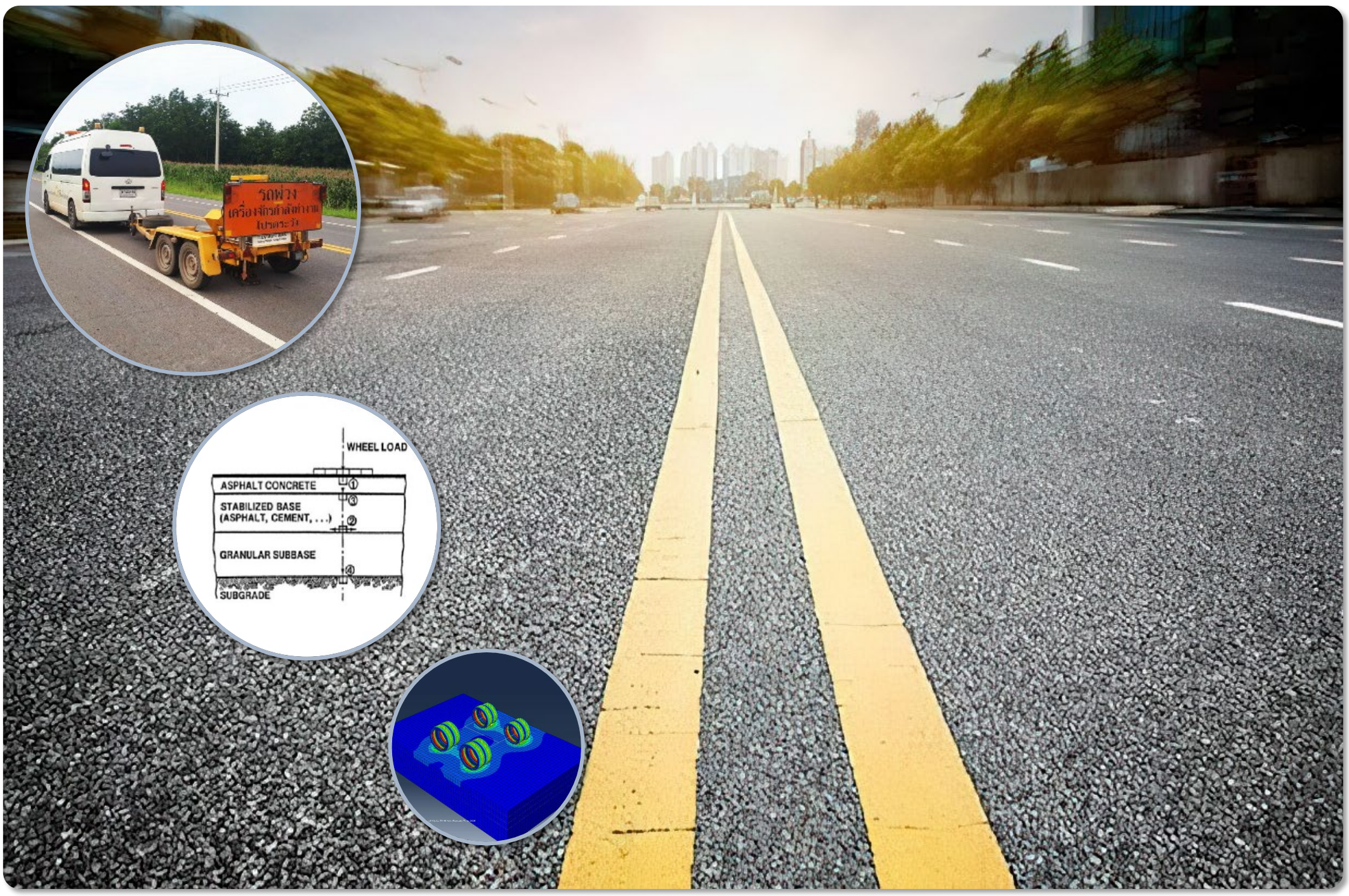
โครงการวิจัยเพื่อจัดทำข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางสำหรับประเทศไทย

งบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564
โดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

โดย

ดร.อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์ ดร.รันวิน สวัสดิศานต์ และ ดร.ปรนิก จิตต์อารีกุล



หัวข้อ

1. สรุปย่อผลงาน
2. ตัวแปรการออกแบบ (Design Parameters)
   - 2.1 น้ำหนักกระทำ
   - 2.2 โครงสร้างถนนลาดยางและคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง
3. การจัดกลุ่มรูปแบบโครงสร้างถนนลาดยาง
4. ตารางและกราฟการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง
5. ขั้นตอนการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยาง
6. เอกสารประชาสัมพันธ์

เอกสารรายงานโครงการวิจัยฯ

ติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีงานทาง ชั้น 3

153/1 ถนนพระรามที่ 2 แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

โทรศัพท์ 0 2354 6668 ต่อ 23900 โทรสาร 0 2354 0052

BUREAU OF ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT
DEPARTMENT OF HIGHWAYS

02 โครงการวิจัยเพื่อจัดทำข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางสำหรับประเทศไทย

1. สรุปย่อผลงาน

ปัจจุบันกรมทางหลวงอ้างอิงข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางตาม Asphalt Institute หรือ AI โดยข้อมูลและตัวแปรการออกแบบพัฒนามาจากถนนทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกาภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆของต่างประเทศ ข้อมูลไม่เป็นปัจจุบันและไม่สะท้อนสภาพข้อเท็จจริงของประเทศไทย ส่งผลให้โครงสร้างถนนลาดยางเกิดความเสียหายก่อนครบกำหนดอายุการออกแบบ

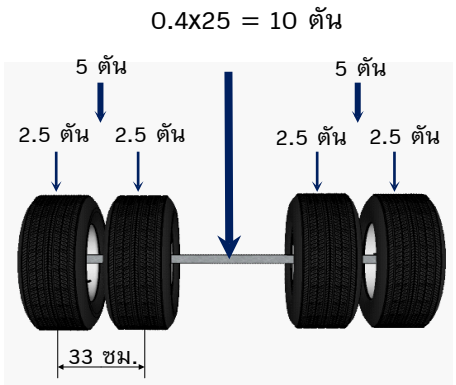
คณะผู้วิจัยตระหนักถึงปัญหาและความสำคัญของการวิจัยและพัฒนาวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางภายใต้เงื่อนไขและสภาพการใช้งานในประเทศไทย จึงพัฒนาแนวทางจัดทำข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามสภาพแวดล้อม วัสดุ และปริมาณจราจรของประเทศไทย เพื่อให้วิศวกรออกแบบและเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้านวิเคราะห์ออกแบบของกรมทางหลวงสามารถนำไปใช้ในการออกแบบก่อสร้างและบูรณะโครงสร้างถนนลาดยางได้อย่างเหมาะสม ถูกต้อง และปลอดภัย ตามหลักวิศวกรรม

โครงการวิจัยนี้ได้นำค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) มาใช้ออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยาง และพัฒนาวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อม วัสดุ และปริมาณจราจรของประเทศไทยได้สำเร็จลุล่วง

2. ตัวแปรการออกแบบ (Design Parameters)

2.1 น้ำหนักกระทำ

รถบรรทุกสิบล้อมาตรฐาน



Tire pressure = 690 kPa

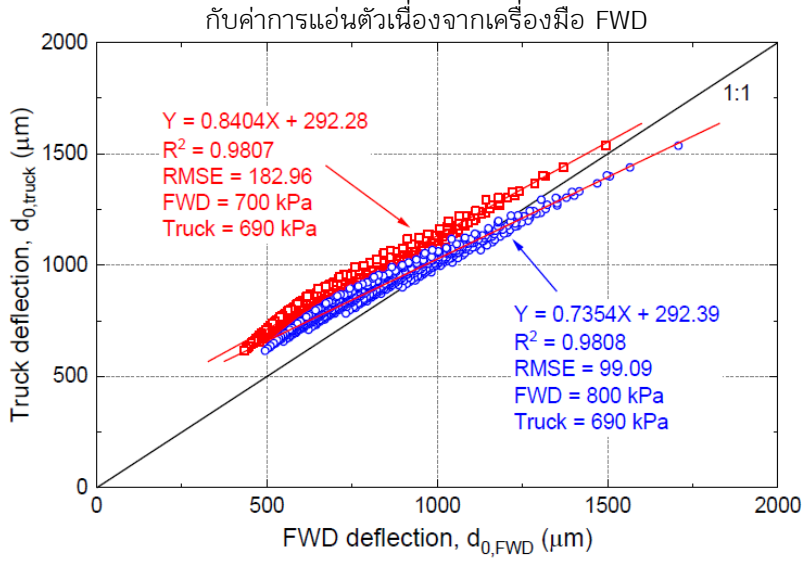
Contact radius = 10.74 cm

เครื่องมือ FWD

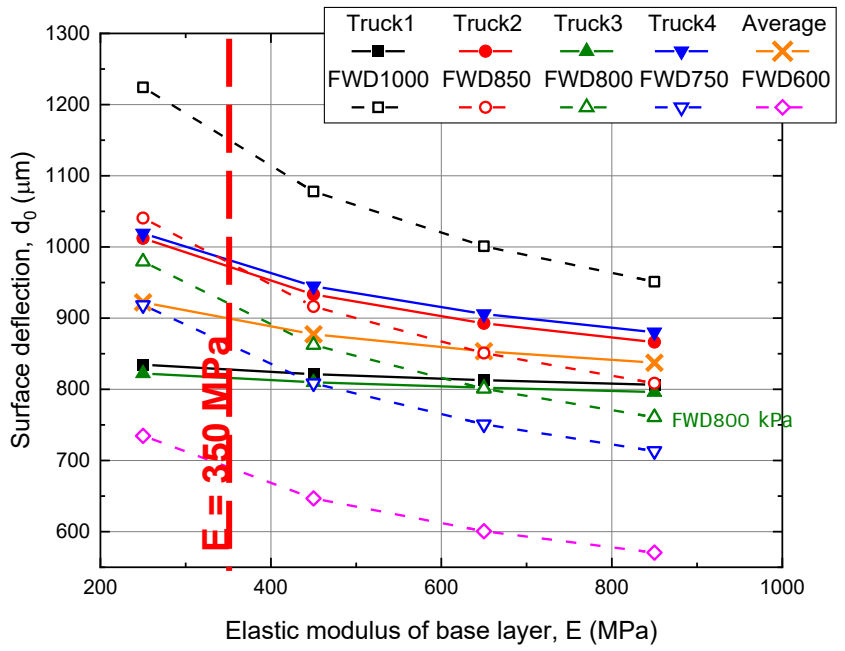
Load Pressure FWD = 700 - 800 kPa

Plate Radius FWD = 15 cm

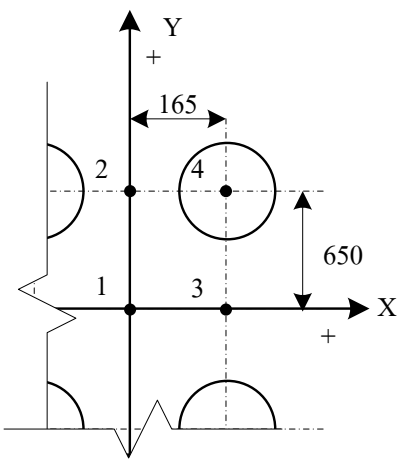
การสอบเทียบค่าการแอ่นตัวเนื่องจากรถบรรทุกสิบล้อมาตรฐาน
กับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากเครื่องมือ FWD



การสอบเทียบค่าการแอ่นตัวเนื่องจากรถบรรทุกสิบล้อมาตรฐาน
กับน้ำหนักกระทำของเครื่องมือ FWD ที่ค่าโมดูลัสยืนหยุ่นของพื้นทางต่างๆ



ตำแหน่งวิเคราะห์ค่าความเค้นและความเครียดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Layered Elastic Analysis, LEA)



2.2 โครงสร้างถนนลาดยางและคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง

วัสดุชั้นทาง	โมดูลัสยืดหยุ่น (MPa)	อัตราส่วนปัวซอง
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	2,500	0.35
พื้นทางหินคลุก	350	0.35
รองพื้นทางวัสดุมวลรวม	150	0.35
วัสดุคัดเลือก	100	0.35
ดินเดิม Subgrade	40	0.40

3. การจัดกลุ่มรูปแบบโครงสร้างถนนลาดยาง

กลุ่มรูปแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามวิธีการออกแบบต่างๆ

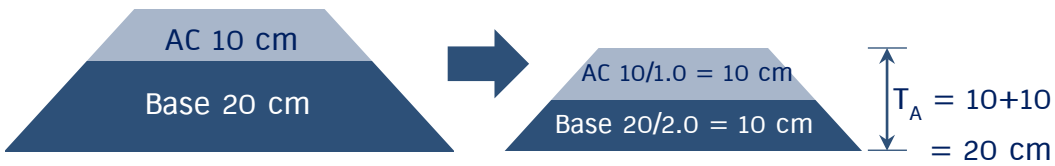
1. Full-Depth Asphalt (T_A) ตามวิธีของ AI (1970)
2. Structural Number (SN) ตามวิธีของ AASHTO (1993)
3. Equivalent Thickness (h_e) ตามวิธีของ Odemark's Method of Equivalent Thickness (Ulitdz, 1987)

Class	T_A (ซม.)	SN	h_e (ซม.)
I	14 – 28	2 – 4	31 – 70
II	29 – 43	5 – 6	71 – 107
III	44 – 57	7 – 9	108 – 144
IV	58 – 72	10 – 11	145 – 181

3.1 Full-Depth Asphalt (T_A)

การแปลงความหนา T_A ตามวิธีของ AI (1970)

Conventional Flexible Pavement Full-Depth Asphalt (T_A)



ค่า Substitution Ratio (S_r) ของวัสดุชนิดต่างๆ (AI, 1970)

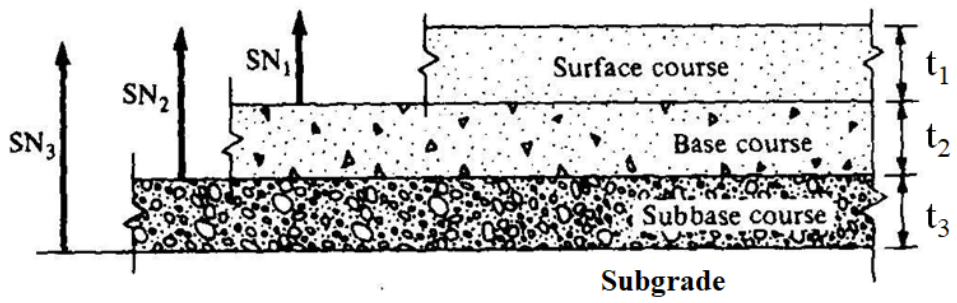
วัสดุ	Substitution Ratio
แอสฟัลต์คอนกรีต	1.0
Hot-mix Sand Asphalt Base	1.3
Emulsified Asphalt Base	1.4
หินคลุกผสมซีเมนต์ (UCS ≥ 24.5 ksc) Pavement Recycling (UCS ≥ 24.5 ksc)	1.5*
หินคลุก (CBR ≥ 80%)	2.0
วัสดุมวลรวม (CBR ≥ 25%)	2.7
วัสดุคัดเลือก ก (CBR ≥ 10%)	3.0*
วัสดุคัดเลือก ข (CBR ≥ 6%)	3.5*

หมายเหตุ: AI (1970) มิได้แนะนำไว้ แต่เป็นค่าที่กรมทางหลวงเลือกใช้จากประสบการณ์

3.2 Structural Number (SN)

การหาความหนา SN ตามวิธีของ AASHTO (1993)

ค่า Structural Number (SN) ของโครงสร้างชั้นทาง (AASHTO, 1993)



$$SN = [SN_1 + SN_2 + SN_3] = [a_1t_1m_1 + a_2t_2m_2 + a_3t_3m_3]$$

เมื่อ a_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของวัสดุชั้นทาง (Layer Coefficient)
t_i คือ ความหนาของวัสดุชั้นทาง
m_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมน้ำของวัสดุชั้นทาง
(i = 1 หมายถึง ผิวทาง, i = 2 หมายถึง พื้นทาง และ i = 3 หมายถึง รองพื้นทาง)

โดยที่

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Surface):

$$a_1 = 0.44+0.4(\log E_{SF}/3000)$$

พื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) และพื้นทางผสมซีเมนต์ (Cement Stabilized Base):

$$a_2 = 0.249(\log E_{BS}) - 0.977$$

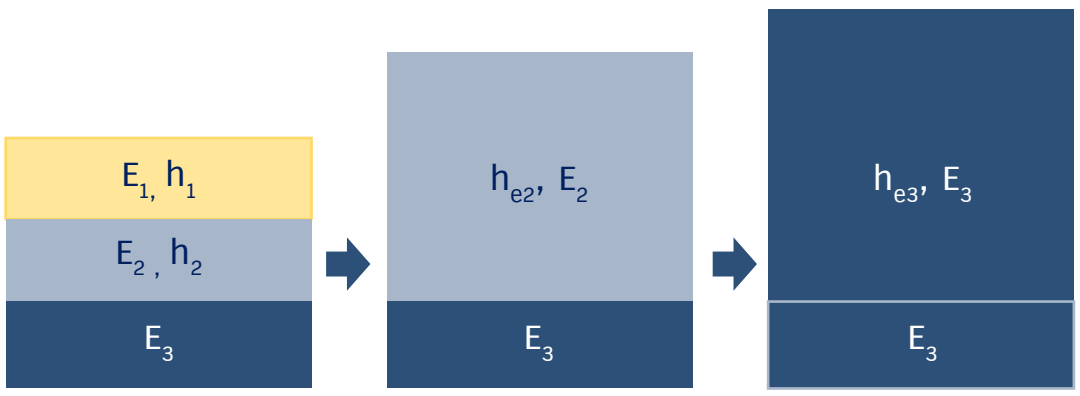
รองพื้นทางวัสดุมวลรวม (Soil Aggregate Subbase):

$$a_3 = 0.227(\log E_{SB}) - 0.839$$

เมื่อ a_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของผิวทาง
a_2 = ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของพื้นทาง
a_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของรองพื้นทาง
E_{SF} = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (psi)
E_{BS} = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของพื้นทางหินคลุก และพื้นทางผสมซีเมนต์ (psi)
E_{SB} = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (psi)

3.3 Equivalent Thickness (h_e)

การแปลงความหนา h_e ตามวิธีของ Odemark's Method of Equivalent Thickness (Ulitdz, 1987)



$$h_e = f * h_1 \ *\sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2} * \frac{1-\upsilon_2^2}{1-\upsilon_1^2}}$$

เมื่อ f = ค่าแฟกเตอร์ปรับแก้ (Correction Factor ~ 0.8 – 1.0)
h_1 = ความหนาของวัสดุชั้นบน
E_1 = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุชั้นบน
E_2 = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุชั้นล่าง
υ_1 = ค่าอัตราส่วนปัวซองของวัสดุชั้นบน
υ_2 = ค่าอัตราส่วนปัวซองของวัสดุชั้นล่าง

4. ตารางและกราฟการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง

Traffic (ESALs)	Reliability = 75%				Reliability = 85%				Reliability = 95%			
	SN	T_A	h_e	$d_o/d_{o,DOH}$	SN	T_A	h_e	$d_o/d_{o,DOH}$	SN	T_A	H_e	$d_o/d_{o,DOH}$
0.5 – 1 million	3.8	24	52	1.18	4.1	26	57	1.13	4.6	30	67	1.04
1 – 5 million	5.0	32	74	0.98	5.2	34	78	0.96	5.8	38	90	0.88
5 – 10 million	5.1	33	76	0.97	5.3	34	80	0.94	6.4	42	103	0.81
10 – 25 million	6.3	41	101	0.82	6.5	43	105	0.80	7.3	48	121	0.73
25 – 50 million	6.8	45	111	0.77	7.3	48	121	0.73	7.9	52	133	0.68
50 – 75 million	7.3	48	121	0.73	7.6	50	127	0.71	8.1	54	137	0.67

Remark: 1) Subgrade modulus = 35-40 MPa (poor condition according to WSDOT)
2) Shaded areas indicate unlikely combinations of ESALs and reliability for mainline roadways
and 3) WSDOT Flexible Pavement Layer Thicknesses Design Table (https://courses.washington.edu/)

ค่า Normalized Deflection ($d_o/d_{o,\ DOH}$) คือ อัตราส่วนของค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนลาดยาง (d_o) ซึ่งได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD หรือ LWD ต่อค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนลาดยางทั่วไปของกรมทางหลวง ($d_{o,DOH}$) ซึ่งประกอบด้วย ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร พื้นทางหินคลุกหนา 200 มิลลิเมตร รองพื้นทางวัสดุมวลรวมหนา 200 มิลลิเมตร และวัสดุคัดเลือกหนา 200 มิลลิเมตร

Minimum Thickness for Asphalt Surface

Traffic (ESALs)	Minimum AC Thickness (mm)
< 50,000	25 – 50
50,001 - 150,000	50
150,001 - 500,000	65
500,001 - 2,000,000	75
2,000,001 - 7,000,000	90
7,000,001 – 10,000,000	100
> 10,000,000	125

Ref. AI (1981) and AASHTO (1986)

Normalized Deflection

$$d_o/d_{o,DOH} = \frac{\text{ค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนลาดยางที่ออกแบบก่อสร้าง } (d_o)}{\text{ค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนลาดยางทั่วไปของกรมทางหลวง } (d_{o,\ DOH})}$$

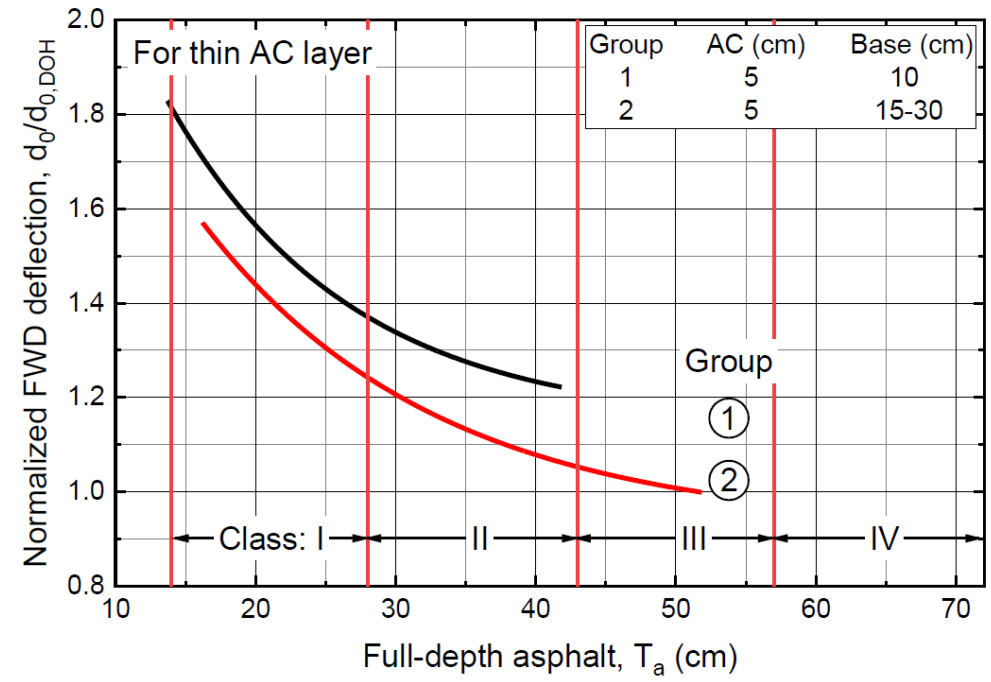
โครงสร้างถนนลาดยาง
ที่ออกแบบก่อสร้าง

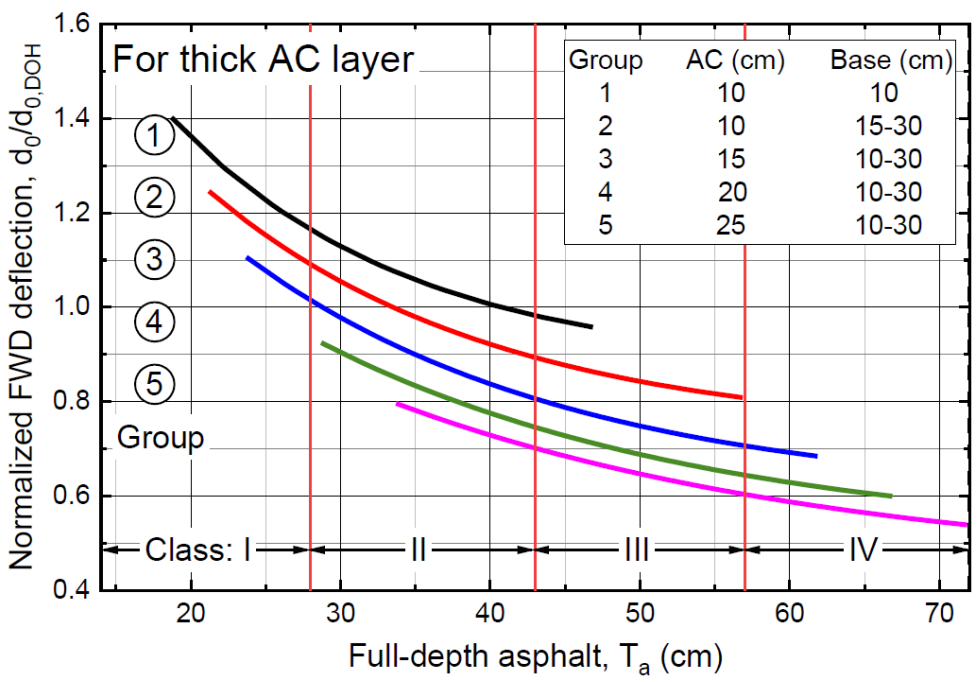
โครงสร้างถนนลาดยางทั่วไป
ของกรมทางหลวง

โครงสร้างพิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตบาง (AC Thickness < 10 cm)

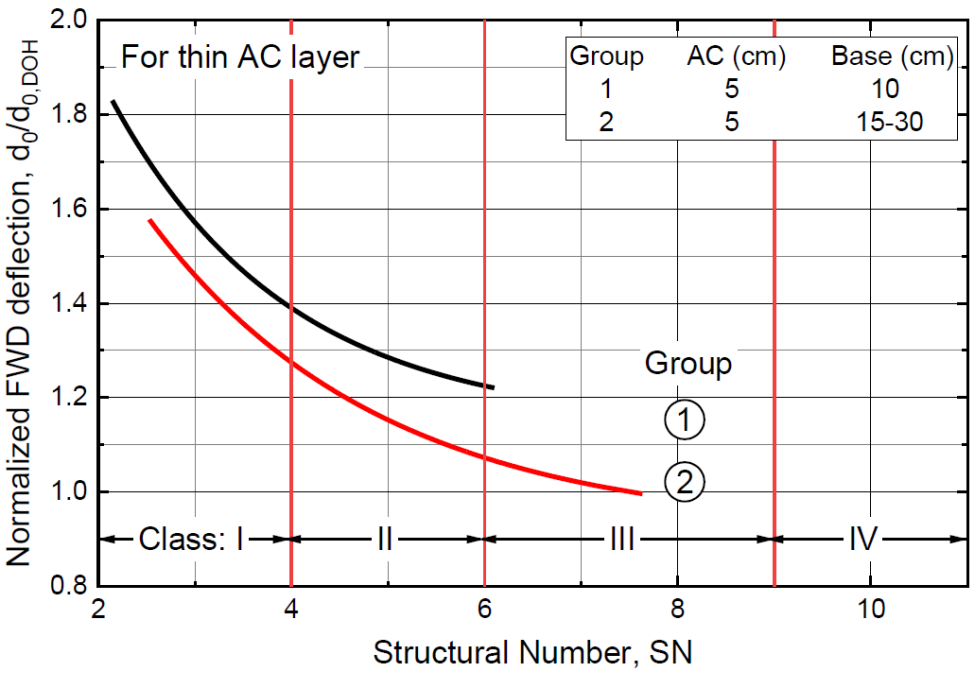
โครงสร้างพิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา (AC Thickness ≥ 10 cm)

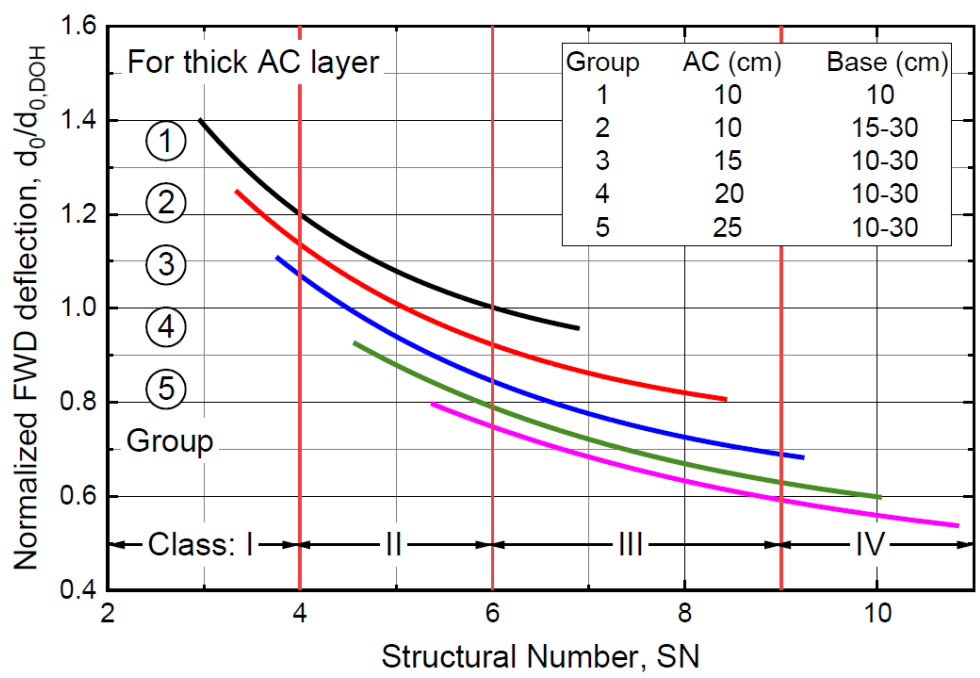
$d_0/d_{0,DOH}$ vs. T_A



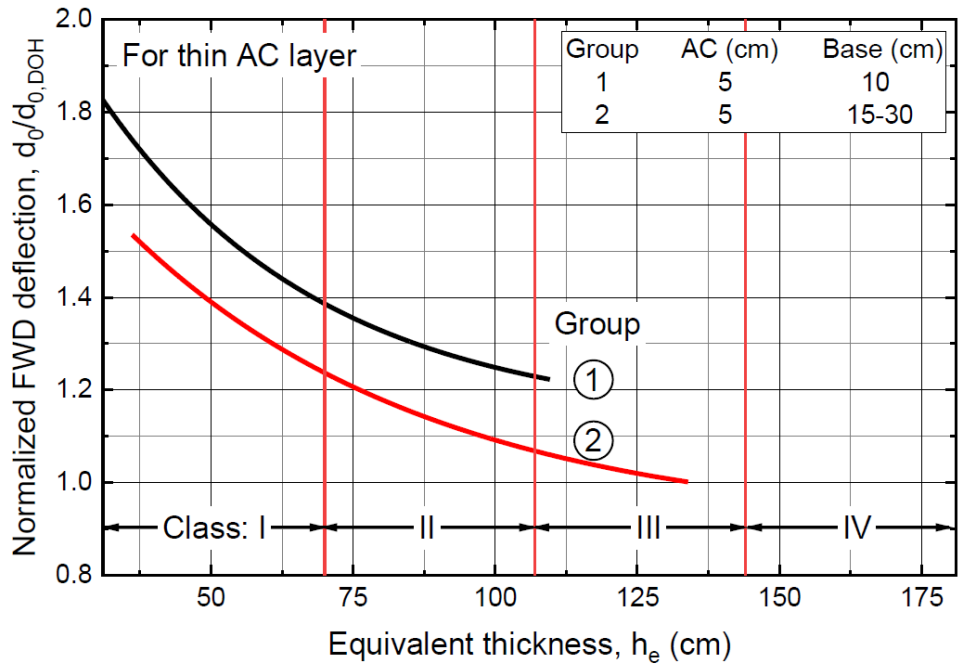


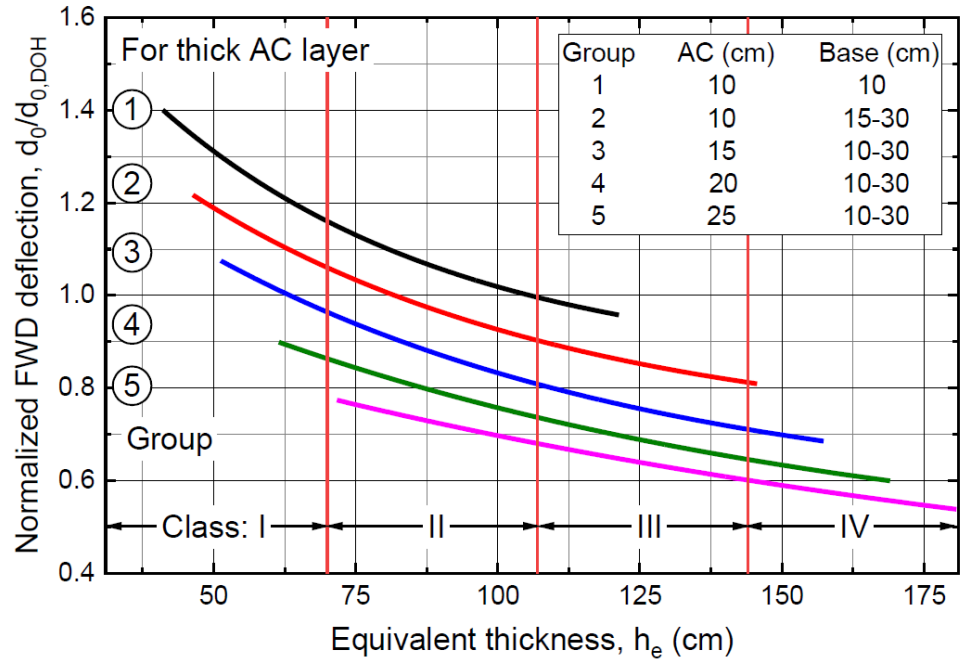
$d_0/d_{0,DOH}$ vs. SN





$d_0/d_{0,DOH}$ vs. h_e





5. ขั้นตอนการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยาง

1

เลือกรูปแบบโครงสร้างถนนลาดยาง

- ชนิดของวัสดุชั้นทาง
- คุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง
- ความหนาของวัสดุชั้นทาง

2

เลือกคำนวณความหนาตามวิธีต่างๆ

- Full-Depth Asphalt (T_A): AI (1970)
- Structural Number (SN): AASHTO (1993)
- Equivalent Thickness (h_e): Ulitdz (1987)

3

เปิดตารางและกราฟการออกแบบ

- ทราบค่า Estimated Traffic (ESALs)

Estimated Traffic < Design Traffic –> Not O.K.

Estimated Traffic > Design Traffic –> OK

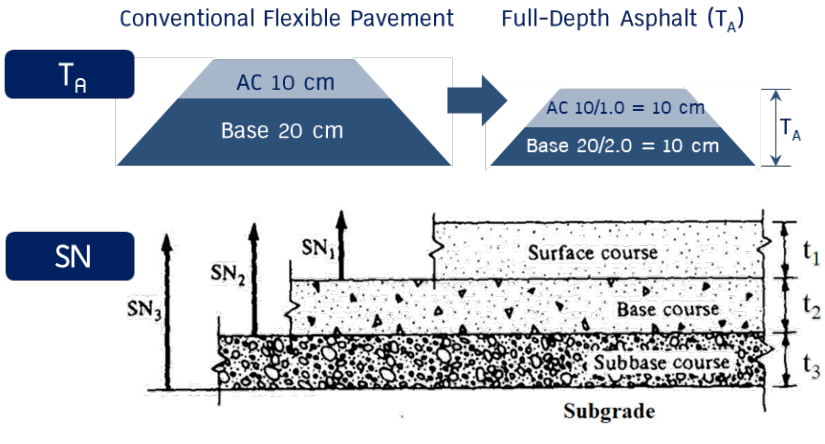
4

ออกแบบขั้นสุดท้าย

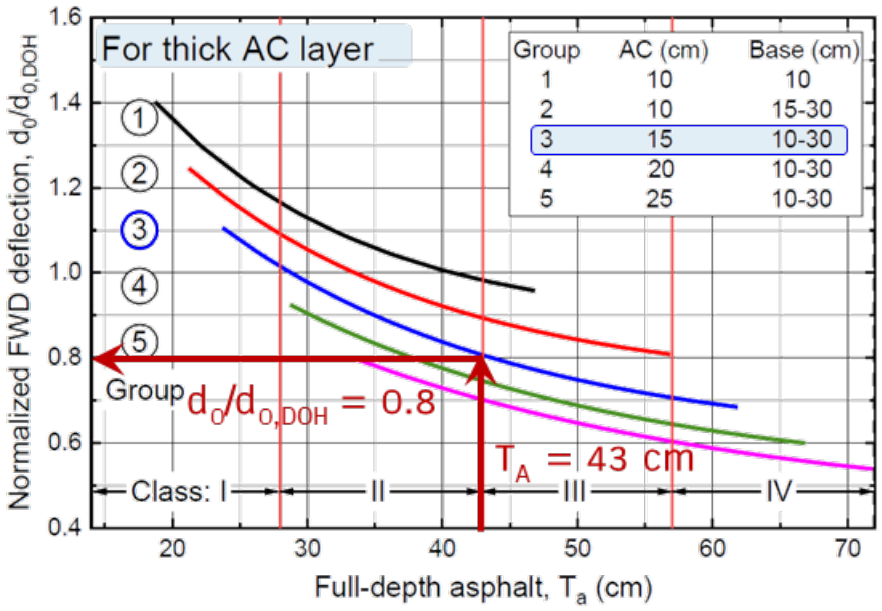
- แบบรูปตัดของโครงสร้างถนนลาดยาง
- $d_0/d_{0,DOH}$ สำหรับการควบคุมคุณภาพระหว่างก่อสร้าง
- $d_0/d_{0,DOH}$ สำหรับการตรวจสอบและประเมินผลระหว่างเปิดใช้งาน

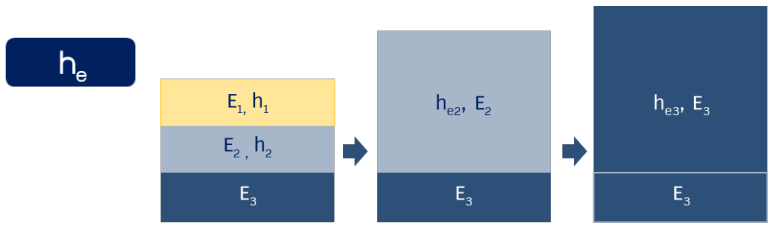
1 เลือกรูปแบบโครงสร้างถนนลาดยาง

2 เลือกคำนวณความหนาตามวิธีต่างๆ



3





T_A = 43 cm
SN = 6
h_e = 107 cm

Traffic (ESALs)	Reliability = 75%				Reliability = 85%				Reliability = 95%			
	SN	T_A	h_e	$d_0/d_{0,DOH}$	SN	T_A	h_e	$d_0/d_{0,DOH}$	SN	T_A	H_e	$d_0/d_{0,DOH}$
0.5 – 1 million	3.8	24	52	1.18	4.1	26	57	1.13	4.6	30	67	1.04
1 – 5 million	5.0	32	74	0.98	5.2	34	78	0.96	5.8	38	90	0.88
5 – 10 million	5.1	33	76	0.97	5.3	34	80	0.94	6.4	42	103	0.81
10 – 25 million	6.3	41	101	0.82	6.5	43	105	0.80	7.3	48	121	0.73
25 – 50 million	6.8	45	111	0.77	7.3	48	121	0.73	7.9	52	133	0.68
50 – 75 million	7.3	48	121	0.73	7.6	50	127	0.71	8.1	54	137	0.67

4

$d_0/d_{0,DOH}$ สำหรับการควบคุมคุณภาพระหว่างก่อสร้าง

$d_0/d_{0,DOH}$ สำหรับการตรวจสอบและประเมินผลระหว่างเปิดใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- AI (1970), Thickness Design – Full-Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets, 8th Edition, Asphalt Institute.
- AASHTO (1986), AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington, DC.
- AASHTO (1993), AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington, DC.
- Ulitdz, P. (1987), Pavement Analysis, In Developments in Civil Engineering, Vol. 19, Elsevier, Amsterdam.
- WSDOT Flexible Pavement Layer Thicknesses Design Table for New or Reconstructed Pavements.

6. เอกสารประชาสัมพันธ์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนโครงการวิจัยเพื่อจัดทำข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางสำหรับประเทศไทย ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายหฤทัสถ์ พ่อบาล วิศวกรโยธาปฏิบัติการ และนายอรรถพล หายทุกข์ วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ออกแบบจัดทำรายงานและเอกสารเผยแพร่ของโครงการวิจัย

คณะผู้วิจัย

ดร.อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์
วย. 2345
(หัวหน้าโครงการวิจัย)

ประวัติการศึกษา
2549: Ph.D. (Geotechnical Engineering), University of Wisconsin-Madison, USA
2544: M.S. (Geotechnical Engineering), University of Wisconsin-Madison, USA
2542: วศ.บ. (โยธา), เกียรตินิยม, สถาบันเทคโนโลยีพานาชาติสิรินธร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ความเชี่ยวชาญ
- งานวิเคราะห์ออกแบบฐานรากและเทคนิคธรณีสำหรับงานทาง
- งานวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างชั้นทางและคันทาง
- งานวิเคราะห์ออกแบบและปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาดในงานทาง
- งานตรวจสอบควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทาง
- งานตรวจวัดเพื่อติดตามพฤติกรรมและสมรรถนะของโครงสร้างถนน
- เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านงานทาง

ดร.ธันวิน สวัสดิศานต์
สย. 90029
(ผู้ร่วมวิจัย)

ประวัติการศึกษา
2546: Ph.D. (Pavement Engineering), Michigan State University, USA
2545: M.S. (Geotechnical and Pavement Engineering) Michigan State University, USA
2540: วศ.บ. (โยธา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเชี่ยวชาญ
- การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางถนนลาดยางและถนนคอนกรีต
- การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายและความแข็งแรงของโครงสร้างทาง งานบำรุงรักษาถนนลาดยางและถนนคอนกรีต
- การบริหารงานบำรุงทาง
- เทคโนโลยีด้านยางแอสฟัลต์
- การวิเคราะห์ ออกแบบ และทดสอบส่วนผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต
- การออกแบบและวิเคราะห์เสถียรภาพถนนและลาดคันทาง

ดร.ปรนิก จิตต์อารีกุล
วย. 2082
(ผู้ร่วมวิจัย)

ประวัติการศึกษา
2552: Ph.D. (Civil Engineering), University of Nottingham, United Kingdom
2543: M.S. (Geotechnical Engineering), University of New South Wales, Australia
2540: วศ.บ. (โยธา), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเชี่ยวชาญ
- วิศวกรรมเทคนิคธรณี
- งานออกแบบโครงสร้างชั้นทาง
- งานป้องกันการเลื่อนไถลและกัดเซาะของเชิงลาด
- งานควบคุมคุณภาพวัสดุสร้างทาง