การตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทาง แบบตุ้มน้ำหนักกระแทก ด้วยเครื่อง Fast Falling Weight Deflectometer (FFWD)

โดย

สาคร ชูแก้ว

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

การตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทางแบบตุ้มน้ำหนักกระแทก ด้วยเครื่อง Fast Falling Weight Deflectometer (FFWD)

สาคร ชูแก้ว

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

บทนำ

การตรวจสอบและประเมินสภาพทาง มีส่วนสำคัญในการนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจสอบไปประกอบการพิจารณาในการออกแบบก่อสร้างและเลือกวิธีการบำรุงรักษาสภาพทางให้อยู่ในสภาพที่ดี สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะทราบถึงข้อมูลความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางของสายทางนั้นๆ รวมไปถึงการนำข้อมูลผลการวิเคราะห์ไปประกอบการออกแบบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างชั้นทางและความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรได้ตลอดอายุการออกแบบ

1. หลักการทั่วไป

การตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทาง โดยการนำข้อมูลผลการตรวจสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางและโครงสร้างชั้นทาง (Deflection) จากการใช้ตุ้มน้ำหนักกระแทกบนผิวทาง เรียกว่า “Falling Weight Deflectometer” ซึ่งสามารถนำข้อมูลค่าการแอ่นตัวไปใช้ในการประเมินหาค่าความแข็งแรงของผิวทางและโครงสร้างชั้นทางได้

ค่าการแอ่นตัวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการจราจรบนสายทางนั้นๆ เนื่องจากข้อมูลค่าการแอ่นตัวของผิวทางและโครงสร้างชั้นทางสามารถนำไปใช้ในการประมวลผล เพื่อหาค่าความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางและทำนายอายุการใช้งานของถนน ซึ่งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีความสำคัญและสัมพันธ์กับค่าการแอ่นตัว เช่น อุณหภูมิและค่าความชื้นของวัสดุคันทาง

ค่าการแอ่นตัวจากการตรวจสอบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานทางได้ดังนี้

- ประมวลผลเพื่อหาค่าความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางและทำนายอายุการใช้งานของถนน
- วางแผนการซ่อมบำรุงทาง โดยพิจารณาจากค่าการแอ่นตัวและความแข็งแรงโครงสร้างทาง
- คำนวณออกแบบการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทาง (Over Lay)

2. การตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทางแบบตุ้มน้ำหนักกระแทก
ด้วยเครื่อง Fast Falling Weight Deflectometer (FFWD)

เครื่องตรวจสอบฯ (FFWD) ที่ใช้ตุ้มน้ำหนักกระแทกลงบนผิวทาง เพื่อหาค่าการแอ่นตัวของผิวทางและโครงสร้างทาง โดยมี Geophone เป็นอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวในขณะที่มีน้ำหนักมากระทำกับผิวทางและมีอุปกรณ์วัดแรง Load Cell เป็นตัววัดค่าน้ำหนักที่กระทำบนผิวทาง

ระบบควบคุมและปฏิบัติการของเครื่องตรวจสอบฯ จะเป็นการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ Notebook ในรถตู้ห้องปฏิบัติการ ด้วยโปรแกรม Dynatest Data Collection ที่สามารถกำหนดค่าน้ำหนักกระแทกและจำนวนครั้งในการตรวจสอบ รวมไปถึงการจัดเก็บผลข้อมูลต่างๆ ที่ได้การตรวจสอบเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผล

ชุดอุปกรณ์ควบคุมการยกและปล่อยตุ้มน้ำหนักกระแทก เป็นระบบมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีความแข็งแรงและรวดเร็วในการปฏิบัติงาน มีการดูแลบำรุงรักษาที่ง่ายกว่าเครื่องตรวจสอบฯ รุ่นเก่าที่เป็นระบบไฮดรอลิก ซึ่งผ่านการใช้งานมายาวนานและมีการชำรุด เนื่องจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ต้องทำการซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง

ภาพที่ 1 เครื่องตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทางแบบตุ้มน้ำหนักกระแทก
Fast Falling Weight Deflectometer รุ่น Dynatest 8012

2.1 รถตู้ห้องปฏิบัติการ

เพื่อการควบคุมและสั่งการเครื่องตรวจสอบฯ อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีการติดตั้งในส่วนของโต๊ะทำงานและอุปกรณ์การแปลงสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลการตรวจสอบ โดยมีพื้นที่ว่างส่วนท้ายของรถตู้ เพื่อใช้ในการจัดเก็บอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องปั่นไฟ, สว่านไฟฟ้า, เครื่องมือ Borescope, เครื่องปั้มลมและกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการซ่อมบำรุง พร้อมทั้งอะไหล่สำรอง

ภาพที่ 2 ภายในรถตู้ห้องปฏิบัติการ

2.2 ชุดอุปกรณ์เครื่องตรวจสอบฯ

ชุดอุปกรณ์เครื่องตรวจสอบฯ จะติดตั้งไว้บนเทรลเลอร์ลากจูงขนาด 4 ล้อ โดยต่อเข้ากับด้านท้ายของรถตู้ห้องปฏิบัติการ ประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและระบบสายสัญญาณ

เป็นส่วนควบคุมระบบไฟฟ้าในการปิด – เปิดการทำงานของเครื่องตรวจสอบฯ โดยประกอบด้วยระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบสายสัญญาณที่ใช้สั่งการและควบคุมการตรวจสอบ รวมไปถึงการส่งผลข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจสอบไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 3 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและระบบสายสัญญาณ

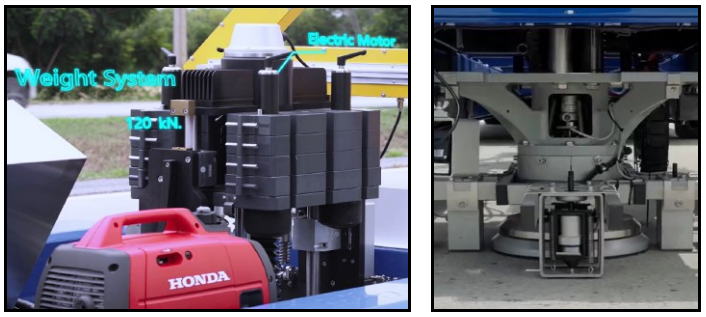
2.2.2 ชุดอุปกรณ์ตุ้มน้ำหนักกระแทก

ชุดอุปกรณ์ตุ้มน้ำหนักกระแทกที่ใช้ในการตรวจสอบ ประกอบด้วย

- มอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการยกและปล่อยตุ้มน้ำหนัก
- แผ่นน้ำหนักที่สามารถเพิ่มและลดได้ตามน้ำหนักที่ต้องการ

- แผ่นรองรับน้ำหนัก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.0 เซนติเมตร เพื่อกระจายน้ำหนักลงบนผิวทางที่ทำการตรวจสอบ
- อุปกรณ์วัดแรง Load Cell เป็นตัววัดค่าน้ำหนักที่กระทำต่อผิวทาง มีความละเอียดถึง 0.2 กิโลนิวตัน

ระดับความสูงในการยกแต่ละครั้ง โปรแกรมของเครื่องตรวจสอบฯ จะคำนวณระยะความสูงเองโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่ปล่อยเป็นตามที่กำหนดไว้ในการตรวจสอบ ซึ่งสามารถทำน้ำหนักได้สูงถึง 120.0 กิโลนิวตัน และต่ำสุดไม่น้อยกว่า 4.0 กิโลนิวตัน



ภาพที่ 4 ชุดอุปกรณ์ตุ้มน้ำหนักกระแทก

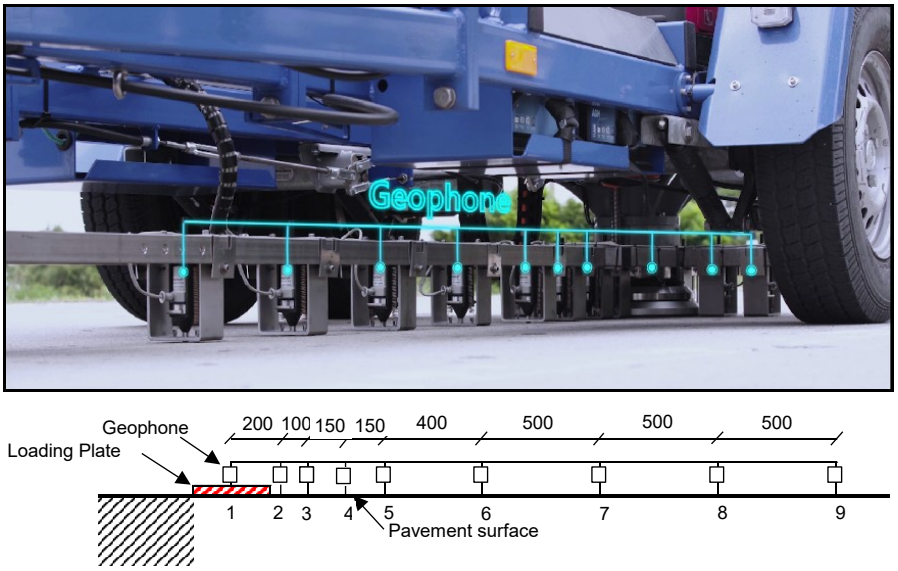
2.2.3 อุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว Geophone

การติดตั้งอุปกรณ์ Geophone เพื่อวัดค่าการแอ่นตัวของผิวทางและโครงสร้างทางมีจำนวนทั้งหมด 15 ตัว ซึ่งมีความละเอียดในการอ่านค่า 0.1 ไมครอน (micron หรือ μm)

โดยตำแหน่ง Geophone ตัวที่ 1 (D0) จะอยู่กึ่งกลางระหว่างแผ่นน้ำหนักและแผ่นรองรับน้ำหนัก ในส่วนของตำแหน่ง Geophone ตัวที่ 2-9 จะเรียงตามระยะห่างไปทางด้านหน้า ที่ตำแหน่ง 200, 300, 450, 600, 900, 1,200, 1,500 และ 1,800 มิลลิเมตร จากตำแหน่ง D0 ตามลำดับ

ในส่วนของ Geophone ที่เพิ่มมาจากเครื่องตรวจสอบฯ รุ่นเก่า จำนวน 6 ตัว เป็นตัวที่ 10-15 ใช้ในการตรวจสอบค่าการแอ่นตัวบริเวณ Construction Joint และ Longitudinal Joint ของผิวทางคอนกรีต โดยตัวที่ 10 และตัวที่ 11 จะติดตั้งไว้ทางด้านหลังของแผ่นรองรับน้ำหนัก ห่างจาก D0 ที่ระยะ 200 และ 300 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดสอบบริเวณ Construction Joint

ส่วนตัวที่ 12 ถึงตัวที่ 15 จะติดตั้งไว้ทางด้านข้างทั้งสองด้านของแผ่นรองรับน้ำหนัก ห่างจาก D0 ที่ระยะ 200 และ 300 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดสอบบริเวณ Longitudinal Joint

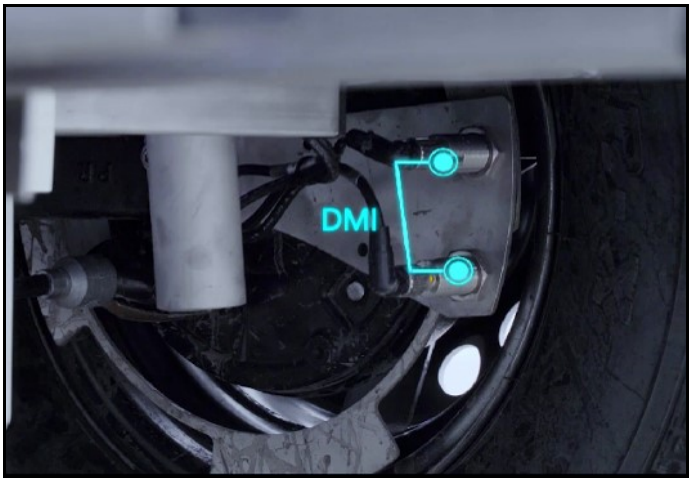


ภาพที่ 5 รูปและตำแหน่งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว Geophone

ซึ่งในการตรวจสอบทั้งผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต จะต้องมีการเลือกตำแหน่งของ Geophone ให้ตรงกับจุดที่ต้องการหาค่าการแอ่นตัวในแต่ละประเภทของผิวทางนั้นๆ

2.2.4 อุปกรณ์วัดระยะทาง Distance Measuring Instrument (DMI)

การปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทาง ต้องมีการวัดระยะทางหรือกำหนดจุดตรวจสอบที่แน่นอน เครื่องตรวจสอบฯ จึงได้ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการวัดระยะทาง (DMI) โดยมี Censor จำนวน 2 ตัว ที่ติดตั้งไว้บริเวณล้อหลังของเครื่องตรวจสอบฯ เพื่อเป็นตัววัดระยะทางเมื่อล้อเคลื่อนตัวไปข้างหน้าและหักลบระยะทางเมื่อมีการถอยหลัง ทำให้การตรวจสอบแต่ละจุดมีระยะทางที่ถูกต้องและตรงตามจุดที่ต้องการในสายทางนั้นๆ



ภาพที่ 6 อุปกรณ์วัดระยะทาง Distance Measuring Instrument (DMI)

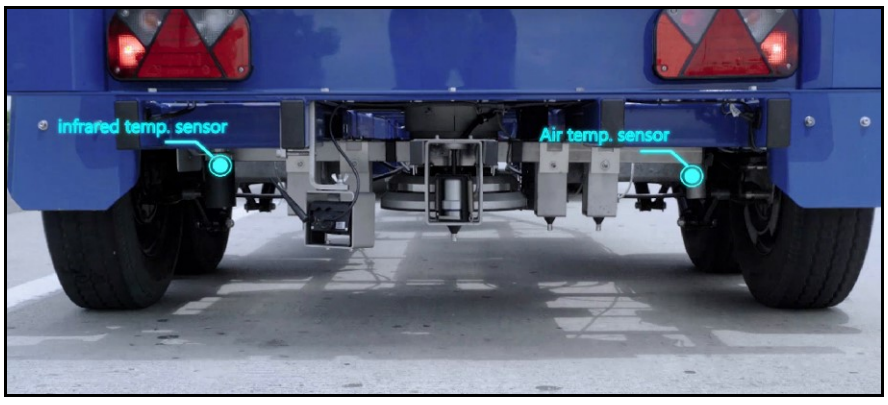
2.2.5 อุปกรณ์ระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS หรือ DGPS)

อุปกรณ์ที่ใช้ระบุพิกัดตำแหน่งของแต่ละจุดที่ทำการตรวจสอบในสายทางนั้นๆ โดยสามารถนำไฟล์ข้อมูลค่าการแอ่นตัวและความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทาง ไปเปิดในระบบแผนที่ Google Earth ได้ และมีความคลาดเคลื่อนของพิกัดในแนวราบไม่เกิน 15 เมตร

ภาพที่ 7 อุปกรณ์ระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS หรือ DGPS)

2.2.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) และอุณหภูมิผิวทาง (Pavement Temperature)

อุณหภูมิของอากาศและผิวทาง เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการประมวลผลหาค่าความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง ทั้งผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต จึงได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ Air temp. Sensor และ Infrared temp. Sensor เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศและผิวทางไว้ที่ด้านล่างของเครื่องตรวจสอบฯ



ภาพที่ 8 อุปกรณ์ Air temp.Sensor และ Infrared temp.Sensor

2.2.7 เครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ชนิดเครื่องยนต์เบนซิน

การปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบในสายทางที่มีระยะทางยาวและจุดตรวจสอบจำนวนมาก แบตเตอร์รี่ที่ใช้ในการเก็บกระแสไฟฟ้าอาจไม่เพียงพอต่อการปฏิบัติงานตรวจสอบเป็นระยะเวลานานๆ

การติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ชนิดเครื่องยนต์เบนซินไว้กับตัวเครื่องตรวจสอบฯ เพื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าส่งเข้าไปในแบตเตอร์รี่ ทำให้การตรวจสอบมีระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น ช่วยเพิ่มระยะทางและจำนวนจุดตรวจสอบในแต่วัน

ภาพที่ 9 เครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ชนิดเครื่องยนต์เบนซิน

2.2.8 ป้ายไฟสำหรับอำนวยความปลอดภัย

การปฏิบัติงานตรวจสอบในบางสายทางที่เปิดการใช้งานเต็มรูปแบบและมีปริมาณการจราจรจำนวนมาก ป้ายสัญญาณไฟเตือนสำหรับอำนวยความปลอดภัยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะช่วยในการมองเห็นระยะไกลของผู้ขับขี่บนสายทางนั้นๆ เพื่ออำนวยความปลอดภัยทั้งผู้ขับขี่และเจ้าหน้าที่ในขณะปฏิบัติงาน

ภาพที่ 10 ป้ายสัญญาณไฟเตือน

2.3 รถสไลด์บรรทุกเครื่องตรวจสอบฯ

การเดินทางไปปฏิบัติงานตรวจสอบในพื้นที่ต่างๆ มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องใช้รถสไลด์ในการบรรทุกเครื่องตรวจสอบฯ เนื่องจากจะช่วยลดแรงกระแทกจากสภาพของถนนในการลากจูงระยะทางไกลและช่วยเพิ่มความปลอดภัยในขณะเดินทาง

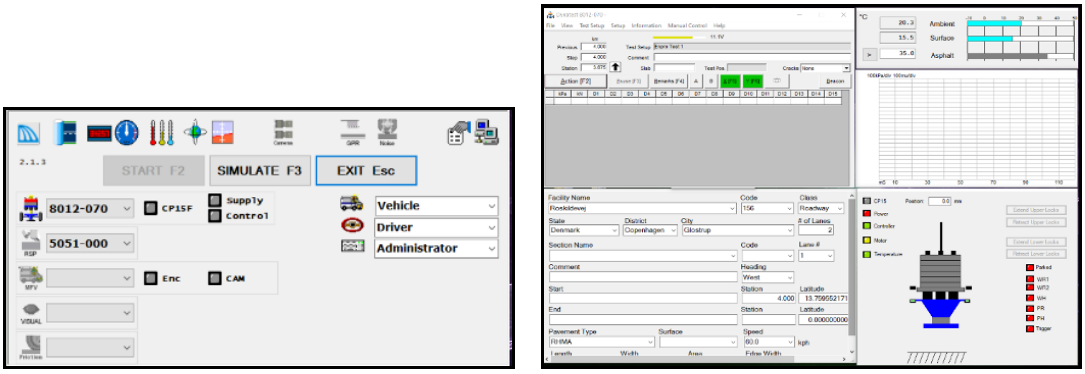
นอกจากนั้นรถสไลด์ยังใช้เป็นรถปิดท้าย เพื่ออำนวยความปลอดภัยให้กับเจ้าหน้าที่และเครื่องมือตรวจสอบฯ ในขณะปฏิบัติงาน โดยการติดตั้งป้ายสัญญาณไฟเตือนสีเหลืองอัมพรรณรูปลูกศรไว้ที่บริเวณบนของถาดสไลด์หลังห้องคนขับ ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้ขับขี่บนสายทางมองเห็นในระยะไกล

ภาพที่ 11 รถสไลด์บรรทุกเครื่องตรวจสอบฯ

3. การควบคุมและการทำงานของเครื่องตรวจสอบฯ

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องตรวจสอบฯ คือ โปรแกรม Dynatest Data Collection ซึ่งใช้ควบคุมและสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์ Notebook ภายในรถตู้ห้องปฏิบัติการ

ในการตรวจสอบจะมีกำหนดค่าน้ำหนักกระแทกและจำนวนครั้งในการตรวจสอบ รวมไปถึงการบันทึกค่าและจัดเก็บผลข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจสอบในรูปแบบของไฟล์ mde. และ F25 เพื่อการนำไปประมวลผลหาค่าความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทางด้วยความถูกต้องและแม่นยำ



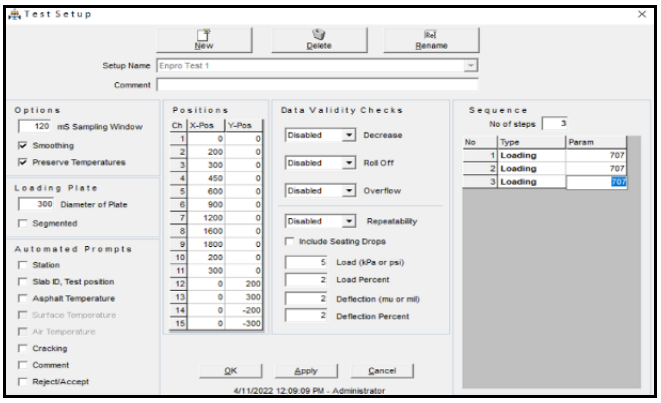
ภาพที่ 12 โปรแกรมควบคุมเครื่องตรวจสอบฯ Dynatest Data Collection

เพื่อการจัดเก็บข้อมูลผลที่ได้จากการตรวจสอบที่ถูกต้อง จะต้องมีการตั้งชื่อไฟล์ตรวจสอบโดยการใช้หมายเลขทางหลวงและช่วงระยะทางที่ตรวจสอบเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งจะต้องมีป้อนข้อมูลตอนควบคุม, เลนและทิศทางในการทดสอบ LT, RT รวมไปถึงพื้นที่ควบคุมของแขวงทางหลวงนั้นๆ

3.1 การกำหนดค่าน้ำหนักกระแทกและจำนวนครั้งในการตรวจสอบ

การตรวจสอบจะกำหนดน้ำหนักมาตรฐานของตุ้มน้ำหนักกระแทกหรือน้ำหนักที่กระทำกับผิวทางไว้ที่ 50 kn. หรือ 707 kPa. (เมื่อเทียบกับขนาดของแผ่นรองรับ) ผ่านเมนู Test Setup ซึ่งโปรแกรมควบคุมจะคำนวณและปรับระยะความสูงในการยกตุ้มน้ำหนักในแต่ละครั้งโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่ตรงตามที่กำหนด

โดยทั่วไปการตรวจสอบจะกำหนดจำนวนครั้งของการตรวจสอบหรือจำนวนครั้งในการปล่อยน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักไว้ที่ 3 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลที่มีค่าน้ำหนักใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ไปใช้ในการประมวลผลหาค่าความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทาง

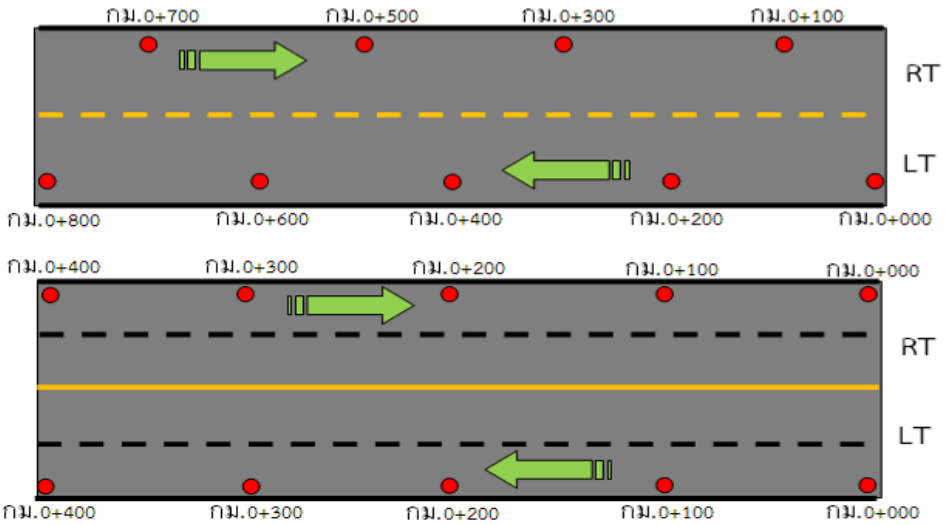


ภาพที่ 13 การกำหนดค่าน้ำหนักและจำนวนการตรวจสอบ ผ่านเมนู Test Setup

3.2 การตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์

การตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ จะทำการตรวจสอบที่บริเวณร่องล้อซ้ายของเลนรถบรรทุก ซึ่งเป็นเลนที่รับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรเยอะที่สุด โดยทำการตรวจสอบที่ระยะทาง 200 เมตร/จุด และสลับฟันปลาในเลนตรงข้ามบนสายทางที่จำนวน 2 เลน

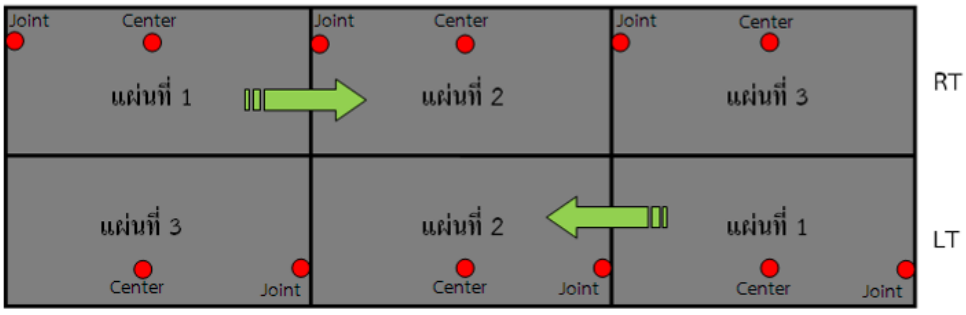
ส่วนสายทางที่จำนวน 4 เลนขึ้นไปจะทำการตรวจสอบที่ระยะทาง 100 เมตร/จุด สำหรับการทดสอบบริเวณแปลงทดสอบที่มีระยะทางสั้นๆ สามารถปรับระยะทางต่อจุดสั้นลงตามความเหมาะสมของข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการประมวลผล



ภาพที่ 14 แสดงจุดตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์

3.3 การตรวจสอบผิวทางคอนกรีต

การตรวจสอบบนผิวทางคอนกรีตจะทำการตรวจสอบ 2 จุดต่อ 1 แผ่น คอนกรีตคือบริเวณ Construction Joint และ Center ของแผ่นคอนกรีต ซึ่งจะทำการตรวจสอบบริเวณร่องล้อซ้ายของเลนรถบรรทุก พร้อมทั้งเก็บข้อมูลรอย Crack และการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีตที่มีผลต่อค่าการแอ่นตัวในจุดตรวจสอบนั้นๆ



ภาพที่ 15 แสดงจุดตรวจสอบผิวทางคอนกรีต

การตรวจสอบหาค่าการแอ่นตัวของแผ่นคอนกรีตบริเวณ Construction Joint จะต้องใช้ตำแหน่ง Geophone ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 คร่อมตรงบริเวณรอยต่อ เพื่ออ่านค่าการแอ่นตัวในตำแหน่งปลายแผ่นคอนกรีตทั้งสองที่เชื่อมต่อกัน เพื่อจะนำไปประมวลผลหาค่าการถ่ายน้ำหนัก Load Transfer ที่บริเวณรอยต่อของแผ่นคอนกรีต

ภาพที่ 16 ตำแหน่ง Geophone ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 คร่อมตรงบริเวณรอยต่อ

3.4 การบันทึกรายละเอียดของสภาพสายทาง

ในการตรวจสอบจะมีการจดบันทึกสภาพของพื้นผิวทาง รายเอียดต่างๆ เช่น การเกิดร่องล้อ, การเกิดรอยแตกและความเสียหายต่างๆ ของสายทางที่ตรวจสอบ เพื่อเป็นส่วนประกอบในการเก็บข้อมูลความเสียหาย สภาพลักษณะของผิวทาง ในแต่ละช่วง กม. ที่ทดสอบ

จากการสังเกตและประเมินด้วยสายตาถึงลักษณะความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับถนนในบริเวณที่ตรวจสอบจะแสดงเป็นรหัสตัวเลข 3 ตำแหน่ง

รหัสตัวเลขตำแหน่งที่ 1 แสดง สภาพการเกิดร่องล้อของถนน (Rutting)

Rutting :	0	None	ไม่มีร่องล้อ
	1	Slight	เล็กน้อย
	2	Moderate	ปานกลาง
	3	Severe	มาก

รหัสตัวเลขตำแหน่งที่ 2 แสดงสภาพรอยแตกของถนน (Cracks)

Cracks :	0	None	ไม่มีรอยแตก
	1	Slight	เล็กน้อย
	2	Moderate	ปานกลาง
	3	Severe	มาก

รหัสตัวเลขตำแหน่งที่ 3 แสดงสภาพความเสียหายอื่นๆ ของถนน (Defects)

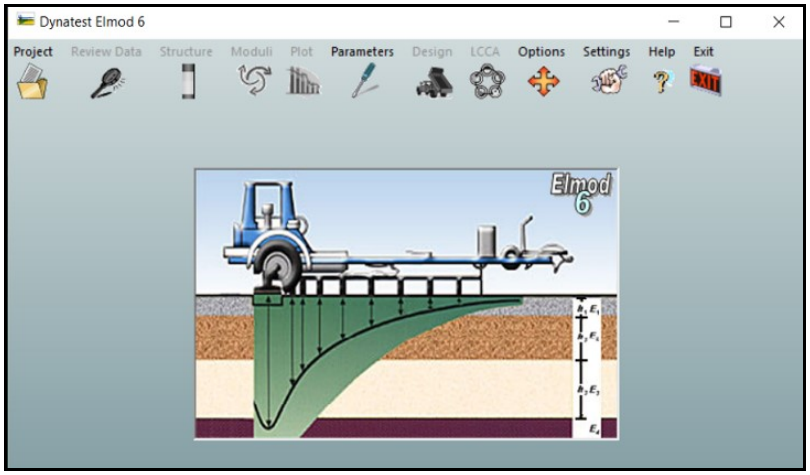
Defects :	0	None	ไม่มีความเสียหายอื่นๆ
	1	Patching	มีรอยปะ
	2	Polishing	ผิวลื่นเป็นมัน
	3	Slippery	ผิวเลื่อนไถล

4	Flow	ผิวเลื่อนไถลออกด้านข้าง
5	Corrugation	ผิวเป็นคลื่นลูกระนาด
6	Depression	ผิวทางทรุดตัวเป็นแอ่ง
7	Less Crown	Crown slope น้อย
8	Raveling	ผิวหลุด
9	Pot Hole	เป็นหลุมบ่อ

4. การประมวลผลการตรวจสอบด้วยโปรแกรม ELMOD 6

การประมวลผลการตรวจสอบ ด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์ (Analytical Method) เพื่อหาค่าความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง โดยการนำข้อมูลค่าการแอ่นตัวของผิวทางและโครงสร้างทาง (Deflection) ที่ได้จากเครื่องตรวจสอบฯ มาทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design (ELMOD) หรือ ELMOD 6

โปรแกรมประมวลผล ELMOD 6 เป็นโปรแกรมฯ ที่ได้รับการพัฒนาต่อจาก โปรแกรม ELMOD 4 ที่ใช้กับเครื่องตรวจสอบฯ รุ่นเก่า ให้มีความทันสมัยและใช้งานได้ง่ายขึ้น ในการประมวลผลจะต้องทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการประมวนผล เช่น ประเภทของผิวทางและโครงสร้างทาง, ความหนาของโครงสร้างชั้นทาง, จำนวนเลนและปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อปี



ภาพที่ 17 โปรแกรม Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design (ELMOD)

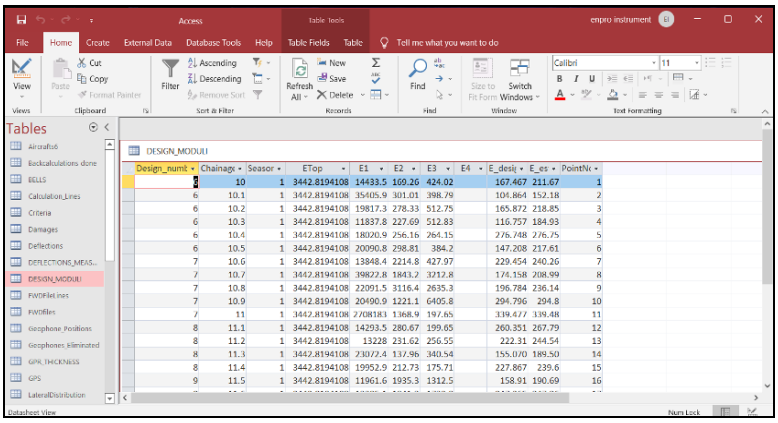
4.1 ไฟล์ข้อมูลตรวจสอบ Microsoft Access MDE Databases

ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ โปรแกรมควบคุมจะทำการบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ในรูปแบบไฟล์ Microsoft Access MDE Database และไฟล์ F25 ประกอบด้วยข้อมูลสำคัญต่างๆ เช่น ชื่อไฟล์ที่ใช้ในการทดสอบ, วันและเวลา, จุดที่ทำการทดสอบ, ค่าน้ำหนักกระแทกและค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างชั้นทาง รวมทั้งอุณหภูมิของ

อากาศและผิวทางที่มีส่วนสำคัญในการประมวลผล เพื่อหาค่าความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง

การประมวลผลด้วยโปรแกรม ELMOD 6 แบบใหม่จะเลือกใช้ไฟล์ Microsoft Access MDE Database ที่สามารถจัดเรียงลำดับของจุดตรวจสอบที่เป็นไฟล์ F25 จำนวนมากเข้าด้วยกัน รวมถึงข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการประมวลผลและผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางด้วยโปรแกรม ELMOD 6 ไว้ในไฟล์เดียว

ซึ่งง่ายต่อการตรวจสอบความถูกต้องและการนำข้อมูลออกไปใช้งานด้านต่างๆ โดยสามารถนำข้อมูลที่ประมวลผลแล้วเสร็จออกไปใช้งานต่อในรูปแบบของ Microsoft Excel และ Microsoft Word ได้ทันที



ภาพที่ 18 ตัวอย่างไฟล์ Microsoft Access MDE Database

4.2 ความหนาของโครงสร้างชั้นทาง

ข้อมูลความหนาของโครงสร้างชั้นทางแต่ละชั้น เป็นข้อมูลได้มาจาก Typical Cross Section และการสำรวจด้วยเครื่องมือ Borescope ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความยาวของกล้องแบบพิเศษและหลอดไฟให้แสงสว่าง พร้อมทั้งจอภาพที่ช่วยในการถ่ายภาพหรือบันทึกวีดีโอภายในที่แคบๆและมืดได้

เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานมีข้อสงสัยว่าสายทางที่ทำการตรวจสอบอาจจะได้รับการบูรณะหรือซ่อมบำรุงไปก่อนหน้า ข้อมูลที่ได้จาก Typical Cross Section อาจไม่ตรงกับข้อมูลโครงสร้างชั้นทางจริงในปัจจุบัน จึงต้องมีการเจาะสำรวจ เพื่อวัดความหนาของชั้นวัสดุที่ถูกต้องในการนำไปประมวลผลหาค่าความแข็งแรงโครงสร้างชั้นทาง

ภาพที่ 19 การเจาะสำรวจความหนาของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่องมือ Borescope

4.3 ปริมาณการจราจร

ข้อมูลด้านปริมาณการจราจรที่ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจรประจำปี ซึ่งจัดทำโดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ค่าปริมาณการจราจรต่างๆ จะถูกนำมาทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักเพลาเทียบเท่าเพลามาตรฐานสะสม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 แล้วนำค่าที่ได้หารด้วยจำนวนปีที่ใช้ในการออกแบบ จะได้ค่าน้ำหนักเพลาเทียบเท่าเพลามาตรฐานสะสมเฉลี่ยต่อปี

$$AESAL = \frac{365 x\ ADT\ x\ Lf\ xTf\ x\ (\%Hv/100)\ x\ ((1+\%Gr/100)^{Des_life}-1))}{(\%Gr/100)} \quad \text{.....(1)}$$

AESAL = **A**ccumulated **E**quivalent **S**tandard **A**xle **L**oads during the design life

= จำนวนเพลาเทียบเท่าเพลามาตรฐานสะสมในช่วงอายุการออกแบบ

ADT = ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรต่อวัน

Lf = เลนแฟกเตอร์

= 0.50 สำหรับถนน 2 ช่องจราจร

= 0.45 สำหรับถนน ตั้งแต่ 4 ช่องจราจรขึ้นไป

Tf = แฟกเตอร์รถบรรทุก

= 1.20

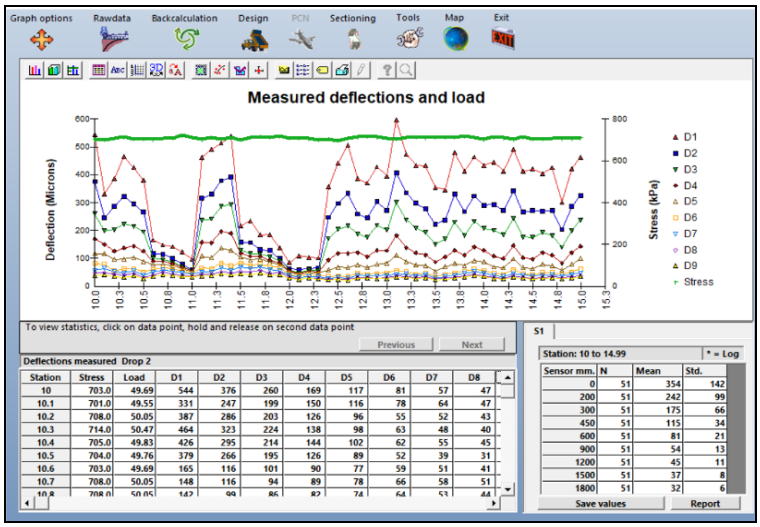
%Hv = เปอร์เซ็นต์ รถบรรทุกหนัก

%Gr = อัตราการเพิ่มปริมาณจราจรต่อปี

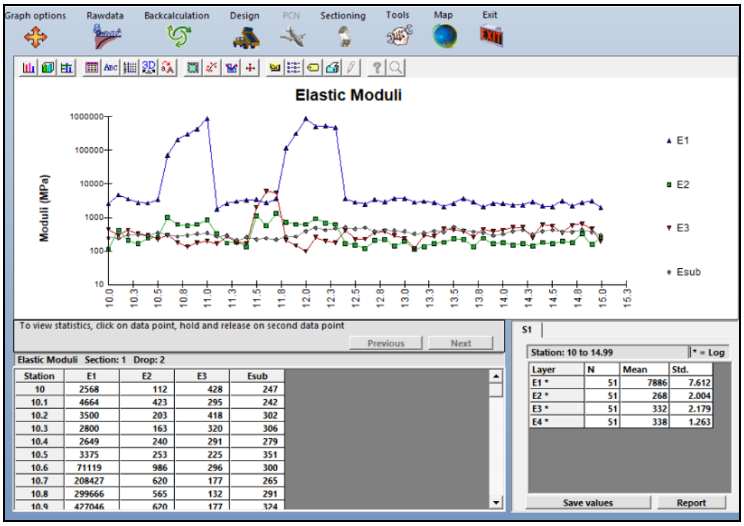
Des_life = อายุการออกแบบ

5. การประมวลผลของผิวทางแอสฟัลต์

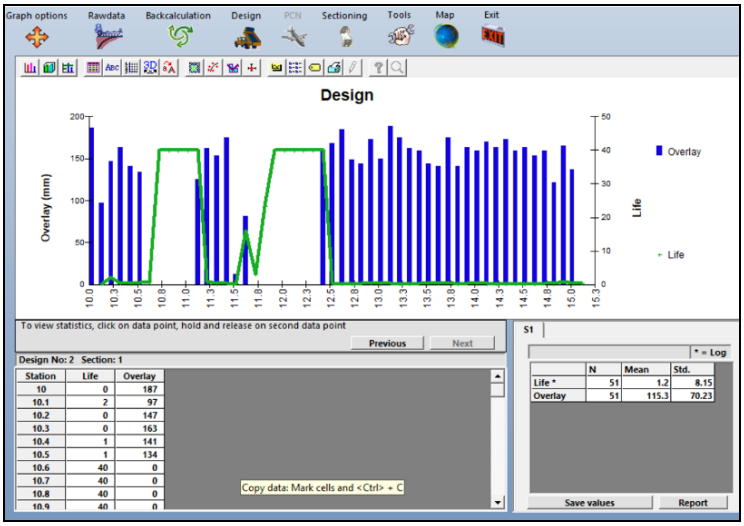
จากการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลค่าการแอ่นตัว (Deflection), อุณหภูมิและความหนาของโครงสร้างชั้นทางที่ได้จากการตรวจสอบในงานสนามของแต่สายทาง สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ELMOD 6 เพื่อหาค่าโมดูลัส (Elastic Modulus) ของโครงสร้างทางแต่ละชั้นได้ และด้วยเกณฑ์ความล้าของวัสดุ (Fatigue Criteria) ปริมาณจราจรและสภาพแวดล้อมอื่นๆ ทำให้โปรแกรมฯสามารถคำนวณเพื่อทำนายอายุการใช้งานที่คงเหลือของสายทาง (Remaining Life) รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าความหนาเสริมความแข็งแรง (Overlay Design) ตามอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้



ภาพที่ 20 กราฟและตารางค่าการแอ่นตัว Defection จากโปรแกรม ELMOD 6



ภาพที่ 21 กราฟและตารางค่าอีลาสติกโมดูลัส (Elastic Modulus) ของแต่ละชั้นของโครงสร้างทาง



ภาพที่ 22 ค่าความหนาเสริมความแข็งแรง Overlay Design

ค่าความหนาเสริมความแข็งแรง (Overlay Design Value) ที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม ELMOD 6 จะนำไปสู่หลักเกณฑ์แนะนำในการพิจารณา เพื่อเสริมความแข็งแรงโครงสร้างทางในช่วงระยะทางที่ตรวจสอบหรือสายทางนั้น ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

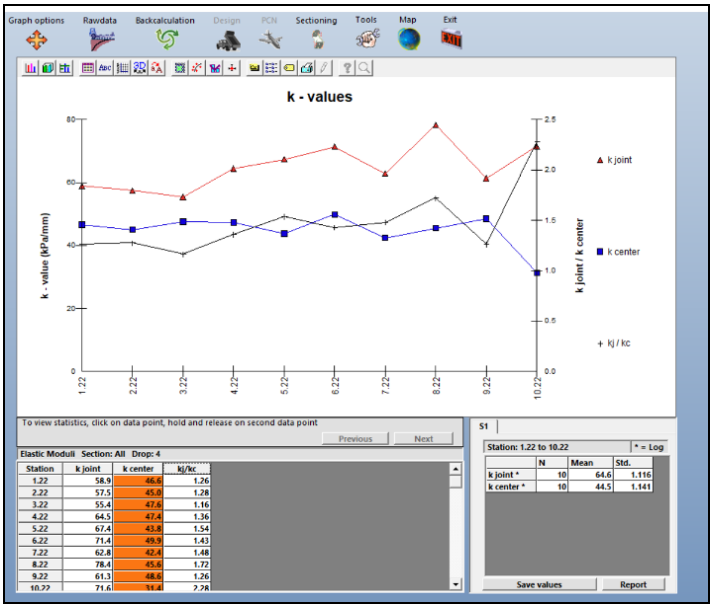
ตารางที่ 1 แสดงหลักเกณฑ์แนะนำในการพิจารณาเสริมความแข็งแรงของสายทาง

Structural Overlay	แผนการบำรุงทาง
1-25 mm.	ตรวจสอบสภาพอื่นๆ
25-75 mm.	เสริมผิว
>75 mm.	ตรวจสอบสภาพอื่นๆ - เสริมผิว - บูรณะซ่อมแซม - ก่อสร้างใหม่

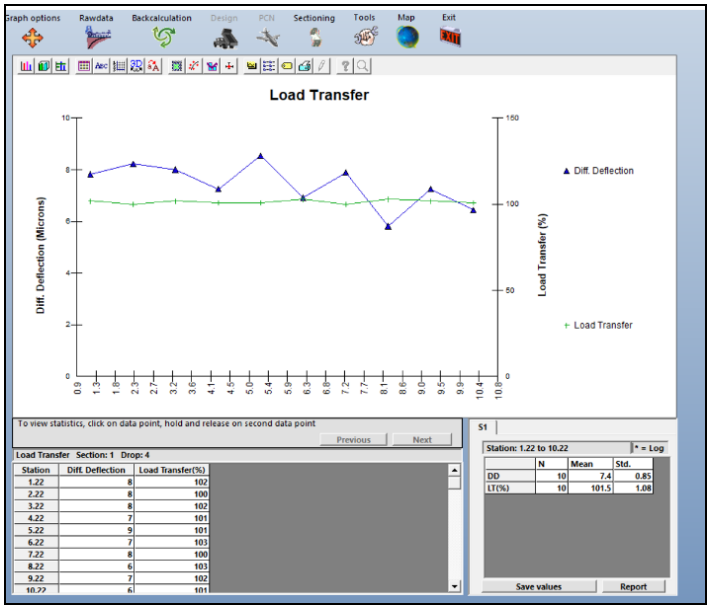
6. การประมวลผลของผิวทางคอนกรีต

จากการตรวจสอบผิวทางคอนกรีตด้วยเครื่องตรวจสอบฯ บริเวณกลางแผ่นและบริเวณรอยต่อ โดยการจัดเก็บข้อมูลค่าการแอ่นตัว (Deflection) ของแผ่นคอนกรีตจากอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว Geophone และค่าความหนาของแผ่นคอนกรีต รวมถึงค่าคุณสมบัติของวัสดุไว้ในไฟล์ mde. ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณย้อนกลับและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ELMOD 6 ได้ผลการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น หรือค่า E (Elastic Modulus) ของแผ่นคอนกรีตและของชั้นพื้นทางบริเวณกลางแผ่น
- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น หรือค่า E (Elastic Modulus) ของแผ่นคอนกรีตและของชั้นพื้นทางบริเวณรอยต่อ
- ค่าโมดูลัสการต้านแรงของดินคันทาง หรือค่า K (Modulus of Subgrade Reaction) ที่รอยต่อ
- ค่าโมดูลัสการต้านแรงของดินคันทาง หรือค่า K (Modulus of Subgrade Reaction) ที่กลางแผ่น
- ค่าการถ่ายน้ำหนัก Load Transfer ที่บริเวณรอยต่อของแผ่นคอนกรีต (ใช้ค่าการแอ่นตัวจาก Geophone ตัวที่ 2 และ 3)
- ค่าความแตกต่างของการแอ่นตัว Differential deflection ที่บริเวณรอยต่อของแผ่นคอนกรีต (ใช้ค่าการแอ่นตัวจาก Geophone ตัวที่ 2 และ 3)



ภาพที่ 23 กราฟและตารางค่าโมดูลัสการต้านแรงของดินคันทาง หรือค่า K (Modulus of Subgrade Reaction) ที่รอยต่อ



ภาพที่ 24 กราฟและตารางค่าการถ่ายน้ำหนัก Load Transfer ที่บริเวณรอยต่อของแผ่นคอนกรีต

หาค่า Relative Subgrade Reaction, kj/kc และเปรียบเทียบค่า Load Transfer, DD, kj/kc ที่ได้กับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดย Dynatest USA และ Asphalt Institute ดังแสดงใน**ตารางที่ 2** เพื่อจัดทำรายงานสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางคอนกรีต

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์กับค่ามาตรฐานที่กำหนด

Factor	Criteria	Reference
Load Transfer, LT (%)	> 70 %	Dynatest USA
	> 80 %	Comment
Differential Deflection, DD(μm)	< 50 μm	Asphalt Institute
Relative Subgrade Reaction, k_j/k_c (%)	> 0.8	Dynatest USA

7. สรุปผลการวิเคราะห์จากเครื่องตรวจสอบ ฯ (FFWD)

ผลของการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างทางทั้งหมด ที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบฯ (FFWD) สามารถนำไปใช้การพิจารณาเลือกวิธีการบำรุงรักษาสายทางที่ถูกต้อง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งบประมาณด้านการบำรุงรักษาทางอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นองค์ประกอบสำคัญในการวิเคราะห์ความสมดุลของการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทาง รวมถึงการนำไปใช้ เพื่อการศึกษาและออกแบบปรับปรุงคุณภาพของวัสดุหรือแม้แต่การนำวัสดุที่ด้อยคุณภาพมาใช้ในงานก่อสร้าง