

การเปรียบเทียบผลการออกแบบเสริมผิวทางโดย เครื่องมือทดสอบภาคสนาม

COMPARISON OF PAVEMENT DESIGN FROM FIELD TESTING

ธรรมมา เจียรธรวาณิช¹ และ สุวิมล เจียรธรวาณิช²

¹ผู้ช่วยอธิการบดี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120, Thamma.J@mail.rmutk.ac.th

²ประธานหลักสูตร, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และนวัตกรรม วิทยาลัยศิลปวิทยาและ

วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น

1110/5 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900, Jsuwimol@gmail.com

Thamma Jairtalawanich¹ and Suwimol Jairtalawanich²

¹Assistant to the President, Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchee Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120, Thamma.J@mail.rmutk.ac.th

²Head of Curriculum, Department of Logistics Management and Innovation,

College of Liberal Arts and Technological Sciences, Saint John's University,

1110/5 Vipawadee-Rangsit Rd., Chompon, Chatuchak, Bangkok, 10900, Jsuwimol@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบเสริมผิวทางโดยเครื่องมือทดสอบภาคสนาม โดยใช้เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) และ Falling Weight Deflectometer (FWD) ที่ใช้ในงานทางเพื่อหาค่าการแอ่นตัว การทรุดตัว โดยการนำเครื่องมือทดสอบมาทำการทดสอบที่เส้นทางหลวงหมายเลข 344 (ชลบุรี - บ้านบึง) ในการซ่อมบำรุงรักษาทางตามปกติจะต้องประเมินสภาพโครงสร้างของทางด้วยเครื่องมือวัดการแอ่นตัวด้วยการตกกระแทก มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระแทกลงบนผิวทาง แล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าจุดที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่ามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 56.78 เปอร์เซ็นต์ที่ตำแหน่งทดสอบที่ 8 และ จุดที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.19 ที่ตำแหน่งทดสอบที่ 11 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาการหาค่าการแอ่นตัวของถนน ได้แก่ น้ำหนักของแผ่นน้ำหนักที่แตกต่างกัน เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) แผ่นน้ำหนักจะมีค่าเท่ากับ 750 KPa และ เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) แผ่นน้ำหนักจะมีค่าเท่ากับ 10 KPa

คำสำคัญ: Light Weight Deflectometer, Falling Weight Deflectometer

ABSTRACT

This research about comparison of pavement design from field testing by Light Weight Deflectometer (LWD) and Falling Weight Deflectometer (FWD). Used in road work to find the leaning of the road. It is part of the Royal Route Development. The test equipment was tested on Highway 344 (Chonburi - Banbung). In normal maintenance work, the structural condition of the track must be assessed with the impact crimp. It works by releasing the weight on the surface. The results are difference of percentage maximum is 56.78 % at station 8 and difference of percentage minimum is 0.19 % at station 11. Factors that effect the road test are: The weight loss pad deflectometer (FWD) is 750 KPa and the Light Weight Deflectometer (LWD) tool is 10 KPa.

KEYWORDS: Light Weight Deflectometer, Falling Weight Deflectometer

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

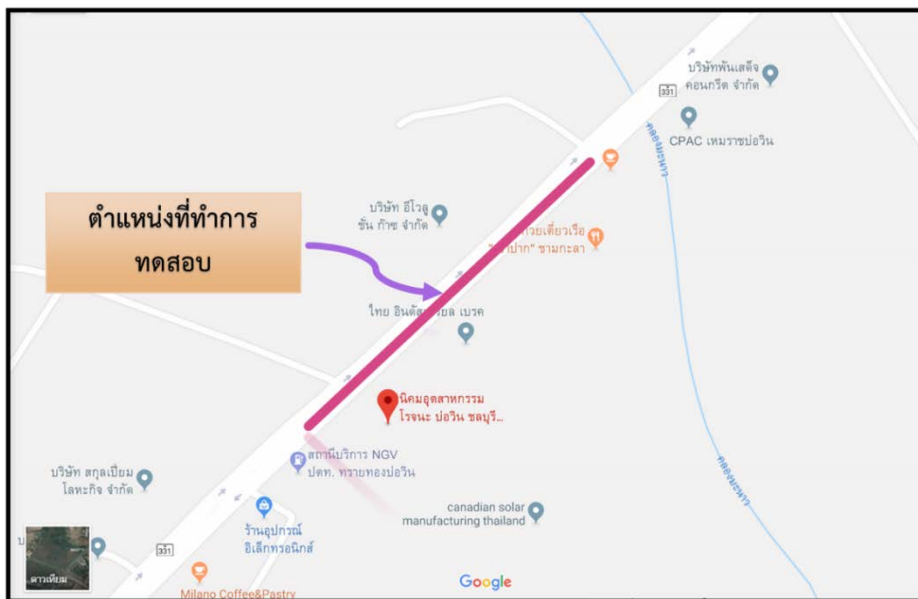
เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) และ Falling Weight Deflectometer (FWD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของถนน ซึ่งผลที่ได้จากเครื่องมือจะเป็นผลแบบตัวเลขซึ่งต้องนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Elmod Four ให้เป็นกราฟแสดงค่า Deflection และนำกราฟที่ได้ไปวิเคราะห์และคำนวณเพื่อออกแบบวิธีการก่อสร้างหรือซ่อมแซมถนนต่อไป ซึ่งโปรแกรมนี้ทางกรมทางหลวงไม่สามารถนำมาเผยแพร่ได้เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้เฉพาะทาง และมีความซับซ้อนในวิธีการคำนวณ ของกรมทางหลวง เพื่อให้วิธีการซ่อมแซมถนนมีประสิทธิภาพ อย่างสูงที่สุดการตรวจวัดคุณภาพในการซ่อมหรือก่อนทำการซ่อมแซมจึงควรยืนยันเพื่อให้เกิดความแน่ใจก่อนทำการซ่อมแซม การศึกษาวิจัยนี้จึงได้นำเอาเครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) และเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) ซึ่งสามารถทดสอบเพื่อวิเคราะห์ประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง เพื่อให้เห็นผลการทดลองและนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อซ่อมแซมและปรับปรุงทางต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีการทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของถนนโดยเครื่องมือ Light Weight Deflectometer และ Falling Weight Deflectometer และเพื่อหาข้อแตกต่างในการทดสอบของเครื่องมือที่ศึกษาเพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือ Light Weight Deflectometer และ Falling Weight Deflectometer การศึกษานี้ได้ศึกษาที่เส้นทางหลวงหมายเลข 344 (ชลบุรี - บ้านบึง) ขาออก เป็นถนน 3 ช่องทาง ซึ่งทำการศึกษา 1 ช่องทาง ทางด้านริมฝั่งซ้าย ระยะทางที่ทำการศึกษา ทุกๆ 25 เมตร รวมระยะทางที่ทำการศึกษาทั้งสิ้น 125 เมตร และจากข้อมูลที่ทำการศึกษา สามารถนำค่าการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือ Light Weight Deflectometer และ Falling Weight Deflectometer ก่อนที่จะนำไปคำนวณด้วยโปรแกรม Elmod Four เพื่อวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวของถนนต่อไปได้



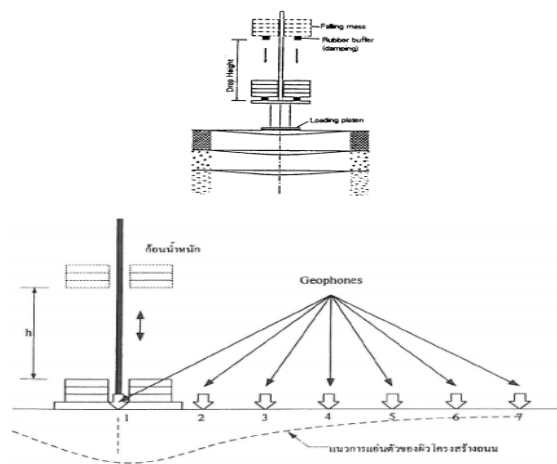
รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งเส้นทางที่ใช้ทดสอบ

4. ขั้นตอนการศึกษา

4.1 หลักการทำงานของเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) [1, 2]

การเกิดการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนเมื่อล้อรถยนต์พาหนะวิ่งผ่าน หลังจากที่ได้ค่าการแอ่นตัวแล้วก็จะทำการคำนวณย้อนกลับ โดยใช้ค่าการแอ่นตัวนั้นเพื่อหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูล สำคัญที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ถึงอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนนและใช้ออกแบบการเสริมผิวต่อไป ในปัจจุบัน กรมทางหลวงใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer รุ่น Dynatest 8000 มีลักษณะเป็นรถพ่วงต่อเข้ากับรถตุ้ลลาก ไปขณะปฏิบัติงาน ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบประกอบไปด้วย ก้อนน้ำหนักระบบตรววัดแรง (Load Cell)

และระบบการตรวจวัดค่าการแอ่นตัวที่เป็นผลจากแรงกระทำ โดยที่น้ำหนักจากก้อนน้ำหนักจะถ่วงลงสู่ถนนผ่านทาง แผ่นรอง (Plate) ขนาดน้ำหนักและระยะยกก้อนน้ำหนักสามารถควบคุมเพื่อให้เกิดแรงกระทำต่อถนนได้ตามที่ต้องการ ระบบตรวจวัดแรงจะทำการตรวจวัดแรงกระทำที่ตั้งฉากกับแผ่นรองน้ำหนักได้อย่างแม่นยำ เมื่อก้อนน้ำหนักกระแทก โครงสร้างถนนจะกระจายแรงออกไปจากจุดที่ทำการทดสอบโดยมี Geophone 1 ตัวจะตรวจวัดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนที่กึ่งกลางใต้จุดที่แรงกระทำ ส่วน Geophone ที่เหลือจะวัดค่าการแอ่นตัว (Deflection) ที่อ่านได้สามารถ นำไปคำนวณหาความแข็งแรงของถนน ซึ่งเป็นประโยชน์มากในการบูรณะปรับปรุงทาง



รูปที่ 2 หลักการทำงานของ Falling Weight Deflectometer [3]

การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องมือการสำรวจ Falling Weight Deflectometer (FWD) ซึ่งประกอบด้วย

- 1) รถตุ้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบ Falling Weight Deflectometer ดังแสดงในรูปที่ 3



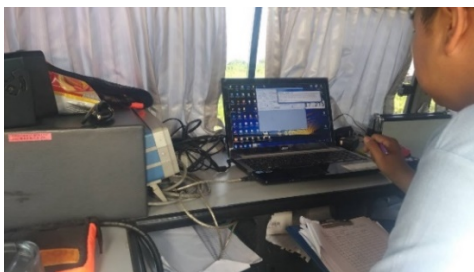
รูปที่ 3 รถตุ้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบ

2) ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง ได้แก่ แผงวงจรควบคุม, Geophone, แผ่น Plate, ปัมลม และแผ่นน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง

3) ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Control Unit) สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลจากการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Control Unit)

4) กล้องและจอแสดงภาพเพื่อช่วยให้ตรวจสอบตำแหน่งของ Sensor 2 ตัวท้าย โดยเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก (Distance Measuring Instrument; DMI) สำหรับบอกและบันทึกที่ระยะทาง ณ จุดที่ทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กล้องและจอแสดงภาพและเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

5) เครื่องวัดอุณหภูมิของอากาศบันทึกค่าอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องวัดอุณหภูมิ

สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD การวางตำแหน่งของ Geophone ในการทดสอบเพื่อต้องการวัดพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงจากการให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบ โดยมีรายละเอียดของตำแหน่งดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ Falling Weight Deflectometer (FWD) [3]

Geophone ตัวที่	ตำแหน่ง
1	ที่ระยะ 0 มิลลิเมตร
2	ที่ระยะ -200 มิลลิเมตร
3	ที่ระยะ -300 มิลลิเมตร
4	ที่ระยะ 450 มิลลิเมตร
5	ที่ระยะ 600 มิลลิเมตร
6	ที่ระยะ 900 มิลลิเมตร
7	ที่ระยะ 1200 มิลลิเมตร
8	ที่ระยะ 1500 มิลลิเมตร
9	ที่ระยะ 1800 มิลลิเมตร

4.2 เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบด้วยวิธี Light Weight Deflectometer (LWD) [4]

เครื่องมือทดสอบ Light Weight Deflectometer (LWD) จะมีความคล่องตัวมากกว่าเครื่องมือทดสอบ Falling Weight Deflectometer (FWD) และมีราคาที่ถูกกว่ากันมาก ปัจจุบันทางกรมทางหลวงจึงนิยมใช้เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) ในการทดสอบควบคู่ไปกับเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องทดสอบ Light Weight Deflectometer (LWD)

การดำเนินการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) จะมีความคล่องตัวมากกว่าเครื่องมือทดสอบ Falling Weight Deflectometer (FWD) และมีราคาที่ถูกกว่า ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน

1) เมื่อเครื่องทดสอบ Light Weight Deflectometer (LWD) พร้อมทั้งจะทำการเก็บบันทึกข้อมูลแล้ว ให้เริ่มตรวจสอบดูก่อนว่าเครื่อง วางตั้งตรงกับพื้นผิวราบเสมอกันตรวจเช็คให้มั่นใจว่า ไม่มีส่วนใดของร่างกาย หรือเครื่องมือใดๆ วางกีดขวางตุ้มน้ำหนัก (Drop Weight) และยางชັบแรงกระแทก (Rubber Buffers) ก่อนปล่อยตุ้มน้ำหนัก



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบเมื่อพร้อมใช้งาน

- 2) ทำการเคลื่อนย้ายเครื่องมือไปยังจุดที่กำหนดตำแหน่งทดสอบไว้



รูปที่ 10 การย้ายเครื่องมือไปยังจุดที่ทำการทดสอบ

- 3) เริ่มทำการทดสอบด้วยการควบคุมด้วยรีโมท โดยเชื่อมต่อสัญญาณด้วยบลูทูธ (Bluetooth)



รูปที่ 11 การทดสอบ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

- 4) เมื่อทำการทดสอบครบตามจุดที่กำหนดตำแหน่งไว้แล้วให้มาเริ่มทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่จุดแรกใหม่จนทำครบทั้งหมด 3 รอบ โดยเครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) เมื่อจะทำการทดสอบต้องรอให้เครื่องมือทดสอบ Falling Weight Deflectometer (FWD) ทดสอบไปก่อนและ

ทั้งระยะห่างกันประมาณ 3-5 นาที จึงสามารถใช้เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) ทดสอบตามต่อไปได้

5) เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว จึงนำผลการทดสอบที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RoSy Compaction อาศัยการประมาณค่า E จากผลการตรวจวัดจริง (ค่า Elastic Modulus (MPa) ดินเดิม 10 รองพื้นทาง 120 พื้นทาง 330) โดยใช้แผ่นจานโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม. และกำหนดให้รองพื้นทาง (Subbase) หนา 30 ซม. พื้นทาง (Base) หนา 15 ซม. โปรแกรม RoSy Compaction เป็นส่วนหนึ่งของชุดอุปกรณ์เครื่อง PRIMA 100

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการทดลองที่ได้เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RoSy Compaction

Station (km.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Deflection ($\mu\text{m.}$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	Deflection ($\mu\text{m.}$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	Deflection ($\mu\text{m.}$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
170+750	44.2	42.1	57.9	45.2	60.4	48.9
170+775	24.9	42.1	26.2	45.3	28.3	48.9
170+800	75.1	42.5	72.1	46.3	72.4	49.0
170+825	16.6	43.2	22.1	46.4	16.9	48.9
170+850	28.7	43.2	35.3	45.8	51.7	48.9
170+875	44.5	43.5	39.3	46.0	62.4	48.9
170+900	49.1	43.7	51.1	46.3	58.0	48.9
170+925	50.7	44.3	58.9	46.6	65.3	48.8
170+950	32.1	44.3	30.0	46.8	29.7	48.7
170+975	45.1	44.5	38.4	46.7	52.0	48.6
171+000	32.0	44.6	40.1	46.7	31.8	48.6

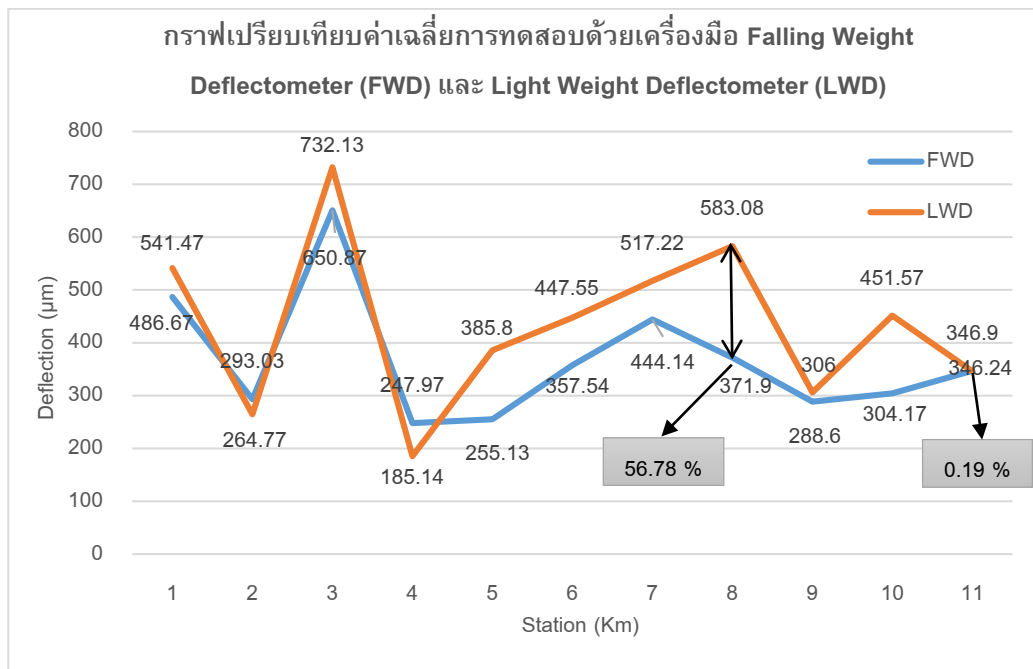
5. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของถนนโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) และ Light Weight Deflectometer (LWD) ผลของการศึกษาเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) และ Light Weight Deflectometer (LWD) ในระยะทางที่ทำการศึกษาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของการทดสอบและเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

Station	ค่าเฉลี่ย FWD ($\mu\text{m.}$)	ค่าเฉลี่ย LWD ($\mu\text{m.}$)	% ความแตกต่าง
1	486.67	541.47	11.26
2	293.03	264.77	9.64
3	650.87	732.13	9.42
4	247.97	185.14	25.33
5	255.13	385.80	51.21
6	357.54	447.55	25.17
7	444.14	517.22	16.45
8	371.90	583.08	56.78
9	288.60	306.00	6.03
10	304.17	451.57	48.45
11	346.90	346.24	0.19

จากตารางที่ 3 ค่าที่ได้จากการทดสอบ ณ ตรงตำแหน่งเดียวกันด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) และ Light Weight Deflectometer (LWD) มีค่าที่ใกล้เคียงเป็นบางจุดและไม่ใกล้เคียงเป็นบางจุด โดยจากข้อมูลการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยางด้วยเครื่องมือ FWD ที่ผ่านมาของกรมทางหลวงพบว่า ทางหลวงซึ่งผ่านการใช้งานแล้วเป็นระยะหนึ่งค่าการแอ่นตัวโดยเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 300 ถึง 500 ไมครอน ทำให้ผู้วิจัยนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 12 ซึ่งพบว่า เส้นกราฟที่ได้จากการทดสอบ ณ ตรงตำแหน่งเดียวกันด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) และ Light Weight Deflectometer (LWD) มีเส้นกราฟที่ใกล้เคียงเป็นบางจุดและไม่ใกล้เคียงเป็นบางจุด เมื่อนำผลเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างพบว่าที่ตำแหน่งที่ 11 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.19 และที่ตำแหน่งที่ 8 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 56.78



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้งสองเครื่องมือ

6. สรุปผลการดำเนินงาน

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) และ Light Weight Deflectometer (LWD) โดยเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวของผิวทางที่ได้ขณะทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทั้งสองนี้ ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการแอ่นตัวของผิวทางใต้หน้าหนักกระทำของโครงสร้างทางโดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัดค่าการแอ่นตัวของผิวทางภายใต้หน้าหนักกระทำในการศึกษานี้ ได้ใช้ Falling Weight Deflectometer (FWD) Model 8000 ของ DYNATEST ประเทศเดนมาร์ก และ Light Weight Deflectometer (LWD) โดยใช้วิธีมาตรฐานของกรมทางหลวง (DOH Standard) และเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer ใช้วิธี Analytical Overlay Design โดยใช้โปรแกรม ELMOD (Evaluation of Layer Moduli and Design) ซึ่งใช้วิธีการคำนวณย้อนกลับ (Back-Calculation) ช่วยในการคำนวณ เนื่องจากข้อมูลเป็นการทดสอบเพียง 1 สายทาง คือ เส้นทางหลวงหมายเลข 344 (ชลบุรี - บ้านบึง) การทดสอบครั้งนี้จึงทำให้เกิดข้อจำกัดต่างๆ จากปัจจัยอีกหลายๆ ด้าน โดยต้องมีการวิจัยและพัฒนาโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ถนนมีคุณภาพดี ลดความเสียหายของโครงสร้างชั้นทาง ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแลซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.อัศคพัฒน์ สว่างสุรีย์ รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาทาง และ ทีมงานเจ้าหน้าที่กลุ่มวัสดุสร้างทางและโครงสร้างถนน สำนักวิจัยและพัฒนาทาง ในความอนุเคราะห์ข้อมูลการทดสอบและรูปภาพประกอบบทความ อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในบทความนี้ การศึกษาได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักวิจัยและพัฒนาทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

ผลการศึกษานี้เสนอในบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยภายใต้การกำกับดูแลและดำเนินการศึกษาโดยกลุ่มวัสดุสร้างทางและโครงสร้างถนน สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ซึ่งผลการศึกษาเป็นความคิดเห็นของผู้แต่งทั้งสิ้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทความแต่อย่างใด

References

- [1] Thamma J. Highway engineering. Bangkok: Rajamangala University of Technology Krungthep; 2013. (In Thai)
- [2] Thamma J. Comparison of flexible pavement overlay design from benkelman beam and falling weight deflectometer. [Thesis/Master of Civil Engineering]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2003. (In Thai)
- [3] Direk L, Thamma J. Comparison of flexible pavement overlay design from benkelman beam and falling weight deflectometer. Kasetsart Engineering Journal 2005;57:46-59. (In Thai)
- [4] Department of Highways. Standard No. DH-S 327/2543. Standard sub sealing under concrete slab. Bangkok: Cabinet and Royal Gazette Publishing Office. Bangkok; 2000. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมมา เจียรธรวานิช ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สังกัดภาควิชา วิศวกรรมโยธา สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช และ สาขาวิชาการวัดและประเมินผล การศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ที่อยู่ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์/โทรสาร 02 287 9638 E-Mail: Thamma.J@mail.rmuk.ac.th, Thamma.J@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมขนส่งและจราจร วิศวกรรมทาง การ ทดสอบวัสดุก่อสร้าง และงานวิจัยเชิงสำรวจ



อาจารย์ สุวิมล เจียรธรวานิช ปัจจุบันดำรงตำแหน่งประธานหลักสูตร สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และนวัตกรรม วิทยาลัยศิลปวิทยาและ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น สำเร็จการศึกษาใน ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ที่อยู่ เลขที่ 1110/5 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 หมายเลขโทรศัพท์ 02 938 7058-65 ต่อ 285 โทรสาร 02 938 7071 E-Mail: Jsuwimol@gmail.com

งานวิจัยที่สนใจ คือ การควบคุมคุณภาพการผลิต เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และงานวิจัยเชิงสำรวจ