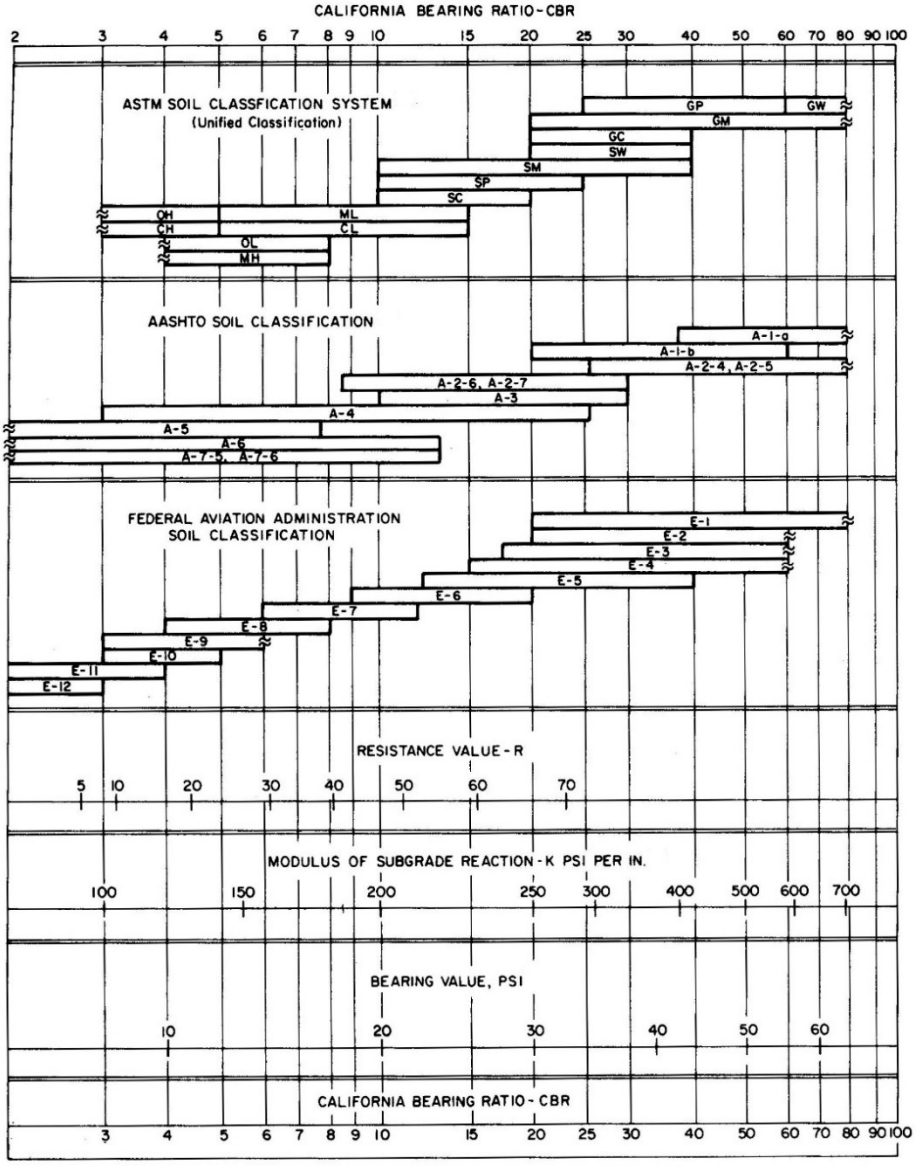
2.5 Load Transfer Efficiency บริเวณรอยต่อ (Joint)

Load Transfer Efficiency (LTE) คือประสิทธิภาพในการถ่ายเทน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint) ของถนนซีเมนต์คอนกรีตจากแผ่นคอนกรีตจากแผ่นหนึ่งไปอีกแผ่นหนึ่ง (ภาพที่ 2.7) โดยสามารถคำนวณค่า LTE ได้ตามสมการที่ 2 ซึ่งค่า LTE มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อรอยต่อคอนกรีตไม่สามารถถ่ายเทน้ำหนักได้ และมีค่า 100 (%) เมื่อรอยต่อคอนกรีตสามารถถ่ายเทน้ำหนักได้สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 6

$$LTE\ (\%) = \delta_L/\delta_u * 100 \qquad (2)$$

โดยที่ δ_L คือค่าการทรุดตัวในแนวดิ่งของแผ่นคอนกรีตที่มีน้ำหนักกระทำ

δ_u คือค่าการทรุดตัวในแนวดิ่งของแผ่นคอนกรีตที่ไม่มีน้ำหนักกระทำ



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแข็งแรงของดินชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.1 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 2.2 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 2.3 ตารางแสดงค่า Load Transfer Coefficient (J)

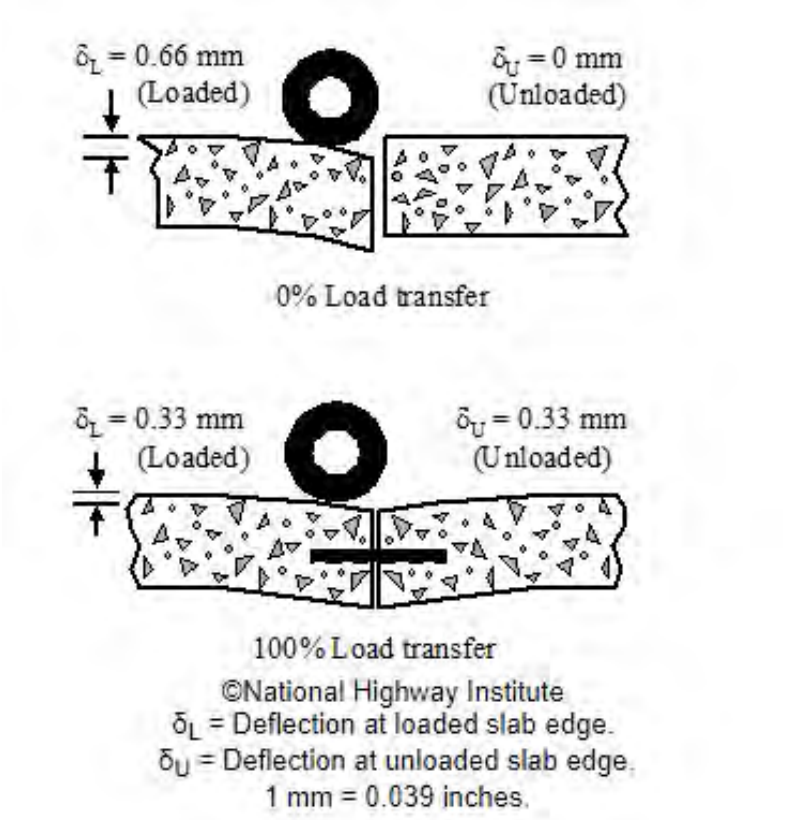
Conditions	J Factor
Undoweled PCC on crushed aggregate surfacing	3.8
Doweled PCC on crushed aggregate surfacing	3.2
Doweled PCC on HMA (without widened outside lane) and tied PCC shoulders	2.7
CRCP with HMA shoulders	2.9 – 3.2
CRCP with tied PCC shoulders	2.3 – 2.9

2.6 การทดสอบ Load Transfer Efficiency ด้วยอุปกรณ์ Falling Weight Deflectometer (FWD)

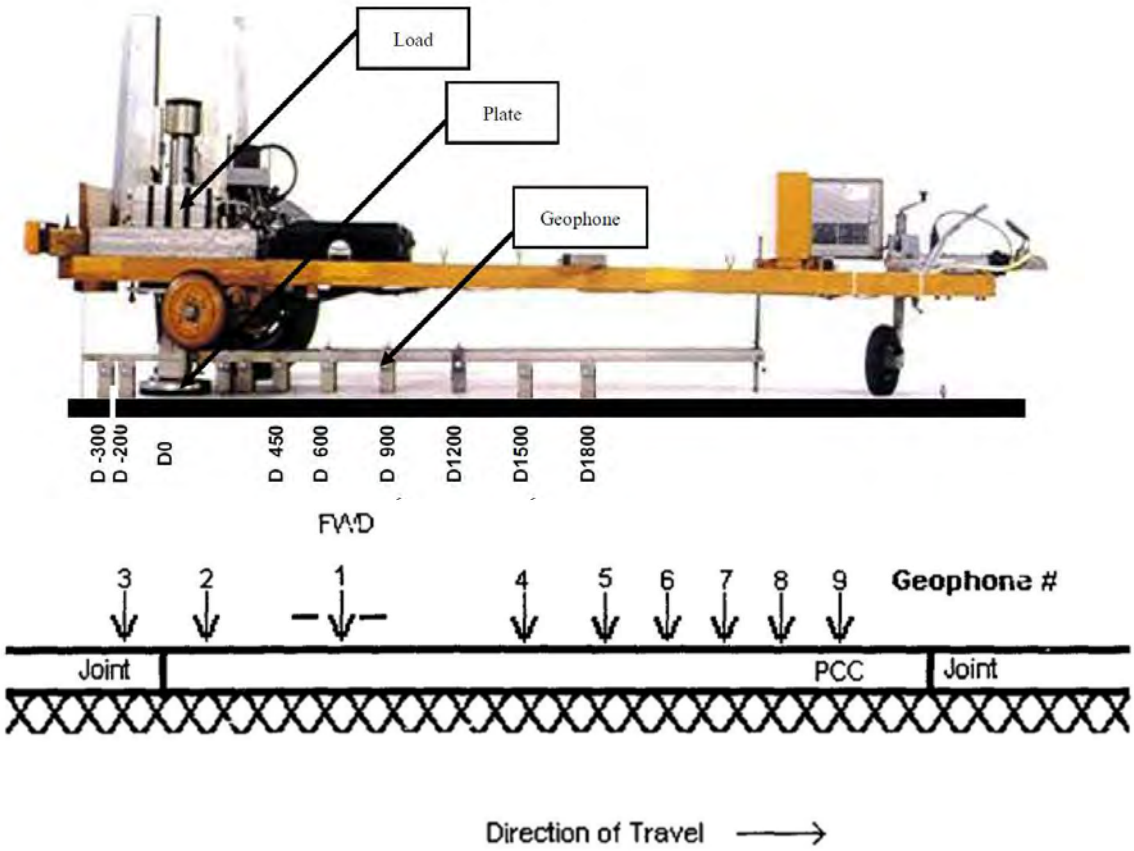
อุปกรณ์ FWD เป็นเครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนแบบวิธี Non-destructive Test จุดเด่นคือทำงานและให้ผลทดสอบได้รวดเร็ว และไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อถนน เครื่อง FWD ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นรถลากจูงติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่อง Processor แปลงคำสั่งในการควบคุมเครื่องมือทดสอบและเก็บข้อมูล ในส่วนของรถพ่วงเป็นชุดเครื่องทดสอบ FWD โดยเครื่องทดสอบที่มีหลักการทำงานคล้ายการทดสอบ Plate Loading Test ที่มีลักษณะเป็น Dynamic เนื่องจากมีการปล่อยน้ำหนักลงกระแทกกับแผ่นรองรับ โดยมียางกันกระแทกที่ทำหน้าที่คล้ายสปริง ซึ่งให้เกิดคลื่นแรงสั่นสะเทือนขึ้นในโครงสร้างถนน โดยมีการปรับขนาดของน้ำหนักและความสูงของการยกก้อนน้ำหนักได้ตามที่ต้องการ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมแรงที่กระทำต่อโครงสร้างถนนให้มีปริมาณมากพอ ทำให้เกิด Surface Deflection, Stress และ Strain ในโครงสร้างถนน เทียบเท่าผลที่เกิดจากรถบรรทุกมาตรฐานวิ่งผ่าน ตัวตรวจวัดสัญญาณคลื่นที่เกิดจากการกระแทกของก้อนน้ำหนักผ่านผิวถนน เรียกว่า Geophone จำนวน 9 ตัว เรียงเป็นแถวในระนาบเดียวกันเพื่อให้สามารถแปลงค่าสัญญาณที่วัดได้มาเป็นค่า Deflection

การทดสอบ LTE ด้วยอุปกรณ์ FWD นั้นสามารถทำการทดสอบได้ โดยการการติดตั้ง Geophone (ตัวตรวจวัดสัญญาณคลื่นสั่นสะเทือน) วางในระยะตำแหน่ง -30, -20, 0, 45, 60, 90, 120, 150, 180 เซนติเมตร แผ่น Plate สำหรับใช้ถ่ายแรงของเครื่อง FWD จะเป็นตำแหน่งที่ติดตั้งตัวโหลดเซล โดยจะติดตั้งที่ตำแหน่ง 0 และตำแหน่ง Geophone ที่ -30 และ -20 จะอยู่ค่อมรอยต่อตามขวางดังแสดงในภาพที่ 2.8 น้ำหนักที่ใช้กระทำผ่านแผ่นถ่ายแรงมีขนาดที่ทำให้เกิดหน่วยแรง (Stress) 707 kPa ซึ่งเทียบเท่ากับหน่วยแรงดันของลมยางของล้อรถบรรทุกเพลาเดี่ยวยางคู่ขนาด 10

ตัน กระทำกับผิวทางเป็นพื้นที่วงกลม ซึ่งจากการแปลผลการทดสอบ FWD จะได้คุณสมบัติของซีเมนต์คอนกรีตและวัสดุรองถนนดังนี้ (1) Elastic Modulus of Concrete (Ec) (2) ค่า LTE บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต (3) ค่าความแตกต่างของการแอ่นตัว (Differential Deflection: DD) บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต และ (4) ค่า Modulus of Subgrade Reaction (K) ใต้แผ่นคอนกรีตที่บริเวณรอยต่อ (kj) และที่กลางแผ่นคอนกรีต (kc)



ภาพที่ 2.7 รูปแสดงการถ่ายเทน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint) ของถนนซีเมนต์คอนกรีต



ภาพที่ 7 รูปแสดงการทดสอบ Load Transfer Efficiency ด้วยอุปกรณ์ Falling Weight Deflectometer

2.7 การพิจารณาบูรณะถนนซีเมนต์คอนกรีต

FHWA (2007) ได้แนะนำว่ารอยต่อถนนซีเมนต์คอนกรีต ควรได้รับการพิจารณาบูรณะเมื่อ (1) Faulting ของแผ่นคอนกรีตมีค่ามากกว่า 3 mm. (2) ค่า LTE น้อยกว่า 70% (3) ค่าทรุดตัวแตกต่างระหว่างแผ่นที่รับน้ำหนักและแผ่นถัดไปต้องไม่มากกว่า 0.25 mm. และ (4) ค่า Faulting ของแผ่นคอนกรีตรวมมีค่ามากกว่า 525 mm/km. (Vandenbossche, 2005)

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

ในปัจจุบันการคมนาคมขนส่งทางบกด้วยรถบรรทุกของประเทศไทยมีสัดส่วนสูงสุดของการขนส่งทั้งหมด ซึ่งทำให้ถนนในการกำกับดูแลของกรมทางหลวง หลายสายที่มีรถบรรทุกมาก ชำรุดเสียหาย ซึ่งจะต้องได้รับการบูรณะเพื่อให้บริการได้ดี ในกรณีที่ถนนมีความเสียหายน้อยสามารถเสริมผิวทางเดิมด้วยผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อยืดอายุการให้บริการ แต่ถ้าเกิดความเสียหายมากอาจจะต้องทำการบูรณะซ่อมแซมชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทางเดิมก่อนที่จะทำการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางขึ้นมาใหม่ แต่เนื่องจากงบประมาณที่ได้รับในการบูรณะมีจำกัด ทำให้ถนนบางสายถนนเกิดความเสียหายหลังจากทำการบูรณะไม่นานและเกิดความเสียหายซ้ำซ้อนต้องทำการบูรณะบ่อยครั้ง เนื่องจากโครงสร้างทางไม่สามารถรองรับปริมาณและน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นได้ ปัญหาความเสียหายมีได้หลายรูปแบบ โดยมักจะเกิดร่องล้อในช่องจราจรสำหรับรถบรรทุกหนัก เพื่อให้ถนนที่ได้รับการบูรณะมีประสิทธิภาพสามารถรองรับการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้นและคุ้มค่ากับงบประมาณที่ภาครัฐต้องลงทุน การบูรณะถนนด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตจะเป็นแนวทางเลือกที่คุ้มค่าในการลงทุน

ในอดีตการบูรณะถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมให้เป็นผิวทางซีเมนต์คอนกรีต จะทำการขุดรื้อผิวทางเดิมเพื่อก่อสร้างผิวทางใหม่ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการบริหารจัดการการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง และต้องขนย้ายวัสดุที่จากขุดรื้อและจัดหาวัสดุสร้างทางใหม่เข้ามาในพื้นที่ก่อสร้างฯ รวมทั้งต้องจัดหาสถานที่สำหรับการจัดเก็บวัสดุที่ขุดรื้อออกมาจากคันทางเดิม ดังนั้นหากสามารถดำเนินเสริมผิวทางเดิมได้โดยไม่ต้องทำการขุดรื้อถนนเดิมหรือจำกัดเฉพาะจุดที่มีความเสียหายถึงโครงสร้างชั้นทาง โดยใช้วัสดุโครงสร้างชั้นทางเดิมที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพ จะสามารถลดผลกระทบต่อผู้ใช้ทางในระหว่างการก่อสร้าง ลดการขนย้ายวัสดุที่ขุดรื้อ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และลดการจัดเก็บวัสดุที่ขุดรื้อออกมาได้อีกด้วย ซึ่งทั้งหมดส่งให้ผลสามารถประหยัดงบประมาณในการบูรณะทางหลวงได้

3.2 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงที่ใช้ในการศึกษา

โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงที่จะนำมาเป็นโครงการฯ ศึกษามีดังนี้

3.2.1 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 ตอนศรีราชา – อ่าวอุดม

ทางหลวงหมายเลข 3 เป็นเส้นทางหลักที่ใช้เชื่อมการคมนาคมจากกรุงเทพมหานครไปยังภาคตะวันออก ซึ่งปัจจุบันการคมนาคมในเส้นทางสายนี้ช่วงจังหวัดชลบุรี มีปริมาณจราจรหนาแน่น มีรถบรรทุกหนักสูง โดยบริเวณนี้มีท่าเรือขนถ่ายสินค้าทางทะเล คือ ท่าเรือเคอรี่ ท่าเรือศรีราชาฮาร์เบอร์ และท่าเรือแหลมฉบังผิวทางถนนเดิมเป็นถนนแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งบางช่วงเพิ่งได้รับการบูรณะ

3.2.2 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 36 ตอนกระทิงลาย- ระยอง

ทางหลวงหมายเลข 36 ตอนกระทิงลาย- ระยอง ช่วง กม.16+300 ถึง กม. 57+021 จุดเริ่มต้นที่ทางหลวงหมายเลข 3 ที่อำเภอแหลมฉบังและสิ้นสุดที่ทางหลวงหมายเลข 3 อำเภอเมือง

จังหวัดระยอง และเป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาทางหลวงรองรับพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ตามนโยบายของรัฐบาลในการเร่งรัดพัฒนาระบบคมนาคมของประเทศ และได้รับงบประมาณในการบูรณะและก่อสร้างในปี พ.ศ. 2561 โดยเป็นการก่อสร้างขยายช่องการจราจรจาก 4 ช่องจราจรเป็น 6 จราจรหรือ 8 ช่องจราจรในบางช่วงพื้นที่ เพื่อพัฒนาระบบทางหลวงในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพ รองรับการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต ซึ่งเป็นการอำนวยความสะดวก รวดเร็ว เพิ่มความปลอดภัยในการเดินทาง เพื่อประโยชน์ของประชาชนผู้ใช้ทางเป็นหลัก ทางหลวงหมาย 36 เป็นทางหลวงที่ทำให้การเดินทางรถยนต์สู่จังหวัดระยอง มีความสะดวกและรวดเร็วเพิ่มมากขึ้น

3.2.3 โครงการก่อสร้างบูรณะทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม-จ.ฉะเชิงเทรา

ทางหลวงหมายเลข 315 เป็นทางหลวงเชื่อมระหว่างจังหวัดชลบุรีและจังหวัดฉะเชิงเทรา ในพื้นที่บูรณะและก่อสร้างจะเริ่มต้นใน อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี สิ้นสุดจังหวัดฉะเชิงเทรา โครงการฯ นี้เป็นโครงการพัฒนาทางหลวงรองพื้นที่เขตเศรษฐกิจภาคตะวันออก ได้รับงบประมาณในปี 2561

3.2.4 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข -344 ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331

ทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง เป็นทางหลวงที่ลัดเชื่อมทางหลวงหมายเลข 3 สู่จังหวัดจันทบุรีในภาคตะวันออก ในพื้นที่บูรณะและก่อสร้างจะเริ่มต้นที่ กม.12+700 ถึง กม.25+000 ซึ่ง กม.นี้เป็นจุดเริ่มต้นทางหลวงที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีต AC40/50 เป็นชั้นผิวทางสายแรกของกรมทางหลวง โครงการฯ นี้เป็นโครงการพัฒนาทางหลวงรองพื้นที่เขตเศรษฐกิจภาคตะวันออก ได้รับงบประมาณในปี 2561

3.2.5 โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง-อ.แกลง

ทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง เป็นทางหลวงที่ลัดเชื่อมทางหลวงหมายเลข 3 สู่จังหวัดจันทบุรีในภาคตะวันออก ในพื้นที่บูรณะและก่อสร้างจะเริ่มต้นที่ บ้านหนองเสือช้าง จังหวัดชลบุรี สิ้นสุดจังหวัดอำเภอแกลง จังหวัดจันทบุรี โครงการฯ นี้เป็นโครงการพัฒนาทางหลวงรองพื้นที่เขตเศรษฐกิจภาคตะวันออก ได้รับงบประมาณในปี 2561

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประสานงานกับส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ เพื่อให้ดำเนินการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง โดยการใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) ภายหลังการบูรณะ

2. วิเคราะห์ผลการทดสอบ FWD

บทที่ 4
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 การออกแบบแนะนำโครงสร้างชั้นทาง

การออกแบบบแนะนำโครงสร้างชั้นทางและดำเนินการติดตามถนนภายหลังการก่อสร้าง เพื่อใช้ในการปรับปรุงแนวทางการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง รูปแบบหน้าตัดโครงสร้างชั้นทาง โครงการฯ ตามบทที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.5 โดยตารางที่ 4.1 สรุปค่าปริมาณการจราจรและสรุปผลการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

การออกแบบโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 3 ได้ดำเนินการออกแบบในบริเวณถนนด้านข้างสะพานข้ามแยกซึ่งจะมีรถบรรทุกรอเลี้ยว แนวความคิดในออกแบบโครงสร้างชั้นทางจะออกแบบให้เป็นการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ซึ่งการออกแบบการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตทางหลวงหมายเลข 3 เป็นงานโครงการก่อสร้างโครงการฯ แรก ที่ได้ออกแบบโครงสร้างชั้นทางในลักษณะการเสริมผิวแบบไม่เชื่อมประสาน (ตามภาพที่ 4.1) ถนนสายนี้ระหว่างการก่อสร้างไม่มีการกำหนดค่า IRI ในการควบคุมการก่อสร้าง

ในกรณีรูปแบบโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 36 กระทิงลาย- ระยอง ช่วง กม.16+300 ถึง กม. 57+021 ได้ดำเนินการออกแบบโครงสร้างชั้นทางเป็นการเสริมผิวทาง CRCP บนถนนแอสฟัลต์คอนกรีต แต่ได้มีข้อคิดเห็นในระหว่างการออกแบบโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 36 ช่วงดังกล่าว ให้ปรับเปลี่ยนรูปแบบเป็นถนนซีเมนต์คอนกรีตก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ซึ่งมีเสียงสะท้อนที่ได้รับว่าเป็นการก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์เป็นการก่อสร้างชั้นผิวทาง 2 ชั้นทำให้เกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณโดยใช่เหตุ เมื่อมีการตรวจสอบองค์อิสระจะตอบคำถามได้อย่างไร ซึ่งวัตถุประสงค์ในการใช้ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตในการออกแบบนี้จะใช้เป็นชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีต มิใช่ชั้นผิวทางแต่อย่างไร และอีกความคิดเห็นคือ การก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต จะทำให้ถนนซีเมนต์คอนกรีตเกิดการหลุดร่อนได้ (Slippage) แต่ข้อเท็จจริงคือการออกแบบถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีข้อดีทางวิศวกรรมฯ เช่น ผิวทางซีเมนต์คอนกรีตจะมีอายุการใช้งานมากกว่าผิวทางซีเมนต์คอนกรีตที่ก่อสร้างบนชั้นรองหินคลุกหรือชั้นทราย อีกทั้งสามารถใช้ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อการเบี่ยงการจราจรชั่วคราวได้ ทำให้ประชาชนผู้ใช้ถนนทางหลวงหมายเลข 36 ได้รับผลกระทบลดลง ลดปัญหาการเกิดอุบัติเหตุ ลดระยะเวลาการเดินทางของประชาชน และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น อีกทั้งในระหว่างขั้นตอนการจัดทำการประมาณราคากลางนั้น งบประมาณที่ได้รับไม่เพียงพอต่อการก่อสร้างถนน CRCP เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างถนน CRCP มีมูลค่าสูงกว่าถนน JRCP ดังนั้นจึงได้มีมติให้ใช้ JRCP แทนถนน CRCP โดยยังคงรูปแบบแนวความคิดการเสริมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีตตามภาพที่ 4.2

ในกรณีรูปแบบโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 315 ได้ดำเนินออกแบบโครงสร้างชั้นทาง เป็นถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ค่ากำลังต้านทานแรงอัด 21 ksc ที่อายุ 7 วัน และมีวัสดุใยสังเคราะห์เป็นวัสดุ Interlayer แต่ในช่วง 21+490 ถึง 23+198 ถนนได้รับการขยายเป็นถนน 4 ช่องจราจร โดยยังอยู่ในช่วงการประกันผลงานและยังคงมีสภาพดี จึงได้ดำเนินการปรับเปลี่ยนรูปแบบการออกแบบโครงการชั้นทาง เป็นการเป็นการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามภาพที่ 4.3 ถนนสายนี้ในระหว่างการก่อสร้างมีการกำหนดค่า IRI ในการควบคุมการก่อสร้าง

ในกรณีรูปแบบโครงสร้างชั้นทาง โครงการบูรณะและก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331 โครงการฯ จะดำเนินการขยายจากถนน 4 ช่องจราจร เป็นถนน 6 หรือ 8 ช่องจราจร ถนนเดิมได้รับการบูรณะด้วยการใช้ Pavement Recycling ชั้นพื้นทางและก่อสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตความหนา 10 เซนติเมตร สภาพถนนเดิมในบางช่วง ช่องทางซ้ายมีความเสียหายถึงชั้นพื้นทางในลักษณะ Block Cracks เนื่องจากมีปริมาณรถบรรทุกสูง จึงได้ให้ดำเนินการขุดรื้อช่องจราจรด้านซ้าย ก่อสร้างชั้นพื้นทางหินคลุกความหนา 15 เซนติเมตร ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนคอนกรีตเต็มพื้นที่ผิวทาง ความหนา 5 เซนติเมตร ผิวทางสายทางนี้ ได้ดำเนินการออกแบบให้ใช้ CRCP ความหนา 28 เซนติเมตร และบริเวณด้านข้างสะพานลอยข้ามแยกออกแบบให้เป็นผิวทาง JRCP ตามภาพที่ 4.3 แต่ได้มีข้อคิดเห็นในระหว่างการออกแบบโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ช่วงดังกล่าว ให้ปรับเปลี่ยนรูปแบบเป็นถนนซีเมนต์คอนกรีตก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีตหรือชั้นหินคลุก เช่นเดียวกันกับโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 36 โดยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตที่ก่อสร้างบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต จะมีอายุการใช้งานมากกว่าผิวทางซีเมนต์คอนกรีตที่ก่อสร้างบนชั้นรองหินคลุกหรือชั้นทราย อีกทั้งสามารถใช้ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับการจัดการจราจรในระหว่างการก่อสร้างด้วยการเบี่ยงการจราจรชั่วคราวได้ ทำให้ประชาชนผู้ใช้ถนนทางหลวงหมายเลข 344 ได้รับผลกระทบลดลง ลดปัญหาการเกิดอุบัติเหตุ ลดระยะเวลาการเดินทางของประชาชน และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ทั้งนี้ระหว่างขั้นตอนการจัดทำการประมาณราคากลางนั้น งบประมาณที่ได้รับไม่เพียงพอต่อการก่อสร้างถนน CRCP เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างถนน CRCP มีมูลค่าสูงกว่าถนน JRCP ดังนั้นคณะกรรมการกำหนดราคากลาง จึงได้มีมติให้ใช้ JRCP แทนถนนผิวทาง CRCP โดยยังคงรูปแบบแนวความคิดการเสริมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตและความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต โดยให้ใช้รูปแบบโครงชั้นทางตามรูปแบบถนนข้างสะพานลอยข้ามแยกตามภาพที่ 4.4 ถนนสายนี้ในระหว่างการก่อสร้างมีการกำหนดค่า IRI ในการควบคุมการก่อสร้าง

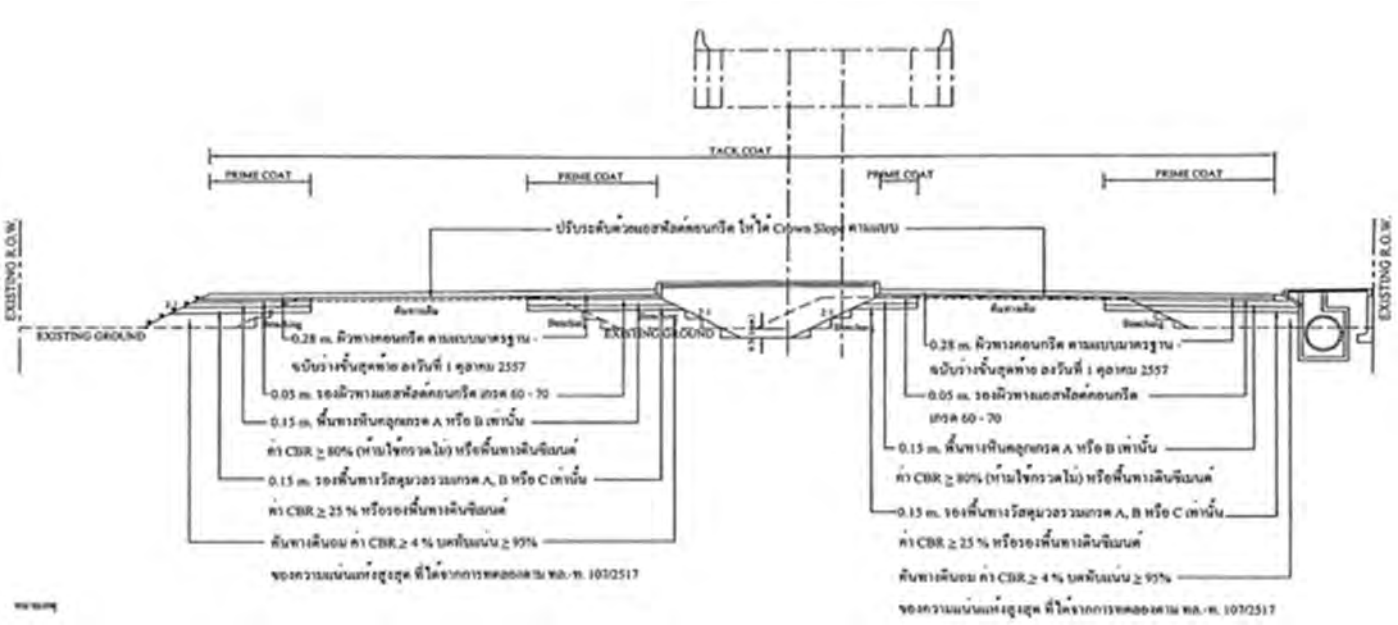
ในกรณีรูปแบบโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 344 บริเวณทางแยกได้ดำเนินออกแบบโครงสร้างชั้นทางเป็นถนนซีเมนต์คอนกรีตความหนา 25 เซนติเมตร บนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต แต่ในระหว่างการประมาณราคากลาง คณะกรรมการราคากลาง ได้มีข้อกังวลเนื่องจากสายทางดังกล่าวมีปริมาณการจราจรสูง อีกทั้งในระหว่างการก่อสร้างทางหลวงสายเลี่ยงเมืองแกลง มีปัญหา

การจราจรติดขัดมาก จึงได้ขอให้เปลี่ยนแปลงความหนาจาก 25 เซนติเมตรเป็น 28 เซนติเมตรและก่อสร้างบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมตามภาพที่ 4.5 เพื่อให้สามารถใช้ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนคอนกรีต สำหรับการจัดการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง ถนนสายนี้ในระหว่างการก่อสร้างมีการกำหนดค่า IRI ในการควบคุมการก่อสร้าง

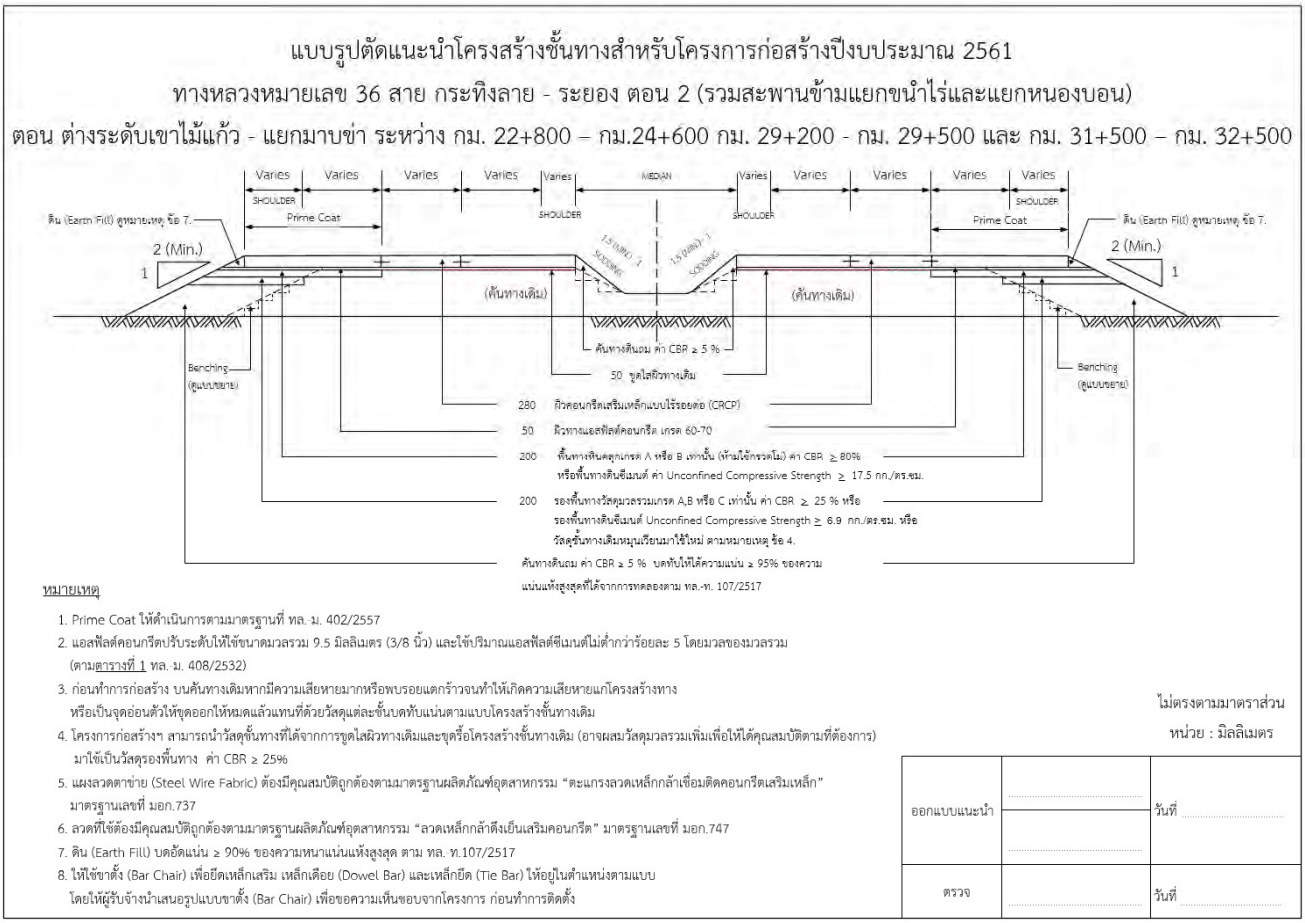
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการจราจรรูปแบบผิวทางซีเมนต์คอนกรีตที่ได้ทำการออกแบบฯ

สายทาง	ปริมาณการจราจร	% Truck	T_f and ESALs	Cement Concrete Thickness (cm.)	วัสดุชั้นรองผิวทางซีเมนต์คอนกรีต
Hyw 3 อ.ศรีราชา	55,848 (ปี 2556)	19.24	3.5 52 million ESALs	28 cm JRCP	5 cm. AC
Hyw 36 กระทิงลาย	56,302 (ปี 2559)	24.80	2 107 million ESALs	28 cm CRCP[1]	5 cm. AC
Hyw 315 อ.พนัสนิคม	31,234 (ปี 2559)	36.57%	2.5 132 million ESALs	28 cm CRCP[1]	5 cm. AC
Hyw 344 อ.บ้านบึง	32,052 (ปี 2559)	23.80	3.5 80 million ESALs	28 cm CRCP[1]	5 cm AC
Hyw 344 แยกทางเลี่ยงเมือง อ.แกลง	28,533 (ปี 2559)	11.53	3.5 38 million ESALs	25 JRCP[2]	10 cm Sand Cushion[3]

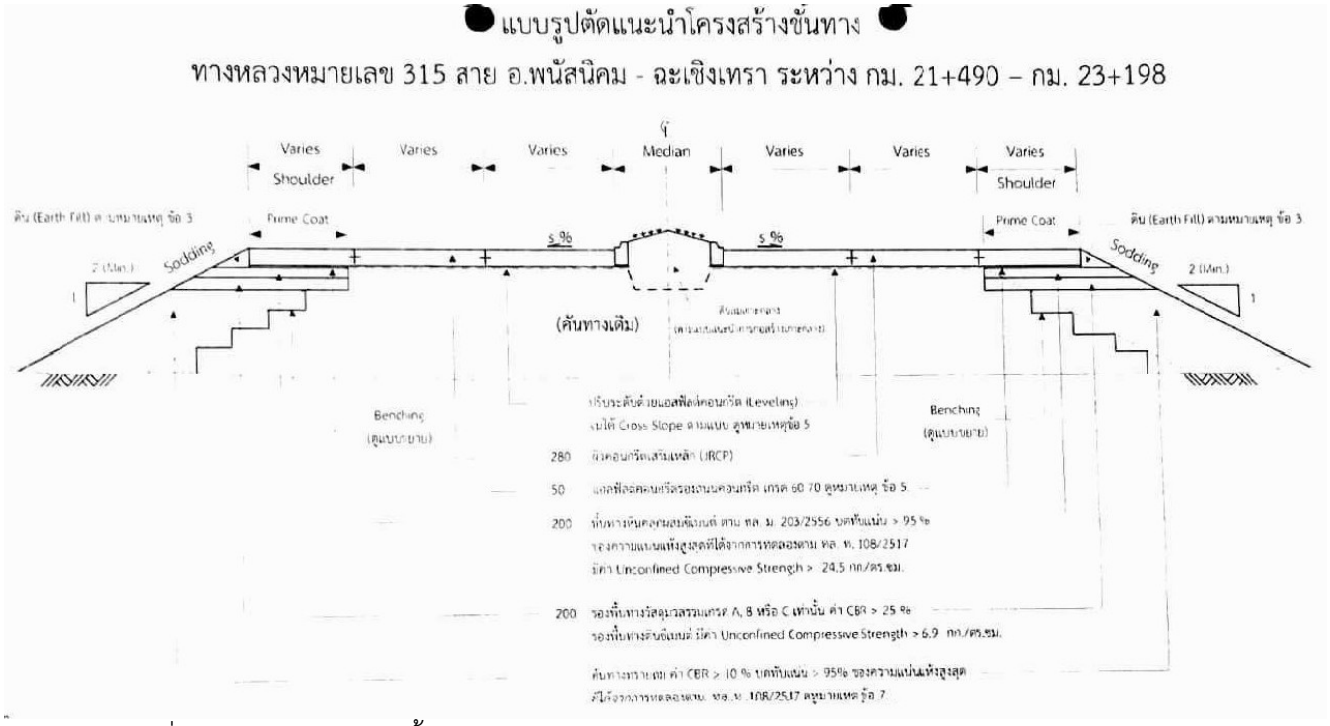
1. ได้รับการเปลี่ยนเป็น JRCP โดยคณะกรรมการพิจารณาราคากลาง
2. ได้รับการเปลี่ยนเป็น JRCP ความหนา 28 เซนติเมตร โดยคณะกรรมการพิจารณาราคากลาง
3. ได้รับการเปลี่ยนรูปแบบเป็นใช้แอสฟัลต์รองถนนซีเมนต์คอนกรีต โดยคณะกรรมการพิจารณาราคากลาง



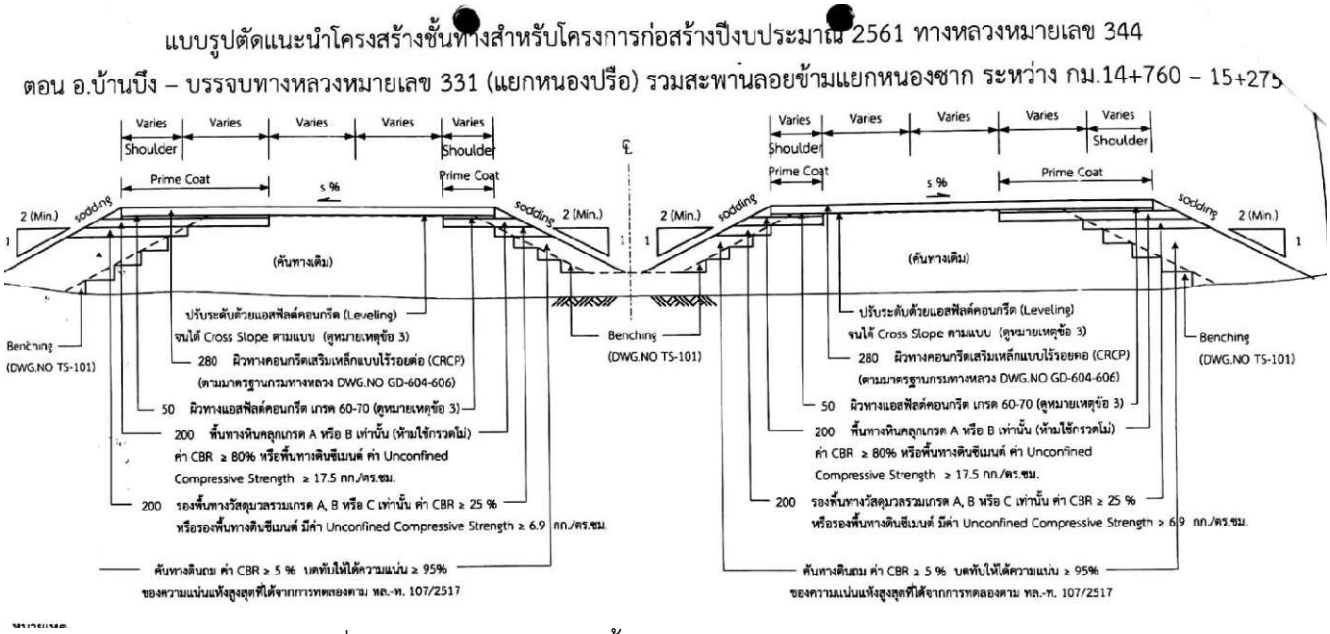
ภาพที่ 4.1 รูปตัดแนะนำโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม
(ช่วงที่ผิวทางเป็นซีเมนต์คอนกรีต)



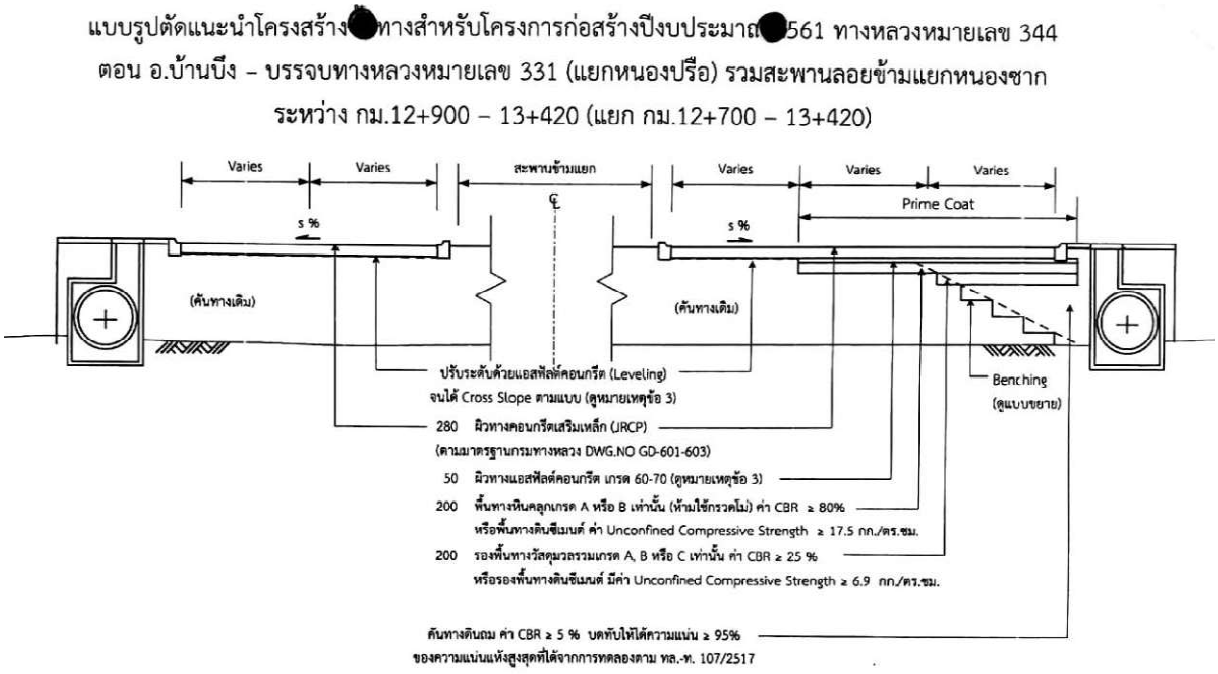
ภาพที่ 4.2 รูปตัดแนะนำโครงสร้างชั้นทาง ทางหลวงหมายเลข 36 ตอนกระทิงลาย - จ.ระยอง



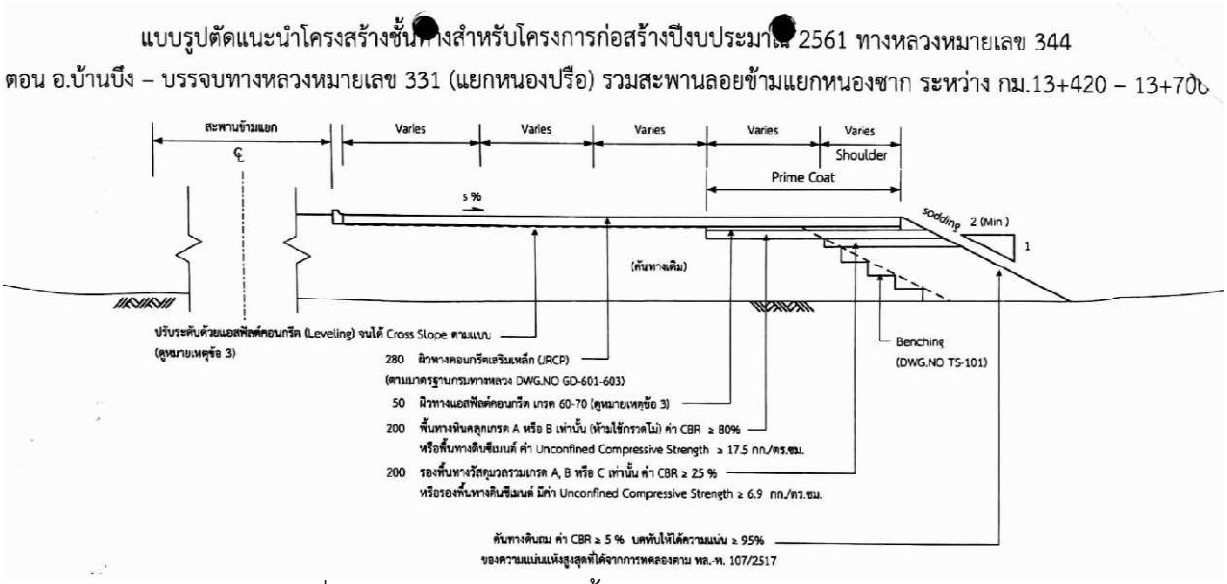
ภาพที่ 4.3 รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม - จ.ฉะเชิงเทรา



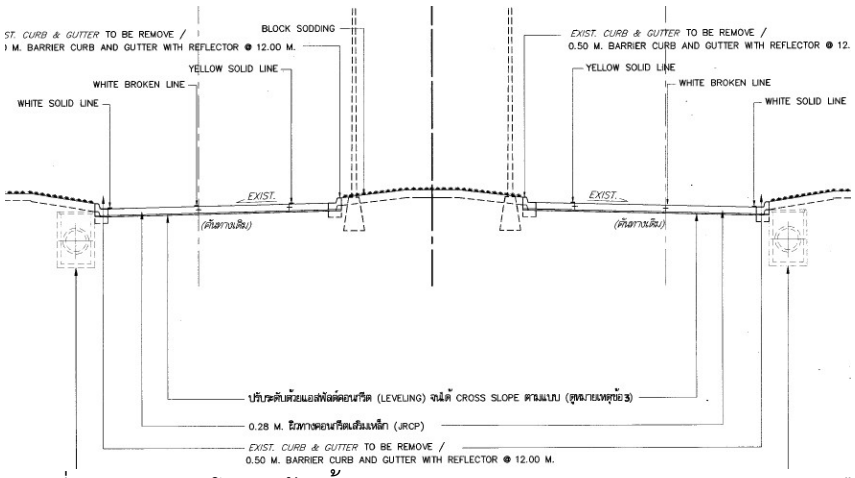
ภาพที่ 4.4.1 รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344
ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331



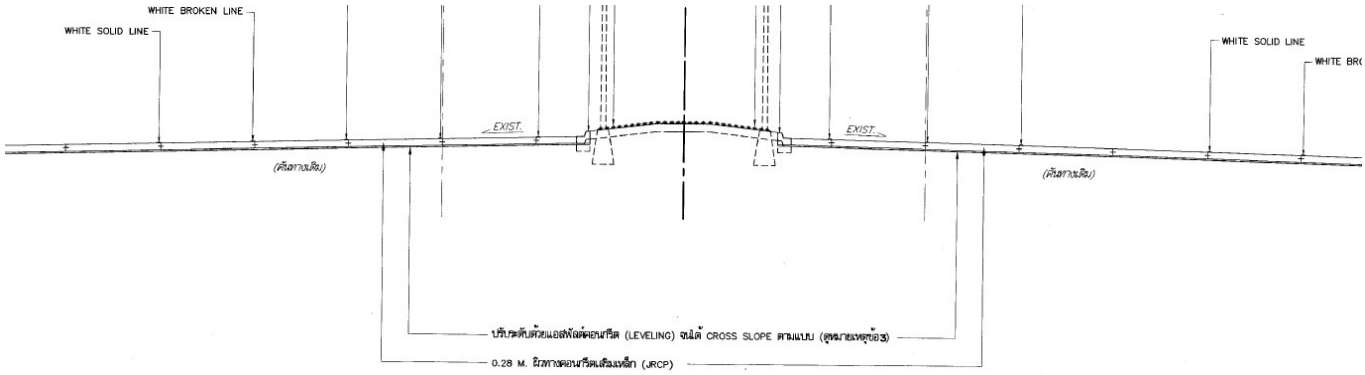
ภาพที่ 4.4.2 รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344
ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331



ภาพที่ 4.4.3 รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344
ตอน อ.บ้านบึง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 331



ภาพที่ 4.5.1 รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง-อ.แกลง ช่วง กม. 100+7000 – 101+830

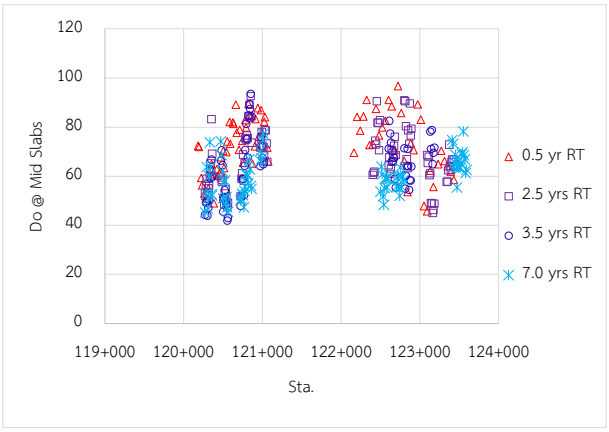


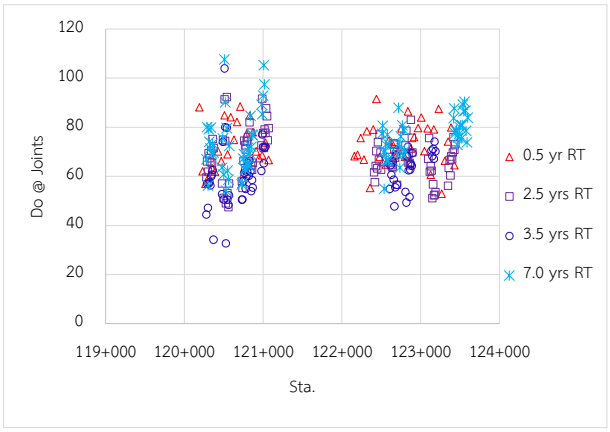
ภาพที่ 4.5.2 รูปตัดโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง-อ.แกลง ช่วง กม. 101+830 – 102+181

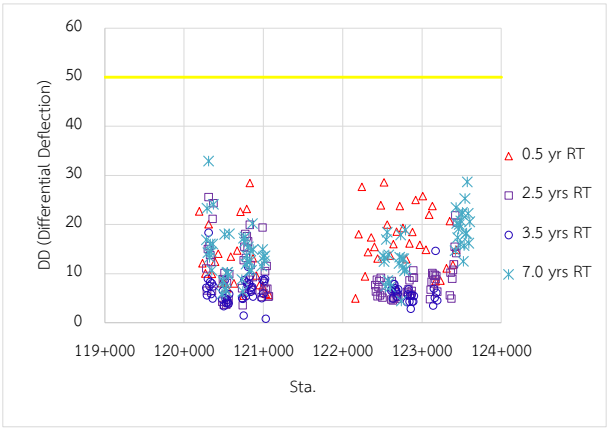
4.2 การประเมินความแข็งแรงโครงสร้างชั้นภายหลังการก่อสร้าง

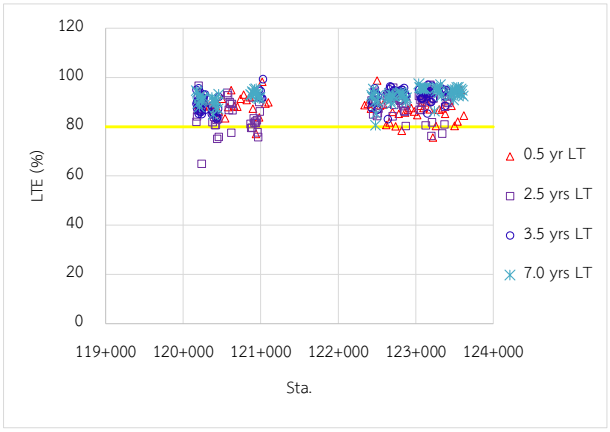
ในการประเมินความแข็งแรงโครงสร้างชั้นภายหลังการก่อสร้าง จะดำเนินโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectomter (FWD) ผลการประเมินความแข็งแรงแสดงในภาพที่ 4.6 ถึง 4.11 โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบ FWD ทางหลวงหมายเลข 7 ตอน พัทยา- มาบตาพุด ตามภาพที่ 4.11 ที่มีความหนาของถนนผิวทาง JRCP 28 เซนติเมตรและก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต

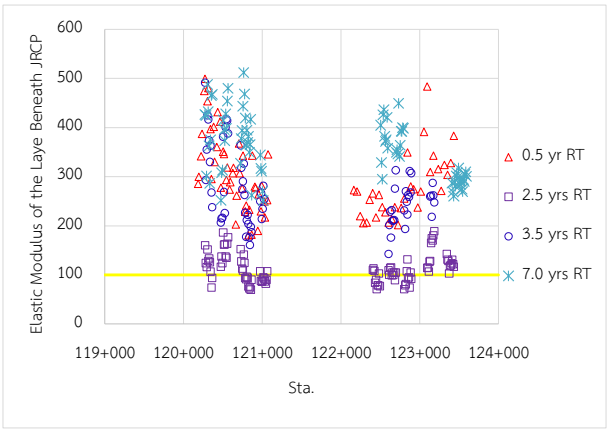
ภาพที่ 4.12 ถึงภาพที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบ FWD ทุกสายทาง ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมมีประสิทธิภาพสูงกว่าถนน JRCP ที่ก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต



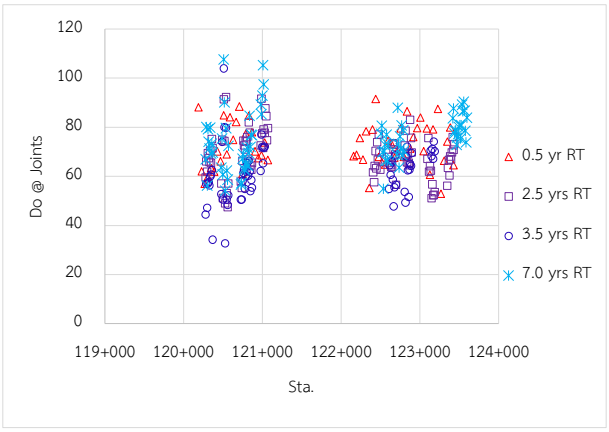


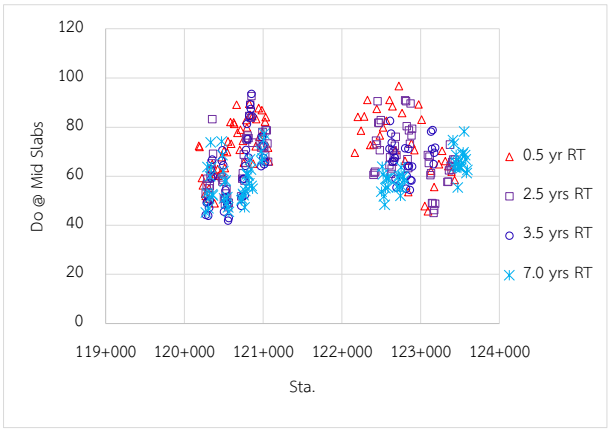


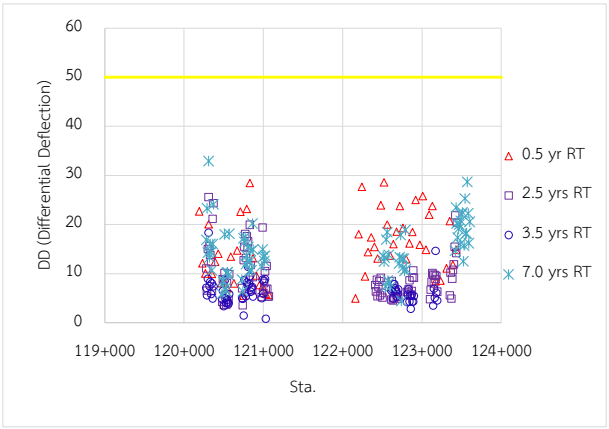


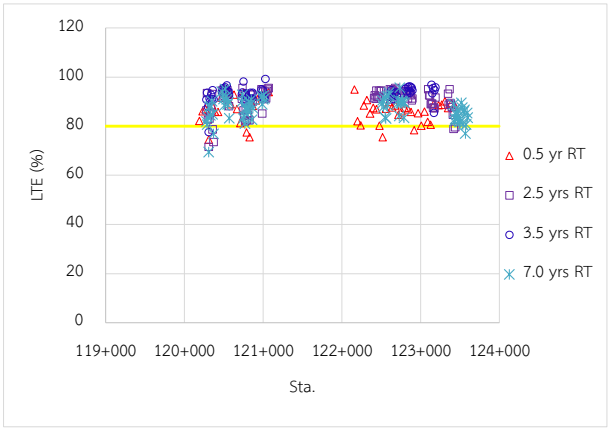


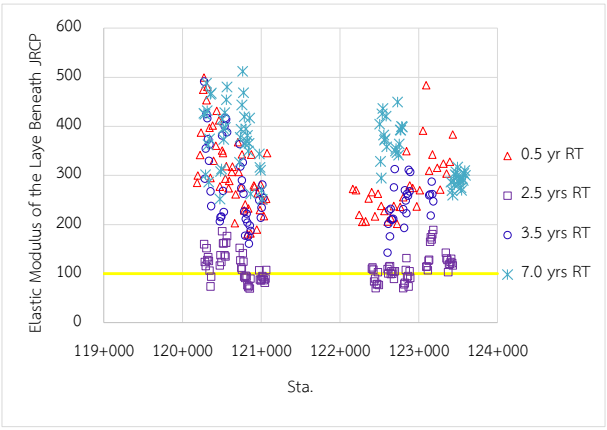
ภาพที่ 4.6ก ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง
ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม ด้านซ้ายทาง



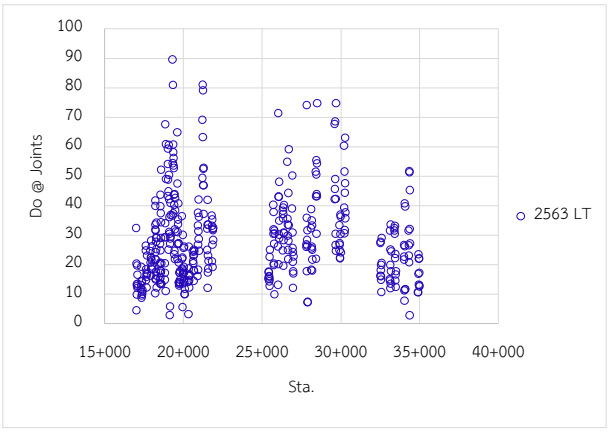


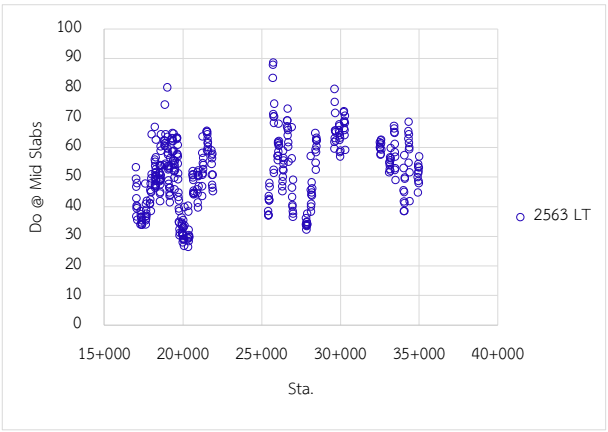


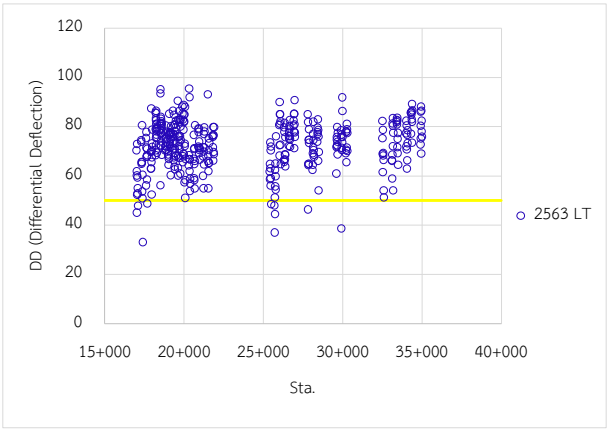


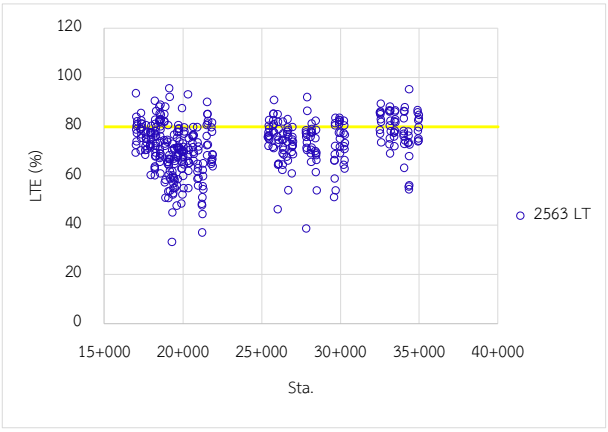


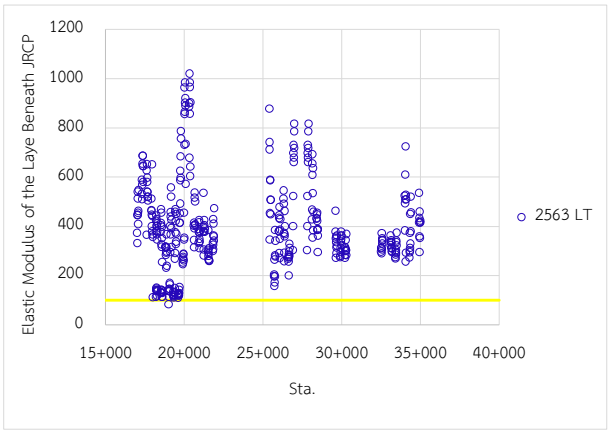
ภาพที่ 4.6ข ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง
ทางหลวงหมายเลข 3 ศรีราชา – อ่าวอุดม ด้านขวาทาง





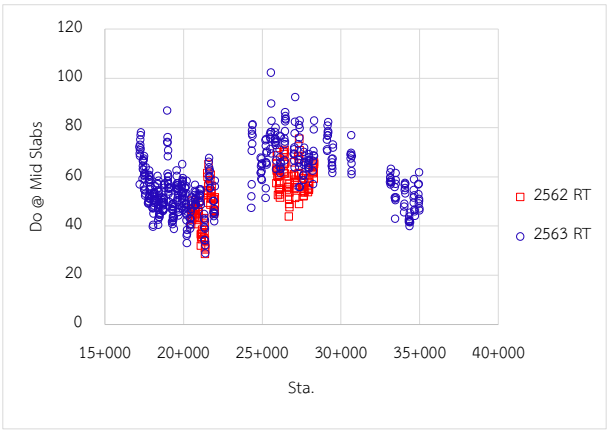


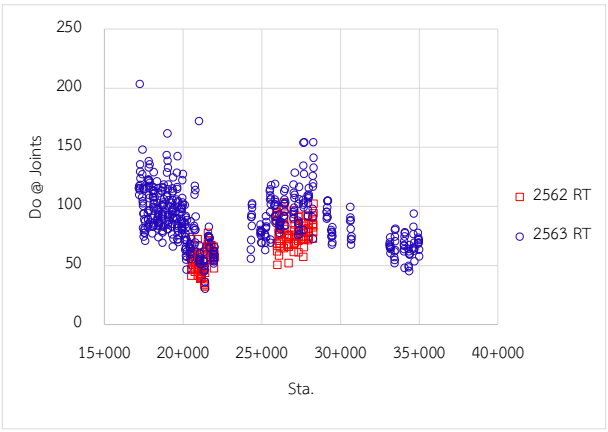


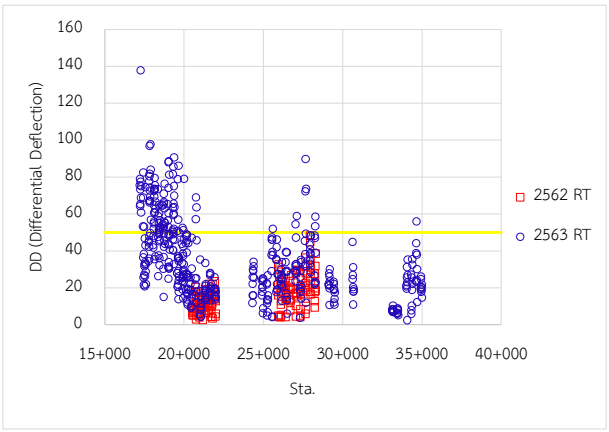


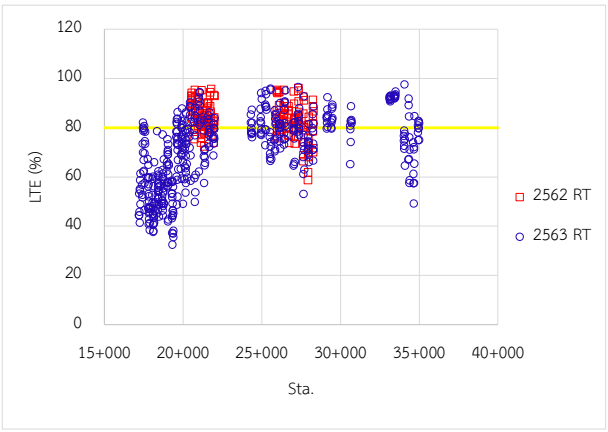
ภาพที่ 4.7ก ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง

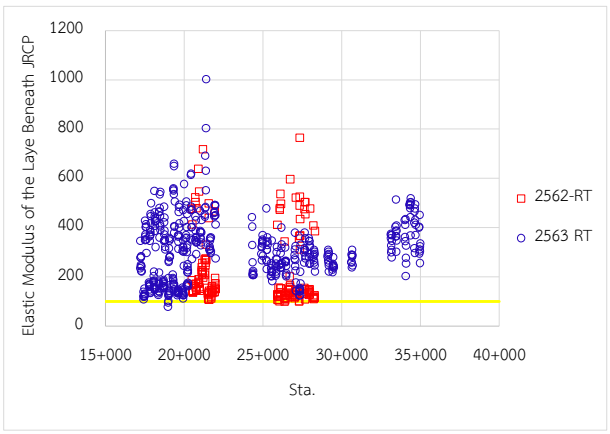
ทางหลวงหมายเลข 36 กระทิงลาย – จ.ระยอง ด้านซ้ายทาง





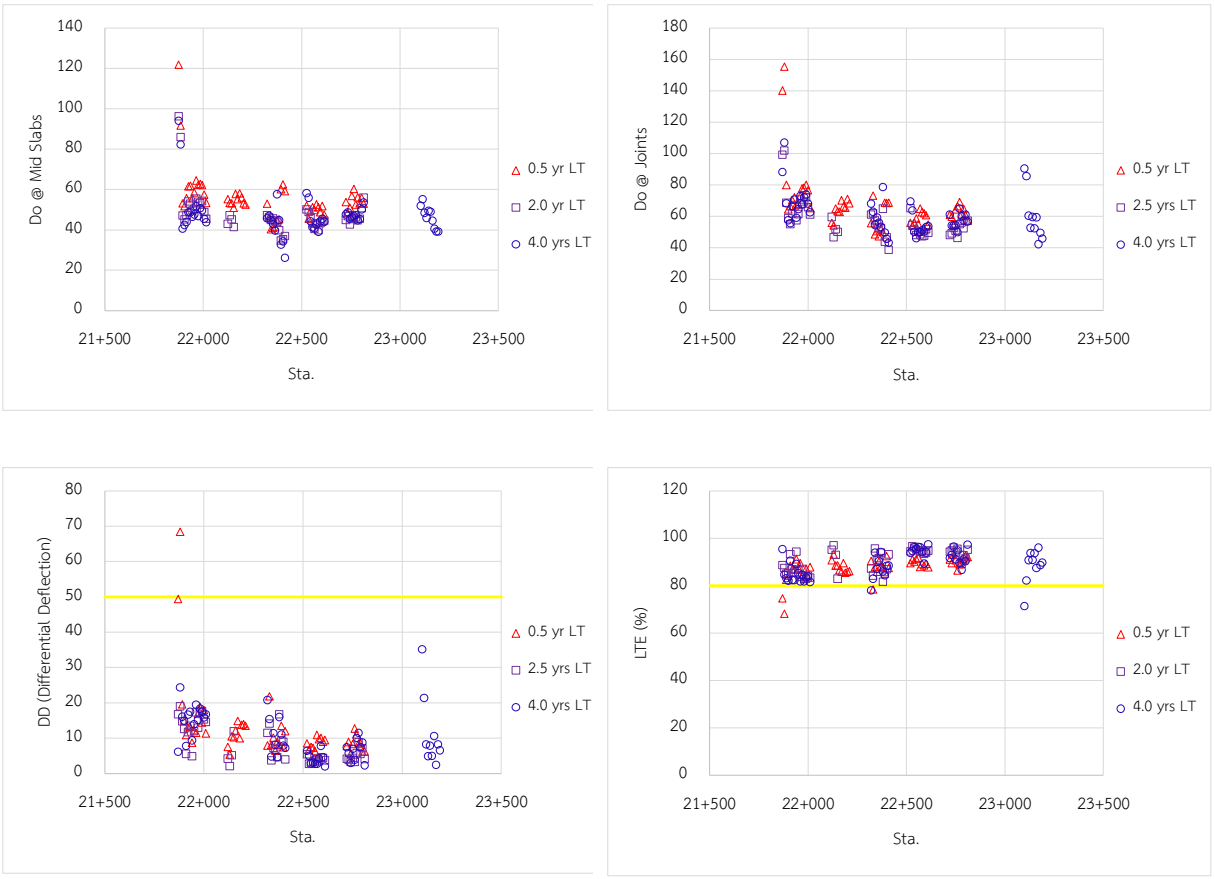




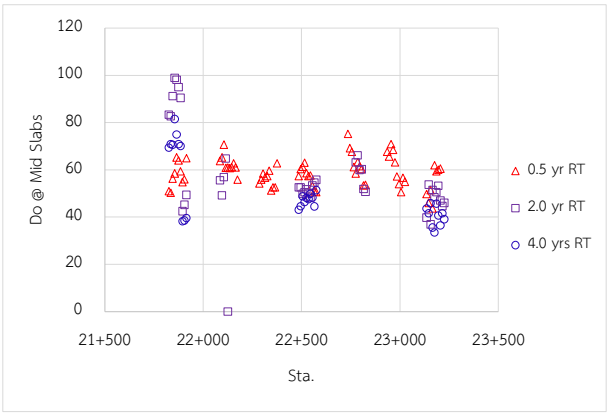


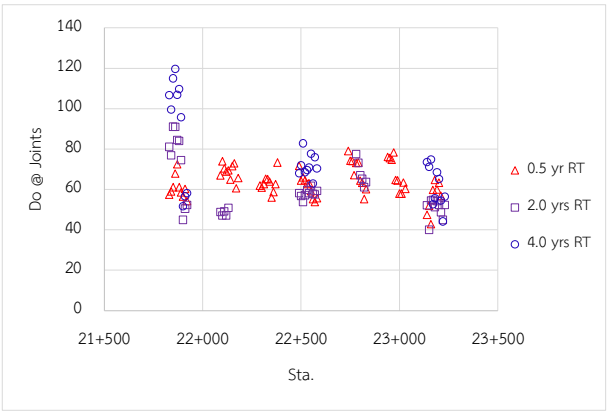
ภาพที่ 4.7ข ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้าง

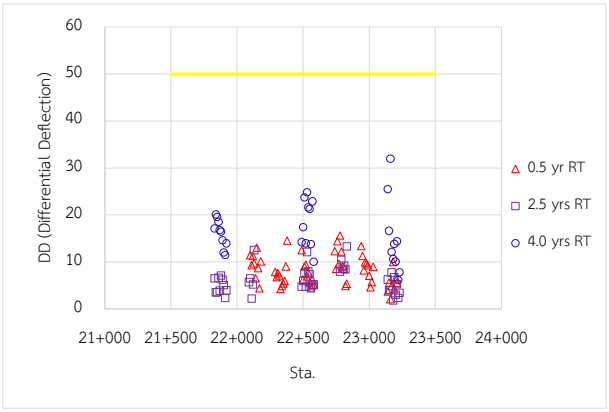
ทางหลวงหมายเลข 36 กระทิงลาย – จ.ระยอง ด้านขวาทาง

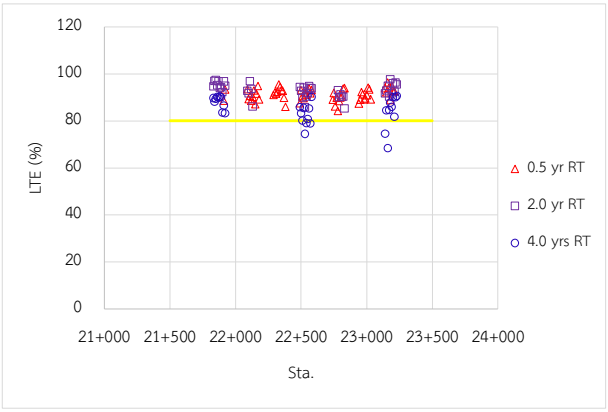


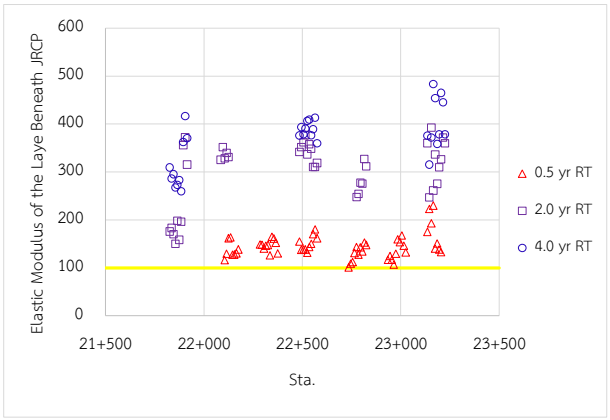
ภาพที่ 4.8ก ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม-จ.ฉะเชิงเทรา ด้านซ้ายทาง



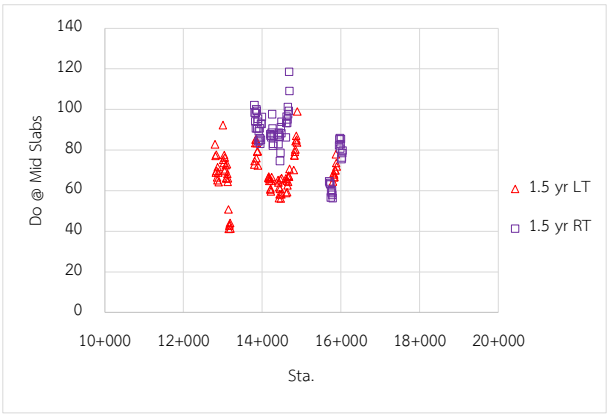


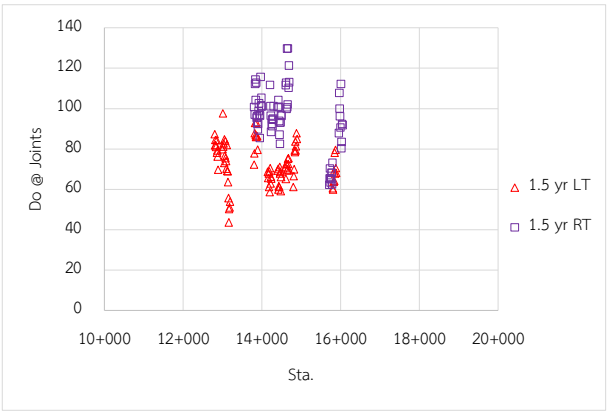


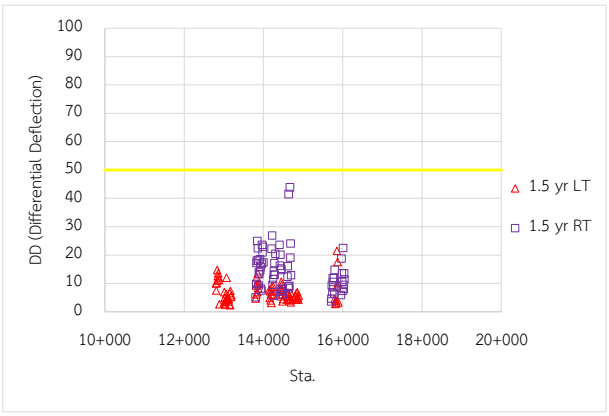


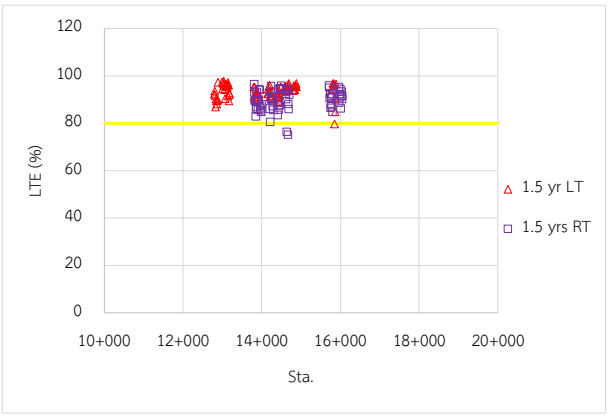


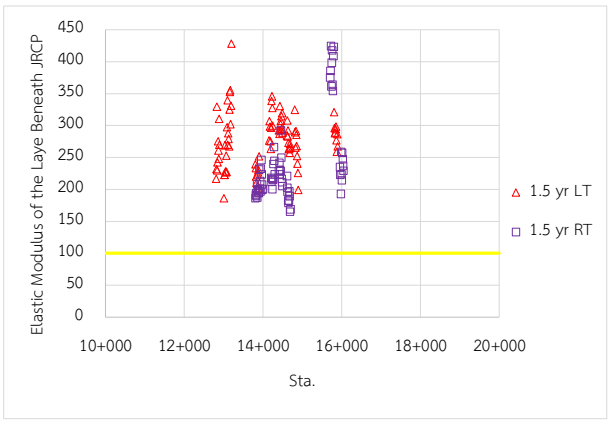
ภาพที่ 4.8ข ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 315 ตอน อ.พนัสนิคม-จ.ฉะเชิงเทรา ด้านขวาทาง



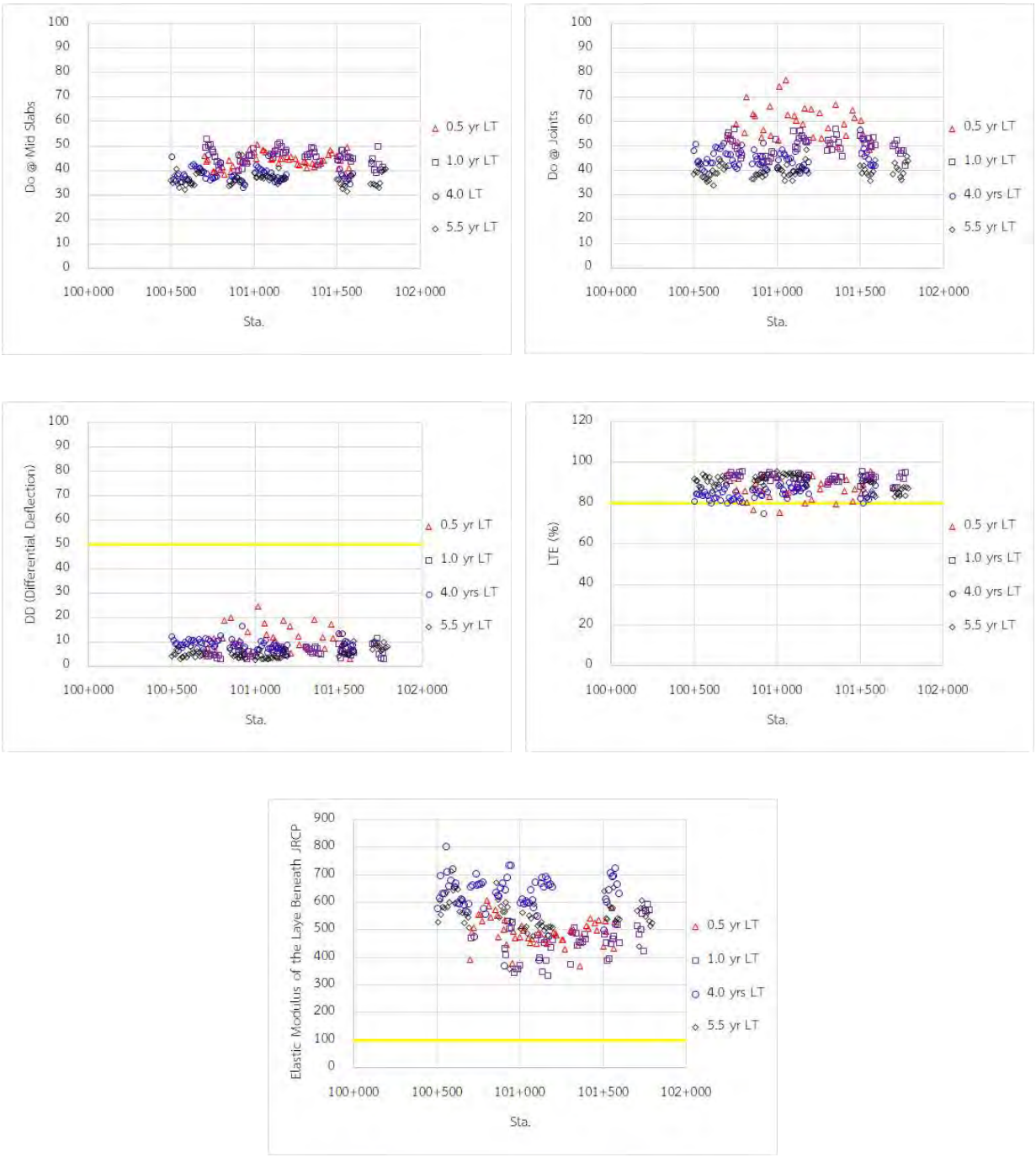




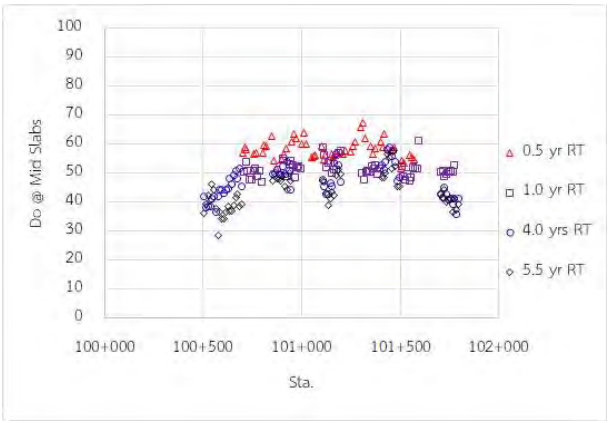


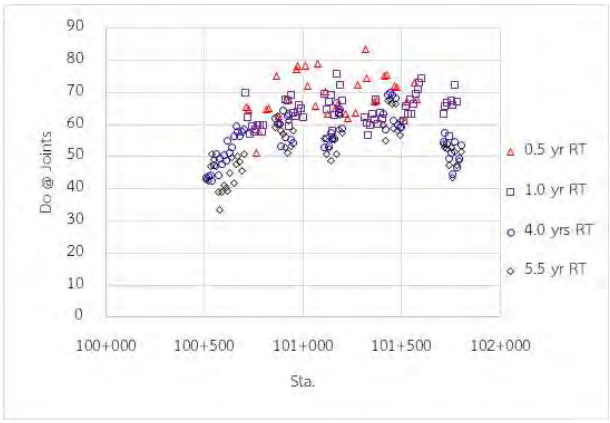


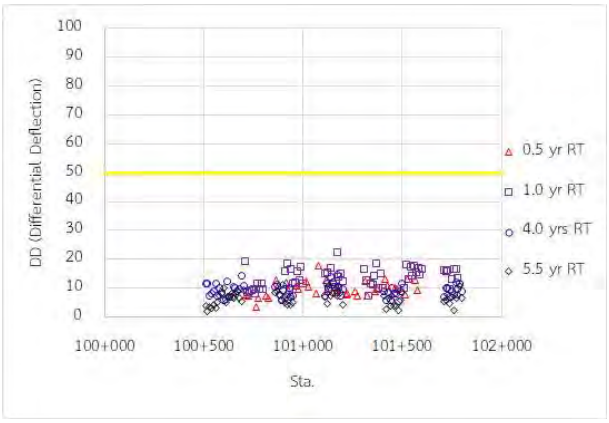
ภาพที่ 4.9. ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – บรรจบทางหลวงหมายเลข 331

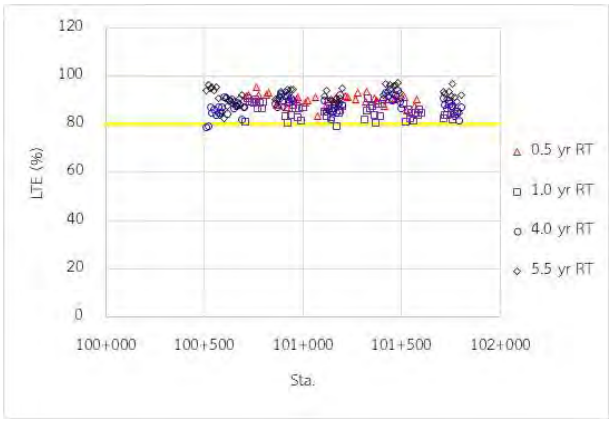


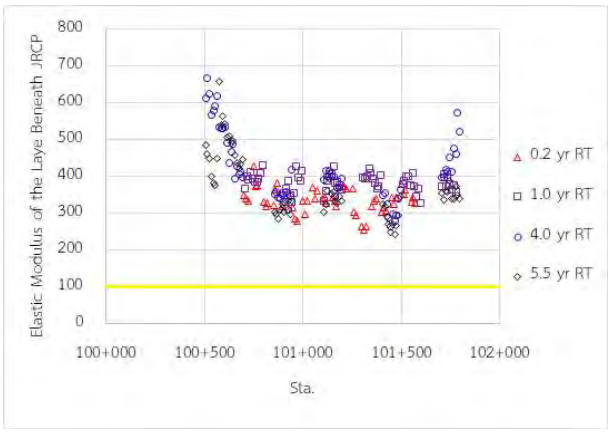
ภาพที่ 4.10ก ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน บ.หนองเสือช้าง - อ.แกลง ด้านซ้ายทาง



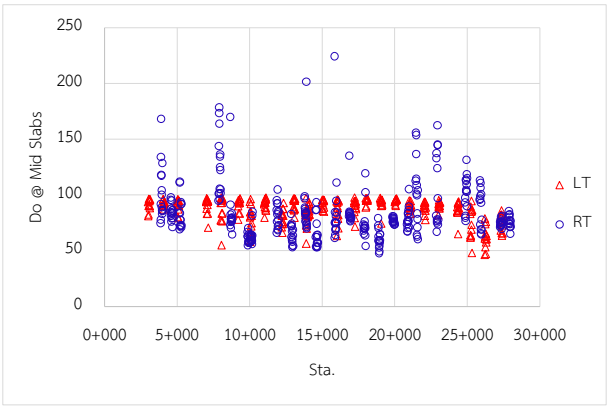


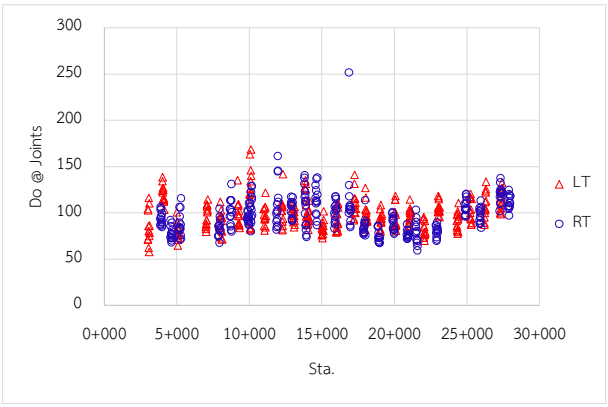


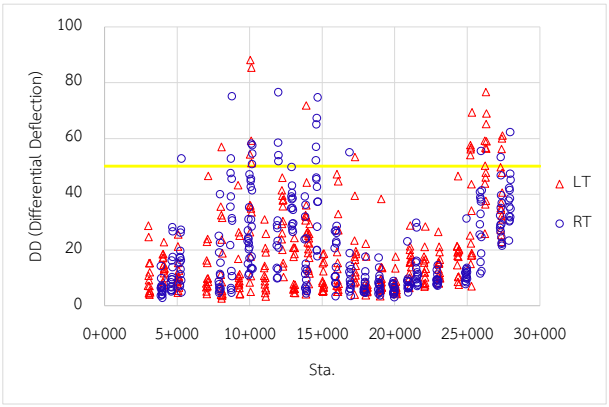


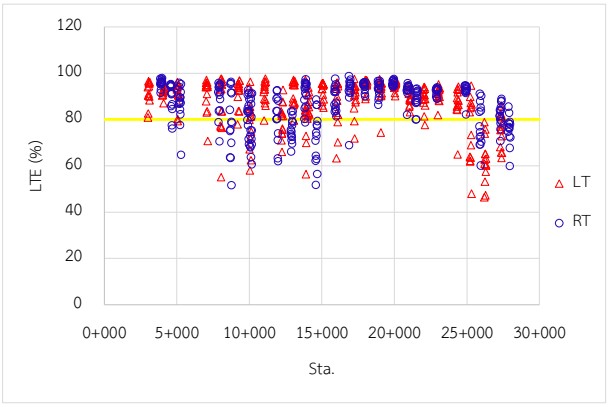


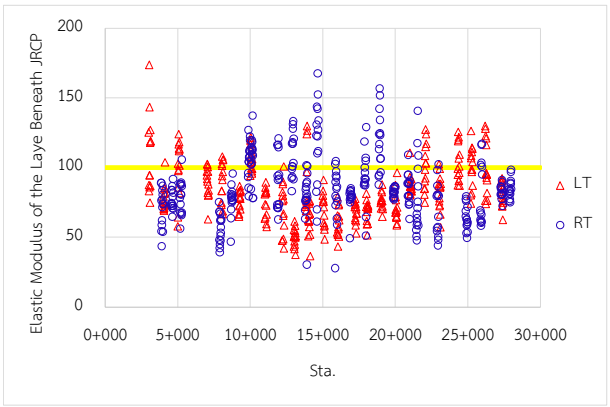
ภาพที่ 4.10ข ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344
ตอน บ.หนองเสือช้าง - อ.แกลง ด้านขวาทาง



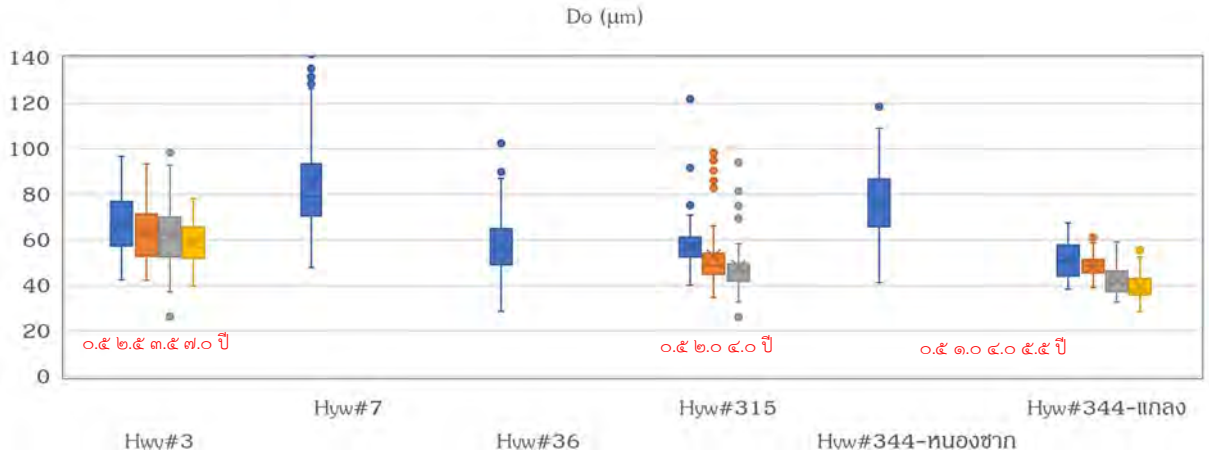




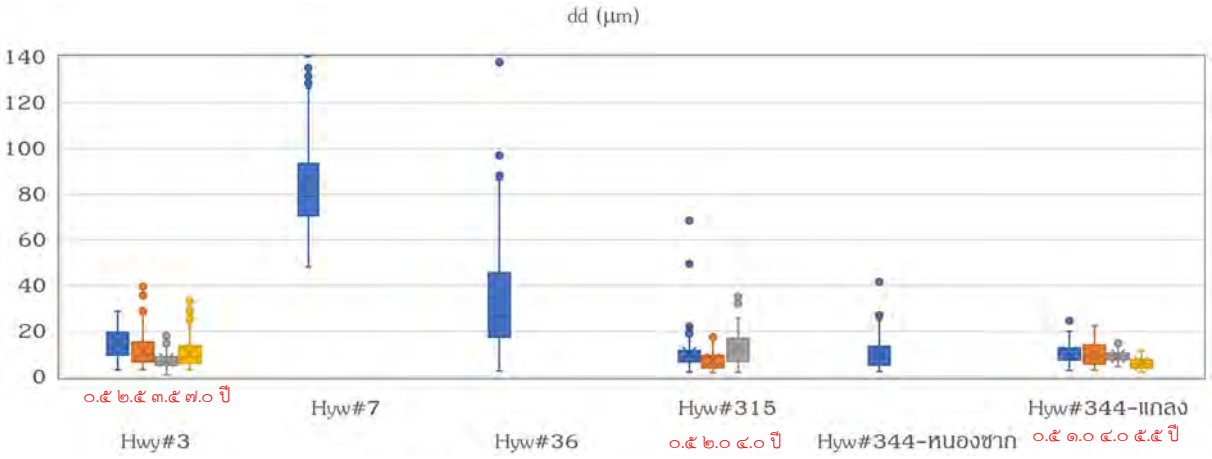




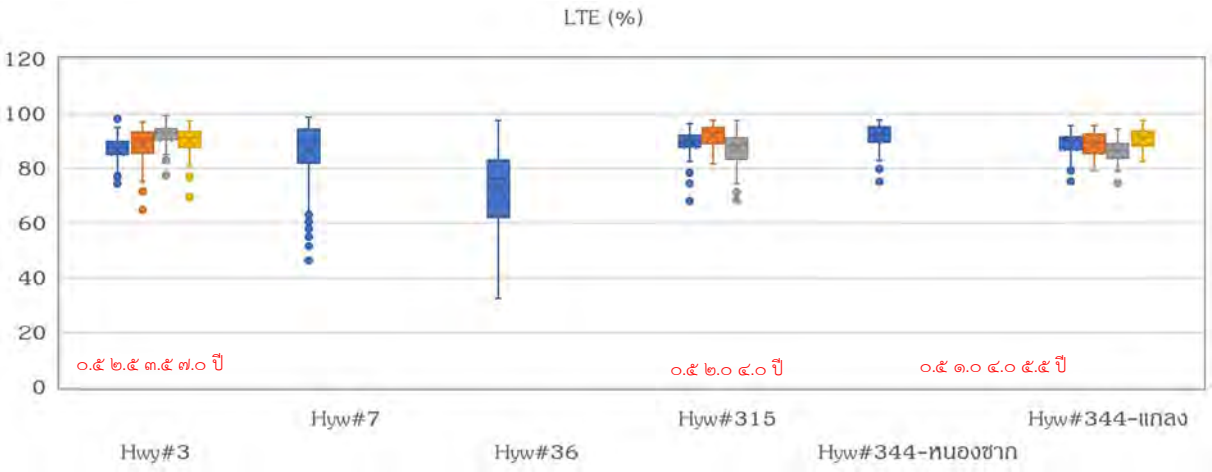
ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบ FWD ภายหลังการก่อสร้างระยะประมาณเวลา 1 ปี ทางหลวงหมายเลข 7 พัทยา- มาบตาพุด



ภาพที่ 4.12 ค่าการทรุดตัว (d_o)บริเวณจุดที่ทดสอบกึ่งกลางแผ่น JRCP



ภาพที่ 4.13 ค่าการ Differential Deflection (dd) บริเวณรอยต่อตามขวางถนน JRCP



ภาพที่ 4.14 ค่าการ Load Transfer Efficiency (LTE) บริเวณรอยต่อตามขวางถนน JRCP

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา ปัญหา/อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การเสริมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ลดการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติ ลดงบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้างหรือบูรณะ และลดผลกระทบต่อประชาชนสองข้างถนนรวมทั้งผู้ใช้ถนนในระหว่างการก่อสร้างหรือบูรณะ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำการขุดรื้อชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมออกทั้งหมด สามารถใช้ถนนเดิมเพื่อการเบี่ยงจราจร ถนนที่ก่อสร้างหรือบูรณะแล้วเสร็จสามารถรับน้ำหนักจากการจราจรและอายุการให้บริการที่สูงกว่าการเสริมด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต อีกทั้งถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จมีความแข็งแรง ซึ่งชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทนี้สามารถป้องกัน Joint Erosion ได้เป็นอย่างดี การเสริมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตจึงเป็นการใช้งบประมาณของประเทศอย่างคุ้มค่าในการลงทุน อีกทั้งสามารถใช้ชั้นรองถนนซีเมนต์เพื่อรองรับการจราจร เนื่องจากเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต จึงสามารถลดผลกระทบทางฝุ่นละอองได้มาก และผู้ใช้ถนนสามารถทำความเร็วได้เนื่องจากชั้นรองฯ มีความเรียบ ในอนาคตในกรณีที่ถนนที่ได้รับการบูรณะมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น สามารถใช้งบประมาณที่ได้รับในการบูรณะทางหลวงสายอื่นๆ ได้เพิ่มขึ้น

ถ้าหากพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายผู้ใช้ถนน (Road User Costs) ที่สามารถใช้ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนคอนกรีตในการเบี่ยงการจราจร จะสามารถลดผลกระทบจากการก่อสร้าง/บูรณะถนน รวมทั้งไม่ต้องทำการขนส่งวัสดุเพิ่มเติมเข้าในพื้นที่โครงการก่อสร้างหรือขนย้ายวัสดุโครงสร้างทางเดิม อีกทั้งค่าใช้จ่ายสิ่งแวดล้อม (Environmental Cost) ที่สามารถลดปัญหาฝุ่นละออง ลดผลกระทบของประชาชนที่อาศัยอยู่สองข้างทาง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง ค่าใช้จ่ายเหล่านี้สามารถที่หักล้างค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นซึ่งได้

จากผลการทดสอบ FWD ถนนผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตและบนทรายรองถนนคอนกรีต

1. ค่าการยุบจากการทดสอบที่บริเวณกลางแผ่นและบริเวณรอยต่อถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าน้อยกว่าที่ก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต
2. ค่า Elastic Modulus ของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีตมีค่าสูงกว่าชั้นทรายรองถนนซีเมนต์คอนกรีต
3. ค่า LTE บริเวณรอยต่อถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าสูงกว่าที่ก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต ยกเว้นทางหลวงหมายเลข 36 ซึ่งมีค่า LTE ที่ต่ำกว่าทุกทางหลวง

4. ค่า DD บริเวณรอยต่อถนนซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าต่ำกว่าที่ก่อสร้างบนชั้นทรายรองถนนคอนกรีต

5.2 การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ

การนำการเสริมผิวทางถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต ไปใช้ประโยชน์มีดังนี้

1. สามารถนำแนวทางการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตฯ ไปใช้ในถนนสายหลัก ซึ่งทำให้ถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ มีการบำรุงรักษาน้อย อายุการใช้งานตามที่ออกแบบ ลดผลกระทบในระหว่างก่อสร้างต่างๆ เช่น ปัญหาการจราจร ปัญหาฝุ่นละออง การขนส่ง/ขนย้ายวัสดุชั้นทาง

2. สามารถนำการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตฯ ในสายรองทำให้ถนนจะมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นมากและในบางพื้นที่อาจจะมีราคาค่าบูรณะก่อสร้างน้อยกว่าการเสริมผิวทางด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต

3. สามารถนำการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตฯ ใช้เพื่อการปรับปรุงทางแยกที่มีปัญหาการเกิดร่องล้อ ซึ่งสามารถทำได้รวดเร็วดังนั้นจึงทางเลือกที่ดีสำหรับในพื้นที่ที่มีปัญหาการจราจร ในกรณีที่ต้องการเปิดจราจรโดยเร็ว สามารถใช้สารผสมเพิ่มเร่งเวลาการก่อตัวของคอนกรีตได้ แต่จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น

4. เนื่องจากในปัจจุบันราคาผลิตภัณฑ์ปิโตรเลี่ยมมีราคาสูง ในสายทางที่มีงบประมาณจำกัด การเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

ผลกระทบจากเสริมผิวทางถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีตคือความหนาผิวทางถนนซีเมนต์คอนกรีตจะมีความหนามากกว่า 20 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ในพื้นที่ก่อนการดำเนินการบูรณะก่อสร้างที่มีทางเท้า เกาะกลาง เป็นต้น ภายหลังการดำเนินงานแล้วเสร็จจะมีระดับต่ำกว่าระดับผิวทางใหม่ ซึ่งจะทำให้ต้องมีการก่อสร้างทางเท้า หรือเกาะกลางใหม่

5.3. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ

ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการมีดังต่อไปนี้

1. เป็นรูปแบบที่กรมทางหลวง ยังไม่เคยดำเนินการอย่างแพร่หลาย ทำให้ขาดการสนับสนุนจากบุคลากรของกรมทางหลวง และทำให้หลายโครงการได้ดำเนินการเปลี่ยนแปลงเป็นชั้นรองถนนผิวทางคอนกรีตชนิดอื่นๆ เช่นวัสดุมวลรวมหินคลุก ทรายรองถนนคอนกรีต เป็นต้น

2. แอสฟัลต์คอนกรีตรองใต้ผิวทางซีเมนต์คอนกรีต จะมีค่าความเสียดทานสูงกว่าชั้นรองผิวทางซีเมนต์คอนกรีตด้วยวัสดุมวลรวมเช่นทราย จึงทำให้เหล็กเสริมใน JRCP ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง อาจจะไม่เพียงพอ

3. ถนนผิวจราจรเดิม 2 ช่องจราจร มีลักษณะแบบ Crown Slope แต่เมื่อขยายเป็น 4 ช่องจราจร จะเปลี่ยนเป็น Cross Slope ซึ่งต้องปรับระดับด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตปริมาณมาก ทำให้ค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น

5.4. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการมีดังนี้

1. ผู้ออกแบบโครงสร้างชั้นทางไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ไม่มีการใช้ในงานก่อสร้างของกรมทางหลวง มีเพียงแปลงทดลองของหน่วยงานภูมิภาคของกรมทางหลวงและในขณะที่ออกแบบโครงสร้างชั้นทาง แปลงทดลองบริเวณทางแยกดังกล่าว ได้รับการปรับปรุงเป็นผิวทาง JRCP เนื่องจากผิวทางมีความเสียหายมาก

2. การตั้งงบประมาณสำหรับการก่อสร้างหรือบูรณะ ไม่มีการพิจารณาปริมาณรถบรรทุกหนัก จึงทำให้ในสายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกมาก งบประมาณที่ได้รับไม่เพียงพอต่อค่างานในการบูรณะก่อสร้าง

3. ในการออกแบบการเสริมถนนเดิมด้วยผิวทางซีเมนต์คอนกรีต ถนนเดิมต้องไม่มีความเสียหายถึงโครงสร้างชั้นทางด้านล่าง

5.5 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะมีดังนี้

1 ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง ควรดำเนินการ Life Cycle Cost Analysis จำนวนไม่น้อยกว่า 3 รูปแบบโครงสร้างชั้นทาง โดยควรประกอบด้วยรูปแบบถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางซีเมนต์คอนกรีต เพื่อให้ได้โครงสร้างชั้นทางที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ภูมิอากาศ การจราจร เป็นต้น

2 ให้พิจารณาลดระยะการตัดรอยต่อตามขวางเพื่อการหดตัว (Contraction Joint) ถนนผิวทาง JRCP จาก 10 เมตร เป็น 8 เมตร เพื่อที่จะลดผลกระทบจาก Curling and Warping

3 ให้ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตรองถนนซีเมนต์คอนกรีตที่มีขนาดคละ 3/8 นิ้วและออกแบบส่วนผสมในลักษณะ Fine Graded Asphalt Concrete เพื่อลดค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

4 เพิ่มระหว่างห่างระหว่างเหล็กยึด (Tie Bar) จาก 60 เซนติเมตร เป็น 80 เซนติเมตร โดยอาจพิจารณาใช้ DB20 แทน DB16 หรือเพิ่มเหล็กยึดที่มีค่า Yield Strength สูงขึ้น (จาก SD40 เป็น SD50)

5 พิจารณาใช้ Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) ทดแทน Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP) ซึ่งจะทำให้ความเรียบในระหว่างวันไม่เปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากผลจากการ Curling and Warping ลดลงและสามารถลดค่าก่อสร้าง/บูรณะถนน เนื่องจากไม่ต้องดำเนินการเสริมเหล็ก ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

6 ใช้ Diamond Grinding ขูดผิวทางซีเมนต์คอนกรีตเมื่อค่า IRI ภายหลังการเปิดการจราจรมีค่าสูงกว่าที่ยอมรับได้ แต่จะต้องพิจารณาเพิ่มความหนาผิวทางในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

7 ดำเนินการติดตามประสิทธิภาพการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม จนถนนได้รับการบูรณะ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและปรับวิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทางต่อไป

8 กำหนดการก่อสร้างถนนซีเมนต์คอนกรีตด้วย Slipform Paver เท่านั้น เนื่องจากถนนจะมีความเรียบ ลดผลกระทบจากแรงกระทำไดนามิคได้ และสามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตได้ดีมากกว่า

9 ส่วนผสมซีเมนต์คอนกรีตควรพิจารณาออกแบบให้ค่า Water Cement Ratio (w/c) ไม่มากกว่า 0.42

10 ให้พิจารณาต้องใช้วัสดุ Pozzolan เช่น เถ้าลอย เพื่อเพิ่มความคงทนและลดการใช้ปูนซีเมนต์

11 ให้ดำเนินการตัดรอยต่อตามขวางภายในระยะเวลาที่เหมาะสมและเพิ่มความลึกรอยตัดเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ (1 ใน 3) ของความหนาผิวทางซีเมนต์คอนกรีต

12 ในกรณีที่ใช้วัสดุชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตเป็นวัสดุหินคลุก ควรกำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ไม่ให้ดำเนินการปรับระดับชั้นรองถนนซีเมนต์คอนกรีตด้วยวัสดุหินฝุ่น (Rock Quarry Dust)

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 (2021) Guide to Concrete Overlays (Fourth Edition).
3. CALTRAN (2022) “Highway Design Manual” California Department of Transportation
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. FHWA (2007), Tech Brief: Long-Life Concrete Pavements: Best Practices and Directions from the States., Washington, D.C., USA.
6. Portland Cement Association, (1991), Concrete Paving – 100 Years of Progress Through Innovation. Concrete in Highway Transportation, No. 10, Portland Cement Association, Skokie, IL., USA.
7. 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.
8. 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.
9. Tom Cackler, Tom Burnham, and Dale Harrington (2018) Performance Assessment of Nonwoven Geotextile Materials Used as the Separation Layer for Unbonded Concrete Overlays of Existing Concrete Pavements in the US., National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University
10. Tom Cackler, Tom Van Dam, Gary Fick, Jerod Gross, and Dale Harrington Z (2021) Concrete Overlays—A Proven Technology, National Pavement Center Technology Center, Iowa State University.

11. Vandenbossche J.M. (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.

12. กรมทางหลวง (2015) Standard Drawing for Highway Construction สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง

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

14. แสงชัย เทพสิทธิทรากรณ์ และชาโณ พยงค์ศรี (2551) การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทางคอนกรีต การสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2551 โดยโปรแกรม ELMOD สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

รายงานฉบับที่ : วพ. 328 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

ผู้เขียน : จุฑา สุนิตย์สกุล และ ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์

ชื่อเรื่อง : การเสริมผิวทางถนนผิวทางยืดหยุ่นด้วยการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต และการประเมินผลด้านความแข็งแรงภายหลังการบูรณะ

บทคัดย่อ : ถนนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อทำการเปิดการจราจร จะมีการเสื่อมสภาพเนื่องจากรถที่ใช้ถนนและสิ่งแวดล้อม การเสริมผิวทางจึงเป็นทางเลือกในการบูรณะทางหลวง เพื่อให้ถนนมีการอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถดำเนินการได้ทั้งเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) ในบางสายทางเช่นสายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกเป็นจำนวนมาก การเสริมผิวทางด้วยซีเมนต์คอนกรีตมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้แอสฟัลต์คอนกรีต ในอดีตที่ผ่านมาการเปลี่ยนวัสดุผิวทางจากแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวทางซีเมนต์คอนกรีต จะต้องทำการขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและทำการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางใหม่ ทำให้ต้องมีการปิดการจราจรเป็นระยะเวลายาวนาน และจะต้องทำการขนวัสดุโครงสร้างชั้นทางจากภายนอกพื้นที่ก่อสร้างเข้ามาในพื้นที่ก่อสร้าง ทำให้เกิดปัญหากับผู้ใช้ถนนและผู้อยู่อาศัยในพื้นที่สองข้างทาง ดังนั้นการเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีตบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยไม่ต้องขุดรื้อโครงสร้างชั้นผิวทางเดิม จะสามารถลดผลกระทบที่กล่าวในข้างต้น

ศัพท์เฉพาะเรื่อง : การเสริมผิวทางซีเมนต์คอนกรีต Non Erodible Base Fallin Weight Deflectometer

ทล.วพ./ว./2568/ท.