

เครื่องต้นแบบจำลองการเปลี่ยนความผิดของผิวจرارจรและระยะร่องล้อเนื่องจาก อิทธิพลของจำนวนรอบวิ่ง

สุขสันต์¹ หอพิบูลสุข¹ อวิรุทธิ์¹ ชินกุลกิจนิวัฒน์² วรัช³ ก้องกัญกุล³ อาทิตย์⁴ อุดมชัย⁴ สมัย⁵ โชติสกุล⁵ และ
สิทธิชัย ศิริพันธ์⁶

บทคัดย่อ

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุมีความสัมพันธ์กับความผิดของผิวจرارจร ดังนั้นการกำหนดและคงความผิดของผิวจرارจรที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในมาตรการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงความผิดของผิวจرارจรและระยะร่องล้อจากอิทธิพลของจำนวนรอบวิ่ง (ปริมาณจรจร) ชุดทดสอบถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นเพื่อการดัดแปลงต่อในอนาคต การกำหนดน้ำหนักทดสอบ จำนวนรอบวิ่ง สามารถทำได้โดยผ่านซอฟต์แวร์ควบคุม ผลทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์ พบว่าการเกิดร่องล้อและการลดลงของความผิดจะมีค่าสูงในช่วง 1000 รอบการทดสอบ หลังจากนั้นการเกิดร่องล้อและการลดลงของความผิดจะมีอัตราลดลง

คำสำคัญ: ความผิด ร่องล้อ เครื่องต้นแบบ ผิวยาง

¹ ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

⁴ นักวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

⁵ ผู้อำนวยการสำนักอำนวยความสะดวกฯ กรมทางหลวงชนบท

⁶ วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักอำนวยความสะดวกฯ กรมทางหลวงชนบท

* ผู้ติดต่อประสานงาน โทร. 0-4422-4421 อีเมล: suksun@g.sut.ac.th



A Prototype Machine for Measuring Pavement Skid Resistance and Rutting Under Various Cycles of Wheel Track

Suksun Horpibulsuk^{1*} Avirut Chinkulkijniwat² Warat Kongkitkul³ Artit Udomchai⁴ Smai Chotisakul⁵ and
Sithichai Siriphun⁶

Abstract

Literature reported that number of accidents was directly related to pavement skid resistance. Hence, a key element to enhance road safety is to maintain skid resistance of pavement. Due to no available machine to measure pavement skid resistance under cycles of wheel track, a prototype machine for measuring pavement skid resistance and rutting under various simulated cycles of wheel track was developed. This prototype machine is flexible for future modification; i.e., various factors relating to traffic load such as wheel track cycle, and wheel track load can be adjusted using a software. Results of cyclic skid and rutting tests on an asphaltic pavement specimen show that rutting and rapid deterioration in pavement skid resistance are found at first 1000 cycles of wheel track. The rate of deterioration decreases with increasing wheel track cycle.

Keywords: skid resistance, rutting, prototype, pavement

¹ Professor, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

² Associate Professor, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

³ Associate Professor, Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

⁴ Post-graduate Researcher, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

⁵ Director of Bureau of Traffic Safety, Department of Rural Roads

⁶ Civil Engineer (Professional Level), Bureau of Traffic Safety, Department of Rural Roads

* Corresponding Author Tel. 0-4422-4420 E-mail: suksun@g.sut.ac.th

1. บทนำ

ปัญหาอุบัติเหตุบนท้องถนนในประเทศไทยซึ่งอยู่ในพื้นที่เขตมรสุม มักเกิดจากการลดลงของความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางในช่วงฤดูฝน อุบัติเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน Seiler [1] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความผิดผิวจราจร ต่ออุบัติเหตุจราจร พบว่าจำนวนการเกิดอุบัติเหตุมีค่าลดลงเมื่อค่าความผิดผิวจราจรมีค่าสูงขึ้นและอัตราการเกิดอุบัติเหตุแนวโน้มคงที่เมื่อค่าความผิดผิวจราจรมีค่าสูงกว่า 0.45 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Al-Mansour [2] ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอุบัติเหตุ กับความผิดของผิวจราจร ทั้งสภาพถนนแห้งและเปียก บนสายทางจราจรหลัก และสรุปว่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุไม่มีความสัมพันธ์กับความผิดผิวจราจรเมื่อความผิดผิวจราจรมีค่าสูงกว่า 0.45 ดังนั้นการลดอุบัติเหตุแนวทางหนึ่งคือการเพิ่มความต้านทานการลื่นไถล (ความเสียดทาน) ให้กับผิวถนนและการเพิ่มความคงทนของความเสียดทาน ซึ่งจะช่วยลดระยะเบรคและช่วยควบคุมการลื่นไถลของรถยนต์

ขวัญเรือน แยมทะเล และลัดดา ตันวานิชกุล [3] อ้างถึงงานวิจัยของ ประเสริฐ บุญรักษา และซาโณ พงศ์ศรี [4] และกล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผิดแบ่งเป็น 4 ปัจจัยดังนี้ 1) คุณลักษณะของผิวทาง ได้แก่ ความหยาบละเอียด ความขรุขระ ร่องล้อ 2) คุณลักษณะของล้อยาง ได้แก่ ชนิดของยาง ดอกยาง ลมยาง 3) คุณลักษณะการใช้รถ ได้แก่ ความเร็ว อากาศล้อ ลื่น น้ำหนักรถ ชนิดของรถยนต์ และ 4) สภาพแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ สภาพเปียกสิ่งเปรอะเปื้อน อุณหภูมิ ฤดูกาล ความผิดของผิวจราจร (Skid resistance) คือความเสียดทานระหว่างยางและผิวจราจรในสภาวะเปียก Mayer [5] พบว่าความผิดของผิวจราจรจะมีค่าลดลงตามความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างยางกับผิวจราจร (Slip speed) ที่เพิ่มขึ้น

ในปี 1992 มีการทดสอบในเบลเยียม และสเปน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผิวจราจร (texture) กับความผิดของผิวจราจร พบว่าความผิดของผิวจราจรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการวัดค่าพื้นผิวจราจรระดับ macro [6]

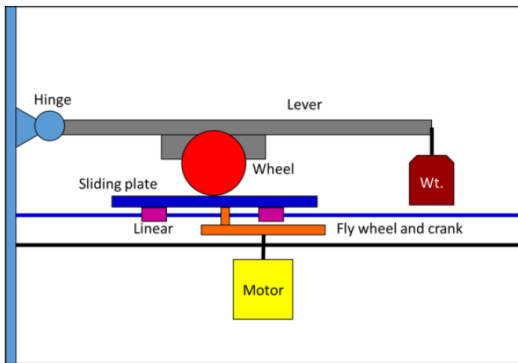
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความผิดของผิวจราจรมีการศึกษาครั้งแรกโดย Zube et al. [7] โดยพบการลดลง

ของความผิดผิวจราจรอย่างมากในช่วง 100 วันแรก หลังจากการเปิดใช้เส้นทางจราจร ในปี ค.ศ. 1972 Szatkowski et al. [8] พบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของปริมาณจราจร กับคุณลักษณะการลื่นไถลของผิวจราจรแบบเปียก และสรุปปัจจัย 3 ประการที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านความผิดของผิวจราจร ได้แก่ 1) microtexture ได้แก่ ส่วนประกอบของมวลรวม และค่าต้านทานการสึกกร่อนของมวลรวม 2) macrotexture ได้แก่ การกระจายน้ำ และการสลายตัวของพลังงาน 3) สภาพจราจร และปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของปริมาณจราจร อุณหภูมิ สภาพของเส้นทางจราจร เป็นต้น ในงานวิจัยเดียวกันนี้ยังพบว่าความผิดของผิวจราจรมีการลดลงอย่างต่อเนื่องภายในช่วงระยะเวลาหนึ่งปี และหลังจากนั้นความผิดของผิวจราจรจะมีค่าค่อนข้างคงที่ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้อธิบายสาเหตุที่ความผิดของผิวจราจรมีค่าคงที่ไว้ว่าเกิดจาก อิทธิพลของปัจจัยสองประการกล่าวคือ การขัดสีระหว่างผิวจราจร และล้อทำให้ผิวจราจรเสียคุณสมบัติระดับ microtexture ไป แต่ขณะเดียวการสึกกร่อนของ macrotexture เนื่องจากสภาพภูมิอากาศและปัจจัยอื่นๆ จะก่อให้เกิดการผุพังในมวลรวมที่พื้นผิวจราจร ซึ่งเป็นการฟื้นฟูคุณสมบัติระดับ microtexture จึงทำให้ความผิดของผิวจราจรมีค่าคงที่เมื่อพิจารณาถึงระดับการขัดสี และยังพบว่ารถที่มีน้ำหนักบรรทุกมากจะก่อให้เกิดการขัดสีมากตามไปด้วย

แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่คำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความผิดและความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงความผิดของผิวจราจร แต่กลับพบว่ายังไม่มียางหรือบทความวิจัยที่เสนอวิธีการออกแบบผิวจราจรที่มีความผิดและสามารถรักษาระดับความผิดของผิวจราจรภายใต้สภาพปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยังไม่มีการพัฒนาชุดทดสอบที่สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงความผิดของผิวจราจรภายใต้ปัจจัยควบคุมต่าง ๆ ได้ งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาชุดทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความผิดและร่องล้อของผิวจราจรชนิดต่างๆ เนื่องจากอิทธิพลของจำนวนรอบวิ่ง อันจะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการออกแบบผิวทางจราจรที่มีความต้านทานการลื่นไถลและมีความคงทนสูงต่อไปในอนาคต

2. กลไกของเครื่องต้นแบบทดสอบผิวทางด้านการเคลื่อนไถล

เครื่องต้นแบบทดสอบผิวทางด้านการเคลื่อนไถลเป็นเครื่องที่ใช้ในการศึกษาการลดลงของค่าความต้านทานการเคลื่อนไถลของผิวทางที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน เครื่องทดสอบจะทำงานโดยการจำลองแรงกระทำจากล้อรถบรรทุกมาตรฐานขนาด 18 kips ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงดันที่ผิวทาง 707 kPa โดยให้แรงดังกล่าวกระทำซ้ำไปซ้ำมาจำนวนหลายรอบเพื่อจำลองการใช้งานตามปริมาณจราจรที่ได้ออกแบบไว้จริง ระหว่างการจำลองดังกล่าว เครื่องทดสอบสามารถที่จะทดสอบการเคลื่อนไถลระหว่างล้อจำลองกับแผ่นตัวอย่างผิวทางทดสอบ จึงทำให้สามารถที่จะวัดการลดลงของค่าความต้านทานการเคลื่อนไถลและร่องล้อตามจำนวนรอบวิ่งที่กำหนด



รูปที่ 1 แผนภาพของระบบควบคุมของเครื่องต้นแบบทดสอบผิวทางด้านการเคลื่อนไถล

กลไกการทดสอบของเครื่องมือทดสอบระยะร่องล้อสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1. ส่วนแขนกลล้อทดสอบ ทำหน้าที่ประคองล้อทดสอบ และสร้างแรงกดระหว่างล้อกับฐานเลื่อน เครื่องทดสอบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นใช้แม่แรงขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าทดแทนการใช้ตุ้มน้ำหนักเพื่อความสะดวกต่อการควบคุมการทดสอบ และส่วนที่ 2 คือ ส่วนของฐานเลื่อนทดสอบล้อ (sliding

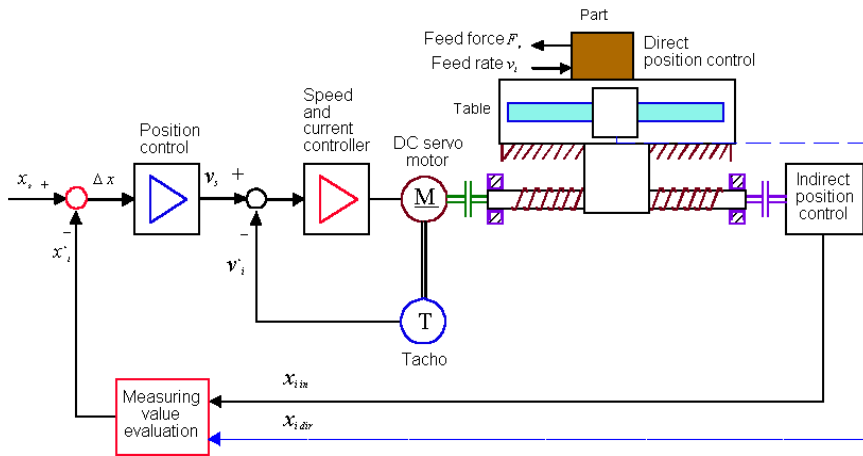
plate) เป็นส่วนที่ใช้เลื่อนแผ่นผิวทดสอบ เพื่อจำลองการสัมผัสระหว่างล้อกับผิวทาง โดยฐานเลื่อนจะทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้า ฐานเลื่อนจะเลื่อนอยู่ในรางประคองเชิงเส้น (linear slide) ดังแสดงในรูปที่ 1

3. เครื่องมือและอุปกรณ์

ผลการวัดอ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดระยะระหว่างล้อกับฐานเลื่อน และรอบในการหมุนของมอเตอร์ที่ขับฐานเลื่อน ในขณะที่มอเตอร์ต้นกำลังถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) ดังแสดงในรูป 2 ทำให้ความเร็วรอบและแรงฐานเลื่อนที่กระทำกับล้อมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบ แม้กระทั่งมีแรงมากกระทำเพิ่มขึ้นก็ตาม ในขณะที่ไม่มีการห้ามล้อ ค่าที่วัดได้ก็จะเป็นระยะระหว่างล้อกับฐานเลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตามรอบการหมุนของมอเตอร์ แต่ในขณะที่ห้ามล้อจะมีการอ่านค่าแรงบิด (Torque) ที่เกิดกับล้อ ระบบโดยรวมประกอบด้วย การอ่านค่า การควบคุม และแสดงผล ซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้

1) อุปกรณ์ตรวจวัดระยะ เป็นตัววัดระยะร่องล้อขณะมีการสัมผัสระหว่างล้อกับฐานเลื่อน อุปกรณ์ตรวจวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบมีความแม่นยำสูง ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงในย่านความละเอียดอย่างน้อย 50 ไมโครเมตร

2) โหลดเซลล์ ทำหน้าที่วัดแรงกดในกรณีที่มีการทดสอบโดยการห้ามล้อ ค่าแรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการห้ามล้อ สามารถหาได้จาก $\text{แรงบิด} = \text{แรงที่โหลดเซลล์อ่านได้ (F)} \times \text{ระยะความยาวแขนยึด (length of lever, L)}$ ค่าแรงบิดจะถูกคำนวณในส่วนภาคควบคุมแล้วจะแสดงค่าบนจอแสดงผล



รูปที่ 2 แผนภาพของระบบควบคุมของเครื่องต้นแบบทดสอบผิวทางด้านการเคลื่อนที่

3) อุปกรณ์วัดรอบ การวัดรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน มีลักษณะการอ่านค่าดังแสดงในรูปที่ 3 การตรวจวัดจะใช้อุปกรณ์ตรวจรู้แบบตรวจจับโลหะ (Proximity sensor) และตำแหน่งที่วัดจะวัดเฉพาะจุดอ้างอิง (index) ค่าที่อ่านมาได้จะผ่านตัวควบคุมหลักเพื่อนำไปเทียบกับเวลา ค่าที่วัดจะแสดงในหน่วยของ รอบต่อนาที (RPM) ค่าความเร็วรอบไม่ได้แสดงบนจอภาพเพียงแต่อย่างเดียว แต่ยังนำไปเป็นตัวพิจารณาในส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 3 อุปกรณ์วัดรอบโดย Proximity transducer

4) ล้อทดสอบพื้นผิว ล้อทดสอบพื้นผิว (รูปที่ 4) เป็นล้อที่ใช้ในการทดสอบหาระยะร่องล้อและวัดแรงเสียดทานการเคลื่อนที่ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมเบอร์ 6061 ขึ้นรูปขึ้นงานในส่วนของกะทะล้อ ผิวนอกเป็นยาง

ซึ่งมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับยางนอกรถยนต์บรรทุกที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.6 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) หน้ากว้างล้อ 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ซึ่งดัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบ Hamburg Wheel Track Test (TEX-242-F) [9] ล้อทดสอบถูกออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่ายเพื่อความสะดวกในการใช้งานและการถอดเมื่อมีการสึกของล้อ

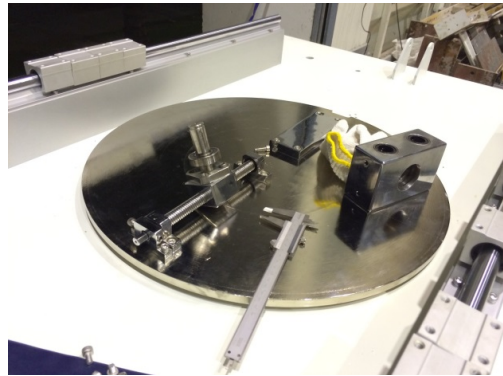


รูปที่ 4 ล้อทดสอบพื้นผิว

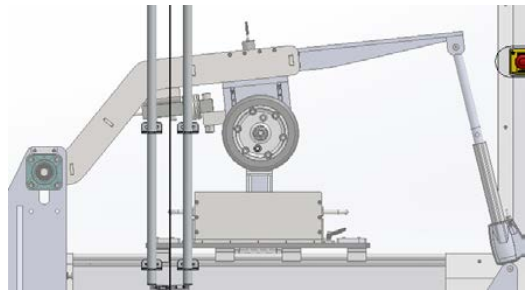
5) ภาตงานทดสอบ มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานรับแรงอัดได้ดี วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กขนาดกว้าง 320 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร โดยดัดแปลงมาจากขนาดล้อมาตรฐานของการทดสอบ Hamburg Wheel Track Test ขนาดของภาตงานทดสอบมีน้ำหนักเหมาะสม กล่าวคือเมื่อบรรจุชิ้นงานทดสอบแล้ว ผู้ทดสอบสามารถยกภาตงานเข้าเครื่องทดสอบได้

6) กลไกเลื่อนถาดงานทดสอบ (รูปที่ 5) เป็นกลไกแบบ slider-crank mechanism ซึ่งประกอบไปด้วยลิงค์ (link) 4 ชิ้น ได้แก่ 1. ตัวโครงสร้างเครื่องทดสอบ 2. ตัวขับเคลื่อนแบบมอเตอร์ มีเกียร์ทดรอบ ใช้ไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ แบบ 3 เฟส ซึ่งสามารถใช้ไฟ 220 โวลต์ แบบ 1 เฟสที่ใช้ทั่วไปได้ เครื่องทดสอบมีชุดอินเวอร์เตอร์ แปรไฟฟ้าจาก 1 เฟส 220 โวลต์ เป็น 3 เฟส 220 โวลต์ ความเร็วรอบมอเตอร์สามารถปรับได้ผ่านทางชุดอินเวอร์เตอร์นี้ 3. ตัวส่งผ่านการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นแผ่นจาน ที่ส่งการหมุนมาจากมอเตอร์ต้นกำลัง ตัวส่งผ่านการเคลื่อนที่นี้ถูกออกแบบให้สามารถปรับรัศมีในการหมุนได้ ทำให้ระยะเลื่อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ โดยสามารถปรับระยะในการเลื่อนของถาดงานได้ตั้งแต่ 30 เซนติเมตร จนถึง 50 เซนติเมตร เพื่อรองรับการเพิ่มขนาดของถาดงานสำหรับใช้ทดสอบในอนาคต 4. ชุดเลื่อนสไลด์ เป็นลิงค์ที่ถูกส่งถ่ายแรงมาจากตัวส่งผ่านการเคลื่อนที่ ซึ่งจะทำหน้าที่เลื่อนถาดงานทดสอบไปมา ตามระยะที่ถูกกำหนดไว้โดยมีรางประคอง (linear guide way) บังคับทิศทางในการเคลื่อนที่

7) ระบบให้น้ำหนักกดทับกับล้อทดสอบ การให้น้ำหนักกดทับกับล้อทดสอบ จะใช้มอเตอร์แกนชัก (linear actuator, รูปที่ 6) เป็นอุปกรณ์ให้น้ำหนักกดทับแทนมวลถ่วงน้ำหนัก แรงกดทับล้อทดสอบเท่ากับ 1500 นิวตัน โดยใช้ระบบการควบคุมแรงกดแบบอัตโนมัติผ่านระบบ Feedback control ซึ่งมีโหลดเซลล์วัดแรงกดที่ล้อ (รูปที่ 6) เป็นตัววัดค่าแรงกดปัจจุบัน เมื่อแรงกดที่อ่านได้ผ่านโหลดเซลล์มีค่าน้อยกว่า 1500 นิวตัน ระบบจะสั่งงานให้มอเตอร์แกนชักเพิ่มแรงกดในทางตรงกันข้าม หากแรงกดที่อ่านได้มากกว่า 1500 นิวตัน ระบบก็จะสั่งงานให้มอเตอร์แกนชักผ่อนแรง ด้วยระบบนี้ แรงกดที่กระทำที่ล้อจึงถูกสามารถควบคุมให้มีค่าคงที่ที่ 1500 นิวตัน ตลอดเวลาได้



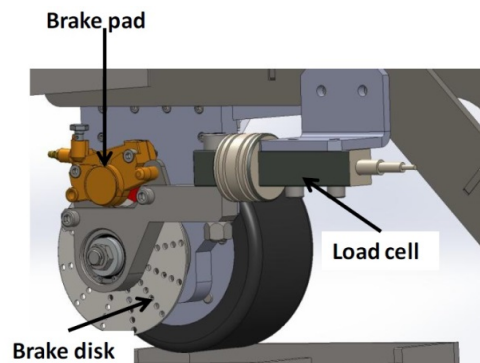
รูปที่ 5 กลไกแบบ slider-crank mechanism



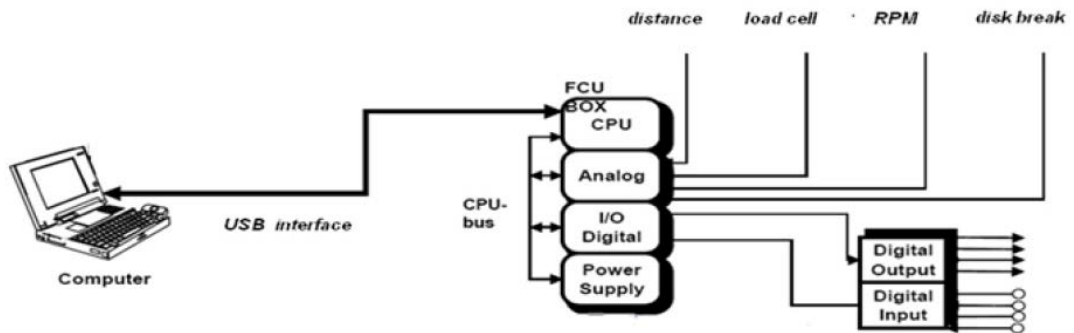
รูปที่ 6 ระบบให้น้ำหนักกดทับกับล้อทดสอบ

4. เครื่องมือวัด

1) เครื่องมือวัดค่าแรงบิด (Torque) ขณะมีการห้ามล้อค่าแรงบิดวัดได้จากโหลดเซลล์ (รูปที่ 7) เครื่องวัดค่าแรงบิดนั้นเป็นการประยุกต์ใช้ระบบห้ามล้อแบบจานหรือดิสก์เบรก (Disk brake) และแขนยึดปัมป์เบรกเป็นแขนแรงจากจุดหมุนของล้อทดสอบ



รูปที่ 7 ระบบให้น้ำหนักกดทับกับล้อทดสอบ



รูปที่ 8 แผนภาพกระบวนการบันทึกข้อมูล

2) เครื่องมือกำจัดสัญญาณรบกวนและขยายสัญญาณก่อนการบันทึก เนื่องจากสัญญาณที่ให้ออกมาจากการวัดนั้นจะเป็นสัญญาณลอจิกต่ำ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณให้เป็นลอจิกสูง

3) การบันทึกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เช่น โหลดเซลล์ อุปกรณ์วัดรอบ อุปกรณ์วัดระยะ ฯลฯ จะถูกจัดการต่อไปตั้งแสดงในรูปแบบที่ 8 ค่าของสัญญาณจะถูกส่งมาประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลจะนำเสนอในรูปแบบของกราฟ และเชิงตัวเลข ค่าที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ใช้สามารถถ่ายโอนข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ได้

5. การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 การเตรียมแผ่นตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์

การเตรียมแผ่นตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์จะใช้เครื่อง Roller Compactor รุ่น CRT-RC2SV (EN 12697-33 Steel roller) โดยเครื่อง Roller Compactor สามารถใช้ความแตกต่างของแรงดันได้ 4 ระดับ ตามช่วงของแต่ละรอบ แรงดันที่ 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 0-2.5 บาร์ ส่วนแรงดันที่ 2 แรงดันที่ 3 และ แรงดันที่ 4 อยู่ในช่วงระหว่าง 0-10 บาร์ ปกติแล้วการตั้งค่าน้ำหนักจะไล่เรียงระดับแรงดันไปตามลำดับ แรงดันที่ 1 ต้องมีจำนวนรอบอย่างน้อย 2 รอบ ก่อนทำการเพิ่มแรงดันที่ 2 แรงดันที่ 3 และแรงดันที่ 4 จำนวนรอบของแรงดันที่ 2, แรงดันที่ 3 และแรงดันที่ 4 สามารถตั้งได้ระหว่าง 0 ถึง 100 เริ่มจากการคัดสรรและควบคุมคุณสมบัติของมวลรวมหยาบและวัสดุ

เชื่อมประสาน การทดสอบหาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต และวิธีการเตรียมแผ่นตัวอย่างมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เตรียมมวลรวมตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบ Hot Bin 1, Hot Bin 2, Hot Bin 3 และ Hot Bin 4

2) วัดขนาดแบบบรรจุตัวอย่าง เพื่อคำนวณหาปริมาตรของแบบ แล้วนำไปคำนวณปริมาณวัสดุรวมและปริมาณแอสฟัลต์ ที่ต้องใช้

3) แบ่งตัวอย่างหินตามสัดส่วนแต่ละ Bin

4) นำหินที่แบ่งตามสัดส่วนของแต่ละ Bin ไปอบ

5) นำตัวอย่างหินที่อบแล้วมาผสมกับแอสฟัลต์ด้วยเครื่องผสม ที่อุณหภูมิ 175 °C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้เทวัสดุผสมลงในภาชนะ

6) นำแบบที่ทำการอุ่นไว้มาใส่เหล็กกรอบบน แล้ววางบนแท่นเพื่อเตรียมนำวัสดุผสมมาเท

7) นำวัสดุผสมมาเทใส่ในแบบ พร้อมทำการจี้แต่งให้วัสดุผสมมีความแน่น โดยแทงขอบด้านยาว ด้านละ 15 ครั้ง แขนงขอบด้านสั้น ด้านละ 10 ครั้ง และแทงบริเวณกลางแผ่นอีก 20 ครั้ง ระหว่างนี้ต้องทำการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 150 °C ก่อนเริ่มการบดอัด (รูปที่ 9)

8) เครื่องจะทำการบดทับก้อนตัวอย่างที่ความดันลมที่ 1 ความดันลมที่ 2 ความดันลมที่ 3 และ ความดันลมที่ 4 ตามจำนวนรอบที่กำหนด

9) เมื่อครบตามจำนวนรอบที่กำหนดทั้ง 4 รอบแล้วนำตัวอย่างออกจากเครื่อง Roller compactor ที่จั่นเย็นแล้วนำแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์ไปทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 9 วัสดุผสมที่นำมาทดสอบในแบบก่อนการบดอัด

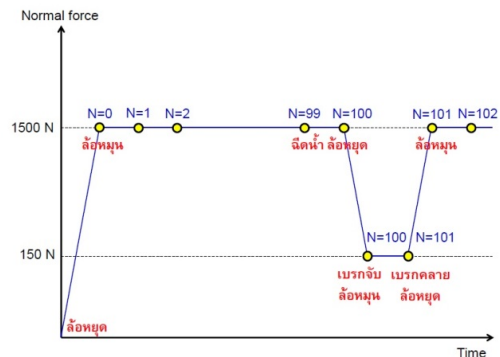
5.2 รูปแบบการทดสอบ

การทดสอบจะจำลองให้ล้อที่มีแรงดันกดทับเท่ากับแรงดันจากน้ำหนักบรรทุกจราจรมาตรฐานกระทำกับแผ่นตัวอย่างผิวทางทดสอบทั้งหมดจำนวน 10,000 รอบ สำหรับแผ่นทดสอบแต่ละแผ่น ในระหว่างที่จำลองการกระทำจากน้ำหนักจราจรนี้ จะค้นด้วยการทดสอบแรงเสียดทานระหว่างล้อทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทางทุกๆ 100 รอบ ดังนั้น จะมีการทดสอบแรงเสียดทานทั้งหมด 100 ครั้ง รูปแบบการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 10)

1) ในขณะที่ล้อไม่เคลื่อนไหว แรงกดทับสู่ล้อทดสอบจะเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่า 1,500 นิวตัน จากนั้นระบบจะควบคุมให้แรงกดทับคงที่

2) มอเตอร์จะเริ่มทำงานส่งผลให้ล้อหมุน เมื่อแผ่นผิวทางทดสอบเคลื่อนที่ไปและกลับมามีเดิม นับจำนวนรอบ (N) เท่ากับหนึ่ง (N = 1) มอเตอร์จะทำงานไปเรื่อย ๆ ในขณะที่แรงกดถูกควบคุมให้อยู่ที่ 1,500 นิวตัน จะกระทั่งครบ 99 (N = 99) ซึ่งเป็นการจำลองน้ำหนักล้อรถบรรทุกมาตรฐานขนาด 18 kips (แรงดันที่ผิวสัมผัส

เท่ากับ 707 kPa) ที่วิ่งบนผิวทางทดสอบจำนวน 99 รอบ (ทิศทางเดียว)



รูปที่ 10 รูปแบบการทดสอบด้วยเครื่องต้นแบบทดสอบผิวทางด้านกรไลน์

3) เมื่อครบ 99 รอบ น้ำจะถูกพ่นลงไปที่ผิวของแผ่นทดสอบ จนกระทั่งจำนวนรอบครบ 100 (N = 100)

4) จากนั้น ระบบจะลดแรงกดทับลงไปที่ค่า 150 นิวตันและจะถูกควบคุมให้คงที่ เพื่อทำการทดสอบความฝืด การลดน้ำหนักกดทับที่ลดลงทำให้ล้อคล้อยกับกำลังขับของชุดมอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่วัดได้เนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าแปรผันตรงกับแรงตั้งฉากตามหลักกลศาสตร์

5) เมื่อสามารถควบคุมแรงกดทับให้คงที่ที่ 150 นิวตันได้แล้ว ระบบจะสั่งให้มอเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ และเมื่อมอเตอร์เริ่มเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย ระบบจะสั่งงานให้เบรกทำงานเพื่อวัดค่าแรงเสียดทานพลศาสตร์ระหว่างล้อทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทางทดสอบ จนกระทั่งจำนวนรอบเท่ากับ 101 (N = 101) ค่าแรงเสียดทานพลศาสตร์สูงสุดที่วัดได้ในแต่ละรอบจะถูกนำมาใช้คำนวณค่าความเสียดทานการลื่นไถล (ดังจะได้อธิบายในภายหลัง)

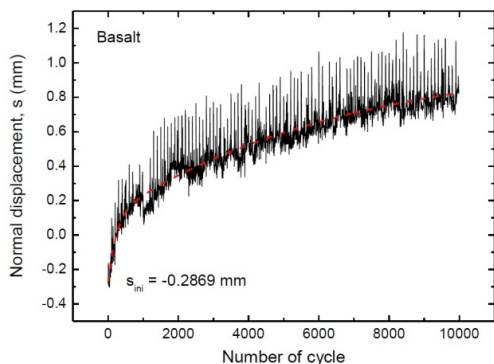
6) เมื่อทดสอบแรงเสียดทานแล้วเสร็จในรอบนี้ มอเตอร์จะหยุดทำงานส่งผลให้ล้อทดสอบหยุดเคลื่อนที่ จากนั้นระบบจะสั่งงานให้เพิ่มแรงกดทับที่ล้อทดสอบกลับที่ยังค่าที่ 1,500 นิวตันและควบคุมให้คงที่ แล้วจึงสั่งให้มอเตอร์ทำงานอีกครั้ง (กลับไปที่ยังขั้นตอนที่ 2)

7) การทดสอบจะดำเนินขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 ซ้ำจนกระทั่งจำนวนรอบเท่ากับ 10,000

5.3 ผลทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทาง

แผ่นตัวอย่างผิวทางมวลรวมหินบะซอลท์ ซึ่งออกแบบส่วนผสมโดยวิธี Marshall โดยใช้แอสฟัลต์ AC60-70 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ปริมาณแอสฟัลต์ที่ออกแบบ

คุณสมบัติ (หน่วย)	ค่า
Asphaltic content (%)	5.4
Marshall air void (%)	4.1
Marshall density (gm./ml.)	2.417
Void in mineral aggregate (%)	15.4
Void filled with bitumen (%)	73
Marshall stability (lbs.)	2390
Marshall flow (1/100")	12.8
Stability/Flow ratio (lbs./0.01")	187
Strength index (%)	80.5
Indirect tensile strength [kPa]	377.6
Modulus of resilience [MPa]	598.2



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะร่องล้อกับจำนวนรอบทดสอบจากการทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทาง

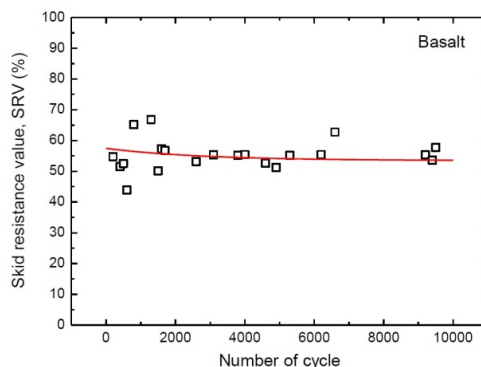
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะร่องล้อกับจำนวนรอบทดสอบ จากการทดสอบกับพบว่า การหลุดตัว (ระยะร่องล้อ) เพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 1000 รอบแรก และมีอัตราการเพิ่มลดลงเมื่อ

จำนวนรอบเพิ่มขึ้น ขนาดการหลุดตัวสุดท้ายที่จำนวนรอบ 10000 รอบ มีค่าประมาณ 0.8 mm

ค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value, SRV) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$SRV = \frac{F_r}{F_n} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ F_r คือแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างล้อยางกับผิวทาง และ F_n คือแรงกดทับที่ล้อยาง รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) กับจำนวนรอบทดสอบจากการทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทาง พบว่าแผ่นตัวอย่างผิวทางมีการสูญเสียค่า SRV ตามจำนวนรอบวิ่ง โดยค่า SRV มีแนวโน้มลดลงกับจำนวนรอบทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผิวทางได้รับแรงกระทำจากน้ำหนักรถบรรทุกจราจร ความเสียดทานระหว่างผิวทางกับล้อรถจะมีค่าลดลง แต่การลดลงของค่า SRV มีค่าไม่มากนัก (ประมาณ 4%) โดยพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า SRV ในช่วงรอบทดสอบต้น ๆ จะมีค่าสูง และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงตามจำนวนรอบทดสอบที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SRV กับจำนวนรอบทดสอบจากการทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทาง

จากรูปที่ 12 พบว่าระยะร่องล้อที่เกิดขึ้นจากการจำลองการกระทำของล้อรถบรรทุกเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าไม่มากนัก ดังนั้นอิทธิพลของร่องล้อที่อาจมีต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดได้และพฤติกรรมมวลลดลงกับจำนวนรอบจึงไม่มีนัยสำคัญ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการลดลงของค่าความต้านทานการลื่นไถลจากการกระทำของล้อรถในห้องปฏิบัติการ ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดได้ (รูปที่ 12) อาจมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐานอื่น เนื่องจากลักษณะการทดสอบที่ต่างกันไป

5. สรุปผลการศึกษา

เครื่องต้นแบบวัดการเกิดร่องล้อและวัดความผิดตามจำนวนรอบวิ่ง ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยดัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบ Hamburg Wheel Track Test ชุดทดสอบถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นในการดัดแปลงต่อในอนาคต เช่น การปรับขนาดของภาคทดสอบ การกำหนดน้ำหนักทดสอบ จำนวนรอบวิ่ง และความถี่ในการวัดร่องล้อ และความผิดของแผ่นผิวจราจรสามารถปรับได้ผ่านซอฟต์แวร์ควบคุมที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของชุดทดสอบ ผลทดสอบกับแผ่นตัวอย่างผิวทางที่ใช้หินมะซอลท์เป็นมวลรวมหยาบและใช้แอสฟัลต์ AC60-70 เป็นวัสดุเชื่อมประสานพบว่า การเกิดร่องล้อ และการลดลงของความผิดจะมีค่าสูงในช่วง 1000 รอบการทดสอบ หลังจากนั้นการเกิดร่องล้อและการลดลงของความผิดจะมีอัตราลดลง เครื่องต้นแบบนี้มีประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาวิจัยในอนาคต และต่อการกำหนดและการควบคุมคุณสมบัติของวัสดุผิวทางที่ใช้สำหรับก่อสร้างถนนจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบท ประจำปีงบประมาณ 2557

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Seiler-Scherer, L. (2004). Is the Correlation Between Pavement Skid Resistance and Accident Frequency Significant?, Conference Paper STRC., Swiss Transport Research Conference, Switzerland.

- [2] Al-Mansour, A.L. (2006). Effect of Pavement Resistance on Traffic Accidents, Vol. 3, No. 1: 75-78
- [3] ขวัญเรือน แยมทะเล และลัดดา ตันวานิชกุล (2556). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการลื่นไถล และอุบัติเหตุจราจรในการประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 18, 8-10 พฤษภาคม 2556, เชียงใหม่
- [4] ประเสริฐ บุญรักษา และซาโณ พงศ์ศรี (2555). การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของพื้นผิวถนนโดย Portable Skid Resistance Tester. กรุงเทพฯ, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบกรมทางหลวง.
- [5] Mayer, R. A. 1934. Skidding Characteristics of Automobile Tires on Roadway Surfaces and Their Relation to Highway Safety. Bulletin No. 120. Iowa Engineering Experiment Station. Ames, Iowa.
- [6] International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements, PIAARC Report 01.04.T, The World Road Association, Paris, 1995.
- [7] Zube, E., and Skog, J. 1968. Skid Resistance of Screenings for Seal Coats. California Department of Public Works. Division of Highways. Materials and Research Department.
- [8] Szatkowski, W. S., and Hosking, J. R. 1972. The Effect of Traffic and Aggregate on the Skidding Resistance of Bituminous Surfaces. Transport and Road Research Laboratory. Greta Britain. TRRL Report LR 504.
- [9] TEX-242-F. 2009. Test Procedure for Hamburg Wheel Tracking Test. Texas. Retrieved from ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdotinfo/cst/TMS/200-F_series/pdfs/bit242.pdf.