



การนำ Asphalt Cement เกรด 40/50 มาใช้ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์
คอนกรีต
และการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางภายหลังการก่อสร้าง:
โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344
ตอน อ.บ้านบึง-อ.แกลง. ช่วงกม. 25+00 ถึง 62+200

โดย

จุฑา สุนิตย์สกุล¹
ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์²

¹วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

²วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

การนำ Asphalt Cement เกรด 40/50 มาใช้ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
และการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางภายหลังการก่อสร้าง:
โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง-อ.แกลง. ช่วงกม. 25+00 ถึง
62+200

จุฑา สุนิตย์สกุล
ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

บทคัดย่อ

กรมทางหลวง ได้มีการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างชั้นทางอยู่สม่ำเสมอ จากการออกแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical Design) เป็นระบบเชิงวิเคราะห์ร่วมกับเชิงประสบการณ์ (Mechanistically Empirical Design) รวมทั้งมีการใช้วัสดุโครงสร้างชั้นทางที่นานาประเทศได้ใช้แล้ว ประสบผลดีและได้ติดตามประสิทธิภาพของวัสดุ นั้นอยู่อย่างต่อเนื่อง โครงการก่อสร้างบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง -อ.แกลง กม.25+000 ถึง 62+200 ได้นำแอสฟัลต์ซีเมนต์เพนนีเทรชันเกรด 40/50 (AC 40/50) มาใช้เป็น ชั้นผิวทาง ซึ่งเป็นโครงการแรกที่มีการใช้ AC 40/50 มากกว่า 5,000 ตัน ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดปัญหาการเกิดร่องล้อและความเสียหายของผิวทางได้

ในบทความนี้จะได้นำเสนอวิธีการพิจารณาการเลือกใช้ AC 40/50 และได้นำเสนอผลการติดตามและการสำรวจความแข็งแรงภายหลังการก่อสร้าง

บทนำ

การขนส่งทางบกด้วยรถบรรทุกของประเทศไทยมีสัดส่วนสูงสุด ซึ่งการขนส่งด้วยรถบรรทุก จะทำให้ถนนเกิดความเสียหายได้รวดเร็วขึ้น ถ้าถนนไม่ได้ทำการก่อสร้างให้มีโครงสร้างชั้นทางที่สอดคล้องกับปริมาณการจราจร อีกทั้งประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีฝนชุก ทำให้ถนนแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เพนนีเทรชันเกรด 60/70 (AC 60/70) ภายหลังการก่อสร้างมักพบปัญหาการเกิดร่องล้อ ทำให้อายุการใช้งานลดลง เมื่อมีการปรับปริมาณส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ให้มีการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณที่ลดลง เพื่อให้เกิดร่องล้อลดลง แต่กลับทำให้เกิดปัญหาความเสียหายจากความชื้น (Moisture Damage) มากขึ้น เนื่องจากน้ำสามารถซึมผ่านชั้นผิวทางได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงควรเลือกใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ใน 2550 กรมทางหลวงจึงได้มีการศึกษาเพื่อนำ AC 40/50 มาใช้เพื่อให้ได้ถนนที่สามารถต้านการเกิดร่องล้อได้ดีขึ้น

ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดตั้งโครงการ The Strategic Highway Research Program (SHRP) ขึ้นมา เพื่อปรับปรุงสมรรถนะ ความทนทาน และความปลอดภัยในการใช้งานของทางหลวง โดย SHRP ได้พัฒนาระบบซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE) ซึ่งเป็นชื่อย่อของคำว่า Superior PERforming Asphalt PAVement โดยมีวัตถุประสงค์ให้ถนนลาดยางมีสมรรถนะในการใช้งานให้ดีขึ้นกว่าเดิม ภายใต้การพิจารณาถึงสภาวะรุนแรง ในการใช้งานเนื่องจากอุณหภูมิ ปริมาณจราจร และสภาพการใช้งาน ในการเลือกใช้เกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์ ตามข้อกำหนด SUPERPAVE หรือที่เรียกโดยย่อว่า PG Grade ซึ่งในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง การก่อสร้างและบำรุงทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง-อ.แกลง ช่วง กม. 25+00 ถึง 62+200 จะได้พิจารณาการเลือกใช้ชนิดของ Asphalt Cement ตามระบบ SUPERPAVE

เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) เป็นการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างทาง แบบไม่ทำลาย โดยการปล่อยน้ำหนักกระทำต่อผิวทาง ซึ่งเป็นการจำลองน้ำหนักจากรถบรรทุกกระทำต่อถนน โดยให้มีผลใกล้เคียงกันกับน้ำหนักกระทำจากรถบรรทุก และทำการตรวจวัดการยุบตัวของโครงสร้างชั้นทางที่ระยะต่างๆ จากจุดที่น้ำหนักตกกระทบ เพื่อใช้ในการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง การแปรผลการทดสอบ FWD ทำได้โดยใช้ Computer Software Elmod ซึ่งในโครงการนี้ จะได้ทำการทดสอบ FWD ทั้งก่อนและภายหลังการก่อสร้างและบำรุงทางหลวงหมายเลข 344 ช่วง กม. 25+00 ถึง 62+200

โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง

ทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง เป็นทางหลวงที่ลัดสู่จังหวัดจันทบุรี ในภาคตะวันออก ทางหลวงหมายเลข 344 เป็นถนนแอสฟัลต์คอนกรีตขนาด 4 ช่องจราจร ไหล่ทางแอสฟัลต์คอนกรีต เกาะกลางแบบร่องน้ำ (Depressed Median) ก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 2541 ในปัจจุบันมีปริมาณการจราจรและปริมาณรถบรรทุกหนักมาก และในบางช่วงถนนมีความเสียหายถึงโครงสร้างชั้นทาง

กรมทางหลวง ได้รับงบประมาณปี 2558 เพื่อบูรณะทางหลวงทางหลวงหมายเลข 344 ช่วง กม. 25+000 ถึง กม. 62+200 โดยภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งสายทาง



ภาพที่ 1 ที่ตั้งโครงการทางหลวงหมายเลข 344 ตอน 1 สาย อ.บ้านบึง - อ.แกลง ช่วง กม. 25+000 ถึง กม. 62+200

การออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ ตามวิธีการของ AASHTO 1993

การออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงประสบการณ์ ตามวิธีการของ AASHTO 1993 เป็นวิธีการออกแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical Design) ภายใต้สมมุติฐานและสภาวะแวดล้อม ที่สอดคล้องกับ AASHTO Road Test ที่อายุการออกแบบ 20 ปี โดยสมการที่ 1 ใช้ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางแบบยึดหยุ่น

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad (1)$$

โดยที่	W_{18}	=	Predicted number of 80 kN (18,000 lb.) ESALs
	Z_R	=	Standard normal deviate
		=	-1.645 ที่ Reliability 95%
	S_o	=	Combined standard error of the traffic prediction and performance prediction
		=	0.40 – 0.50 สำหรับผิวทางแบบยึดหยุ่น
	SN	=	Structural Number (an index that is indicative of the total pavement thickness required)
		=	$a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots + a_i D_i m_i$
			a_i = ith layer coefficient
			D_i = ith layer thickness (inches)
			m_i = ith layer drainage coefficient
	ΔPSI	=	Difference between the initial design serviceability index, p_o , and the design terminal serviceability index, p_t
	M_R	=	Subgrade resilient modulus (psi)

AASHTO 1993 กำหนดให้ค่า Layer Coefficient สำหรับผิวทางวัสดุ Asphalt Concrete และวัสดุโครงสร้างชั้นทาง แสดงในภาพที่ 2 หรือตามสมการที่ (2)

สำหรับผิวทางวัสดุ Asphalt Concrete

$$a_1 = 0.4 \cdot \log \left\{ \frac{E}{3,000 \text{ (MPa)}} \right\} + 0.44 \quad 0.20 < a_1 < 0.44 \quad (2.1)$$

สำหรับพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

$$a_2 = 0.489 \cdot \log \left\{ \frac{E \text{ (psi)}}{10,000 \text{ (psi)}} \right\} - 0.225 \quad 0.1 < a_2 < 0.30 \quad (2.2)$$

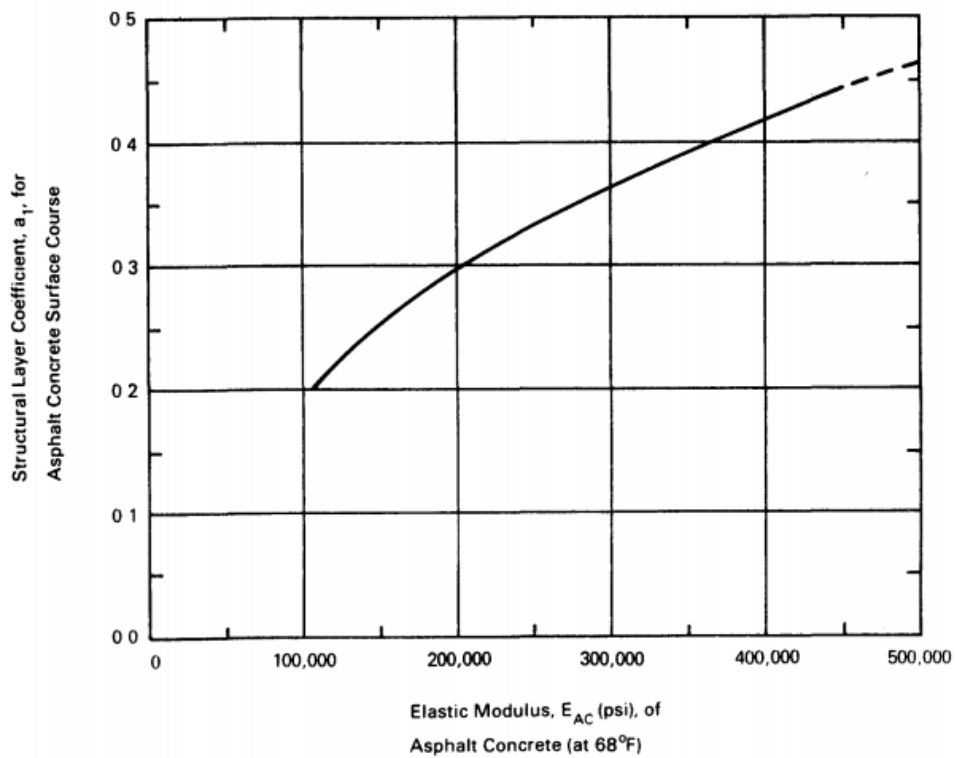


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (J)

ภาพที่ 2.1 รูปแสดงค่า Layer Coefficient สำหรับผิวทาง Asphalt Concrete (a_1)

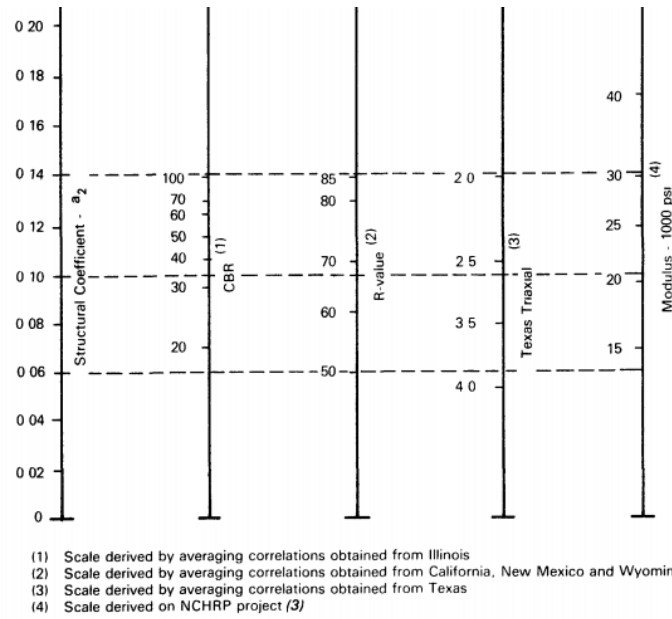


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (3)

ภาพที่ 2.2 รูปแสดงค่า Layer Coefficient สำหรับผิวทางพื้นทางวัสดุผสมรวม (a_2)

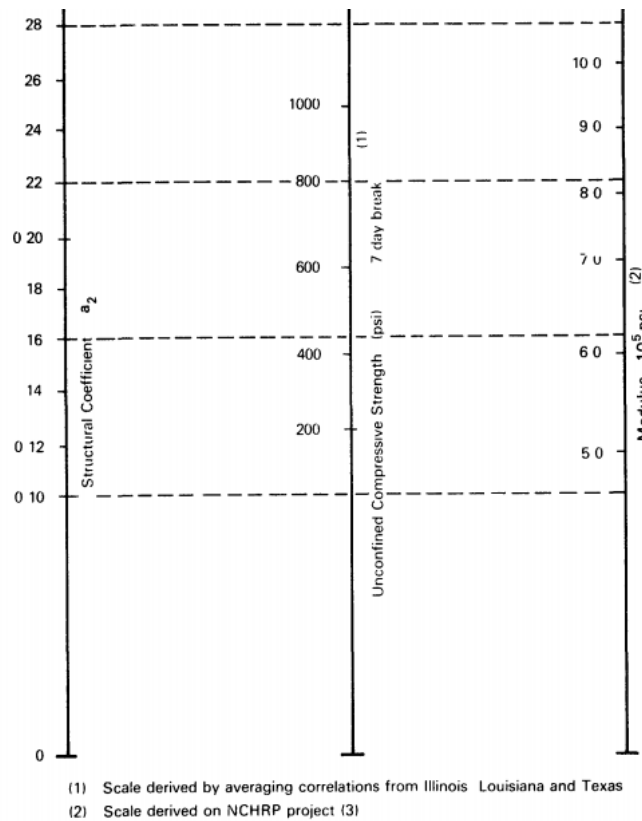


Figure 2.8. Variation in a for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)

ภาพที่ 2.3 ค่า Layer Coefficient สำหรับผิวทางพื้นทางวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (a_2)

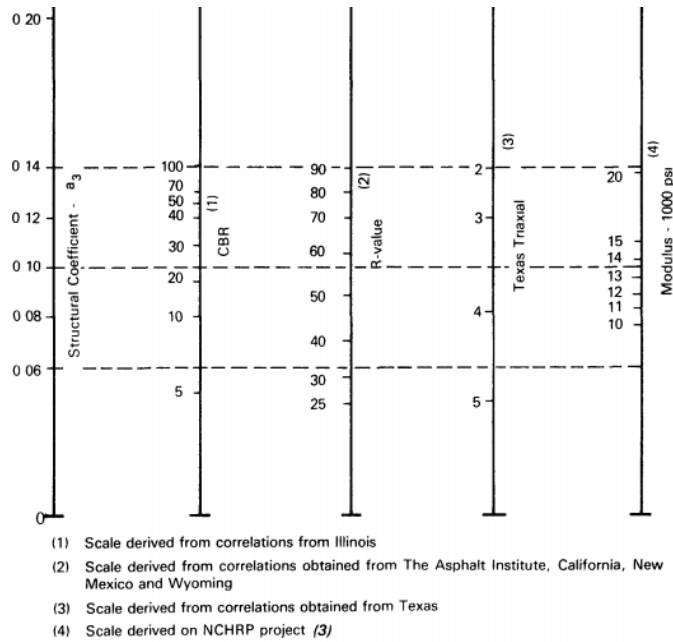


Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (3)

ภาพที่ 2.4 รูปแสดงค่า Layer Coefficient สำหรับผิวทางรองพื้นทางวัสดุผสมรวม (a_3)

การออกแบบโครงสร้างชั้นทางถนนลาดยางด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์

วิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นทางถนนลาดยางด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical Method หรือ Mechanistic Method) เริ่มมีวิวัฒนาการมาตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 1960 และมีการพัฒนาตลอดมา การออกแบบจะคำนึงถึงพฤติกรรมของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง กล่าวคือ เมื่อชั้นทางได้รับแรงจากน้ำหนักจากยานพาหนะ จะเกิดความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และการแอ่นตัว (Deflection) ขึ้นในวัสดุชั้นทาง โดยปกติหน่วยแรงจากน้ำหนักยานพาหนะเหล่านี้จะไม่ทำให้โครงสร้างชั้นทางเสียหายได้ในครั้งเดียว แต่เมื่อยานพาหนะแล่นผ่านโครงสร้างชั้นทางจำนวนมากครั้งขึ้น หน่วยแรงเหล่านั้นจะสะสมจนมีขนาดที่จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างชั้นทางได้ ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างชั้นทางเชิงวิเคราะห์จะออกแบบความหนาของวัสดุชั้นทางให้มีความหนาเพียงพอที่จะไม่เกิด ความเค้น ความเครียด และการแอ่นตัว เกินกว่าขีดจำกัดของวัสดุ เนื่องจากน้ำหนักยานพาหนะมากเกินค่าที่กำหนดในช่วงอายุการใช้งานของถนนตามที่ต้องการ การออกแบบต้องใช้ความรู้ทางกลศาสตร์ของวัสดุจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างชั้นทางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากนั้นคำนวณค่าหน่วยแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งจะได้นำผลวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้ในการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางให้รองรับจำนวนเที่ยวของน้ำหนักยานพาหนะได้ตลอดอายุการใช้งานของถนน

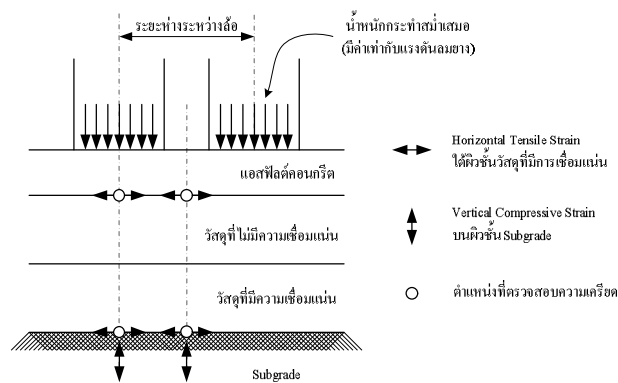
ความเสียหายและอายุการใช้งานของถนน โดยปกติโครงสร้างชั้นทางต้องรับน้ำหนักจากยานพาหนะจำนวนหลายล้านเที่ยว เมื่อความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชั้นทางเข้าไปมาจากแรงกระทำซ้ำนั้นสะสมตัวจนมีขนาดมากเกินกว่าที่วัสดุโครงสร้างชั้นทางจะรับได้ ถนนก็จะเสียหายหรือหมดอายุในที่สุด ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ แบ่งลักษณะความเสียหายของถนนเป็นสองชนิด คือ

รอยแตก (Cracking) และร่องล้อ (Rutting) รอยแตกเกิดจากการสะสมของความเครียดที่เกิดจากแรงดึงที่ผิวด้านล่างของชั้นวัสดุที่มีการเชื่อมแน่น เช่นแอสฟัลต์คอนกรีต หรือวัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เกินกำลังที่วัสดุจะรับได้ โดยเริ่มเกิดที่ผิวด้านล่างก่อนแล้วลุกลามขึ้นสู่ด้านบน ร่องล้อเกิดในชั้นวัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่น เช่นชั้นหินคลุก ชั้นรองพื้นทางมวลรวม และดินถม เป็นต้น โดยเกิดจากการสะสมตัวของความเครียดที่ไม่คืนตัวเนื่องจากแรงกด ถนนจะหมดอายุเมื่อเกิดรอยแตกและ/หรือร่องล้อลึกมากเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพในการขับขี่ของผู้ใช้ถนนลดน้อยลงเกินกว่าที่กำหนด อายุของถนนจึงสามารถบอกได้ในรูปของจำนวนเที่ยวยานพาหนะที่วิ่งผ่านถนนก่อนที่จะเกิดความเสียหายในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

การวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างชั้นทางที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น (Multi-Layered System) การวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางโดยทฤษฎี Layered Elastic จะสมมติให้วัสดุโครงสร้างชั้นทางทุกชั้นเป็นวัสดุอิลาสติก มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง วางเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ ยึดติดกันแน่นที่รอยต่อ ไม่มีขอบเขตทางด้านข้าง วัสดุชั้นล่างสุดคือชั้น Subgrade มีความลึกเป็นอนันต์ แรงที่กระทำต่อโครงสร้างชั้นทางคือน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะที่ถ่ายลงสู่ล้อซึ่งจะสมมติให้เป็นน้ำหนักกระทำสถิตย์ (Static) กระทำแผ่สม่ำเสมอขนาดเท่ากับความดันลมยาง พื้นที่สัมผัสเป็นรูปวงกลม โดยปกติขนาดของน้ำหนักลงเพลลาที่ใช้ในการออกแบบมีขนาดเท่ากับน้ำหนักเพลลามาตรฐาน คือ เเพลลาเดี่ยวล้อคู่ (Single Axle, Dual Wheels) รับน้ำหนักลงเพลลา 8.2 ตัน (80 kN)

ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างชั้นทาง จะวิเคราะห์ขนาดความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดังกล่าว ตำแหน่งที่ตรวจสอบความเครียดเพื่อใช้กำหนดอายุของโครงสร้างชั้นทาง คือ Horizontal Tensile Strain ใต้ผิวชั้นแอสฟัลต์ภายใต้แกนกลางล้อรถและบริเวณกึ่งกลางระหว่างล้อรถทั้งสองล้อ และ Vertical Compressive Strain บนผิวของวัสดุชั้น Subgrade ภายใต้แกนกลางล้อรถและบริเวณกึ่งกลางระหว่างล้อรถทั้งสองล้อ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างชั้นทางและตำแหน่งตรวจสอบความเครียด

เกณฑ์กำหนดความเสียหาย

เมื่อวัสดุโครงสร้างชั้นทางได้รับแรงกระทำจากน้ำหนักยานพาหนะ จะเกิดความเครียดขึ้น เมื่อความเครียดเกิดขึ้นซ้ำไปมาจนถึงจำนวนหนึ่ง ความเครียดจะเกิดการสะสมจนวัสดุนั้นเกิดการวิบัติ ขนาดของความเครียดและจำนวนเที่ยวของความเครียดขนาดนั้นที่จะทำให้วัสดุเกิดการวิบัติมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งความสัมพันธ์นี้หาได้จากการทดลองทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ สำหรับวัสดุ Asphalt Concrete จำนวนเที่ยวที่ทำให้เกิด Fatigue Crack แสดงในสมการที่ 3

$$N_f = \left\{ \frac{6918 \cdot (0.856 \cdot V_b + 1.08)}{S_{mix}^{0.36} \cdot \epsilon} \right\}^5 \quad (3)$$

เมื่อ N_f = จำนวนเที่ยวของแรงที่กระทำให้วัสดุเกิดการวิบัติ
 ϵ = ความเครียดดึงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำหนึ่งเที่ยว (Microstrain, $\mu\epsilon$)
 V_b = สัดส่วนโดยปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (%)
 $S_{mix}^{0.36}$ = Asphalt Concrete Stiffness (MPa)

สำหรับวัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประเภทเชื่อมแน่น (Bound Material) เมื่อรับน้ำหนักกระทำซ้ำจากการจราจรจะเกิดความเสียหายในลักษณะแตกร้าวจากความล้า (Fatigue Cracking) เนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นใต้ชั้นวัสดุเกินกว่าที่วัสดุจะรับได้ Jameson et al (1992) เสนอความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของความเครียดดึงและจำนวนเที่ยวของความเครียดขนาดนั้นที่จะทำให้วัสดุพื้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์เกิดการวิบัติตามสมการที่ 4

$$N_f = \left\{ \frac{35,000}{\epsilon \cdot E^{0.45}} \right\}^8 \quad (4)$$

โดยที่ ϵ = ความเครียดแรงดึงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำหนึ่งเที่ยว (Microstrain, $\mu\epsilon$)
 E = Modulus of Cement Stabilized Materials

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของความเครียดดึงและจำนวนเที่ยวของความเครียดขนาดนั้นที่จะทำให้วัสดุรวมรวมเกิดการยุบตัวแนวตั้ง (ร่องล้อ) สามารถประมาณได้จากสมการที่ 5

$$N_{f,sg} = \left\{ \frac{855}{\varepsilon} \right\}^4 * 10^6 \quad (5)$$

โดยที่

ε = ความเครียดในแนวตั้งฉากกับถนนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำหนึ่งเทียวย (Microstrain, $\mu\varepsilon$)

จากสมการที่ (3) (4) และ (5) เมื่อทราบขนาดของความเครียดที่เกิดจากแรงกระทำหนึ่งเทียวยก็สามารถคำนวณจำนวนเทียวยของแรงกระทำนั้นที่ทำให้วัสดุเสียหายได้

การเลือกใช้ชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามระบบ SUPERPAVE

ระบบซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE) ซึ่งเป็นชื่อย่อของคำว่า SUPERior PERforming Asphalt PAVement จัดทำขึ้นเพื่อให้ได้ถนนลาดยางที่มีสมรรถนะในการใช้งานให้ดีขึ้นกว่าเดิม โดยจะพิจารณาถึงสภาวะรุนแรงในการใช้งานเนื่องจากอุณหภูมิ ปริมาณจราจร และสภาพการใช้งาน สำหรับการเลือกใช้เกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามข้อกำหนด SUPERPAVE หรือที่เรียกโดยย่อว่า PG Grade จะต้องพิจารณาจากอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละช่วงปริมาณจราจรและสภาพการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ยาง PG Grade 64-10 หมายความว่า ยางแอสฟัลต์ดังกล่าวสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 64 ถึง ลบ 10 องศาเซลเซียส โดยสมการที่ 6 ที่แนะนำในวิธี SUPERPAVE และปรับแก้ให้มีระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 สำหรับอุณหภูมิสูงสุดของผิวทางดังนี้

$$T_{20mm} = (T_{air} * 0.00618 * Lat^2 + 0.2289 * Lat + 42.2) * (0.9545) - 17.78 \quad (6)$$

โดยที่

T_{20mm} = ค่าอุณหภูมิสูงสุดของผิวทางที่ความลึก 20 มม. จากผิวทาง (องศาเซลเซียส)

T_{air} = ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศสูงสุด 7 วันในแต่ละปี (องศาเซลเซียส)

Lat = ค่าละติจูดของถนนที่จะนำยางแอสฟัลต์ไปใช้งาน

และสมการที่ 7 สำหรับการประมาณอุณหภูมิต่ำสุดของผิวทาง

$$T_{pave} = -1.56 + 0.76 * T_{air} - 0.004 * Lat^2 + 6.26 * \log(H+25) - Z * (44 + 0.52 \sigma_{air}^2)^{0.5}$$

(7)

โดยที่

T_{pave}	=	ค่าอุณหภูมิต่ำสุดของผิวทาง (องศาเซลเซียส)
T_{air}	=	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศต่ำสุดใน 1 วัน
H	=	ความลึกจากผิวทาง (มม)
Z	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเท่ากับ 1.645 สำหรับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95
σ_{air}	=	ค่า Standard Deviation ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดรายปี
Lat	=	ค่าละติจูดของถนนที่จะนำยางแอสฟัลต์ไปใช้งาน

ในการเลือกใช้ชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้เลือกใช้ชนิดของแอสฟัลต์ตามตารางที่ 1 หากพิจารณาจากฐานข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดของสถานอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่จังหวัดชลบุรีตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2558 แสดงในตาราง 2 ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดคือ 38.1 องศาเซลเซียสที่สถานีตรวจวัดอากาศชลบุรี (Latitude = 13.3566419 องศา) และจากสมการที่ 3 สามารถประมาณค่าอุณหภูมิสูงสุดในชั้นผิวทางแอสฟัลต์ที่ระดับความลึก 20 มม. (T_{20mm}) ได้เท่ากับ 60.1 องศาเซลเซียส ดังนั้นในพื้นที่จังหวัดชลบุรี เพื่อให้ได้ผิวทางแอสฟัลต์ที่สามารถต้านทานการเกิดร่องล้อ ที่สภาวะการจราจรน้อยกว่า 10 ล้านเพลามาตรฐาน (ESAL) และบริเวณที่การจราจรความเร็วสูง จะต้องใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ PG 64 และในกรณีที่มีปริมาณการจราจรที่อายุการใช้งาน 20 ปี มากกว่า 30 ล้านเที่ยวเพลามาตรฐานนั้น ต้องใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด PG 70

จากการทดสอบ AC 40/50 ตามระบบ SUPERPAVE ตาม AASHTO M320 โดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ตามตารางที่ 3 พบว่า AC 40/50 มีความใกล้เคียงกับ AC เกรด PG 70-16 (อินวิน สวีสติคานต์ และ ธัญรติ ก่อตั้งสัมพันธ, 2553) ซึ่งกรมทางหลวง ได้ดำเนินการศึกษาการนำ AC 40/50 มาใช้ในแปลงทดลอง เป็นระยะทางสั้นๆ ตั้งแต่ปี 2551 ดังนั้นในพื้นที่จังหวัดชลบุรี จะใช้ AC 40/50 สำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 30 ล้านเพลามาตรฐาน

โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง - อ.แกลง นี้ จะเป็นการนำ AC 40/50 ในบริเวณที่มีความเร็วสูงและใช้ผิวทาง Concrete บริเวณทางแยก ทั้งนี้โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง - อ.แกลง นี้ มาใช้เป็นปริมาณมากกว่าการก่อสร้างใดที่ผ่านมามีทั้งหมดของกรมทางหลวง (ข้อมูลถึงปี 2560) ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจในการใช้ AC 40/50 จึงกำหนดให้โครงการก่อสร้างฯ จะต้องทำการเก็บสุมเก็บตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ทุกการใช้งาน 50 ตัน เพื่อนำมาทดสอบตาม มอก.851 ในห้องปฏิบัติการ ของกรมทางหลวง

ตารางที่ 1 ตารางการเลือกใช้ชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ปริมาณการจราจร (ESAL)	บริเวณความเร็วสูง อุณหภูมิ AC (°C)	บริเวณชะลอตัว อุณหภูมิ AC (°C)	บริเวณหยุดนิ่ง อุณหภูมิ AC (°C)
น้อยกว่า 10 ESALs	T _{20mm}	T _{20mm}	T _{20mm} + 12
10-30 ESALs	พิจารณา T _{20mm} + 6	T _{20mm} + 6	T _{20mm} + 12
มากกว่า 30 ESALs	T _{20mm} + 6	T _{20mm} + 6	T _{20mm} + 12
หมายเหตุ ให้ปรับอุณหภูมิ T _{20mm} ลงตาม PG ต่างๆ เช่น 64, 70 หรือ 76 เป็นต้น			

การทดสอบโครงสร้างชั้นทางด้วย Falling Weight Deflectometer

เครื่องมือ FWD เป็นเครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนแบบวิธี Non-destructive Test ทำงานได้รวดเร็ว ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือ เครื่อง FWD ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นรถลากจูงติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องคำนวณผลแปลงค่าส่งในการควบคุมเครื่องมือทดสอบ และเก็บข้อมูล รถพ่วงเป็นชุดเครื่องทดสอบ FWD โดยเครื่องทดสอบที่มีหลักการทำงานคล้ายการทดสอบ Plate Loading Test ที่มีลักษณะการให้น้ำหนักกระทำเป็นแบบ Dynamic เนื่องจากมีการปล่อยน้ำหนักลงกระทบบนแผ่นรองรับโดยมียางกันกระแทกที่ทำหน้าที่คล้ายสปริง ซึ่งทำให้เกิดคลื่นแรงสั่นสะเทือนกระทำต่อโครงสร้างถนน โดยมีการปรับขนาดของน้ำหนักและความสูงของการยกก้อนน้ำหนักได้ตามที่ต้องการ ทำให้สามารถควบคุมแรงที่กระทำต่อโครงสร้างถนนให้มีปริมาณมากพอ และก่อให้เกิดการทรุดตัวในโครงสร้างถนน เทียบเท่าผลที่เกิดจากรถบรรทุกพหลามาตรฐานเคลื่อนที่ผ่าน ส่วนประกอบหลักของเครื่อง FWD คือตัวตรวจวัดสัญญาณคลื่นที่เกิดจากการกระแทกของก้อนน้ำหนักผ่านผิวถนน เรียกว่า Geophone จำนวน 9 ตัว เรียงเป็นแถวในระนาบเดียวกันเพื่อให้สามารถแปลงค่าสัญญาณที่วัดได้มาเป็นค่า Deflection โดยสามารถแปลผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม ELMOD.

การสำรวจโครงสร้างชั้นทางและดินฐานรากด้วยอุปกรณ์ Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

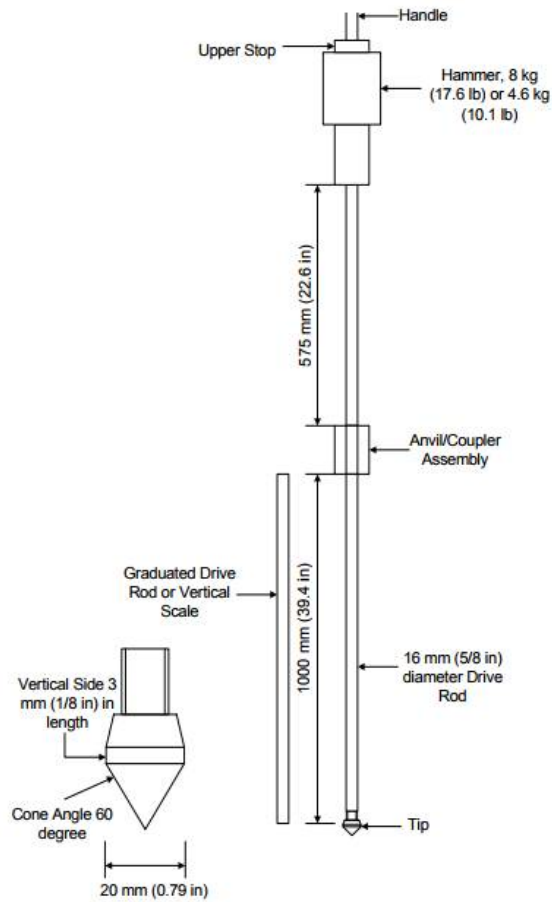
เครื่องมือ DCP ดังภาพที่ 4 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับประเมินค่า CBR ในสนามแบบ Intrusive Test ที่สามารถใช้ทดสอบเพื่อหาค่า CBR ของดินในสนามได้อย่างรวดเร็ว การทดสอบ DCP จะต้องใช้ผู้ทดสอบอย่างน้อย 3 คน ร่วมกันทดสอบโดยมีหน้าที่แต่ละคนต่างกัน คนที่หนึ่งจะเป็นผู้จับเครื่องมือให้อยู่ในแนวตั้ง คนที่สองทำหน้าที่ยกตุ้มน้ำหนักขนาด 8 กก. ขึ้นจนถึงระดับที่กำหนดไว้และปล่อยให้ตกอย่างอิสระเพื่อกดหัวกรวยให้จมลงไปดินและคนที่สามทำหน้าที่จดบันทึกข้อมูลระยะที่หัวกรวยจมลงไปดิน วิธีการทดสอบ เริ่มต้นโดยการเลือกจุดที่จะทดสอบและจัดวางเครื่องมือให้อยู่ในแนวตั้ง จากนั้นทำการยกตุ้มน้ำหนักขึ้นจนได้ระยะ 575 มิลลิเมตร จากนั้นปล่อยให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมาอย่างอิสระกระทบบนเหล็กยึดแกนซึ่งจะกดปลายกรวยให้จมลงไปดินเล็กน้อยก่อน จากนั้นทำการทดสอบซ้ำเหมือนเดิมจนปลายกรวยจมลงไปดินอย่างต่อเนื่องจนได้ระยะที่ต้องการ

ตาราง 2 ตารางแสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

รายการ	2546 (2003)	2547 (2004)	2548 (2005)	2549 (2006)	2550 (2007)	2551 (2008)	2552 (2009)	2553 (2010)	2554 (2011)	2555 (2012)	2556 (2013)	2557 (2014)	2558 (2015)
	สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี Chon Buri Meteorology Station												
อุณหภูมิสูงสุด	37.1	38.3	36.9	36.7	36.9	36.7	37.3	39.0	36.7	37.7	38.0	37.3	38.1
อุณหภูมิต่ำสุด	17.0	18.9	16.9	17.5	17.5	18.5	15.5	19.0	17.7	20.1	16.4	15.5	18.6
	สถานีอุตุนิยมวิทยาเกาะสีชัง Ko Sichang Meteorology Station												
อุณหภูมิสูงสุด	34.9	35.1	35.2	35.2	35.2	35.0	36.6	36.0	35.0	36.0	36.0	39.5	35.9
อุณหภูมิต่ำสุด	-	-	18.4	19.6	16.2	18.0	17.0	19.5	19.0	19.5	19.4	16.0	18.0
	สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทธยา Phathaya Meteorology Station												
อุณหภูมิสูงสุด	35.6	35.5	35.5	35.0	34.4	33.7	35.0	36.0	34.5	35.2	34.5	34.6	35.5
อุณหภูมิต่ำสุด	18.9	18.5	18.0	19.5	19.5	19.7	17.5	20.8	19.3	21.5	18.0	18.0	20.4
	สถานีอุตุนิยมวิทยาสัตหีบ Sattahip Meteorology Station												
อุณหภูมิสูงสุด	37.5	36.7	-	-	36.5	36.0	36.8	37.7	36.3	38.1	38.7	-	36.3
อุณหภูมิต่ำสุด	16.5	17.6	-	-	16.0	17.2	13.5	18.9	17.4	18.4	-	-	-
	สถานีอุตุนิยมวิทยาแหลมฉบัง Laem Chabang Meteorology Station												
อุณหภูมิสูงสุด	36.5	36.0	35.3	35.6	36.3	35.6	37.3	37.5	38.0	37.0	37.6	37.4	38.5
อุณหภูมิต่ำสุด	15.5	16.0	16.0	18.1	18.6	17.5	14.9	18.6	18.5	21.0	16.5	16.8	19.6

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการจำแนกแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามระบบ SUPERPAVE (อินวิน สวัสดิศานต์ และ ธีรุตี ก่อตั้งสัมพันธ, 2553)

ยางแอสฟัลต์ที่นำมาทดสอบ	อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดใช้งานที่ได้จากการทดสอบ DSR	การจัดเกรดตาม Performance Grade
AC 60-70 SOURCE 1	PG 65.4-22	PG 64-22
AC 60-70 SOURCE 2	PG 64.1-22	PG 64-22
AC 40-50 SOURCE 1	PG 70.3-22	PG 70-22
AC 40-50 SOURCE 2	PG 67.5-16	PG 64-16
AC 40-50 SOURCE 3	PG 66.7-16	PG 64-16
PMA SOURCE 1	PG 74.7-34	PG 70-34
PMA SOURCE 2	PG 70.8-34	PG 70-34



ภาพที่ 4 ภาพแสดง Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางตามวิธีการของ AASHTO 1993

AASHTO 1993 ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่า SN ของโครงสร้างทาง จากการทดสอบ FWD ตามสมการที่ 8 ถึง 11 ดังนี้

$$M_R = \frac{0.24 * P}{\delta_r * r} \quad (8)$$

$$a_\epsilon = \sqrt{a^2 + \left(D \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2} \quad (9)$$

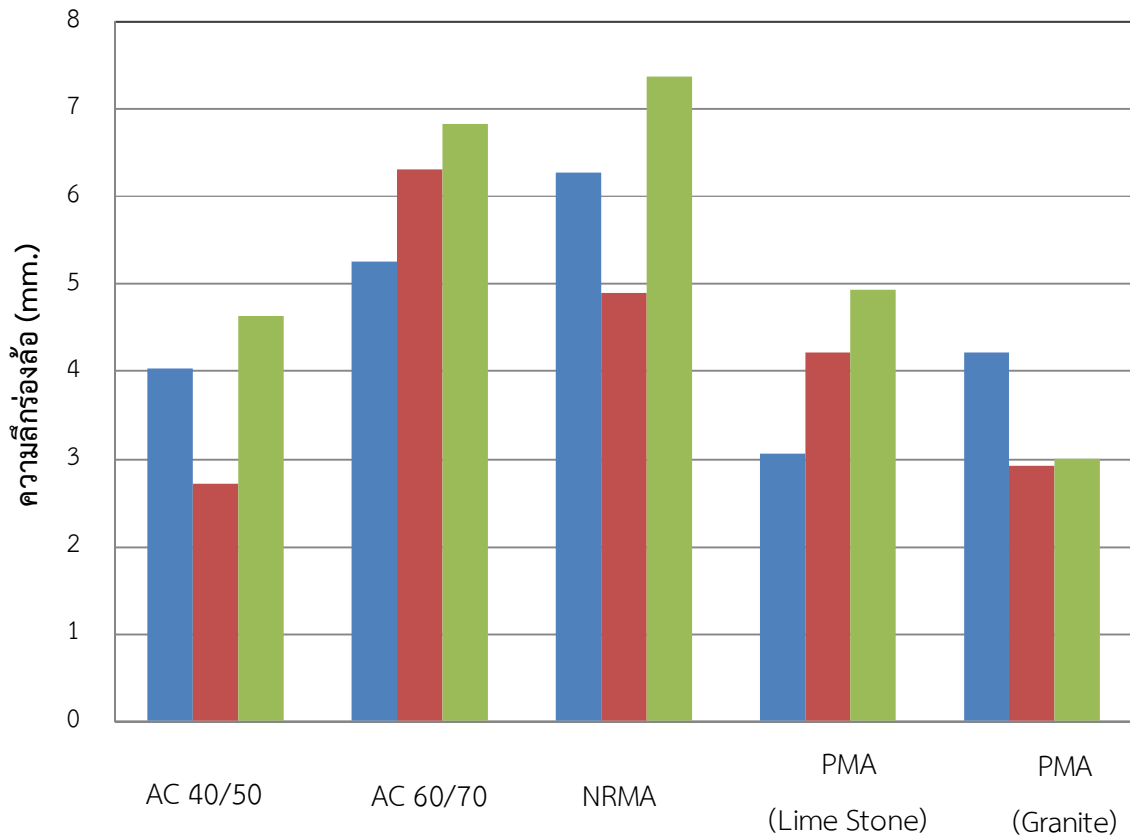
$$\delta_1 = 1.5 * p * a \left(\frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right)}{E_p} \right) \quad (10)$$

$$SN_{eff} = 0.0045 * D * \sqrt[3]{E_p} \quad (11)$$

โดยที่	M_R	=	Subgrade resilient modulus (psi)
	P	=	FWD test load magnitude (lb)
	δ_r	=	Measured deflection at offset, r (in.)
	r	=	Radial offset (in.) in which it is more than $0.7 a_e$
	a_e	=	Effective radius of stress bulb at subgrade/pavement interface (in.)
	a	=	FWD load plate radius (in.)
	D	=	Total pavement depth above subgrade (in.)
	E_p	=	Composite pavement modulus computed from eq. 10
	p	=	FWD contact pressure (psi)
	δ_1	=	Deflection at FWD load plate
	SN_{eff}	=	Effective structural number of in-place pavement

ผลการทดสอบ Wheel Track ในห้องปฏิบัติการ

สุรัชย์ จันทร์ขาว (2561) วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้ดำเนินการทดสอบการจำลองการเกิดร่องล้อในห้องปฏิบัติการ ด้วยเครื่องมือ French Wheel Track โดยได้ดำเนินการเตรียมตัวอย่าง Asphalt Concrete จากหินปูนที่มีขนาดละเอียดเดียวกัน แต่ใช้ AC 60/70, NRMA (แอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติ), AC 40/50 และ PMA และหินแกรนิตสำหรับ PMA จากผลการทดสอบพบว่าร่องล้อในห้องปฏิบัติการของ Asphalt Concrete ที่ใช้ PMA ที่ใช้มวลรวมเป็นหินแกรนิตมีการเกิดร่องล้อน้อยสุด โดยที่ Asphalt Concrete ที่ใช้ AC 60/70 และ NRMA เกิดร่องล้อที่มีความลึกมากกว่า Asphalt Concrete ที่ใช้ AC 40/50 ตามภาพที่ 5 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าถ้า AC 60/70 และ NRMA เหมาะสมที่นำมาใช้ในผิวทางถนนของประเทศไทย AC 40/50 ก็สามารถนำมาใช้ในเป็นวัสดุผิวทางถนนของประเทศไทยได้เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 5 ผลการทดสอบการจำลองการเกิดร่อนล้นในห้องปฏิบัติการ (สุรชัย จันทร์ขาว, 2561)

การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

การสำรวจแนวทางการก่อสร้างในสนาม

สภาพถนนทางหลวงหมายเลข 344 ช่วง สาย อ.บ้านบึง - อ.แกลง ช่วง กม. 25+000 ถึง กม. 62+200 ในบางช่วงมีการบูรณะด้วยวิธีการ Pavement Recycling และมีความเสียหายถึงชั้นโครงสร้างชั้นทางตามภาพที่ 6 ในบางช่วงยังคงมีสภาพใช้งานได้ ไม่มีความเสียหายบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและยังคงอยู่ในระยะประกันผลงานของผู้รับจ้าง



ภาพที่ 6.1 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)



ภาพที่ 6.2 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)



ภาพที่ 6.3 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)



ภาพที่ 6.4 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)



ภาพที่ 6.5 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)



ภาพที่ 6.6 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)



ภาพที่ 6.7 รูปก่อนการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 อ.บ้านบึง – อ.แกลง (ภาพจาก Google Street View)

การสำรวจโครงสร้างชั้นทางและดินฐานรากด้วยอุปกรณ์ Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

จากผลการทดสอบ DCP พบว่าดินถมคันทางมีความแน่นและคงสภาพเดิม ตัวอย่างผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก

การสำรวจโครงสร้างชั้นทางด้วยอุปกรณ์ Falling Weight Deflectometer (FWD)

จากผลการทดสอบ FWD ในหลายช่วงถนน พบว่าโครงสร้างชั้นทางเดิมไม่สามารถรองรับปริมาณการจราจรได้ ถนนจึงต้องจำเป็นต้องได้รับการบูรณะ ตัวอย่างผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข

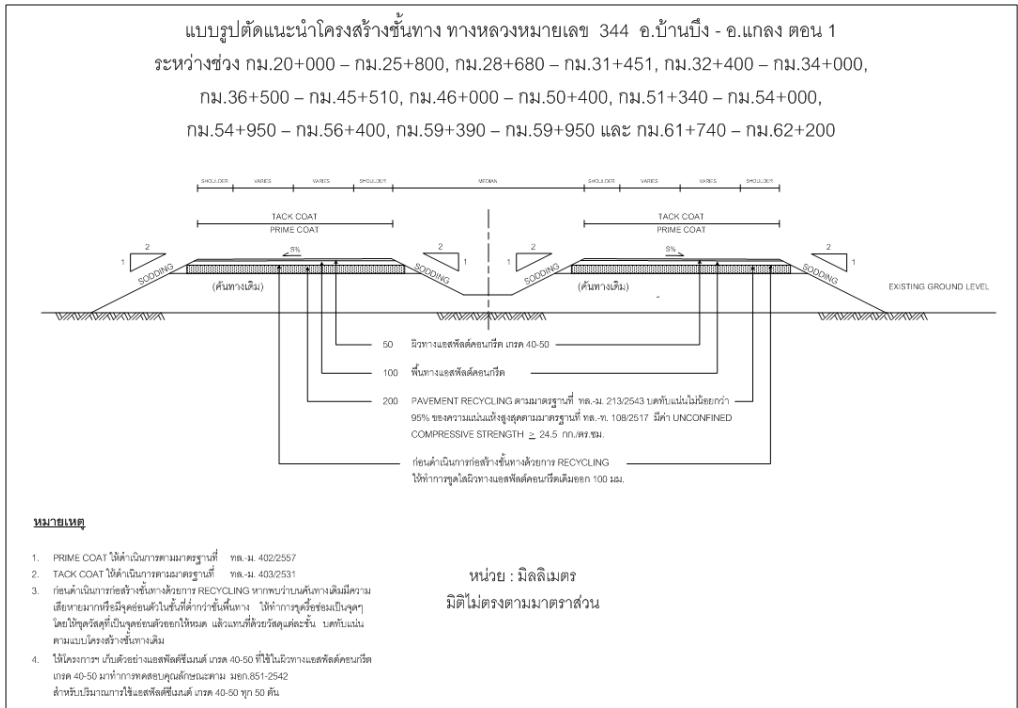
การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง

ในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 สาย อ.บ้านบึง – อ.แกลง ตอนที่ 1 นั้น ได้ดำเนินการออกแบบเชิงวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 และได้จัดทำรูปตัดแนะนำโครงสร้างชั้นทางเพื่อนำไปใช้เป็นแบบก่อสร้างดังแสดงในภาพที่ 7

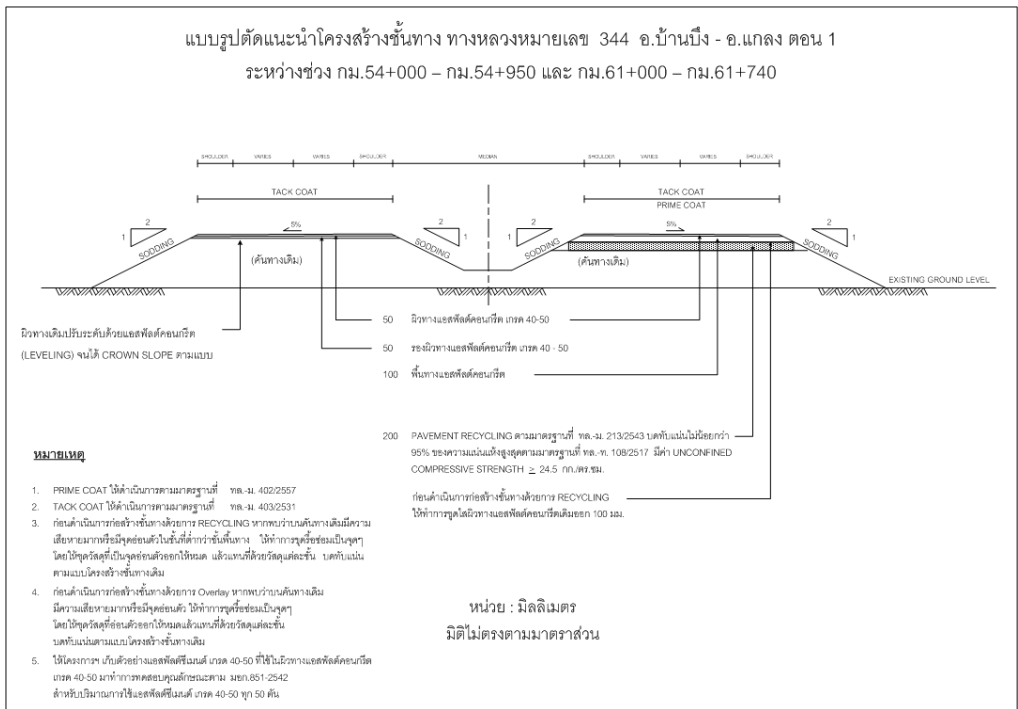
ในการออกแบบนี้ได้นำผลการออกแบบโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการออกแบบเชิงประสบการณ์ตาม AASHTO 1993 (ตารางที่ 5) ซึ่งแสดงว่าการออกแบบเชิงวิเคราะห์ให้ผลการออกแบบที่มีโครงสร้างชั้นทางที่มีความหนาน้อยกว่า วิธีการตาม AASHTO 1993

ตารางที่ 4 ตารางแสดงออกแบบโครงสร้างชั้นทางหลวงหมายเลข 344 ช่วง อ.บ้านบึง – อ.แกลง ตอนที่
1 ด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์

Structural Thickness Pavement Design: Analytical Design											
ROUTE NO. 344											
SECTION โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง-อ.แกลง กม. 25+00 - 62+200											
STA. ตรวจวัด กม. 16+470											
TRAFFIC ANALYSIS											
Years	Average daily traffic by types										Percent of Heavy Vehicles
	Car	Light Bus	Medium Bus	Heavy Bus	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Full Trailer	Semi Trailer	Total	
2557	12089	68	56	127	10427	1675	1672	1373	1334	28821	21.64
2558										30262	
2561										31775	
2562										33364	
Lane Factor = 0.45											
Design Period = 15 Years											
Traffic Annual Growth Rate = 5.0 %											
Accumulated Number of Heavy Vehicles in Design Lane = 25,590,075 Vehicles											
Truck Factor = 2.0											
Accumulated Equivalent Single Axles in Design Lane = 51,180,149 Passes											
Pavement Structure											
Materials		Thickness (mm)	Modulus (Mpa)	Poisson's Ratio							
Asphalt Concrete		150	2500	0.35							
Cement-treated Base		200	850	0.35							
Soil Aggregate Subbase		200	150	0.35							
Selected Material "A"		200	100	0.35							
Subgrade			40	0.35							
Critical Strain Calculation Results											
Max Tensile Strain under Asphalt Layer										97	µe
Max Tensile Strain under Cement-treated Layer										144	µe
Max Compressive Strain on Subgrade										237	µe
Allowable Number of Repetitions											
Asphalt Concrete Layer with RF =		0.5	176,032,899	Passes	OK						
Cement-Modified Layer with RF =		0.5	173,263,184	Passes	OK						
Subgrade with RF =		0.5	97,218,676	Passes	OK						



ภาพที่ 7.1 แบบรูปตัดโครงสร้างชั้นทางสำหรับการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344
ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง ช่วง กม. 25+ 000 – กม. 62 + 200



ภาพที่ 7.2 แบบรูปตัดโครงสร้างชั้นทางสำหรับการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344
ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง ช่วง กม. 25+ 000 – กม. 62 + 200

ตารางที่ 5 ตารางแสดงออกแบบโครงสร้างชั้นทางทางหลวงหมายเลข 344 ช่วง อ.บ้านบึง – อ.แกลง ตอนที่ 1 ตาม AASHTO 1993

Layer No.	Description	Layer Coefficient, a _i	Drainage Coefficient, m _i	Elastic Modulus, psi	SN Using E of next lower layer in inputs box below	Min. Layer Thickness, D, inches	Practical Layer Thickness, D, inches	Associated SN
Layer 1	AC Layer	0.37	1.00	400,000	2.37	6.41	6.00	2.22
Layer 2	Cement Modified B	0.22	1.00	124,000	4.39	9.86	8.00	1.76
Layer 3	Subbase	0.11	1.00	22,500	5.01	9.36	8.00	0.88
Layer 4	Selected A	0.11	1.00	15,000	6.63	16.09	8.00	0.88
Layer 5						0.00	0.00	0.00
Layer 6						0.00	0.00	0.00
Layer 7						0.00	0.00	0.00
Layer 8						0.00	0.00	0.00
Subgrade	Subgrade	N/A	N/A	6,000	N/A	N/A	N/A	N/A
Total Pavement Thickness, inches,						41.72	30.00	5.74
								6.63

การสำรวจและประเมินความแข็งแรงภายหลังการก่อสร้าง

การบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง ช่วง กม. 25+000-กม. 62+200 แล้วเสร็จในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 โดยภาพที่ 8 แสดงรูปถนนที่บูรณะแล้วเสร็จ โดยผลการตรวจวัดค่ายุบตัวจากการทดสอบ FWD แสดงในภาพที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นการก่อสร้างบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ส่งผลให้ถนนมีความแข็งแรงมากกว่าก่อนการก่อสร้าง



ภาพที่ 8.1 รูปภายหลังจากการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง กม. 33+ 000 LT



ภาพที่ 8.2 รูปภายหลังจากการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง กม. 38+ 000 LT



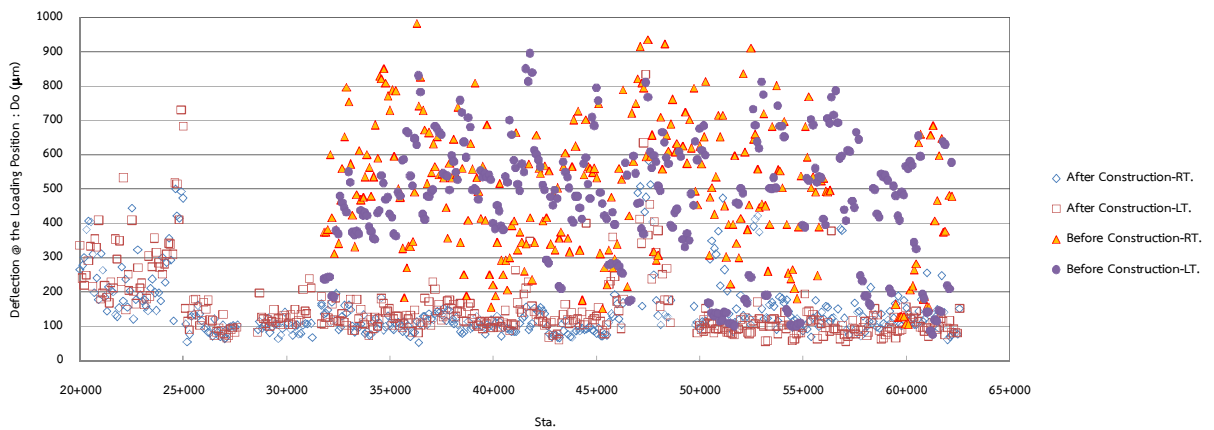
ภาพที่ 8.3 รูปภายหลังจากการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง กม. 39+ 800 RT



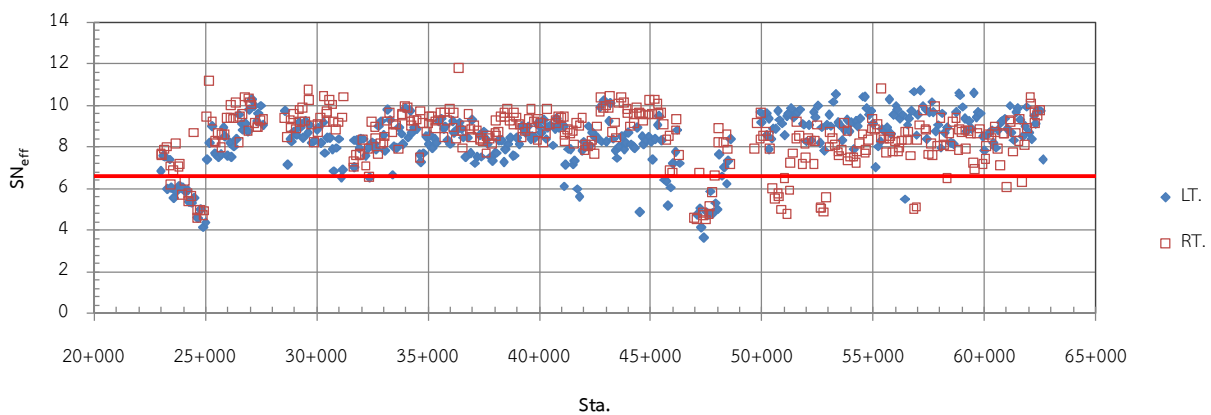
ภาพที่ 8.4 รูปภายหลังจากการบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง – อ.แกลง กม. 45+ 000 RT
ผลการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางตาม AASHTO 1993

การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางตาม AASHTO 1993 นั้นจะประเมินค่า Structural Number (SN) ทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง-อ.แกลง ช่วง กม. 25+000 ถึง 62+200 โดยมีค่า SN_{eff} มีค่ามากกว่า 6.63 (ภาพที่ 10) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการออกแบบตาม AASHTO 1993 ทั้งนี้บริเวณที่มีค่าต่ำกว่า 6.63 นั้นเป็นบริเวณที่ไม่ได้ทำการบูรณะ

อนึ่งจากข้อมูลการก่อสร้างจริงพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างชั้นพื้นทาง Asphalt Concrete ของกรมทางหลวง (ภาคผนวก ค) มีค่าน้อยกว่าของต่างประเทศมาก (ต่างประเทศจะใช้ส่วนผสมที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ประมาณ 5.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมแห้ง) จากสมการที่ 3 ทำให้ส่งผลต่อจำนวนเที่ยวที่สามารถรองรับการจราจรได้น้อยลง ดังนั้นค่า Layer Coefficient (a_1) สูงสุดของผิวทาง Asphalt Concrete กรมทางหลวง จะต้องมีค่าที่น้อยกว่าที่ใช้ในต่างประเทศ และจากสมการที่ 2 และ 3 จึงสามารถประมาณค่า a_1 สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตของกรมทางหลวง ได้ประมาณ 0.37



ภาพที่ 9 รูปแสดงค่าการยุบตัวจากการทดสอบ FWD ที่ตำแหน่ง Loading Plate



ภาพที่ 10 ผลการประเมิน SN_{eff} ของโครงสร้างชั้นทางตาม AASHTO 1993

บทสรุป

กรมทางหลวง ได้มีการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างชั้นทางอยู่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีการใช้วัสดุโครงสร้างชั้นทางที่มีการใช้ในต่างประเทศ มาประยุกต์ใช้ในประเทศ รวมทั้งได้ดำเนินการติดตามประสิทธิภาพของวัสดุฯ นั้น อยู่อย่างต่อเนื่อง ในโครงการก่อสร้างบูรณะทางหลวงหมายเลข 344 ตอน อ.บ้านบึง-อ.แก่ง กม.25+000 ถึง 62+200 ได้นำ AC 40/50 มาใช้เป็นชั้นผิวทางเป็นโครงการแรกที่มีการใช้ AC 40/50 มากกว่า 5,000 ตัน

จากการสำรวจและประเมินความแข็งแรงภายหลังการก่อสร้างของถนนพบว่า การนำ AC 40/50 มาใช้ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความเหมาะสมกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ที่มงานผู้แต่งบทความนี้ขอขอบคุณ ที่มงานทดสอบ FWD ส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ที่ได้ดำเนินการทดสอบ FWD และแปรผลการทดสอบ และนายสุรัชย์ จันทร์ขาว วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ Rutting เพื่อประกอบ การจัดทำบทความนี้

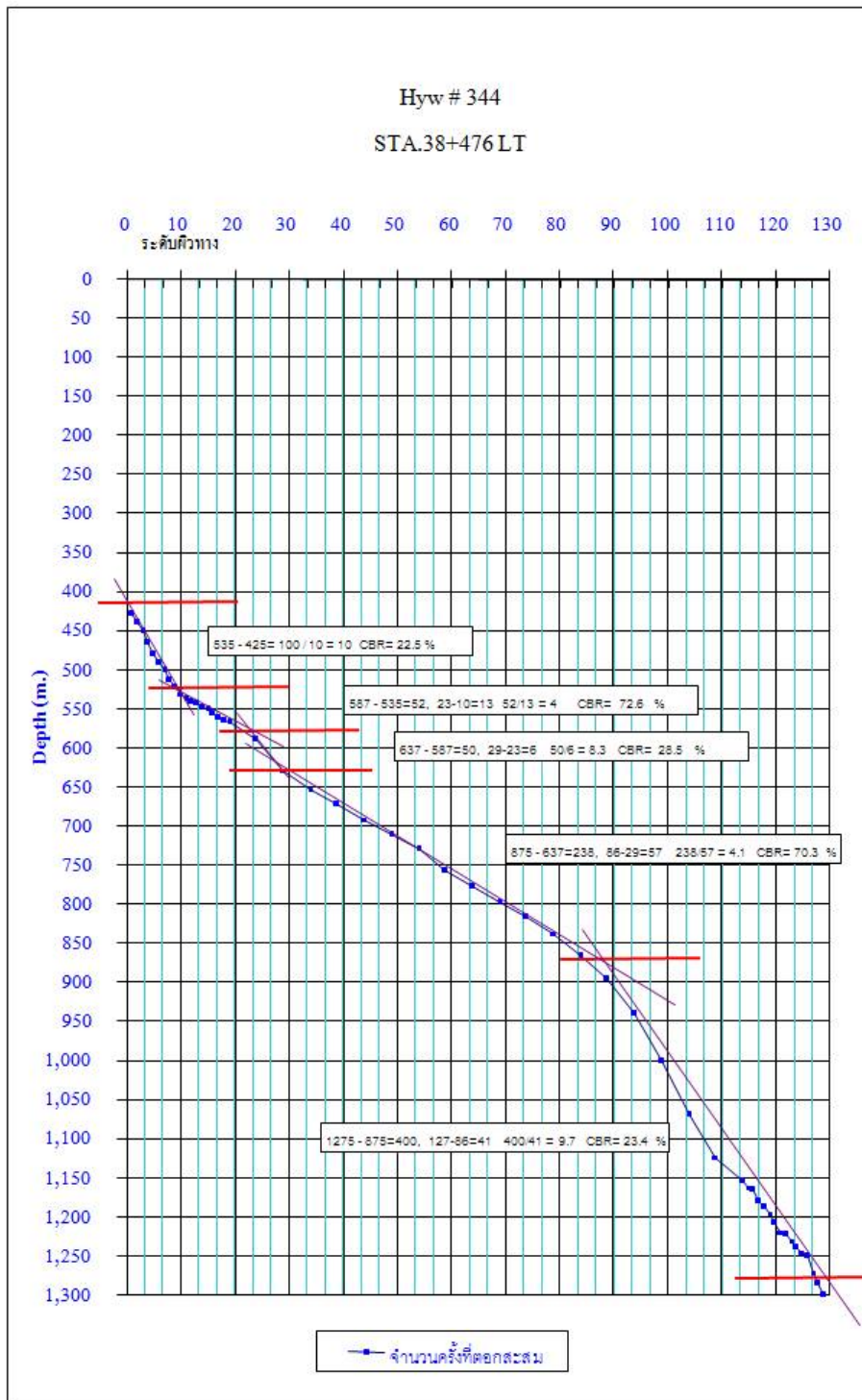
เอกสารอ้างอิง

- [1] AASHTO (1993), AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C. U.S.A.
- [2] AASHTO M320. (2002), Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder American. Washington, D.C., USA.
- [3] Asphalt Institute (1997), Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No. 1 (SP1), USA
- [4] Department of Highways (2001), Analytical Design of New Flexible Pavements in Thailand, Manual No. 3, Pavement Technology Project, Department of Highways, Ministry of Transport and Communication, Bangkok.
- [5] Department of Highways (2001), Comparison between Pavement Evaluation using the Falling Weight Deflectometer and the Benkelman Beam, Technical Report No. 4,

Pavement Technology Project, Department of Highways, Ministry of Transport and Communication, Bangkok.

- [6] Huang, Y. H. (1993), Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- [7] Jameson G.W., Sharp K.G., Yeo R. (1992), Cement-treated crushed rock pavement fatigue under accelerated loading: the Mulgrave (Victoria) ALF trial, 1989/1991, Australian Road Research Board, Research report ARR no. 229
- [8] ฉันทิน สวัสดิ์ศานต์ และ ธีรรัตน์ ก่อตั้งสัมพันธ์ (2553), แนวทางการเลือกใช้แอสฟัลต์และการออกแบบส่วนผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานในประเทศไทย, งานสัมมนาเจ้าหน้าที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2553 กรมทางหลวง
- [9] สุรัชชัย จันทร์ขาว (2561) Personal Communication.

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างผลการทดสอบ DCP



ภาพที่ ก.1 ตัวอย่างผลการทดสอบ DCP ชั้นดินถมทางหลวงหมายเลข 344 กม. 38+476 LT.

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างผลการทดสอบ FWD ทางหลวงหมายเลข 344 ก่อนการบูรณะ

ตารางผลการวิเคราะห์และทดสอบ Falling Weight Deflectometer

ทางหลวงหมายเลข 0344 ตอน อ.บ้านมิ่ง - อ.แก่ง

หมายเลขทางหลวงและตอนควบคุม : 0344-0200-0

ช่วงกม.ทดสอบ : 31+451 - 62+200

หมายเลขเครื่องมือ : FWD. 181

วันที่ทดสอบ : 3/8/2557

Station	Lane Test	Surface Thickness (mm)	Deflection D ₀ (10 ⁻³ mm.)	Modulus of Layer (MPa)				Overlay Thickness (mm.)	Remark
				Layer1	Layer2	Layer3	Layer4		
31.800	R2	100	376	3922	253	230	344	27	1.ข้อมูลวิเคราะห์ ค่าเสริมผิวทาง
31.900	R2	100	375	4010	333	178	141	15	ข้อมูล AADT สारวจปี 2555
32.000	R2	100	382	3539	275	199	371	23	ทางหลวงหมายเลข 0344-0200-0
32.100	R2	100	601	1350	134	255	228	72	จุดนับรถ กม. 48+725
32.200	R2	100	417	4046	164	224	320	46	ปริมาณการจราจร 18,859 คัน/วัน
32.300	R2	100	313	4308	423	243	203	6	เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก 29.72 %
32.400	R2	100	383	3234	489	130	197	6	อัตราเพิ่มปริมาณการจราจร 4.0 %
32.500	R2	100	341	2187	391	237	174	22	Lane Factor 0.45
32.600	R2	100	468	3137	473	187	102	8	Truck Factor 1.5
32.700	R2	100	562	1271	289	169	136	42	ช่วงอายุวิเคราะห์ 15 ปี
32.800	R2	100	652	1510	114	281	178	77	อำนาจการทำลาย(ESAL) 27,646,277 เทีย
32.900	R2	100	797	1005	203	107	90	60	อำนาจการทำลายต่อปี 1,843,085 เทีย/ปี
33.000	R2	100	755	826	210	148	169	62	2.ความหนาที่ใช้วิเคราะห์ ค่าE-modulus
33.100	R2	100	572	2175	234	126	167	40	กม.31+451 - 62+200
33.200	R2	100	424	4914	330	237	118	16	Layer1 100 mm. AC
33.300	R2	100	331	2604	488	263	210	11	Layer2 200 mm. หินคลุก
33.400	R2	100	485	1952	403	195	132	23	Layer3 300 mm. ลูกกรง + วัสดุคัดเลือก
33.500	R2	100	614	1551	270	92	85	42	Layer4 ∞ COMPACTED C.B.R >6%MIN
33.600	R2	100	468	3137	473	187	102	8	
33.700	R2	100	478	3566	241	152	154	28	
33.800	R2	100	535	4237	143	181	150	51	
33.900	R2	100	600	1687	286	98	84	38	
34.000	R2	100	564	3614	184	131	123	40	
34.100	R2	100	480	2281	254	151	147	35	
34.200	R2	100	535	4237	143	181	150	51	
34.300	R2	100	686	1765	169	81	87	57	
34.400	R2	100	592	4277	167	89	120	45	
34.500	R2	100	829	1282	194	54	65	81	
34.600	R2	100	822	1378	74	160	128	98	
34.700	R2	100	852	1383	166	56	56	80	
34.800	R2	100	810	1319	113	102	83	81	
34.900	R2	100	771	2247	136	106	81	62	
35.000	R2	100	729	2003	126	127	132	68	
35.100	R2	100	788	1436	151	119	115	67	
35.200	R2	100	596	4057	155	117	77	48	
35.300	R2	100	786	1719	122	88	90	73	
35.400	R2	100	501	4432	188	179	115	40	
35.500	R2	100	476	2134	357	125	191	26	
35.600	R2	100	327	3142	420	433	265	12	
35.700	R2	100	185	3705	1068	744	447	0	
35.800	R2	100	271	7953	1236	291	115	0	
35.900	R2	100	335	2661	397	386	334	18	
36.000	R2	100	333	3109	359	476	249	18	
36.100	R2	100	348	2428	442	134	163	16	

ภาคผนวก ค

Job Mix Formula for Hot Mix Asphalt Concrete
สำหรับชั้น Wearing Course โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 344
สาย อ.บ้านบึง-อ.แกลง ตอน 1 (ส่วนที่ 1)

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับการทดลองที่ AC - 7/2559

Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ ทางหลวงหมายเลข 344 สาย อ.บ้านบึง - อ.แกลง ตอน 1 (ส่วนที่ 1)

แหล่งวัสดุ หินผุ่น หิน 3/8", หิน 3/4" จากแหล่งโรงไม้หิน บริษัท หินคม - เขาแหลม จำกัด

ตั้งอยู่ที่ ค.บ่อทอง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี

Description	Cement	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)		-	-	42	28	12	18	100
Bulk Specific Gravity		-	2.680	2.687	2.704	2.715	2.722	2.701
Apparent Specific Gravity		2.75	2.746	2.746	2.745	2.747	2.750	2.747
Effective Specific Gravity		-	-	-	-	-	-	2.719
Water Absorption (%)		-	0.89	-	0.55	0.44	0.39	-
Flakiness Index (%)					32	19	14	22
Elongation Index (%)					26	14	13	18
Asphalt Absorption (%)								0.25
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4" =	26.6						
Soundness (% WT.Loss)	Aggregate 3/4" =	2.4		, Fine Aggregate =		5.7		
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate =	66		, Sand =		- , Hot Bin 1 = 74		

		MIXTURE	TOLERANT LIMIT
Asphalt Content (AC 40/50)	(% by Mass of Aggregate)	5.1	± 0.3 %
Marshall Density	gm./ml.	2.416	2.407 - 2.424
Marshall Air Voids	%	4.0	3.3 - 4.7
Voids in Mineral Aggregate	%	14.9	min. 14
Voids Filled with Bitumen		73.0	69 - 78
Marshall Stability		2250	min. 2000
Marshall Flow		11.2	10 - 12
Marshall Stability/Marshall Flow	lbs./0.01"	201	min. 160
Strength Index	%	86.3	min. 75
Percent Compaction min. 98 % of Daily Compaction Density			

