



รายงานฉบับที่ วพ. 171 ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง
REPORT NO. 171 ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER

ความต้านทานการสิ้นเปลืองของงานซ่อมบำรุงแบบ
Thin Bonded Patching

โดย

ชยันต์ เจริญพร
สุเชษฐ์ เอี่ยมเชย

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS,

RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND

ความต้านทานการลื่นไถลของงานซ่อมบำรุงแบบ

Thin Bonded Patching

โดย

ชยันต์ เจริญพร

สุเชษฐ์ เอี่ยมเชย

รายงานวิจัย ฉบับที่ วพ. 171

ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง

กรมทางหลวง

มกราคม 2542

ISSN 0125-8044

รายงานนี้เป็นแนวความคิดของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

คำนำ

การซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายแบบ Thin Bonded Patching เป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบหนึ่งที่กรมทางหลวงพิจารณานำมาใช้งาน การศึกษาวิจัยนี้ได้ปรับปรุงพัฒนาคุณภาพของคอนกรีต และการเชื่อมประสานกันระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ให้ดีขึ้นด้วย Latex Polymer โดย ได้มุ่งเน้นศึกษาด้านความปลอดภัยของผู้ขับขี่รถยนต์ไปพร้อมกับงานด้านวิจัยและพัฒนา

ผลจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นแนวทางหนึ่งในการลดอุบัติเหตุเนื่องจากการลื่นไถล และสามารถนำไปปรับปรุงข้อกำหนด และส่วนผสมของวัสดุที่จะนำมาใช้งานให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้บริการทางหลวง ได้รับความปลอดภัยตามมาตรฐานสากลต่อไป



(นายศรีสุข จันทรางศุ)

อธิบดีกรมทางหลวง

(ก)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
รายการรูปประกอบ	(ง)
รายการตารางประกอบ	(จ)
บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 การศึกษาวิจัย ทฤษฎี และสมมุติฐานสำคัญที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 องค์ประกอบของความต้านทานการสั่นไถลของผิวทาง	4
2.1.1 แรงยึดเกาะ	4
2.1.2 แรงฮีสเตอร์ซิส	4
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการสั่นไถล	4
2.2.1 คุณลักษณะรูปร่างของวัสดุผสมรวม	4
2.2.2 ผิวมหภาค	6
2.2.3 ผิวจุลภาค	6
2.2.4 ความสามารถในการระบายน้ำ	11
2.2.5 คุณสมบัติของยางรถ	11
2.2.6 ลักษณะของดอกยาง	11
2.2.7 อุณหภูมิ	14
2.2.8 ความเร็วของขดยาน	17
2.2.9 ปัจจัยอื่น ๆ	19
2.3 การศึกษาความต้านทานการสั่นไถลในอดีต	19
2.4 การวัดค่าความต้านทานการสั่นไถลบนผิวทาง	25
2.4.1 เครื่อง Braking Force Trailer	25
2.4.2 เครื่อง SCRIM	26
2.4.3 เครื่อง British Portable Tester (BPT)	26

(ข)

	หน้า
2.5 เครื่องมือวัดความหนาฟิล์มน้ำ	28
2.6 มาตรฐานกำหนดความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	34
3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	34
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัยในสนาม.....	38
3.3 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลในสนาม	40
3.4 การวัดค่าความหนาของฟิล์มน้ำ (WFT) ด้วยเครื่อง Water Film Depth Gage.....	41
3.5 การตรวจวัดค่าความลึกของพื้นผิวทางด้วยวิธี Sand-Patch	41
3.6 การสำรวจปริมาณการจราจร	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	45
4.1 ความสัมพันธ์ค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพ ผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียก BPN_D และ BPN_W กับอายุการใช้งานของผิวทาง (Service Life).....	45
4.2 ความสัมพันธ์ค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพ ผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียก BPN_D และ BPN_W กับปริมาณการจราจรสะสม (Accumulated Traffic Volume)	50
4.3 ความสัมพันธ์ของค่าความลึกผิวทาง (STD) กับ อายุการใช้งานของผิวทาง	53
4.4 ค่าความลึกผิวทางกับปริมาณการจราจรสะสม	53
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการลื่นไถล กับความลึกผิวทาง	56
4.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบภาคสนามระหว่าง พื้นผิวทางคอนกรีตเดิมกับพื้นผิวทางที่ซ่อมแซมด้วย คอนกรีตแข็งตัวแบบ Thin Bonded Patching	59
4.6.1 พิจารณาด้านความต้านทานการลื่นไถล	59
4.6.2 พิจารณาด้านความลึกผิวทาง	60

(ค)

	หน้า
4.6.3 พิจารณาด้านความเป็นไปได้ในการนำไปใช้	
งานซ่อมบำรุง	60
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	62
5.1 คุณสมบัติด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง	62
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป ..	62
เอกสารอ้างอิง	64

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1	องค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางล้อรถและผิวทาง (Maclean & Shergold, 1968)..... ..	5
2	ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง (Lupton, 1968)...	8
3	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การลดลงของค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC) กับ ความสึกผิวทาง (STD) ของถนนในช่องทางรถวิ่งช้าและช่องทางรถวิ่งเร็ว (Lupton, 1968)	9
4	แสดงผลของความสึกผิวทางที่มีผลต่อ % การลดลงของค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC) ที่ความเร็ว 50 และ 130 กม./ชม. (Sabey, 1968)	10
5	แสดงผลของค่าความยืดหยุ่นของคอกยาง (Tread Resilience) บนผิวทางเรียบและหยาบในสภาพผิวทางเปียก (Lupton, 1968)	12
6	ผลของลักษณะคอกยางบนผิวทางเรียบและหยาบ ในสภาพผิวทางเปียก ที่มีต่อค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC) (Lupton, 1968)	13
7	แสดงผลของความสึกคอกยาง ต่อ ค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC) บนผิวทางเปียก (Sabey, 1969)	15
8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ที่เปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ (Sabey, 1969)..... ..	16
9	แสดงผลของความเร็วยวดยานที่มีต่อ ค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่าง ๆ (Road Research Laboratory, 1963).. ..	18
10	แสดงผลของความเร็วยวดยานที่มีต่อ ค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่าง ๆ กันขณะเปียก (Road Research Latoratory, 1963)	18
11	แสดงระดับค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทางชนิดต่าง ๆ (Surface Dressing โดยใช้ Chipping ขนาด 13 มม. มีปริมาณการจราจร 2,100 คัน ต่อช่องต่อวัน) (Salt, 1977)	20
12	แสดงผลของปริมาณการจราจรต่อค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC ในฤดูร้อน) บนผิวทางมาตรฐาน MOTORWAY (Rolled Asphalt ด้วย Precoated Chippings ที่มีค่า PSV ในช่วง 58-60) (Salt, 1977).....	21
13	แสดงค่าการเพิ่มของค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทาง Trunk Road A4, COLNBROOK BY-PASS เมื่อการจราจรลดลง (Salt, 1977)	22

	หน้า
14 แสดงความสัมพันธ์ของค่า M-MV กับค่า BPTV (Bunnag & Sukhawan, 1975).....	24
15 เครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester (BPT)	27
16 เครื่องวัดความหนาของฟิล์มหน้า	29
17 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดค่าในสนามพื้นที่ทดสอบที่ 1 และบริเวณข้างเคียง	39
18 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดค่าในสนามพื้นที่ทดสอบที่ 2 และบริเวณข้างเคียง	39
19 ค่าที่ใช้ปรับแก้ความต้านทานการสั่นไคด (BPTV)เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขณะทดสอบ (Sabey, 1969)	42
20 เครื่องวัดความหนาของฟิล์มหน้าขณะใช้งานในสนาม	43
21 การตรวจวัดค่าความลึกผิวทางด้วยวิธี Sand Patching....	43
22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้งกับอายุการใช้งานของผิวทางบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง	48
23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางเปียก (ความหนาฟิล์มน้ำเฉลี่ย 0.508 มม.) กับอายุการใช้งานของผิวทางบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง	49
24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้ง กับปริมาณการจราจรสะสมบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง	51
25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางเปียก กับปริมาณการจราจรสะสมบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง	52
26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกผิวทางเฉลี่ย กับอายุการใช้งานบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง.	54
27 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความลึกของผิวทางกับปริมาณการจราจรสะสม	55
28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้ง กับค่าความลึกผิวทางเฉลี่ยบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง	57
29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางเปียก กับค่าความลึกผิวทางเฉลี่ยบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง	58

(๑)

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1	ระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง สำหรับประเภท และลักษณะของถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท (Giles, 1957) 31
2	ผลรวมของความลึกผิวมหภาคที่มีต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น (Salt & Szatkowski, 1973) 31
3	ความสัมพันธ์ของค่า PSV ขั้นต่ำของวัสดุผสมรวม, ค่าเฉลี่ยของ SRV ₅₀ ในฤดูร้อนภายใต้ปริมาณการจราจรที่แตกต่างกัน (Salt & Szatkowski, 1973) 32
4	ค่าความต้านทานการลื่นไถลขั้นต่ำของ BPT-Number และ Mu-Meter Number ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในลักษณะถนนประเภทต่าง ๆ ในกรณี ผิวทางเปียก (Wet Condition) (Bunnag & Sukhawan, 1975)..... 33
5	Sieve Analysis ของหินผสมคอนกรีตที่ใช้งานทดสอบภาคสนาม 35
6	มาตรฐาน Sieve Analysis ของหินผสมคอนกรีต 35
7	Sieve Analysis ของทรายผสมคอนกรีตที่ใช้งานทดสอบภาคสนาม..... 36
8	มาตรฐาน Sieve Analysis ของทรายผสมคอนกรีต 36
9	แสดงค่าความต้านทานการลื่นไถลเฉลี่ยบนพื้นผิวทางในพื้นที่ทดสอบ 1, 2 และพื้นที่ผิวทางคอนกรีตข้างเคียงในสภาพผิวทางแห้งและเปียกที่ อุณหภูมิ 20° C. 46
10	แสดงค่าเฉลี่ยของความลึกผิวทาง (STD) บนพื้นผิวทางในพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง 47

(ช)

ความต้านทานการลื่นไถลของงานซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching

ชยันต์ เจริญพร
ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

สุเชษฐ์ เอี่ยมเขย
ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

บทคัดย่อ

Latex จัดเป็นสาร Polymer ประเภทหนึ่งซึ่งได้ถูกนำมาใช้งานในลักษณะ Bonding Medium คุณสมบัติเด่นของ Latex ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวิจัยครั้งนี้คือ ใช้เพิ่มแรงยึดเกาะและเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตใหม่กับพื้นผิวของคอนกรีตเก่า และได้ใช้ Latex Concrete เป็นวัสดุซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายในลักษณะต่าง ๆ ที่สำรวจพบโดยทั่วไปในประเทศไทยเช่นการแตกหลุดของผิวหน้าคอนกรีต การหลุดร่อนของผิวหน้าคอนกรีต หรือการแตกแบบรอยบิ่นตื้นตามรอยต่อ

วัตถุประสงค์และขอบข่ายของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถลบนพื้นผิวทางที่ซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching สัมพันธ์กับค่าอายุการใช้งาน ค่าความลึกผิวทาง และปริมาณการจราจรสะสม โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้จากการตรวจวัดบนพื้นที่ทดสอบขนาด 3.00x5.00 เมตร จำนวน 2 แปลง ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางในสภาพแห้งและเปียก วัดด้วยเครื่อง British Portable Tester และค่าความลึกผิวทางวัดโดยวิธี Sand Patch

จากข้อมูลในการศึกษาวิจัยพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพผิวทางเปียกบนพื้นที่ทดสอบทั้ง 2 แปลง สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดทั่วไป คือ 45 จึงถือว่าปลอดภัยเนื่องจากอุบัติเหตุจากการลื่นไถล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปริมาณการจราจร และน้ำหนักบรรทุกเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการพิจารณาออกแบบผิวทางให้สามารถใช้งานได้อย่างทนทานและมีประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าเกือบทุกด้าน และเป็นปัจจัยให้ปริมาณการจราจรเพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีตมาก จึงจำเป็นต้องออกแบบก่อสร้างถนนให้สามารถรองรับความเปลี่ยนแปลงทุกด้านได้อย่างปลอดภัยและเพียงพอถนนคอนกรีตซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงกว่า มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าจึงได้รับการพิจารณานำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ซึ่งประชากรหนาแน่นและมีอัตราขยายตัวสูงเช่นเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ลักษณะโครงสร้างถนนคอนกรีตซึ่งใช้งานอยู่ในถนนสายหลักของประเทศไทยมีอยู่ 5 แบบ คือ แบบที่ 1 พื้นผิวทาง PCC-ชั้นรองพื้นทางแบบ Soil Aggregates แบบที่ 2 พื้นผิวทาง PCC-Sand Cushion -รองพื้นทางแบบ Lime Stabilized Clay แบบที่ 3 พื้นผิวทาง PCC-Sand Cushion-รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates แบบที่ 4 พื้นผิวทาง PCC-Crushed Rock Base-รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates และแบบที่ 5 พื้นผิวทาง PCC-Cement Modified Crushed Rock Base-รองพื้นทางแบบ Soil Aggregates ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตก่อนปี พ.ศ. 2535 มีความหนาประมาณ 23 ซม. ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมาใช้ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต 25 ซม. เนื่องจากพบว่าถนนทุกหนทุกแห่งเกิดใช้เส้นทางการจราจรบนถนนสายหลักเพิ่มมากขึ้น

ปกติถนนคอนกรีตจะออกแบบให้มีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 20 ปี หากมีการบำรุงรักษาที่ดีจะสามารถใช้งานได้นานถึง 40 ปี ลักษณะความเสียหายของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตเกิดขึ้นได้หลายแบบ คือ ความเสียหายระหว่างการก่อสร้างเช่นการเกิด Shrinkage Crack/Hair Crack เป็นต้น ความเสียหายภายหลังการก่อสร้างเช่นการเกิด Pumping การเกิด Transverse Crack เป็นต้น และความเสียหาย เนื่องจากปัจจัยภายนอกเช่นปัญหาทางด้าน Geotechnical Engineering เนื่องจากมีการก่อสร้างถนนผ่าน Swamp Area เป็นต้น

การซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตที่เกิดความชำรุดเสียหาย พิจารณาจากลักษณะ และสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นแต่ละแบบ วิธีการที่นิยมใช้ซ่อมบำรุงกันโดยทั่วไป คือ ซ่อมบำรุงรอยแตก

ตามยาวและรอยแตกตามขวางด้วย Epoxy ซ่อมบำรุงรอยบิ่นและหลุดร่อนของพื้นผิวคอนกรีตแบบ Thin Bonded Patching และการซ่อมบำรุงแผ่นพื้นคอนกรีตที่แตกเป็นเสี้ยนแบบ Full Depth Repair เป็นต้น การซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตแต่ละแบบไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ยานพาหนะมากนัก เนื่องจากพื้นที่ทำการซ่อมบำรุงไม่กว้างขวางและส่วนมากได้ใช้วัสดุพื้นฐาน คือ คอนกรีตเช่นเดียวกับแผ่นพื้นคอนกรีตเดิม จากการสำรวจในภาคสนามพบว่างานซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตที่หลุดร่อน มีพื้นที่ซึ่งต้องทำการซ่อมบำรุงกว้างขวางโดยเฉพาะพื้นผิวทางคอนกรีตที่ใช้กรวดเป็นวัสดุมวลรวมเม็ดหยาบ และวัสดุที่ใช้ทำการซ่อมบำรุงมีข้อกำหนดที่แตกต่างไปจาก คอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป จึงมีผลกระทบต่อค่อนข้างมากในด้านความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ยวดยาน ดังนั้น หากได้ทำการศึกษาวิจัยค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางคอนกรีตซึ่งได้รับการซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching โดยใช้ส่วนผสมพิเศษของคอนกรีตแข็งตัวเร็วไว้ในเบื้องต้นก็จะเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกวิธีการบำรุงรักษาพื้นผิวทางคอนกรีตที่เกิดความชำรุดเสียหายด้วยวิธีการ Thin Bonded Patching ได้เหมาะสมยิ่งขึ้น ที่สำคัญ คือ เกิดความปลอดภัยแก่ ผู้ขับขี่ยวดยาน และสามารถเปิดการคมนาคมภายหลังการซ่อมบำรุงได้ในระยะเวลาอันสั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อ

1.2.1 ศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value) ของงานซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตแบบ Thin Bonded Patching

1.2.2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value) ของพื้นผิวทางคอนกรีตที่ได้นำคอนกรีตแข็งตัวเร็วมาใช้ซ่อมบำรุงทางแบบ Thin Bonded Patching กับพื้นผิวทางคอนกรีตเดิม

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีต ให้ปลอดภัยจากการลื่นไถลบนถนน ประหยัด สวยงาม และสามารถใช้งานได้ในเวลาอันสั้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ จะนำวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานซ่อมบำรุงพื้นผิวการจราจรคอนกรีตแบบ Thin Bonded Patching ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 : ทราจ : หิน

เท่ากับ 1 : 2 : 2 โดยน้ำหนัก น้ำสะอาด 162 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร Superplasticizer 4.5 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร Bonding Agent 25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามรายละเอียดวัสดุที่ใช้ในการทดลองบทที่ 3 นำส่วนผสมดังกล่าวนี้ ไปซ่อมแซมพื้นผิวการจราจรคอนกรีต ในสนามตามสภาพการใช้งานจริงทุกประการ หลังจากนั้นทำการตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพแห้งและสภาพเปียกด้วยเครื่องมือ British Portable Skid-Resistance Tester วัดค่าความลึกของผิวทางด้วยวิธี Sand Patch Method และวัดค่าความลึกของฟิล์มน้ำด้วยเครื่อง Water Film Depth Gage บนพื้นผิวทางที่ซ่อมด้วย Thin Bonded Patching เปรียบเทียบกับกับพื้นผิวจราจรคอนกรีตเดิมที่อายุการใช้งานต่าง ๆ กัน นำข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

บทที่ 2

การศึกษาวิจัย ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

องค์ประกอบที่ก่อให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของพื้นผิวทาง ทั้งพื้นผิวทางแบบคอนกรีต และพื้นผิวทางแบบลาดยางมีอยู่ 2 องค์ประกอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1

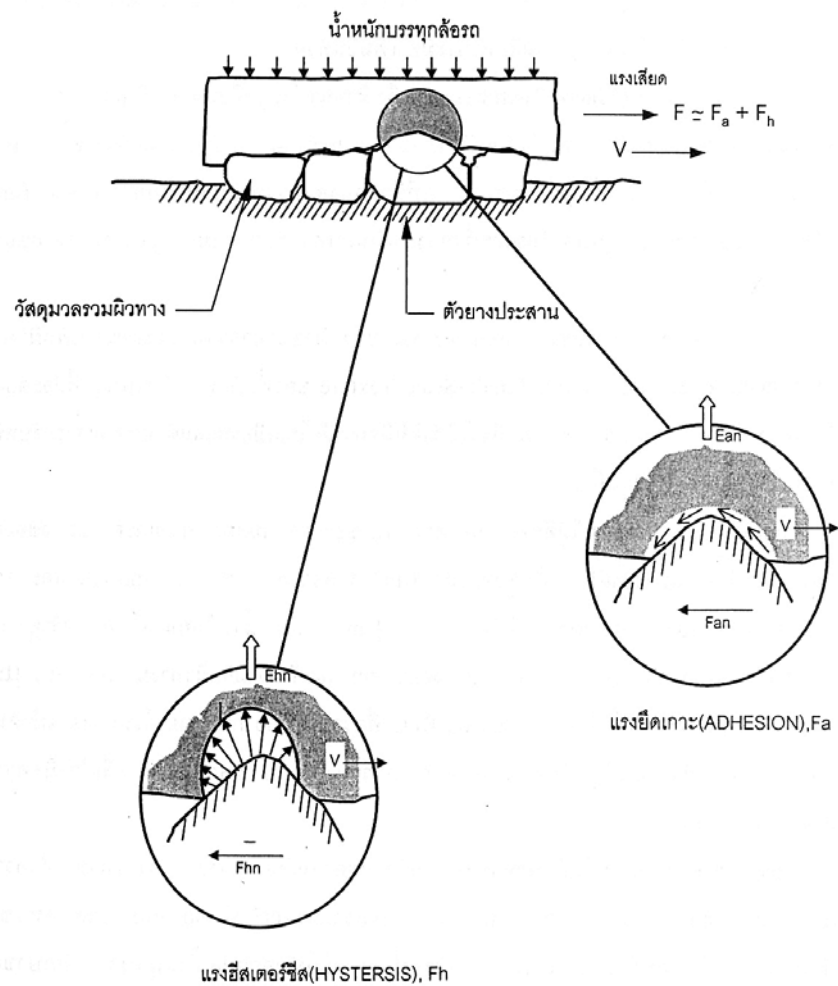
2.1.1 แรงยึดเกาะ (Adhesion Force) ในขณะที่หน้าสัมผัสของล้อยางยานพาหนะ และพื้นผิวทางเกิดการสัมผัสกัน ตลอดแนวสัมผัสนั้นจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นในลักษณะของแรงเฉือน ค่าของแรงเฉือนนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวทาง ชนิดและลักษณะของดอกยาง พื้นสัมผัส แรงยึดเกาะนี้มีค่าสูงเมื่อผิวทางแห้ง และจะลดค่าลงเมื่อมีสิ่งสกปรกหรือของเหลวมาปิดกั้นระหว่างผิวสัมผัส

2.1.2 แรงฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Force) เป็นแรงที่เกิดจากการดูดกลืนพลังงานเมื่อน้ำยางยุบตัวลงขณะที่รถแล่นไปบนผิวทาง มีค่าแปรผันตรงกับค่าความยุบตัวของยาง ไม่ขึ้นอยู่กับของเหลวที่ปิดกั้นระหว่างผิวสัมผัสของยางกับพื้นผิวทาง

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Parameters)

การควบคุมยานพาหนะให้สามารถแล่นอยู่ในทิศทางตามที่ต้องการบนเส้นทางจราจรจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง สิ่งสำคัญอย่างยิ่ง คือ แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทางและผิวหน้าสัมผัสยางของยานพาหนะ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยรองอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งควรนำมาพิจารณาในการออกแบบควบคู่กันไปดังนี้ คือ

2.2.1 คุณลักษณะและรูปร่างของวัสดุผิวรวม (Aggregate Characteristics and Surface Texture) วัสดุที่มีความแข็ง มีเหลี่ยมมุม (Angular) ทนทานต่อการขัดสีของดอกยางสามารถเจาะผ่านฟิล์มของของเหลวที่กั้นอยู่ระหว่างผิวสัมผัสหน้ายางและพื้นผิวทางได้ดีกว่า ทำให้ค่าแรงยึดเกาะของยางและพื้นผิวทางมีค่าสูงกว่าวัสดุที่มีผิวเรียบหรือผิวมน (Rounded Aggregates) เป็นผลให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงตามไปด้วย



รูปที่ 1 องค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางล้อรถและผิวทาง (Maclean & Shergold, 1968)

Hosking (1974) ได้ทำการศึกษาวาสตุที่มีเนื้อพรุน (Porous Aggregates) พบว่าความต้านทานการสิ้นไถลจะเป็นสัดส่วนกับความพรุนและมีค่าสูงกว่าวาสตุที่มีเนื้อแน่น และยังได้ศึกษาการนำดินมอสไซท์ที่มีลูมิงน้ำหนักมาทำการเผา พบว่าค่าความพรุนของเนื้อดินภายหลังการเผาเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานการสิ้นไถลดีขึ้น แต่ความสึกหรอจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

2.2.2 ผิวมหภาค (Macro Texture) หมายถึง ผิวขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาในลักษณะ Large-Scale Texture ของขนาด รูปร่าง และลักษณะผิววาสตุรวมซึ่งเป็นเครื่องบ่งบอกลักษณะความหยาบหรือละเอียดของพื้นผิวทางโดยทั่วไป ผิวมหภาคที่ดีจะต้องสามารถระบายน้ำออกจากหน้าสัมผัสยางรถได้ดี และช่วยให้ยางรถยึดตัวในขณะที่รถวิ่งบนพื้นผิวทางด้วยความเร็วสูงเพื่อทำให้เกิดแรงฮิสเตอร์ซิสเพิ่มขึ้น



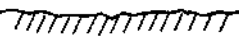
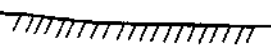
2.2.3 ผิวจุลภาค (Micro Texture) หมายถึง ผิวของมวลรวมแต่ละก้อนบนพื้นผิวทาง เป็นการพิจารณาลักษณะเฉพาะก้อนแบบ Small-Scale Texture ของพื้นผิวทาง ผิวจุลภาคที่ดีจะต้องมีความแข็ง ความขรุขระ ความหยาบเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสิ้นไถลเมื่อรถแล่นด้วยความเร็วระดับหนึ่งที่ได้ออกแบบไว้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2

Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าความสึกผิวทางและการลดลงของค่าความต้านทานการสิ้นไถลของพื้นผิวทางในรูปของค่า BFC ระหว่างความเร็ว 50 กม./ชม. และ 130 กม./ชม. ตามรูปที่ 3 พบว่าความสึกผิวทางที่น้อยกว่า 250 μm . (0.010 นิ้ว) ในถนนที่ใช้ความเร็วสูง นั้น ค่า BFC ที่ความเร็วจาก 50-130 กม./ชม. จะลดลงอย่างมาก และถ้าความสึกผิวทางมากกว่า 650 μm . (0.025 นิ้ว) ค่า BFC จะลดลงเฉลี่ย 25% ของค่า BFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม. ดังนั้นจึงอาจกำหนดค่าความสึกผิวทางไว้อย่างน้อยที่สุดสำหรับถนนที่ใช้ความเร็วสูงเท่ากับ 250 μm . เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่รถยนต์

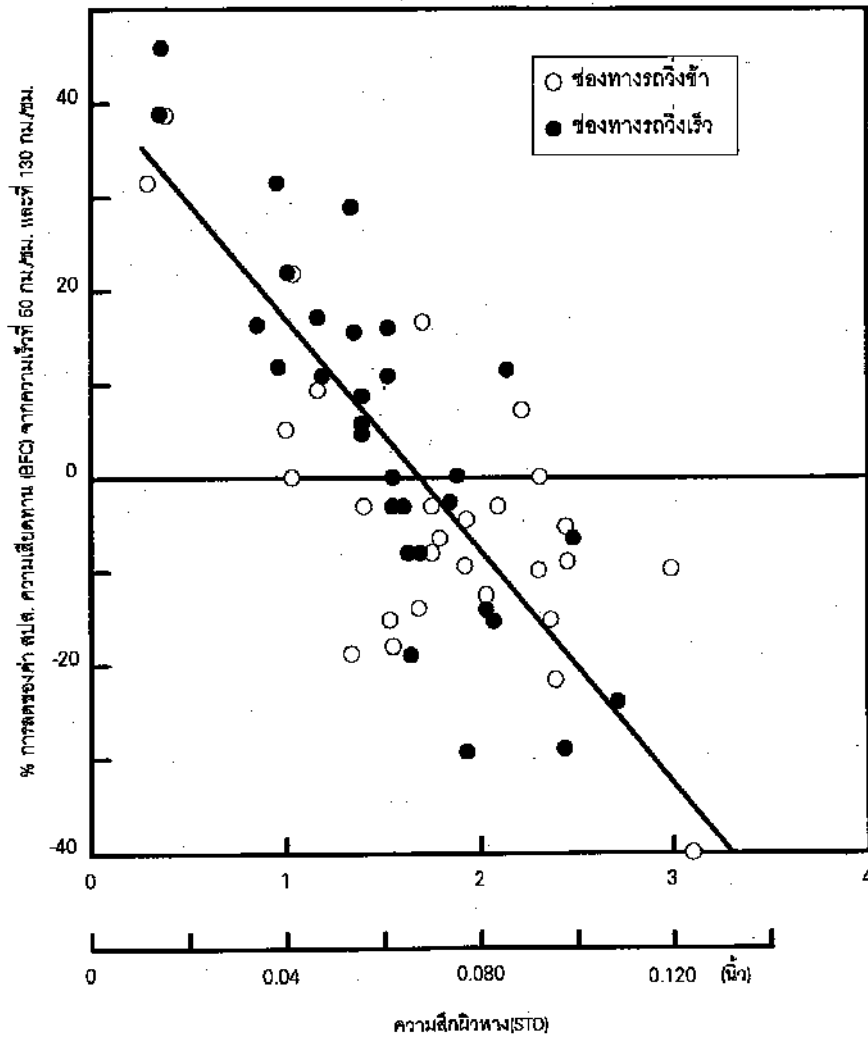
Sabey, B.E. (1966) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ความสึกผิวทางและการลดลงของค่าความต้านทานการสิ้นไถลของพื้นผิวทางในรูปของค่า BFC ระหว่างความเร็วที่ 50 และ 130 กม./ชม. ของพื้นผิวทางคอนกรีตและพื้นผิวทางลาดยางตามรูปที่ 4 ซึ่งให้ผลสรุปสนับสนุนผลการศึกษาของ Lupton

ตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องกับค่าความต้านทานการสิ้นไถลของพื้นผิวทางลาดยางคืออัตราส่วนของวาสตุที่ใช้ทำพื้นผิวทาง (Mix Proportions) คุณสมบัติของวาสตุประสานบิทูมินัส (Bituminous Binder) สำหรับพื้นผิวทางคอนกรีตคุณสมบัติของซีเมนต์ที่ใช้ งาน วาสตุมวลรวมหยาบ วาสตุมวลรวมละเอียด และอัตราส่วนผสมล้วนมีผลต่อค่าความต้านทานการสิ้นไถลทั้งสิ้น ตลอดจนวัสดุอื่นที่อยู่

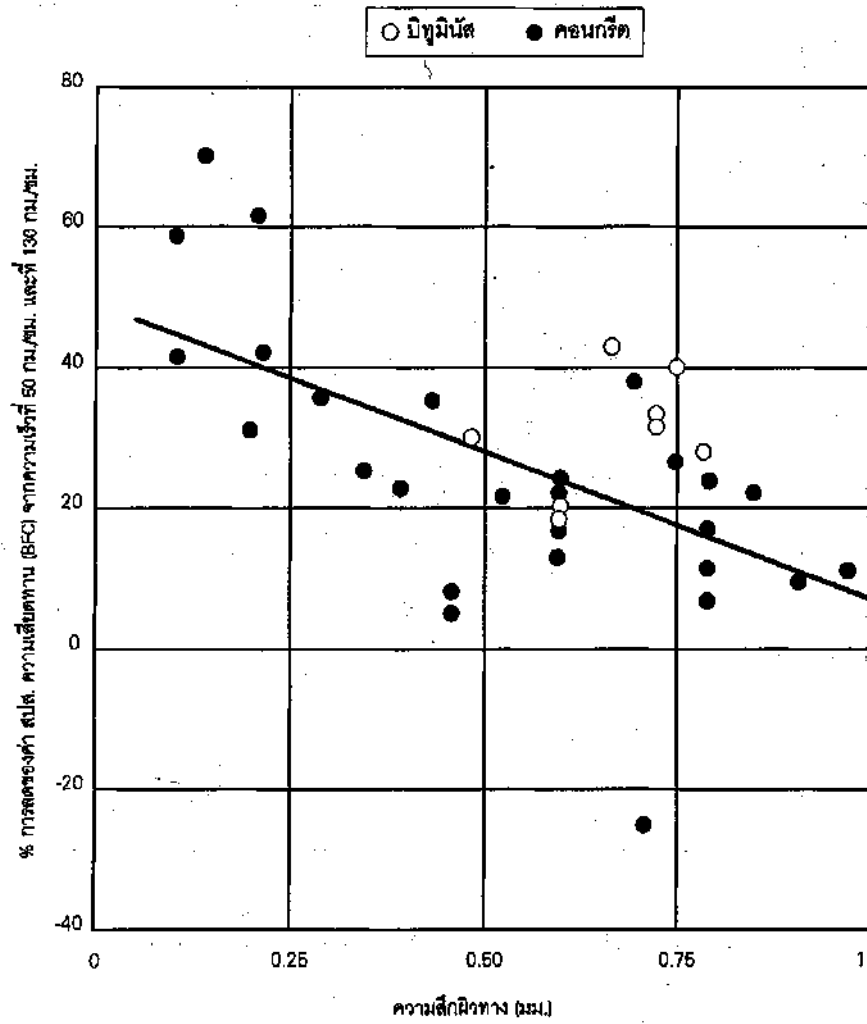
บนพื้นผิวทาง เช่น ฝุ่นละออง เม็ดดิน เม็ดกรวด หิน ทราย คราบน้ำมันและของเหลวที่สะสม
อยู่บนพื้นผิวทางจนเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม (Traffic Film) โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพเปียกจะมีผล
ทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลงอย่างมาก

	ผิว	ขนาดของลักษณะผิว	
		มหภาค (ขนาดใหญ่)	จุลภาค (ขนาดเล็ก)
1		ขรุขระ	หยาบ
2		ขรุขระ	เนียน
3		เรียบ	หยาบ
4		เรียบ	เนียน

รูปที่ 2 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง (Lupton, 1968)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การลดลงของค่า สปต. ความเสียหาย (BFC) กับความสึกนินาพวง (STD) ของถนนในช่องทางรถวิ่งช้าและช่องทางรถวิ่งเร็ว (Lupton, 1968)



รูปที่ 4 แสดงผลของความลึกผิวทางที่มีต่อการลดลงของค่า สปส. ความเสียหาย (BFC) ที่ความเร็ว 50 และ 130 กม./ชม. (Sabey, 1966)

2.2.4 ความสามารถในการระบายน้ำของผิวทาง (Surface Drainage)

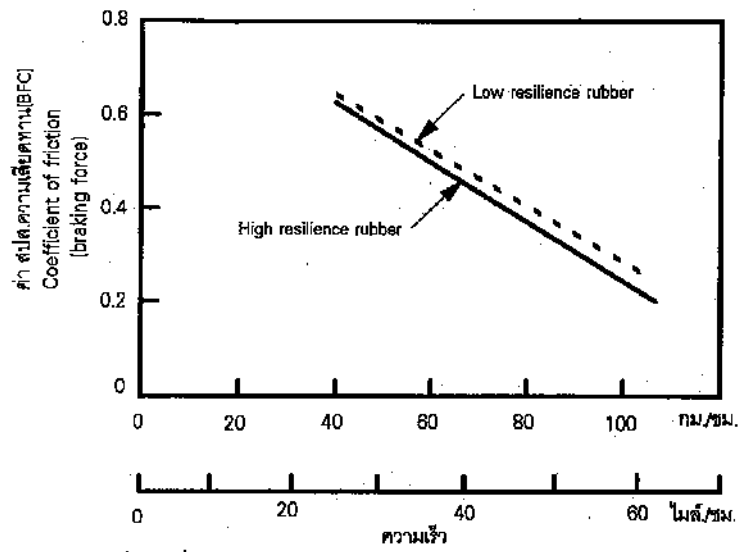
Csathy, T.I. (1968) พบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางที่เปียกจะลดลง และแปรผกผันกับความหนาของฟิล์มน้ำบนพื้นผิวทาง ดังนั้นมวลรวมที่มีผิวมหภาคและจุลภาคที่ดี มีความพรุนสูง จะสามารถดูดซับน้ำ หรือระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสของหน้ายางและพื้นผิวทางได้ดีและรวดเร็วกว่า ทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้น

2.2.5 คุณสมบัติของยางรถ (Rubber Properties) ยางรถมีคุณสมบัติสัมพันธ์กับพื้นผิวทางแบบฮิสเตอร์ซิส ดังนั้นยางที่มีคุณสมบัติฮิสเตอร์ซิสสูงจะมีผลทำให้ค่าความฝืดของผิวทางมีค่ามากขึ้น โดยเฉพาะบนพื้นผิวทางที่หยาบซึ่งมีการยุบตัวของหน้ายางมาก จะทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงขึ้นถึง 20% ความแข็งของดอกยาง จะมีผลในกรณีพื้นผิวทางเรียบหรือผิวทางที่มีน้ำแข็งปกคลุม โดยยางที่มีดอกยางแข็งจะทำให้พื้นผิวสัมผัสกับผิวทางมีค่าน้อย ความกดดันที่ผิวสัมผัสสูงการระบายน้ำเร็วขึ้นเป็นผลให้ความฝืดของผิวทางเพิ่มขึ้น

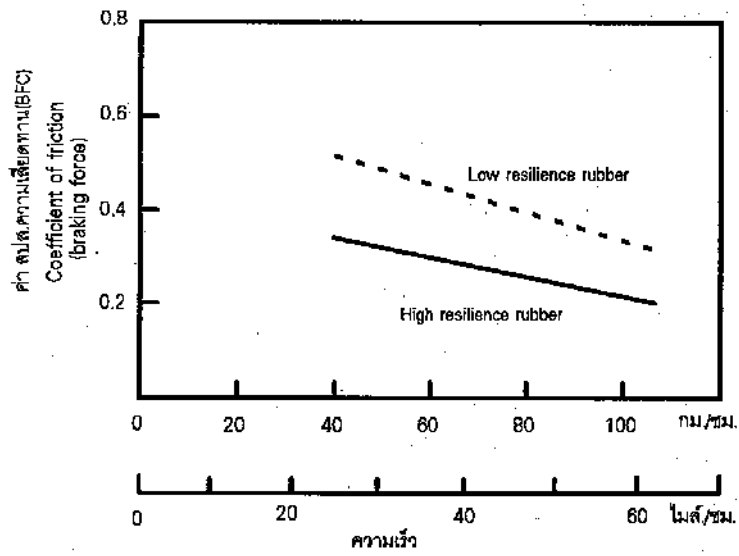
Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาคุณสมบัติฮิสเตอร์ซิสของยางรถต่อค่า สปส. ความเสียหายของพื้นผิวทาง (BFC) บนผิวทางเรียบและหยาบที่ความเร็วต่าง ๆ กัน ในแต่ละสภาพความเปียกของผิวทางตามรูปที่ 5 พบว่าบนพื้นผิวทางหยาบยางรถที่มีค่าฮิสเตอร์ซิสสูง (ค่าความยืดหยุ่นต่ำ) ค่า BFC จะมีค่าสูงกว่ายางรถที่มีค่าฮิสเตอร์ซิสต่ำ ส่วนบนผิวทางเรียบคุณสมบัติทางด้านฮิสเตอร์ซิสจะมีผลต่อค่า BFC น้อย

2.2.6 ลักษณะของดอกยาง (Tread Pattern) ลักษณะของดอกยางที่ดีจะต้องมีแนวสันตามเส้นรอบวง (Circumferential Ribs) และมีร่องตามแนวขวาง (Transverse Slots) ทำให้เกิดความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้นมากกว่ายางที่ไม่มีดอกยาง โดยเฉพาะเมื่อพื้นผิวทางเปียก เนื่องจากดอกยางจะช่วยระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสได้เร็วกว่านั่นเอง ยางที่มีดอกยางดีทำให้เกิดการลื่นไถลน้อยลงเมื่อขับขี่ด้วยความเร็วสูงและผู้ขับขี่จะได้รับความปลอดภัยสูงขึ้น

Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาผลของลักษณะดอกยาง (Tread Pattern) ที่มีต่อค่า สปส. ความเสียหายของผิวทาง (BFC) เรียบและหยาบ เมื่อความเร็วต่าง ๆ กัน ในสภาพผิวทางเปียกตามรูปที่ 6 พบว่าในสภาพความเร็วต่ำ ลักษณะของดอกยางจะมีผลไม่มากนักต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางขณะที่เปียกทั้งพื้นผิวทางเรียบและหยาบ แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวมหภาคและพื้นผิวจุลภาคของพื้นผิวทางมากกว่าอย่างอื่น ในกรณีความเร็วสูงบนพื้นผิวทางเรียบดอกยางรถจะมีส่วนสำคัญต่อค่า BFC มากกว่าผิวทางหยาบ ยางรถที่ไม่มีดอกยางค่า BFC จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วสูงขึ้น ส่วนยางที่มีดอกยางค่า BFC จะค่อย ๆ ลดลงด้วยอัตราที่คงที่

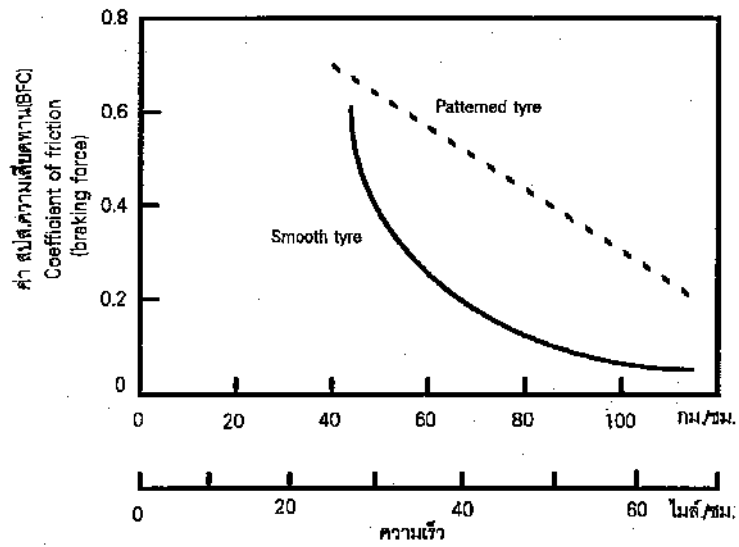


a) บนผิวทางเปียก รูป C

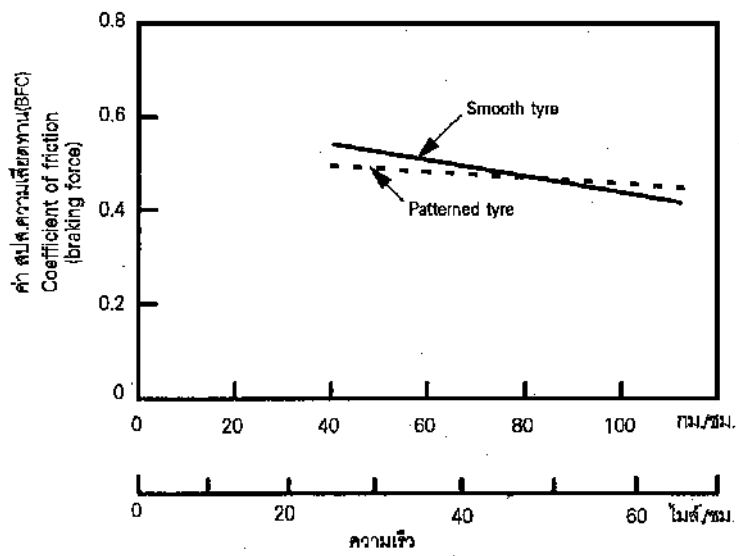


b) บนผิวทางเรียบ รูป A

รูปที่ 5 แสดงผลของค่าความยืดหยุ่นของดอกยาง (Tread Resilience) บนผิวทางเรียบและเปียก ในสภาพผิวทางเปียก (Lupton, 1968)



a) บนผิวทางเรียบ รูป C



b) บนผิวทางเรียบ รูป A

รูปที่ 6 ผลของลักษณะดอกยางบนผิวทางเรียบและหยาบในสภาพผิวทางเปียกที่มีต่อค่า สบ. ความเสียดทาน (BFC) (Lupton, 1968)

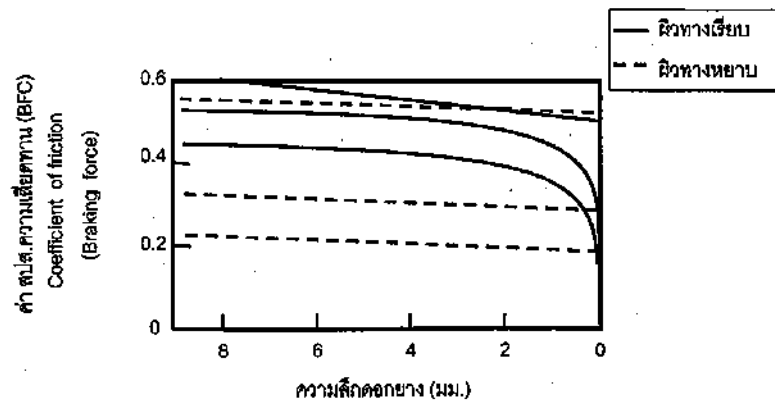
Maycock, G. (1967) ได้ทดลองเกี่ยวกับลักษณะของดอกยางรถที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล พบว่าความกว้างของร่องดอกยาง (Grooves) จะมีผลต่อการระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสได้มากกว่าจำนวนของสัน (Ribs) ขณะผิวทางเปียก ทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มสูงขึ้น

Sabey, B.E. (1969) พบว่าในขณะที่ผิวทางเปียกแรงดึงดูดระหว่างผิวทางและยางรถยนต์จะลดลงเมื่อค่าความลึกของดอกยางลดลง ความลึกของดอกยางที่ลดลงนี้เนื่องจากการสึกหรอตามการใช้งานปกติซึ่งแสดงในรูปที่ 7 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่า BFC และความลึกของดอกยาง (Tread Depth) ที่ความเร็วต่าง ๆ กัน คือ 50, 80 และ 130 กม./ชม. บนผิวทางหยาบ พบว่าที่ความเร็วต่าง ๆ กัน ค่าของ BFC จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แม้ว่าความลึกของดอกยางจะน้อยก็ตาม เนื่องจากความหยาบของผิวทางมีมากเพียงพอที่จะระบายน้ำออกไปจากผิวสัมผัสได้ ส่วนบนผิวทางที่เรียบมาก หรือค่าของความลึกพื้นผิวทาง มีค่าประมาณ 125 μm . ที่ค่าความเร็วต่ำ (50-80 กม./ชม.) ค่า BFC จะลดลงอย่างมากเมื่อดอกยางมีความลึกน้อยกว่า 1-2 มม. บนผิวทางเรียบที่ความเร็วสูง (≤ 130 กม./ชม.) แม้ว่าจะใช้ยางใหม่ที่มีความลึกของดอกยางมากก็ไม่ได้ทำให้ค่า BFC เพิ่มมากกว่าเมื่อใช้ยางที่มีความลึกของดอกยางน้อย แสดงว่าดอกยางไม่สามารถชดเชยความหยาบของพื้นผิวทางได้เลยที่ค่าความเร็วสูง ๆ บนผิวทางเรียบ

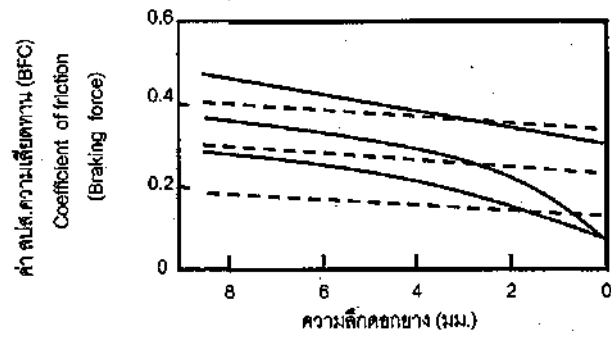
2.2.7 อุณหภูมิ (Temperature) ผลจากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวทางยางรถเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจะลดลงประมาณ 0.02 เมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นทุก 10°F เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 1000°F จะทำให้พื้นผิวทางลาดยางเกิดการเยิ้มเหลว (Melting) ของยางและทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลง

Giles et al, C.G. (1964) พบว่าในฤดูหนาวค่าความต้านทานการลื่นไถลจะสูงกว่าในฤดูร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมีจุลภาคของผิวทางซึ่งเกิดจากอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และฝุ่นที่ปกคลุมบนพื้นผิวทาง ฝุ่นละเอียดซึ่งมีมากในฤดูร้อนทำให้เกิดการขัดสีวัสดุใช้ทำพื้นผิวทางทำให้มีจุลภาคลื่นขึ้น เมื่อฝนตกฝุ่นนี้จะหายไปพื้นผิวทางจะหยาบทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มสูงขึ้น

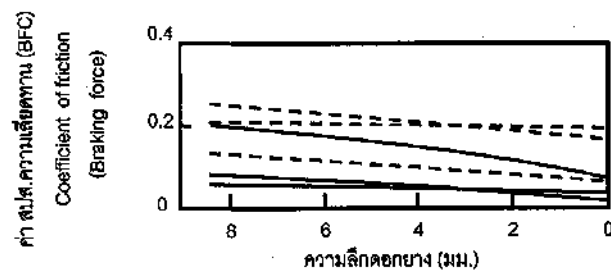
Hoskin และ Woodford (1976) สรุปผลการทดสอบเกี่ยวกับอุณหภูมิและค่าความต้านทานการลื่นไถลว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ค่า SFC จะลดลงประมาณ 0.003 หน่วย ต่อมา Sabey, B.E. ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางที่วัดด้วย BPT บนพื้นผิวทางคอนกรีตและพื้นผิวทางลาดยาง ในช่วงอุณหภูมิ: $7-35^{\circ}\text{C}$ พบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลจาก BPT (SRV) จะลดลง 0.26 หน่วย ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1°C (มีค่าประมาณ 0.003 หน่วย ของ SFC)



a) 50 กม./ชม. (30 ไมล์/ชม.)

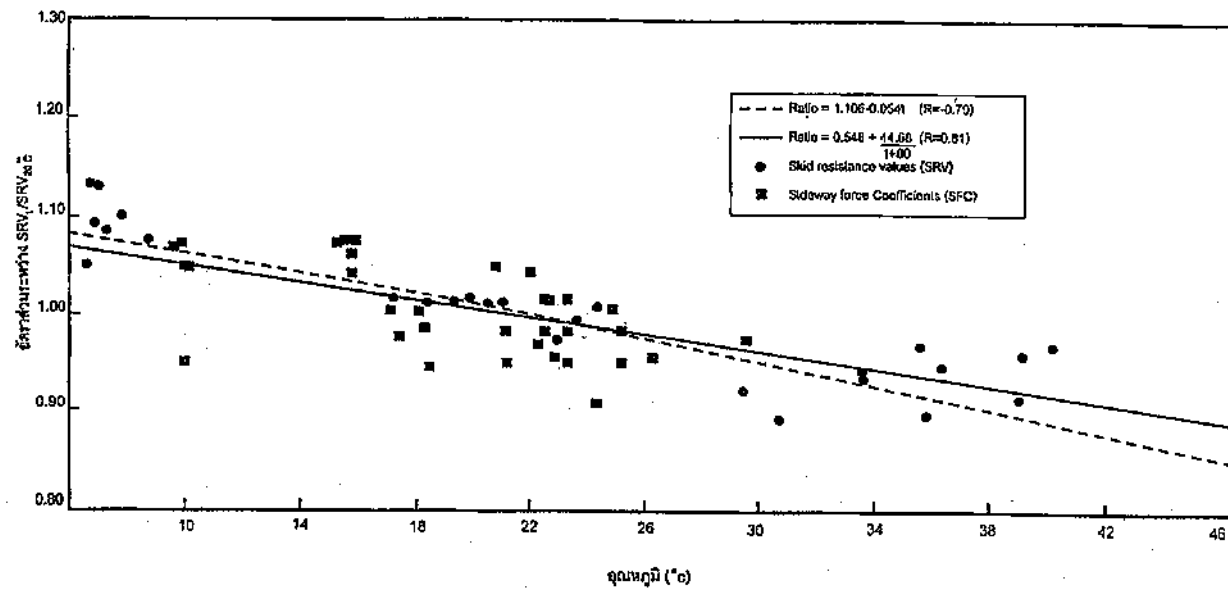


b) 80 กม./ชม. (50 ไมล์/ชม.)



c) 130 กม./ชม. (80 ไมล์/ชม.)

รูปที่ 7 แสดงผลของความลึกดอกยางกับค่า สป. ความเสียดทาน (BFC) บนผิวทางเปียก (Sabey, 1969)



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางที่เปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิ (Sabey, 1969)

และยังได้แสดงความสัมพันธ์ของค่า SFC ที่อุณหภูมิใด ๆ (SFC) กับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (t) ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 8

2.2.8 ความเร็วของยานยนต์ (Vehicle Speed) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าความต้านทานการเคลื่อนที่ไกลจะแปรผกผันกับค่าความเร็วของยานยนต์ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพื้นผิวทางอยู่ในสภาพเปียก

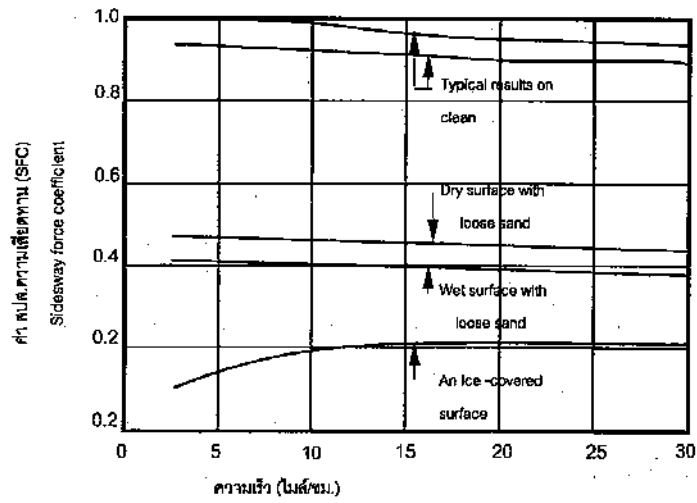
Home (1968) ได้ศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วของยานยนต์เพิ่มสูงขึ้นในสภาพพื้นผิวทางเปียก น้ำที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของหน้ายางและพื้นผิวทางไม่สามารถระบายออกไปได้ทันจะเกิดแรงดันระหว่างพื้นผิวทางและหน้ายางขึ้น (Hydrodynamic Lift) และเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความเร็วและความสามารถที่จะระบายน้ำออกจากผิวหน้ายางได้ เมื่อแรงดันนี้ถึงระดับเดียวกันกับแรงดันที่ผิวหน้ายางกระทำกับผิวทาง ทำให้ยานยนต์เคลื่อนที่ไปบนผิวทางลื่นซึ่งไม่สามารถควบคุมทิศทางได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Hydroplaning และเรียกค่าความเร็วที่พอดีเกิดปรากฏการณ์นี้ว่า Hydroplaning Speed พบว่าค่าความสัมพันธ์ตามปรากฏการณ์นี้เป็นดังนี้

$$V_h = K \sqrt{p}$$

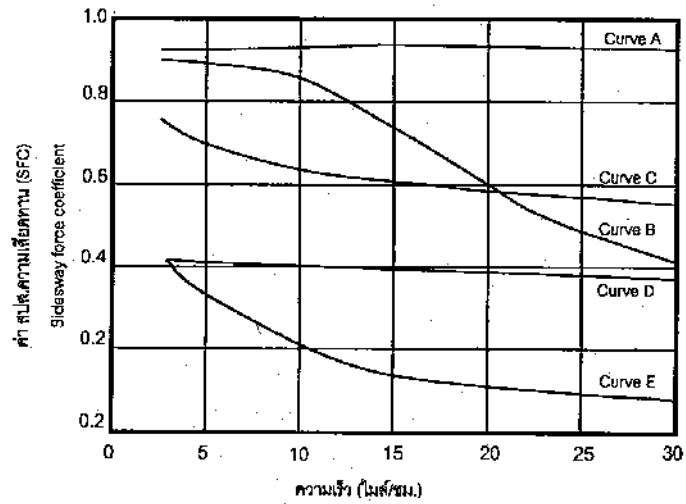
- V_h = ความเร็วของยานยนต์ขณะเกิด Hydroplaning หน่วยเป็น ไมล์/ชั่วโมง
 K = ค่าคงตัวที่ได้จากการสังเกตทดลองมีค่าประมาณ 10
 p = ความดันของยางรถ (Inflation Pressure) หน่วยเป็น ปอนด์/ตารางนิ้ว

จากค่าความสัมพันธ์นี้ สามารถนำมาคำนวณความเร็วรถเพื่อจำกัดค่าความเร็วรถขณะผิวทางเปียกร่วมกันกับการออกแบบผิวจราจรให้หยาบระบายน้ำได้ดีเลือกใช้ยางที่ตีมีดอกยางลึกก็จะสามารถลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ Hydroplaning

Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาผลของความเร็วที่มีต่อค่า BFC ในสภาพพื้นผิวทางเปียกบนผิวทางต่าง ๆ กัน 4 ประเภท พบว่าผิวทางเรียบที่มีผิวมหาคน้อยค่า BFC จะลดลงอย่างมากเมื่อค่าความเร็วของยานยนต์มากขึ้น ส่วนบนผิวทางหยาบค่า BFC จะลดลงไม่มากนัก แสดงว่าผลของความเร็วต่อการต้านทานการเคลื่อนที่ไกลในเทอมของ BFC จะขึ้นอยู่กับสภาพและลักษณะของผิวทางเป็นสำคัญ ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Research on Road Safety ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงผลของความเร็วยวดยานที่มีต่อ ส.ป.ค. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่าง ๆ (Road Research Laboratory, 1963)



รูปที่ 10 แสดงผลของความเร็วยวดยานที่มีต่อ ส.ป.ค. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่าง ๆ กันขณะเบี่ยง
 กราฟ A สภาพผิวทางดีมาก
 กราฟ B และ E สภาพผิวทางค่อนข้างเรียบและเรียบมาก ตามลำดับ
 กราฟ C และ D สภาพผิวทางหยาบมากและค่อนข้างหยาบ ตามลำดับ (Road Research Laboratory, 1963)

2.2.9 ปัจจัยอื่น ๆ ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล คือ อายุการใช้งานของผิวทาง ค่า PSV ของวัสดุมวลรวมที่ใช้ทำผิวทางและปริมาณการจราจรบนผิวทาง

Salt, G.F. (1977) ได้สรุปและรวบรวมผลการทดลองที่สำคัญพบว่า

บนผิวทางที่มีปริมาณการจราจรเท่ากัน ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางจะลดลงเมื่ออายุการใช้งานของผิวทางเพิ่มขึ้น โดยอัตราการลดลงจะสูงในช่วงแรกของการใช้งานจากนั้นอัตราการลดลงจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งค่าที่ลดลงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า PSV ของวัสดุที่ใช้ตั้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 11

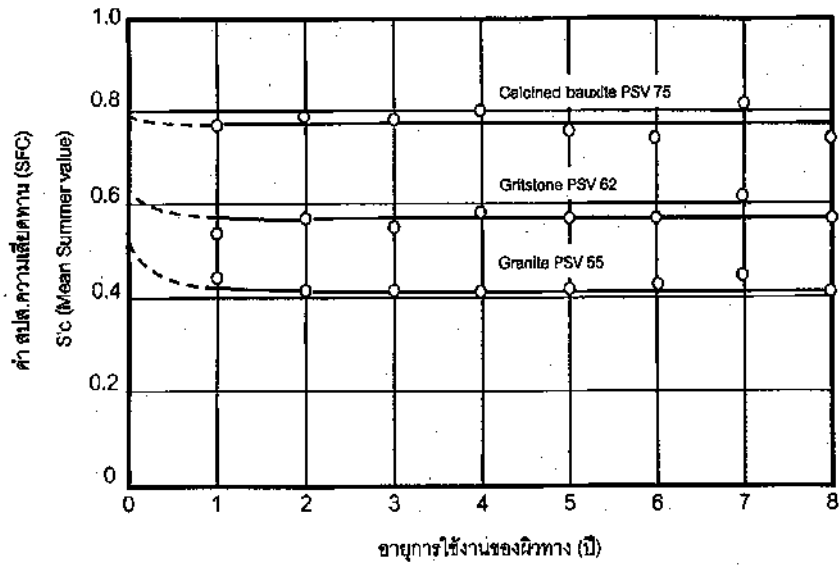
บนผิวทางที่ใช้วัสดุมวลรวมในระดับเดียวกัน คือ 58 ถึง 60 หน่วยดังรูปที่ 12 พบว่าผิวทางที่มีจราจรมากจะทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลง แต่พบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการจราจรลดลงดังแสดงในรูปที่ 13

2.3 การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลในอิตาลี

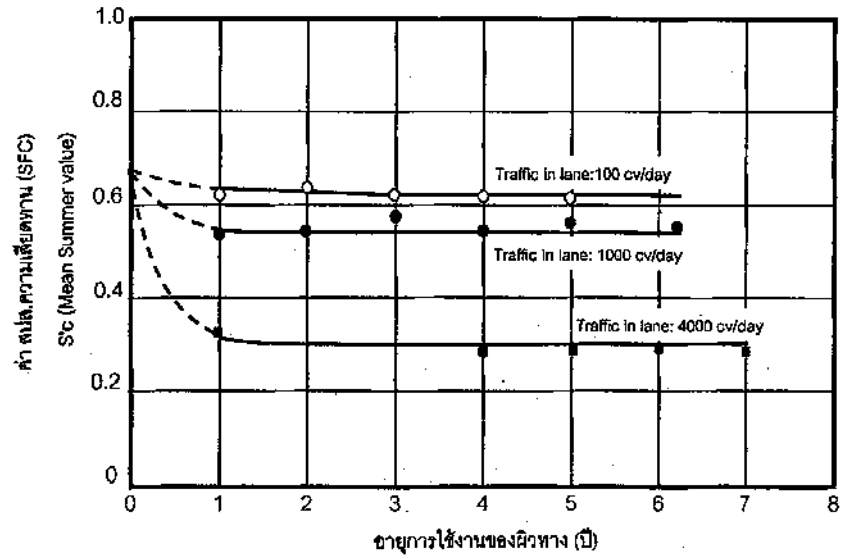
Macleam & Sheargold (1968) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV ที่วัดในห้องทดลองด้วยเครื่อง British Portable Tester และค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value, SRV) ในสนาม โดยการฝังหินแบบต่าง ๆ ในถนนที่มีปริมาณการจราจรต่าง ๆ กัน พบว่าค่าทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันเมื่อปริมาณการจราจรหนัก 60,000 คัน/วัน และพบว่าสภาพหินตัวอย่างที่ถูกขัดสีมากที่สุดในห้องทดลองจะมีสภาพเหมือนกับผิวทางจริงเมื่อเวลาผ่านไป คือ หินตัวอย่างบนเส้นทางตรงจะมีสภาพถูกขัดสีมากเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน แต่บนทางโค้งตัวอย่างที่ทำการทดสอบจะถึงสภาพเดียวกันในระยะเวลาเพียง 14 วันเท่านั้น

Giles, et al (1964) ได้ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดด้วยเครื่อง British Portable Tester กับเครื่องมืออื่นในสนามบนพื้นผิวทางจริงพบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือมีความสัมพันธ์กันดีกับเครื่องมือที่ใช้ยางมีดอกยางที่ความเร็ว 30 ไมล์/ชม. ส่วนยางที่ไม่มีดอกยาง ค่าที่วัดได้จะสัมพันธ์กันดีก็ต่อเมื่อวัดบนพื้นผิวทางที่หยาบ โดยค่าเฉลี่ยของ British Portable Tester จะมีค่าสูงกว่าเครื่องมืออื่นประมาณ 5 หน่วย

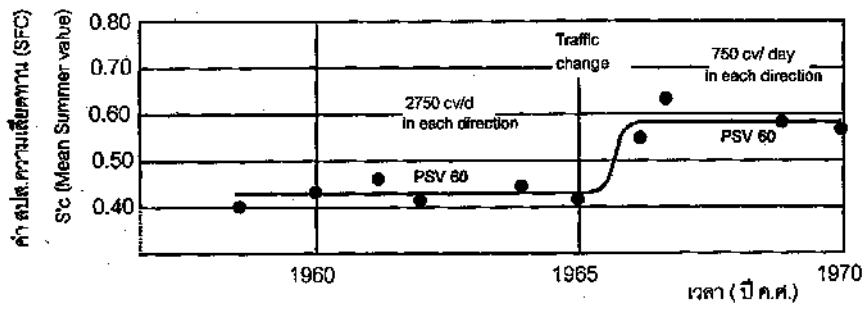
Bunnag, S. & Sukhawan (1975) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผลและแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางระหว่างเครื่อง British Portable Tester กับเครื่องมือมิเตอร์ (Mu-Meter, Side-Force Friction Test Trailer) โดยได้ทำการทดสอบบนบริเวณร่องล้อของผิวทางต่าง ๆ กัน 14 จุด ในสภาพผิวทางเปียก ความหนาของฟิล์มน้ำตลอดการทดสอบเท่ากับ 0.508 มม.



รูปที่ 11 แสดงระดับค่า สปต. ความเสียหาย (SFC) บนผิวทางชนิดต่าง ๆ (Surface Dressing โดยใช้ Chippings ขนาด 13 มม. มีปริมาณการจราจร 2,100 คัน ต่อ ช่องทาง ต่อ วัน) (Salt, 1977)



รูปที่ 12 แสดงระดับค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC ในฤดูร้อน) บนผิวทางมาตรฐาน Motorway (Rolled Asphalt ด้วย Precoated Chippings มีค่า PSV ในช่อง 58-60 Chippings ขนาด 13 มม. มีปริมาณการจราจร 2,100 คัน ต่อ ช่องทาง ต่อ วัน) (Salt, 1977)



รูปที่ 13 แสดงการเพิ่มของค่า สปส. ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทาง Trunk Road A 4, COLNBROOK BY-PASS เมื่อการจราจรลดลง (Salt, 1977)

ผลกรวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดด้วย Mu-Meter ในเทอมของ Mu-Meter Value (M-MV) ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง และค่าที่วัดด้วย British Portable Tester ในเทอมของ British Portable Tester Value (BPTV) มีความสัมพันธ์กันตามสมการ $Y = 1.09x + 17.45$ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเป็น $r = 0.987$ ดังแสดงในรูปที่ 14

Szatkowski & Hosking (1972) ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดได้จากเครื่อง Side-Force Friction Tester (SFC) กับค่า PSV จากเครื่อง British Portable Tester ในห้องทดลองเมื่อทราบปริมาณการจราจรของยานพาหนะ (Q_{cv}) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$SFC_{50} = 0.204 - 0.683 \times 10^{-4} Q_{cv} + 1 \times 10^{-7} PSV$$

เมื่อกำหนดให้ Q_{cv} = ปริมาณการจราจรของยานพาหนะ (คัน/ช่องทาง/วันในทิศทางเดียวกัน)

PSV = ค่าแรงเสียดทานของมวลรวมที่หล่อเป็นแผ่น หลังจากการขัดสีด้วยเครื่องขัด แล้ววัดค่านี้โดยใช้เครื่อง British Portable Tester โดยทำการทดสอบกับวัสดุมวลรวมชนิดเดียวกัน

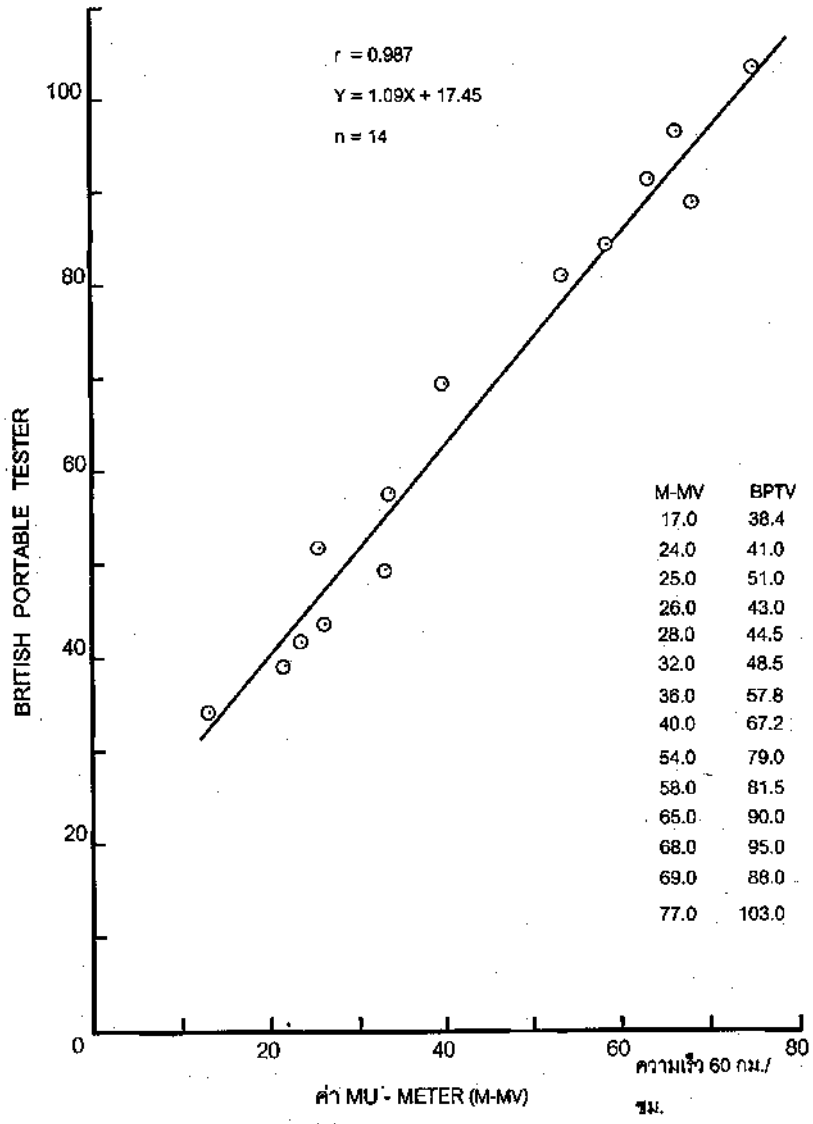
(ความเร็วที่ทำการหาค่าความสัมพันธ์ 50 กม./ชม.)

ความสัมพันธ์นี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกวัสดุมวลรวมที่จะนำไปใช้ในงานเป็นพื้นผิวทางประเภทต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความต้านทานการลื่นไถลตามมาตรฐาน จากค่าความสัมพันธ์ข้างต้นพบว่าเมื่อค่า PSV เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะมีผลทำให้ค่า SFC_{50} ที่ความเร็ว 50 กม./ชม. มีค่าเปลี่ยนแปลงไป 0.01 หน่วย

ผลการศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถลในประเทศไทย Bunnag, S. & Sukhawan (1975) ได้ผลการศึกษารูปดังนี้

1. จากการวิเคราะห์ค่าความฝืดของผิวทางชนิดต่าง ๆ คือ คอนกรีต แอสฟัลต์ติดคอนกรีต และแมคคาเดม โดยใช้หลักการของผิวมหภาคและผิวจุลภาค พบว่าพื้นผิวทางในประเทศไทยทุกชนิดมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเพียงพอเมื่อผิวทางแห้ง แต่เมื่อผิวทางเปียกพื้นผิวทางประเภทแอสฟัลต์ติดคอนกรีต และแมคคาเดม จะมีค่าความฝืดต่ำกว่ามาตรฐาน

2. ค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางในสภาพแห้งและเปียก จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความลึกของผิวทาง (Surface Texture Depth) เพิ่มขึ้น



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ของค่า M-MV กับ BPTV (Bunnag & Sukhawan, 1975)

3. ค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางจะลดลง เมื่อความเร็วของยานสูงขึ้นและอายุการใช้งานมากขึ้นทั้งสภาพพื้นผิวทางเปียกและสภาพพื้นผิวทางแห้ง
4. ความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางในสภาพเปียกจะมีค่าน้อยกว่าในสภาพแห้งเปรียบเทียบเมื่ออายุการใช้งานเท่ากัน
5. พื้นผิวทางแบบแอสฟัลท์ติกคอนกรีต ค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางจะลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มน้ำหรือความหนาของชั้นน้ำบนพื้นผิวทางมีค่ามากขึ้น
6. พื้นผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่ใช้งานหนักมาประมาณ 2 ปี พบว่าค่าความลึกของพื้นผิวทาง และค่าความต้านทานการลื่นไถลจะลดลงต่ำกว่ามาตรฐานมาก จนอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ยานพาหนะที่วิ่งอยู่บนพื้นผิวทางได้ โดยเฉพาะในสภาพพื้นผิวทางเปียก

2.4 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง

พื้นผิวทางในสภาพเปียกเป็นสภาพที่วัดค่าความต้านทานการลื่นไถลได้น้อยกว่าสภาพพื้นผิวทางแห้ง ดังนั้นการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยทั่วไปจึงทดสอบในสภาพพื้นผิวทางเปียก เครื่องมือที่นิยมใช้ตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ

2.4.1 เครื่อง **Braking Force Trailer** โดยทั่วไปประกอบด้วยรถยนต์นั่งหรือรถบรรทุกขนาดเล็กลากพ่วงเอาล้อทดสอบ (Test Wheel) จำนวน 1 ล้อ หรือมากกว่า เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติและดึงนำ หลักการของวิธีนี้ คือ เมื่อทำการหยุดล้อทดสอบขณะที่รถลากกำลังวิ่งอยู่ จะเกิดแรงต้านทานที่พื้นผิวสัมผัสของหน้ายางล้อทดสอบกับพื้นผิวทาง ค่าแรงต้านทานนี้จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแล้วนำค่านี้ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเรียกว่าค่า "Braking-Forec Coefficient (BFC)"

Casthy, T.I. (1968) พบว่าโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการลื่นไถลจะถูกบันทึกด้วยเวลาอันสั้นและมีความคลาดเคลื่อนเพียง 1-2% เท่านั้น จึงคุ้มค่ากับราคาเมื่อต้องการทดสอบในสนาม เครื่องทดสอบประเภทนี้จึงเป็นที่นิยมใช้งานในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ และฝรั่งเศส ต่อมาได้มีการคิดค้นเครื่องมือแบบใหม่โดยใช้หลักการเดียวกัน คือ ทำรถทดสอบที่ติดตั้งเครื่องวัดค่าความหน่วง (Decelerometer) เมื่อรถทดสอบวิ่งผ่านจุดที่ต้องการวัดค่าด้วยความเร็ว 50 กม./ชม. ให้หยุดรถทันทีและปล่อยให้รถลื่นไถลไปแล้วจดบันทึกค่าอัตราหน่วงของรถทดสอบไว้ตั้งแต่ความเร็วเริ่มต้นจนถึงเวลาที่รถหยุดไถล ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการลื่นไถลของรถทดสอบจะมีค่าเท่ากับ อัตราหน่วงของรถทดสอบในเทอมของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ผลที่ได้ให้ค่าใกล้เคียงกับ

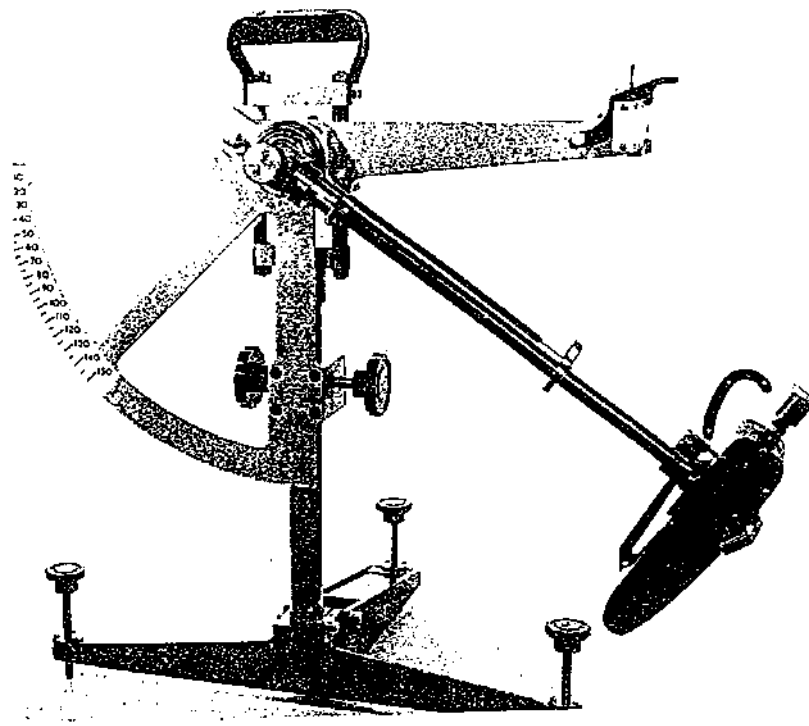
วิธีการ Sideway-Force เมื่อรถทดสอบเป็นรถชนิดดอกยางเรียบ ข้อดีของวิธีนี้ คือ รวดเร็วและราคาต่ำ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธี Sideway-Force คือ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 2-3%

Giles (1957) ได้หาความสัมพันธ์ของค่า BFC และ SFC เมื่อวัดด้วยเครื่องมือทั้งสองแบบ พบว่าค่า BFC โดยเฉลี่ยจะน้อยกว่าค่า SFC เล็กน้อย หรือ $BFC=0.8xSFC$

2.4.2 เครื่อง SCRIM (Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine) เครื่องมือชนิดนี้ TRRL เริ่มใช้งานครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อ ค.ศ. 1968 เรียกวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การสิ้นเปลืองแบบนี้ว่า Sideway-Force Coefficient (SFC) เป็นค่าอัตราส่วนของแรงทางด้านข้างของล้อทดสอบต่อน้ำหนักกระทำต่อล้อในแนวตั้ง โดยล้อทดสอบจะติดตั้งท่ามุม 20 องศา กับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถทดสอบ ล้อทดสอบที่ใช้เป็นล้อยางที่มีดอกยางเรียบ รถทดสอบต้องสามารถบรรทุกน้ำได้จำนวนมากเพื่อทำให้บริเวณที่จะทำการทดสอบเปียก ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่อง SCRIM คือ เครื่องบันทึกผลของแรงทางด้านข้างที่ล้อทดสอบขณะที่ล้อทดสอบแล่นผ่านไปบนผิวทางที่ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วที่ทำการทดสอบปกติ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมงตำแหน่งที่ทำการทดสอบจะถูกบันทึกออกมาเป็นช่วงด้วยกระดาษกราฟ ความคลาดเคลื่อนของวิธีการทดสอบด้วยวิธีนี้มี 1-2% ข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถวัดค่าได้ต่อเนื่องตลอดเส้นทาง ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการจัดการระบบจราจรในขณะที่มีการทดสอบ

2.4.3 เครื่อง British Portable Tester (BPT) เครื่องมือชนิดนี้นิยมใช้งานกันแพร่หลายสำหรับการหาค่าความเสียดทานเฉพาะจุด (Spot Check) โดยวัดค่าความฝืดระหว่างยางที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายของแขนแกว่ง (Pendulum Arm) กับพื้นผิวทางในสภาพที่พื้นผิวทางเปียก ในรูปของ Skidding Resistance Value (SRV) ข้อดีของเครื่องมือแบบนี้ คือ สามารถทดสอบได้รวดเร็วทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ ค่าที่ได้สามารถอ่านได้โดยตรง สามารถทดลองได้แม้ในพื้นที่ลาดเอียง ข้อเสีย คือ เกิดความผิดพลาดได้ง่ายโดยเฉพาะกรณีพื้นผิวทางขรุขระและมีขีดจำกัดในการใช้งานมากกว่าเครื่องมือแบบอื่น รูปร่างของเครื่องมือทดสอบดังแสดงในรูปที่ 15

ส่วนประกอบของเครื่อง BPT ตัวเครื่องประกอบด้วยฐานรองรับรูปตัว T ปลายแต่ละด้านของฐานมีสกรูปรับให้สูง-ต่ำได้ โดยใช้ระดับน้ำซึ่งติดอยู่ที่โคนขาของเครื่องเป็นตัวตรวจสอบระดับของเครื่อง เพื่อให้เครื่องตั้งอยู่ในแนวตั้งขณะทำการทดลอง แกนในแนวตั้งเป็นแกนกลมมีรางเลื่อนให้แขนแกว่งและแผ่นดัชนีเลื่อนขึ้น-ลงได้ในแนวตั้ง แขนแกว่งประกอบด้วยก้านอุมิเนียมและลูกตุ้มที่ปลายแขน ภายในลูกตุ้มเป็นแผ่นยางติดกับก้านสปริงมีคั่นยกก้านสปริงเพื่อให้แผ่นยางยกขึ้น เหนือพื้น



รูปที่ 15 เครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester (BPT)

ผิวทางได้เมื่อแวงกลับ แขนแวงถูกยึดติดด้วยไกล้อยที่สามารถจับ-ปล่อยแขนแวงได้ เมื่อกดไก แขนแวงจะตกลงจากตำแหน่งที่ถูกยึดไว้แบบอิสระและผิวหน้าแผ่นยางจะปาดสัมผัสไปบนพื้นผิวทางที่ต้องการทดสอบ ขณะเดียวกันแขนแวงจะพาเอาเข็มชี้ไปที่ขีดแบ่งบนดัชนีโอลูมิเนียม การเลื่อนขึ้น-ลงของแขนแวงผ่านแกนในแนวตั้งเพื่อให้แผ่นยางทดสอบสัมผัสกับพื้นผิวทางเป็นระยะทาง 7.60 ± 0.10 ซม. ความยาวของแขนแวงจากจุดหมุนของแขนแวงถึงแผ่นยางยาว 50.00 ซม. น้ำหนักแขนแวงรวมลูกตุ้มและแผ่นยางหลัก 1.50 ± 0.03 กก. จุดศูนย์ถ่วงอยู่ห่างจากจุดหมุน 40.50 ± 0.50 ซม. ยางมีลักษณะสีดำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3.10 ซม. ยาว 7.60 ซม.หนา 0.06 ซม. ยึดติดกับโอลูมิเนียม มีรูเสียบติดกับก้านสปริง น้ำหนักยางรวมแผ่นโลหะหนัก 22.0 ± 5.00 กรัม แผ่นยางวางท่ามุม 20 องศา กับพื้นผิวทางที่ทำการทดสอบ เมื่อแขนแวงอยู่ที่ตำแหน่งต่ำที่สุดแผ่นยางมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 6 เดือน และมีคุณสมบัติดังนี้

คุณสมบัติของยาง	อุณหภูมิ (°C)				
	0	10	20	30	40
ความยืดหยุ่น (Resilience)%	42-47	55-62	61-68	64-71	66-73
ความแข็ง (Hardness)	55±5BS.DEGREE				

แผ่นดัชนีเป็นแผ่นดัชนีเคลือบรูปสี่เหลี่ยมกลม มีขีดแบ่งช่วงที่จุดบนสุดเป็น 0 และที่จุดล่างสุดเป็น 150 หลักการออกแบบเครื่องมือนี้ คือ ใช้เครื่องมือจำลองสภาพล้อรถที่วิ่งไปบนพื้นผิวทางโดยแผ่นยางมีพื้นที่สัมผัสเท่ากับ $3 \times 1/20$ ตารางนิ้ว มีความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเปรียบเทียบกับค่าความเร็วที่ 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าความต้านทานการสั่นไถลที่อ่านได้จากเครื่อง (Skid Resistance Value, SRV) ที่อ่านได้จากเครื่อง BPT จะให้ค่า 100 เท่าของค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (Coefficient of Friction, C_f)

2.5 เครื่องมือวัดความหนาของฟิล์มน้ำ (NASA Water Depth Gage)

เครื่องมือวัดค่าความหนาของฟิล์มน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 16 ใช้วัดความหนาของฟิล์มน้ำขณะพื้นผิวทางเปียก มีลักษณะกลมทำด้วยไฟเบอร์กลาสสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้วหนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีรูเจาะ



รูปด้านหน้า



รูปด้านข้าง

รูปที่ 16 เครื่องวัดความหนาของฟิล์มน้ำ

ขนาด 0.50 นิ้ว โดยรอบ พร้อมตัวเลขกำกับบอกค่าความหนาของฟิล์มน้ำ ค่าที่สามารถอ่านได้จาก 0.01 ถึง 0.10 นิ้ว (0.254-2.54 มม.) ในแต่ละรูมีแท่งพลาสติกแข็งใสส่วนปลายเป็นรูปกรวยสอดอยู่ การควบคุมระดับของเครื่องมือทำได้โดยใช้แท่งเหล็ก 3 แท่ง ที่ติดมากับเครื่องเป็นตัวควบคุม

การอ่านค่าความหนาของฟิล์มน้ำจะเริ่มอ่านจากส่วนบนซึ่งวัดค่าความหนาค่าสุดไปหาค่าสูงสุดจนบันทึกค่าที่อ่านได้ไว้ ค่าที่อ่านได้มากที่สุดที่น้ำเต็มร่องกรวย คือ ค่าความหนาของฟิล์มน้ำบนพื้นผิวทางที่ทำการตรวจวัด

2.6 มาตรฐานกำหนดความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง (Standard of Skid Resistance)

โดยทั่วไปมาตรฐานที่กำหนดขึ้นจะเป็นค่าขั้นต่ำ เพื่อเป็นขีดจำกัดให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่รถยนต์เป็นประการสำคัญ นอกจากนี้ยังใช้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาประเมินระยะเวลาเพื่อซ่อมบำรุงพื้นผิวจราจรได้ด้วย

Giles (1957) ได้เสนอแนะระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท ในสภาพพื้นผิวทางเปียกดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าที่ได้รับการเสนอแนะนี้ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้งานของหน่วยซ่อมบำรุงทางหลวงของประเทศอังกฤษ

Salt, G.F. & Szatkowski, W.S. (1973) ได้เสนอแนะว่าสำหรับถนนที่ใช้สำหรับรถยนต์ที่มีความเร็วสูงเกินกว่า 95 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์การลื่นไถลของค่า SRV มากที่สุดจากค่าความเร็วสูงไปต่ำไม่ควรเกิน 20% เพื่อที่จะรักษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานให้มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดอันตราย จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า ค่าความลึกของพื้นผิวจราจรที่น้อยที่สุดสำหรับผิวทางลาดยาง คือ 1.00 มม. ผิวทางคอนกรีตเท่ากับ 0.50 มม. เมื่อค่าความลึกผิวทางน้อยกว่านี้ควรทำการซ่อมบำรุงพื้นผิวทางใหม่

Salt, G.F. & Szatkowski, W.S. (1973) พบว่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าความต้านทานการลื่นไถลสามารถกำหนดในรูปแบบของ PSV ของวัสดุรวมรวมที่ใช้โดยแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจรเพื่อให้ได้ค่าขั้นต่ำของ SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (SFC_{50}) ตามตารางที่ 3

Bunnag, et al (1975) ได้เสนอแนะค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพพื้นผิวทางเปียกของถนนประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 ระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (SFS_{50}) สำหรับประเภทและลักษณะของถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท (Giles, 1957)

ประเภท	ลักษณะของถนน	ในสภาพผิวทางเปียก	
		ค่า SFC_{50}	ค่า BPTV ⁽¹⁴⁾
A	ถนนตามจุดอันตราย (Most Difficult Sites) เช่น - วงเวียน - ถนนโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อยกว่า 500 ฟุต - ทางลาดชันมากกว่า 1 : 2 และระยะความลาดมากกว่า 300 ฟุต - บริเวณแยกไหล่สัญญาณ	มากกว่า 0.60	มากกว่า 65
B	ถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่ไม่ได้จัดอยู่ในประเภท A และ C (General Requirements)	มากกว่า 0.50	มากกว่า 55
C	ถนนสาธารณะในทางตรงที่มีความลาดชันน้อย รัศมีความโค้งไม่มากนัก และมีบริเวณแยกน้อย (Easy Sites)	มากกว่า 0.40	มากกว่า 55
D	ถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่มี สปส. ความเสียหายต่ำกว่า 0.40 (Proved Sites)		ถ้าต่ำกว่า 45 จะเกิดการลื่นไถล

ตารางที่ 2 ผลของความลึกของผิวมหภาคที่มีต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น (Salt & Szatkowski, 1973)

ค่า SRV ที่ลดลงเมื่อความเร็วเปลี่ยนจาก 50-130 กม./ชม. (%)	ความลึกผิว (มม.)	
	ผิวทางลาดยาง	ผิวทางคอนกรีต
0	2.00	0.80
10	1.50	0.70
20	1.00	0.50
30	0.50	0.40

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่า PSV ชั้นต่ำของวัสดุมวลรวม, ค่าเฉลี่ยของ SEV₅₀ ในฤดูร้อนภายใต้ปริมาณการจราจรที่แตกต่างกัน (Salt & Szatkowski, 1973)

ค่า SFC ₅₀ ที่ต้องการ (ค่าเฉลี่ยในฤดูร้อน)		ค่า PSV ชั้นต่ำของวัสดุมวลรวมที่เสนอแนะ					
		ปริมาณการจราจร (ยวดยานพาหนะต่อช่องทางเดินรถ (Lane) ใน 1 วัน)					
		น้อยกว่า 250	1,000	1,750	2,500	3,200	4,000
0.30		30	35	40	45	50	55
0.35		35	40	45	50	55	60
0.40		40	45	50	55	60	65
0.45		45	50	55	60	65	70
0.50		50	55	60	65	70	75
0.55		55	60	65	70	75	
0.60		60	65	70	75		
0.65		65	70	75			
0.70		0.70	75				
0.75		0.75					
ค่า AAV	เซอร์เฟสทรีดเมนต์	ไม่เกิน 14	ไม่เกิน 12		ไม่เกิน 10		
	แมคคาเดม	ไม่เกิน 16	ไม่เกิน 14			ไม่เกิน 12	

หมายเหตุ ค่า SRV₅₀ ที่ปริมาณการจราจรเช่นนี้เหมาะสมที่จะใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งและมีความต้านทานการสึกหรอสูงมาก เช่น วัสดุมวลรวมประดิษฐ์จำพวกแคลไซต์บอกลี เป็นต้น

ตารางที่ 4 ค่าความต้านทานการสิ้นไกลซ์ขั้นต่ำของ BPT-Number และ Mu-Meter Number ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในลักษณะถนนประเภทต่าง ๆ ในกรณีผิวทางเปียก (Wet Condition) (Bunnag & Sukhawan, 1975)

ลักษณะของถนน	ค่า BPN	Mu-Meter Number ที่ 60 กม. ต่อ ชม.
ตามจุดอันตราย เช่น วงเวียน โค้ง ทางชันจุด ใกล้สัญญาณไฟจราจร (ตามทางแยก) และ บริเวณที่เกิดอุบัติเหตุบ่อย ๆ	50	30
ทางหลวงชั้น 1, ชั้น 2 และถนนแยก (Feeder Roads) ที่มีปริมาณการจราจรเกิน 1,500 คัน	45	25

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้วัสดุคอนกรีตแข็งตัวเร็วทำการซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตแบบ Thin Bonded Patching เพื่อให้สามารถเปิดการจราจรภายหลังการดำเนินงานได้ภายในระยะเวลาอันสั้น คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวเร็วจะเป็นคอนกรีตสดมีค่าการยุบตัว 5-10 ซม. มีเวลาในการทำงาน 45-60 นาที และจะเริ่มแข็งตัวหลังจากเทประมาณ 3-4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะให้กำลังสูงขึ้นเกินกว่า 240 กก./ซม.² เมื่ออายุของคอนกรีตถึง 24 ชั่วโมง สัดส่วนผสมของคอนกรีตแข็งตัวเร็วที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดังนี้

ปูนซีเมนต์	450 กก.
ทราย	900 กก.
หิน	900 กก.
น้ำ	162 ลิตร
น้ำยา Superplasticizer	4.50 ลิตร
น้ำยา Bonding	25 กก.

3.1.1 ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ใช้งานเป็นปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ดราซัง

3.1.2 น้ำ น้ำที่ใช้ผสมและบ่มคอนกรีตเป็นน้ำสะอาดปราศจาก กรด ด่าง เกลือ น้ำมันสารอินทรีย์ และสารอื่นใดที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

3.1.3 หิน วัสดุมวลรวมหยาบ ใช้สำหรับซ่อมแซมผิวแผ่นพื้นคอนกรีตที่หลุดร่อนในการทดลองนี้ คือ หินปูนกัณฑ์เศษ ซึ่งสะอาด ห้าง ไม่นุ่ม ปราศจากไขมัน ฝุ่นละออง และวัสดุอื่นเจือปน ขนาดผลของหินที่ใช้ในการทดลองนี้ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานคอนกรีตละเอียด (Fine Concrete) ใช้สำหรับงานซ่อมผิวจราจรคอนกรีตแบบ Thin Bonded Patching ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 5 Sieve Analysis ของหินผสมคอนกรีตที่ใช้งานทดสอบภาคสนาม

Sieve No. (มม.)	Retained (กรัม)	% Retained (%)	Cummulative (%)
1/2"(12.70)	0.00	0.00	0.00
3/8"(9.52)	85.00	17.00	17.00
No.4(4.75)	370.00	74.00	91.00
No.8(2.36)	30.00	6.00	97.00
No.16(1.18)	15.00	3.00	100.00

ตารางที่ 6 มาตรฐาน Sieve Analysis ของหินผสมคอนกรีต

Sieve No. (มม.)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
1/2"(12.70)	100
3/8"(9.52)	80-100
No.4(4.75)	10-30
No.8(2.36)	0-10
No.16(1.18)	0-5

3.1.4 ทราย วัสดุผสมรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นทรายน้ำจืดเม็ดหยาบ สะอาด ปราศจากวัสดุอื่นเจือปน เช่น ดิน ใต้อ่าง วัชพืช เป็นต้น ขนาดผลของทรายเป็นดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานคอนกรีตละเอียด (Fine Concrete) ใช้สำหรับงานซ่อมบำรุงพื้นผิวจราจร คอนกรีตแบบ Thin Bonded Patching ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 7 Sieve Analysis ของทรายผสมคอนกรีตที่ใช้งานทดสอบภาคสนาม

Sieve No. (มม.)	Retained (กรัม)	% Retained (%)	Cummulative (%)
3/8*(9.52)	0.00	0.00	0.00
No.4(4.75)	15.00	3.00	3.00
No.16(1.18)	275.00	55.00	58.00
No.50(0.30)	175.00	35.00	93.00
No.100(0.15)	35.00	7.00	100.00

ตารางที่ 8 มาตรฐาน Sieve Analysis ของทรายผสมคอนกรีต

Sieve No. (มม.)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
3/8*(9.52)	100
No.4(4.75)	95 - 100
No.16(1.18)	45 - 85
No.50(0.30)	5 - 30
No.100(0.15)	0 - 10

3.1.5 กรดเกลือ (Hydrochloric Acid) กรดเกลือใช้สำหรับทำความสะอาดพื้นผิวถนนคอนกรีตให้สะอาดปราศจากไขมัน น้ำมัน สิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่กำจัดได้ยาก เป็นกรดเกลือชนิด Commercial Grade บรรจุในภาชนะที่แข็งแรง ปลอดภัยและสะดวกในการใช้งาน การใช้กรดทำความสะอาดพื้นผิวคอนกรีตทางปฏิบัติใช้แปรงทาสีจุ่มในกรดแล้วทาบนพื้นผิวที่ต้องการ ประมาณ 2-3 เทียว แต่ละเทียวใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 15 นาที ไม่ใช้การพ่นเพื่อหลีกเลี่ยงการฟุ้งกระจายของกรด ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้

3.1.6 **วัสดุใช้ปมคอนกรีต** วัสดุที่ใช้สำหรับการปมคอนกรีตในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้ กระสอบป่านที่ผ่านการใช้งานแล้วแช่น้ำให้เปียกชุ่ม คลุมทับพื้นที่ทำการทดสอบภายหลังเทคอนกรีต และปรับแต่งผิวหน้าให้เรียบแล้วประมาณ 3-4 ชั่วโมง

3.1.7 **น้ำยา Bonding** น้ำยา Bonding ที่ใช้งานในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ Latex Modified Polymer ชนิดหนึ่งที่อยู่ในสภาพแขวนลอยอยู่ในน้ำ ภายหลังผสมในคอนกรีตแล้วจะก่อให้เกิดฟิล์มที่ต่อเนื่องของ Polymer ทั่วทั้งเนื้อคอนกรีต คุณสมบัติของ Latex Modified Concrete คือ

- กำลังต้านทานแรงดึง กำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยว กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าสูงขึ้น
- ความสามารถในการต้านทานสภาพกรด สภาพด่าง มีค่าสูงขึ้น
- อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง

คุณสมบัติดังกล่าวจึงน่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำ Latex Modified Concrete มาใช้ สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตเก่าและคอนกรีตใหม่จะเชื่อมประสานกันได้เป็นอย่างดี ผลิตภัณฑ์ Latex Polymer ในประเทศไทยมีหลายยี่ห้อ คุณสมบัติเบื้องต้นของ Latex Modified Polymer ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ

- ปริมาณเนื้อสารเคมี $\geq 47\%$
- อัตราการใช้งาน 10%-15% โดยน้ำหนักของน้ำผสมคอนกรีต
- Density = 1.01 กรัม/ซม.³
- Medium Particle Size = 0.20 μm .
- Film Tensile Strength $\geq 1.5 \text{ N./mm.}^2$
- Film Elongation $\geq 1,000\%$

3.1.8 **น้ำยา Superplasticizer** สารเคมีผสมคอนกรีตที่ใช้ผสมเพิ่มในการศึกษาวิจัยนี้ เลือกใช้สารเคมีที่ผลิตตามมาตรฐาน ASTM C494 ประเภท F เพื่อให้ส่วนผสมของคอนกรีตมีน้ำพอเหมาะคอนกรีตสดมีสภาพเหลวสามารถไหลเข้าแบบได้ดี และสามารถต้านทานแรงอัดได้สูงกว่า 240 กก./ซม.² หลังจากคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถเปิดการจราจรได้ในระยะเวลาอันสั้น คุณสมบัติของคอนกรีตสดและน้ำยา Superplasticizer เบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ คือ

- อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.29-0.36
- ค่าการยุบตัว 5-10 ซม.
- ไม่มีคลอไรด์เป็นส่วนประกอบ
- อัตราการใช้งาน 0.30-2.50 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัม
- สามารถลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีต 10%-40%

3.2 แผนการดำเนินงานวิจัยในสนาม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง (SRV) ในสภาพพื้นผิวทางเปียกและสภาพพื้นผิวทางแห้ง ของพื้นผิวทางที่ใช้วัสดุซ่อมพื้นผิวทางที่เกิดการชำรุดด้วยคอนกรีตแข็งตัวเร็ว เป็นวัสดุ Thin Bonded Patching ด้วยเครื่อง British Portable Tester (BPT) พร้อมทั้งทำการวัดค่าองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับผลการศึกษาวิจัย คือ ความหนาของฟิล์มน้ำมันพื้นผิวทางในขณะนั้นด้วยเครื่อง Water Film Depth Gage วัดค่าความลึกของพื้นผิวทางด้วยวิธี Sand-Patch และสำรวจปริมาณการจราจรขณะทำการตรวจวัดค่าในสนาม สัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณการจราจรที่เจ้าหน้าที่รายงานไว้เป็นประจำทุกวัน

ตำแหน่งของการตรวจวัดและจุดที่ทำการซ่อมแซมพื้นผิวทาง และบริเวณใกล้เคียงได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 17 และรูปที่ 18 ความเสียหายที่สำรวจพบบนพื้นผิวทางคอนกรีตที่จะทำการทดสอบส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อตามขวางของแผ่นพื้นผิวจราจรคอนกรีตบริเวณทางแยกในลักษณะรอยบิ่นและการหลุดร่อนของพื้นผิวทางคอนกรีต โดยเฉพาะในแนวร่องล้อรถยนต์ ดังนั้นตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดที่ให้ค่าวิกฤติที่สุด คือ ตำแหน่งในแนวร่องล้อรถยนต์และได้ถือเป็นตำแหน่งที่กำหนดขึ้นเพื่อตรวจวัดในการทดลองครั้งนี้ โดยได้ทำเครื่องหมายไว้ในสนามเป็นที่สังเกตเพื่อทำการตรวจวัดครั้งต่อไปใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิม

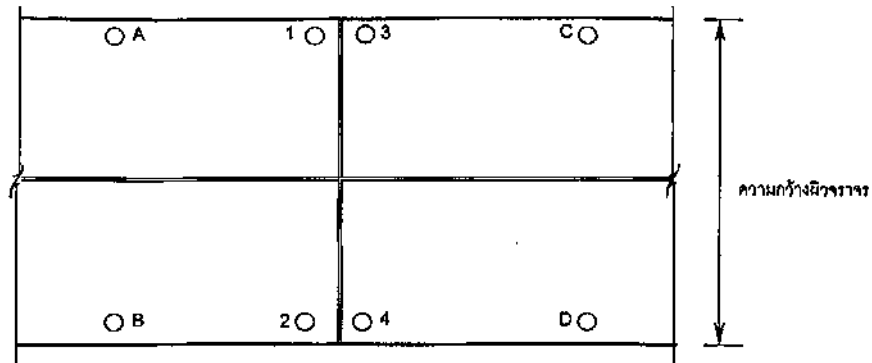
ขั้นตอนการเตรียมการทดลองในสนามเป็นดังนี้

3.2.1 สำรวจพื้นที่ซึ่งพื้นผิวทางคอนกรีตในสนามเกิดความชำรุดเสียหายในลักษณะแตกบิ่นหรือหลุดร่อนเพื่อเลือกเป็นพื้นที่ทดลอง

3.2.2 ทำความสะอาดพื้นที่ซึ่งจะทำการทดสอบขั้นต้นด้วยการล้างด้วยน้ำและขัดด้วยแปรง

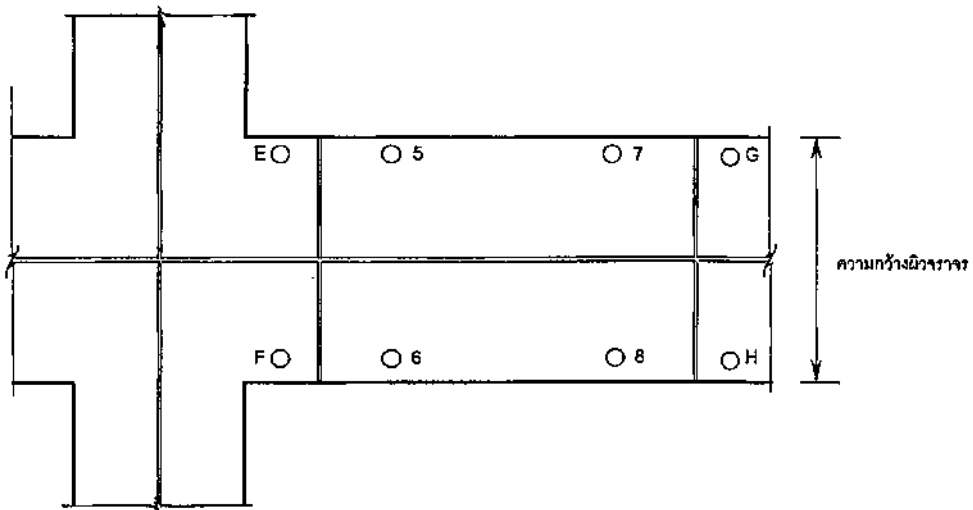
3.2.3 ใช้กรดเกลือ Commercial Grade ขจัดคราบสกปรกบริเวณที่ทดสอบโดยการใช้นำแปรงทาสีจุ่มกรดแล้วทาบนพื้นที่ซึ่งต้องการทำความสะอาด 2-3 เทียว ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด 2-3 เทียว

3.2.4 ใช้น้ำยา Bonding ผสมน้ำสะอาดอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร แล้วใช้น้ำแปรงทาสีจุ่มในส่วนผสมทาที่บริเวณที่จะทำการทดลอง 2 เทียว โดยเว้นระยะเวลาก่อนทาสีชั้นที่ 2 ประมาณ 10 นาที



จุด 1, 2, 3 และ 4 คือ ตำแหน่งตรวจวัดในบริเวณซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching พื้นที่ทดสอบ 1
จุด A, B, C และ D คือ ตำแหน่งตรวจวัดบนพื้นผิวทางข้างเคียง

รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดค่าในสนาม พื้นที่ทดสอบที่ 1 และบริเวณข้างเคียง



จุด 5, 6, 7 และ 8 คือ ตำแหน่งตรวจวัดในบริเวณซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching พื้นที่ทดสอบ 2
จุด E, F, G และ H คือ ตำแหน่งตรวจวัดบนพื้นผิวทางข้างเคียง

รูปที่ 18 แสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดค่าในสนาม พื้นที่ทดสอบที่ 2 และบริเวณข้างเคียง

3.2.5 เทส่วนผสมคอนกรีตเชิงตัวเร็วลงบนพื้นที่ทำการทดลองหลังจากทา Bonding ชั้นที่ 2 ประมาณ 5 นาที ปรับแต่งผิวหน้าให้เรียบ

3.2.6 หลังจากเทคอนกรีตประมาณ 3-4 ชั่วโมง ทำการบ่มคอนกรีตด้วยกระสอบป่านชุ่มน้ำ

3.2.7 ภายหลังจากเทคอนกรีตประมาณ 24 ชั่วโมง สามารถเปิดการจราจรได้ตามปกติ ก่อนเปิดการจราจร ทำการตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถล ความลึกของผิวทาง และความหนาของฟิล์มน้ำในแนวร่องลื่นบนพื้นผิวการจราจรที่ทำการทดสอบและบนพื้นผิวทางคอนกรีตเดิมในบริเวณข้างเคียง

3.2.8 ตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถล ความลึกของผิวทาง และความหนาของฟิล์มน้ำในแนวร่องลื่นบนพื้นผิวการจราจรที่ทำการทดสอบและบนพื้นผิวทางคอนกรีตเดิมในบริเวณข้างเคียง ทุกระยะเวลาประมาณ 15 วัน ช่วง 3 เดือนแรก จากนั้นตรวจวัดทุกระยะเวลาประมาณ 30 วัน

เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของค่าที่ทำการตรวจวัดได้ในสนามระหว่างพื้นผิวจราจรคอนกรีตเดิม และพื้นผิวทางที่ซ่อมแซมด้วยวัสดุ Patching สำเร็จรูป ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 1 ปี

งานศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการภาคสนามบนพื้นผิวทางคอนกรีต ภายใต้อาคารหมู่บ้าน เสนาวิลล่า 84 เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2532 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2532 ระหว่างที่ทำการทดสอบมีผู้อยู่อาศัยในโครงการแล้วประมาณ 3,000 หลังคาเรือน และยังคงมีการจราจรของรถบรรทุกและรถยนต์นั่งผ่านพื้นที่ทำการทดสอบตลอดเวลา เนื่องจากยังคงมีงานก่อสร้างอาคารตามโครงการฯ ในพื้นที่ข้างเคียง ถนนคอนกรีตจุดที่ทำการทดสอบได้ผ่านการใช้งานมาแล้ว ประมาณ 195 วัน เกิดความเสียหายที่เห็นได้ชัด คือ พื้นผิวของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตหลุดร่อนออกเป็นบริเวณกว้างปรากฏอยู่ทั่วไป

3.3 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลในสนาม

ขั้นตอนการตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลในสนามมีดังนี้ คือ

3.3.1 ตรวจความเรียบร้อยของเครื่องมือทุกอย่างให้อยู่ในสภาพใช้งานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผ่นยางที่ใช้ในส่วนริมขอบของแผ่นยางจะต้องไม่สึกจนมนบางเกินไป โดยข้อแนะนำของการใช้เครื่อง BPT นั้นกำหนดให้แผ่นยาง (Sliding Rubber) แผ่นหนึ่งใช้ได้ประมาณไม่เกิน 500 ครั้ง

3.3.2 เมื่อตรวจสอบเครื่องมืออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วนำเครื่อง BPT นี้วางลงบนบริเวณหรือแนวที่จะวัดค่า SRV ให้ได้ระดับโดยการปรับหมุนสกรูที่ขาตั้งทั้งสามของตัวเครื่อง ปรับจนระดับน้ำที่โคนขาตั้งด้านหนึ่งอยู่ในกรอบกึ่งกลางพอดี แสดงว่าแกนเครื่องอยู่ในแนวตั้งแล้ว

3.3.3 ทำการจัดและตรวจสอบการแกว่งของแขนแกว่งให้ได้ศูนย์เสมอ (ก่อนทำการวัดค่าทุกครั้ง) สิ่งที่ต้องระวังในขั้นตอนนี้ คือ ต้องไม่ให้น้ำฝนตกลงมาของแขนแกว่งสัมผัสพื้นผิวทาง ในขณะที่ตรวจสอบการแกว่งนี้

3.3.4 ทำการปรับ (Adjust) แผ่นยางให้แตะหรือสัมผัสพอดีกับผิวทางเป็นระยะประมาณ 7.60 ± 0.10 ซม. ก่อนทำการวัด

3.3.5 กดไกที่ยึดแขนแกว่งไว้ให้แขนแกว่งตกลงมา แล้วแผ่นยางจะสัมผัสกับผิวทางที่จะหาค่า SRV ในสภาพผิวทางแห้ง จดบันทึกค่าที่เข็มดัชนี (Pointer) ซึ่งบ่งบอกไว้บนแผ่นดัชนีโดยมีนิยามอย่างน้อย 5-7 ค่า ส่วนในสภาพผิวทางเปียกจะต้องทำให้แผ่นยางเปียกก่อนทุกครั้ง และผิวทางที่จะทำการวัดจะต้องลาดน้ำให้เปียกแล้ววัดค่าความหนาของฟิล์มน้ำ (WFT) ด้วยเครื่องมือวัดฟิล์มน้ำทุกครั้ง ที่ทำการวัด จดบันทึกค่าอย่างน้อย 5-7 ค่า เพราะค่าแรก ๆ ที่ได้อาจจะต่ำกว่าที่เป็นจริงเนื่องจากแผ่นยางยังเกาะอยู่บนผิวทางถึงแม้จะลาดด้วยน้ำจนเปียกแล้ว แต่ก็ยังหลงเหลืออยู่บ้างทำให้เกิดการเลื่อนได้ จึงจำเป็นต้องลาดน้ำบนส่วนของผิวทางนั้นให้สะอาดก่อนวัดค่าเสมอ

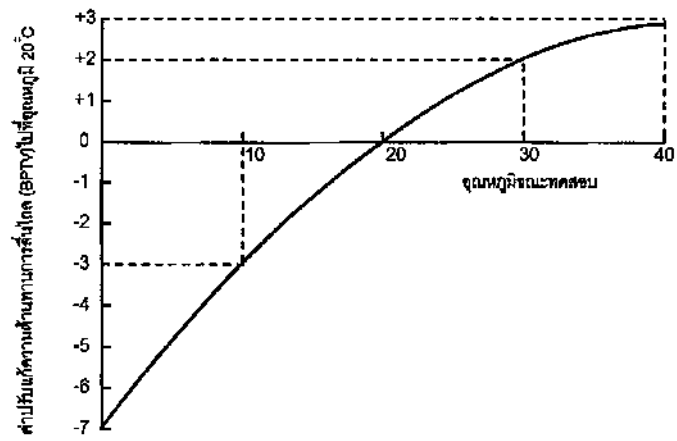
หมายเหตุ ระหว่างที่ทำการวัดค่าจะต้องบันทึกอุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature) อุณหภูมิของผิวทาง (Surface Temperature) ขณะนั้นทุกครั้งเพื่อนำมาใช้ปรับแก้ค่าความต้านทานการเลื่อนไถลของผิวทางที่อุณหภูมินั้น (SRV_t , $BPTV_t$) ไปที่อุณหภูมิ 20°C (SRV_{20} , $BPTV_{20}$) ดังกราฟการปรับแก้ค่าในรูปที่ 19

3.4 การวัดค่าความหนาของฟิล์มน้ำ (WFT) ด้วยเครื่อง Water Film Depth Gage

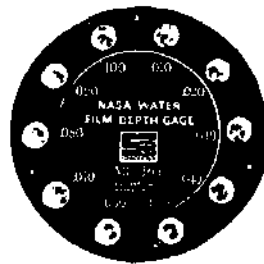
หลังจากลาดผิวทางด้วยน้ำจนเปียกแล้วนำเครื่องมือดังกล่าววางบนผิวทางเปียกนั้นสังเกตดูว่าช่องใส ๆ รอบส่วนบนของเครื่องมือนี้ช่องใดที่มีน้ำเข้าไปเต็มช่องพอดีให้อ่านค่านั้นเป็นค่าความหนาของฟิล์มน้ำบนผิวทางในขณะนั้น ดังแสดงในรูปที่ 20

3.5 การตรวจวัดค่าความสึกของพื้นผิวทางด้วยวิธี Sand-Patch

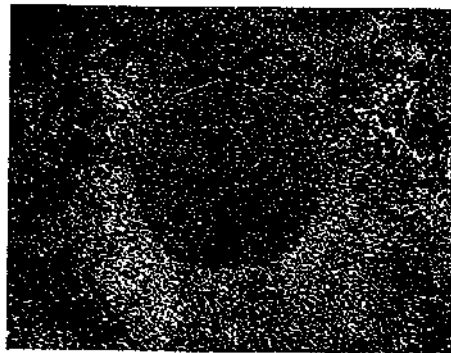
การตรวจวัดค่าความสึกของพื้นผิวจราจร เป็นวิธีการหาค่าความหยาบของพื้นผิวทางที่ทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้



รูปที่ 19 ค่าที่ใช้ปรับแก้ความต้านทานการสั่นไกล (BPTV) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขณะทดสอบ (Sabcy, 1969)



รูปที่ 20 เครื่องวัดความหนาของฟิล์มน้ำขณะใช้งานในสนาม



รูปที่ 21 การตรวจวัดค่าความลึกผิวทางด้วยวิธี Sand Patching

3.5.1 เขียนวงกลมขนาดรัศมี 30 ซม. หรือมากกว่าลงบริเวณผิวทางบริเวณที่ต้องการค่าความลึกผิวทาง (ก่อนที่จะเขียนวงกลมจะต้องทำความสะอาดผิวทางให้เรียบร้อยและผิวทางจะต้องแห้งสนิทเสียก่อน)

3.5.2 นำทรายหยาบขนาดสม่ำเสมอ (Uniform Particle Size) ที่ทราบค่าความหนาแน่นแล้ว บันทึกน้ำหนักก่อนใช้งาน เทลงบนผิวทางภายในวงกลมที่เขียนไว้ แล้วปาดทรายบนผิวทางให้เรียบได้ระดับที่สุดภายในวงกลมที่เขียน ดังแสดงในรูป 21

3.5.3 ชั่งหาน้ำหนักทรายที่เหลือหลังการปาดผิวหน้า แล้วคำนวณหาค่าความลึกผิวทางที่จุดนั้น ๆ ได้จากสมการดังนี้ คือ

$$STD = \frac{W_0 - W_1}{(A \cdot D_s)}$$

เมื่อ STD = ความลึกผิวทาง (Surface Texture Depth)

W_0, W_1 = น้ำหนักทรายที่ใช้เดิม และที่เหลือหลังการปาดหน้าจนเรียบร้อยแล้วตามลำดับ

A = พื้นที่ของวงกลมที่เขียนขึ้น

D_s = ความหนาแน่นของทรายที่ใช้ (Sand Density)

หมายเหตุ ทรายหยาบที่ใช้จะต้องมีขนาดสม่ำเสมอในที่นี้ใช้ทรายผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40

3.6 การสำรวจปริมาณการจราจร

ในระหว่างที่ทำการทดสอบได้ทำการนับปริมาณการจราจรไปด้วย โดยช่วงเวลาที่ทำกรนับปริมาณการจราจรกระทำต่อเนื่องกันอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อนำข้อมูลที่บันทึกไว้ไปตรวจสอบกับข้อมูลที่เจ้าหน้าที่ทำการบันทึกไว้เป็นประจำทุกวัน โดยแบ่งประเภทของยานออกเป็นรถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถโดยสารขนาดเล็ก รถโดยสารขนาดใหญ่ รถบรรทุกขนาดเล็ก และรถบรรทุกขนาดใหญ่ เพื่อนำมาหาค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic, ADT) แต่เนื่องจากพื้นที่ซึ่งทำการทดสอบเป็นพื้นที่ภายในหมู่บ้านจัดสรร จึงมีรถบรรทุกใช้เส้นทางจราจรจำนวนน้อย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้แบ่งการทดสอบค่าความต้านทานการสิ้นไถลของพื้นผิวทางออกเป็น 2 สถานะ คือ ทำการทดสอบในสภาพพื้นผิวทางแห้งและทดสอบในสภาพพื้นผิวทางเปียก ค่าความต้านทานการสิ้นไถลเมื่อพื้นผิวทางแห้งรายงานผลการทดสอบในรูป BPN_D และค่าความต้านทานการสิ้นไถลเมื่อพื้นผิวทางเปียกรายงานผลการทดสอบในรูป BPN_W โดยทำการทดสอบตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 3 ค่าความต้านทานการสิ้นไถลที่วัดได้ในสนามได้ทำการปรับแก้ค่าไปที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ และรายงานไว้ในรูป $BPN_{D(20^{\circ}C)}$ และ $BPN_{W(20^{\circ}C)}$ โดยใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขณะทำการทดสอบ กับค่าปรับแก้ความต้านทานการสิ้นไถลไปที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 19 ค่าความลึกของผิวทางและค่าความหนาของฟิล์มน้ำ ก็ได้ทำการวัดในบริเวณที่ทำการตรวจวัดค่าความต้านทานการสิ้นไถลแต่ละตำแหน่ง พร้อมกับวัดค่าอุณหภูมิของพื้นผิวทางและบันทึกปริมาณและประเภทของยานพาหนะในสนามขณะทำการตรวจวัดค่าอื่น ๆ ผลการตรวจวัดค่าในสนาม ดังแสดงในตารางที่ 9 และตารางที่ 10

4.1 ความสัมพันธ์ค่าความต้านทานการสิ้นไถลในสภาพผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียก BPN_D และ BPN_W กับอายุการใช้งานของผิวทาง (Service Life)

ความสัมพันธ์ตามรูปที่ 22 และรูปที่ 23 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานการสิ้นไถลของพื้นผิวทางคอนกรีตทั้งสภาพผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียกจะแปรผันแบบผกผันกับอายุการใช้งานของพื้นผิวทาง และพบว่าค่าความต้านทานการสิ้นไถลในสภาพผิวทางแห้งจะมากกว่าสภาพผิวทางเปียกเสมอ แม้อายุการใช้งานจะเพิ่มสูงขึ้นก็ตาม สาเหตุเนื่องมาจากขณะที่ยวดยานแล่นไปบนพื้นผิวทาง หน้าสัมผัสของยางจะขัดสีกับพื้นผิวทาง ทำให้พื้นผิวทางสึกหรอและเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ปกติมักจะพบว่าพื้นผิวทางจะสึกหรอไปในลักษณะเรียบและมนมากกว่าจะแตกเป็นแฉงมุมที่แหลมคม ลักษณะเช่นนี้ทำให้ค่าแรงยึดเกาะและแรงฮิสเตอร์ซิสลดลง เป็นผลให้ค่าความต้านทานการสิ้นไถลลดต่ำลงในสภาพผิวทางเปียกไปด้วยน้ำหรือของเหลวอื่นใดปิดทับผิวทางอยู่ การที่ล้อยางยานพาหนะจะสัมผัสกับพื้นผิวทางได้ วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวทางต้องเจาะทะลุฟิล์มน้ำขึ้นมาจึงจะสัมผัสกับหน้ายางได้

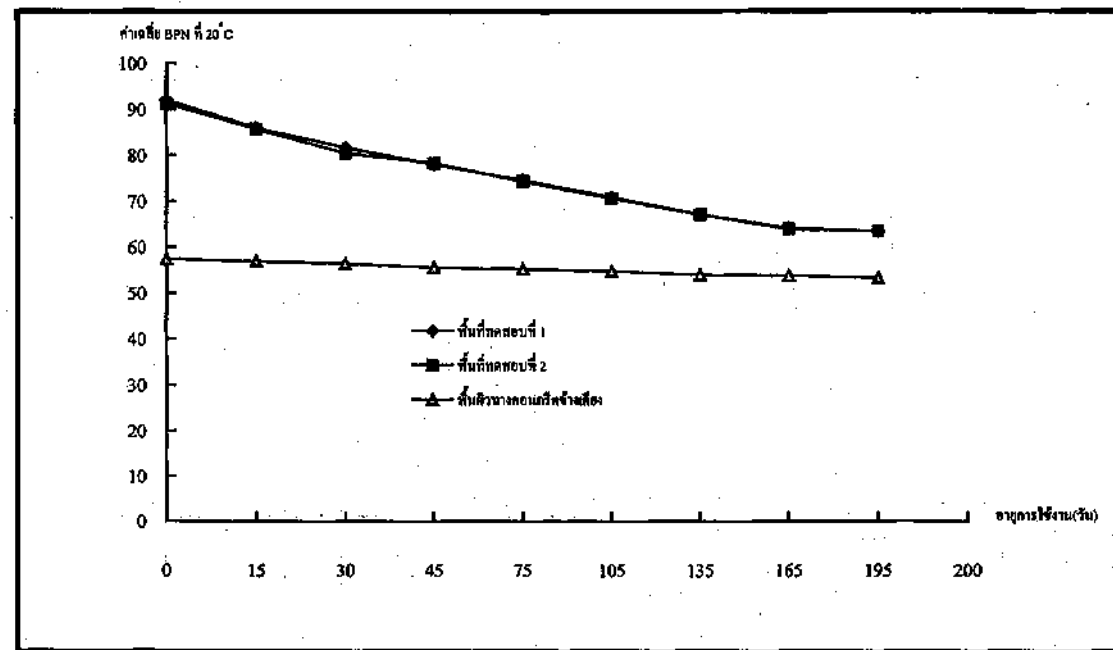
ตารางที่ 9 แสดงค่าความต้านทานการสิ้นไกลเฉลี่ยบนพื้นผิวทางในหน้าที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นที่ผิวทางคอนกรีตข้างเคียงในสภาพผิวทางแห้งและเปียกที่อุณหภูมิ 20° C

อายุการใช้งาน (วัน)	ลำดับที่ ทดสอบ	ความ ต้านทาน การสิ้นไกล เฉลี่ย	พื้นที่ทดสอบที่ 1					พื้นที่ทดสอบที่ 2					พื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง								ปริมาณการจราจรในช่องทางจราจร			
			จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	ค่าเฉลี่ย	จุด 5	จุด 6	จุด 7	จุด 8	ค่าเฉลี่ย	จุด A	จุด B	จุด C	จุด D	จุด E	จุด F	จุด G	จุด H	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณการจราจร ต่อวันนับจาก วันเปิดการจราจร	ปริมาณการจราจร สะสม	
0	1 16 มี.ค. 32	BPN _{D(20°C)}	93	91	94	90	92.00	91	90	92	92	91.25	58	56	57	57	58	56	56	57.38		0.00	0.00	
		BPN _{W(20°C)}	67	63	68	65	65.75	65	65	64	66	65.00	41	41	41	39	41	41	40	40	40.63			
15	2 31 มี.ค. 32	BPN _{D(20°C)}	88	87	84	85	86.00	86	84	88	85	85.75	57	58	56	56	57	57	58	56.88		26410.00	26410.00	
		BPN _{W(20°C)}	63	60	60	61	61.00	62	60	61	61	61.00	41	41	40	39	40	41	39	41	40.28			
30	3 15 เม.ย. 32	BPN _{D(20°C)}	84	82	81	80	81.75	82	80	80	80	80.50	57	58	57	55	56	55	56	57	56.38		22465.00	48875.00
		BPN _{W(20°C)}	60	57	58	58	58.25	59	58	56	58	57.75	41	41	41	38	40	39	39	41	39.93			
45	4 30 เม.ย. 32	BPN _{D(20°C)}	77	78	79	78	78.00	77	78	79	79	78.25	55	56	55	56	55	55	56	55.50		41851.00	90525.00	
		BPN _{W(20°C)}	58	54	57	56	56.50	55	56	55	57	55.75	39	40	39	39	40	39	38	40	38.30			
75	5 30 พ.ค. 32	BPN _{D(20°C)}	75	74	75	74	74.50	75	75	74	73	74.25	55	55	55	55	55	55	56	55.13		42181.00	132707.00	
		BPN _{W(20°C)}	54	52	54	53	53.25	54	54	52	53	53.25	39	39	39	38	39	39	38	40	39.04			
105	6 30 มิ.ย. 32	BPN _{D(20°C)}	72	70	70	71	70.75	72	70	70	70	70.50	54	55	55	55	54	54	55	54.63		40132.00	172839.00	
		BPN _{W(20°C)}	52	49	50	51	50.50	52	50	49	50	50.25	39	39	39	38	39	39	38	39	38.68			
135	7 30 ก.ค. 32	BPN _{D(20°C)}	68	68	67	65	67.00	68	67	66	67	67.00	54	54	54	53	54	54	54	53.88		40186.00	213025.00	
		BPN _{W(20°C)}	49	47	48	47	47.75	49	48	46	48	47.75	39	39	39	37	39	39	37	39	38.15			
165	8 30 ส.ค. 32	BPN _{D(20°C)}	65	64	63	64	64.00	63	64	64	64	63.75	54	54	54	54	53	53	54	53.63		42191.00	255216.00	
		BPN _{W(20°C)}	47	45	45	46	45.75	45	46	45	46	45.50	39	39	39	37	38	38	37	38	37.97			
195	9 30 ก.ย. 32	BPN _{D(20°C)}	62	63	64	64	63.25	63	64	63	63	63.25	53	52	53	53	52	54	54	53.13		42138.00	297354.00	
		BPN _{W(20°C)}	45	45	46	46	45.50	45	46	45	45	45.25	38	37	38	37	37	39	37	39	37.62			

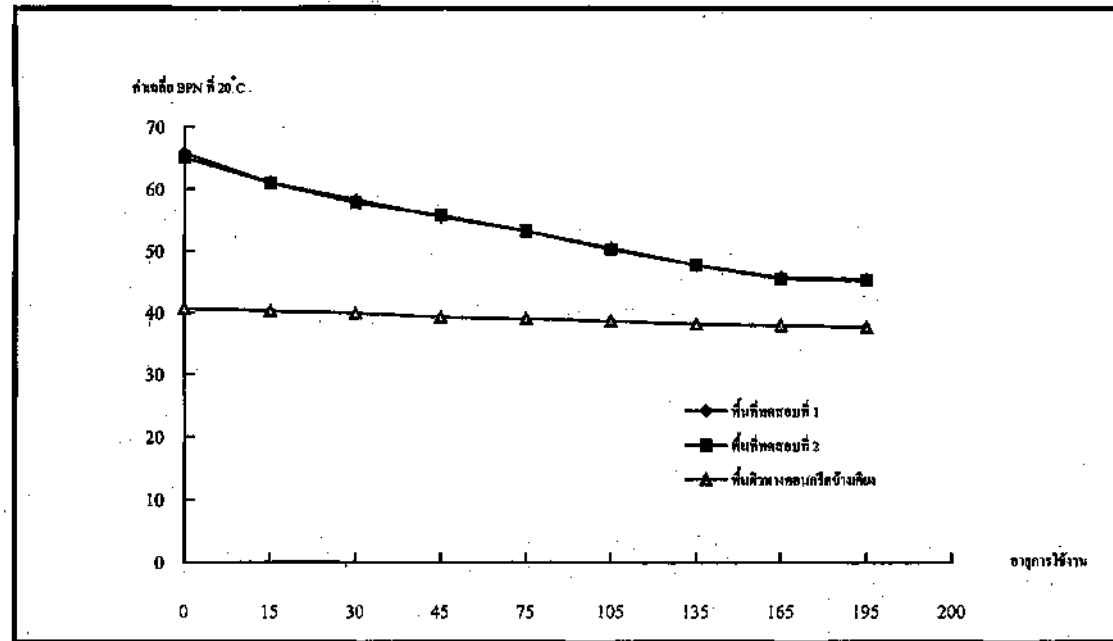
- หมายเหตุ
1. เปอร์เซ็นต์จำนวนรถโดยสารหนักและรถบรรทุกเฉลี่ย 6.12%
 2. ปริมาณการจราจรได้จากการจดบันทึกของเจ้าหน้าที่ทุกวัน
 3. วันเปิดการจราจร วันที่ 16 มีนาคม 2532

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของความลึกผิวทาง (STD) บนพื้นผิวทางในพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง

ลำดับที่ ทดสอบ	อายุการ ใช้งาน ของผิวทาง (วัน)	ค่าความลึกผิวทางเฉลี่ย (STD) มม.																		
		พื้นที่ทดสอบที่ 1					พื้นที่ทดสอบที่ 2					พื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง								
		จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	ค่าเฉลี่ย	จุด 5	จุด 6	จุด 7	จุด 8	ค่าเฉลี่ย	จุด A	จุด B	จุด C	จุด D	จุด E	จุด F	จุด G	จุด H	ค่าเฉลี่ย
1 16 มี.ค. 32	0	0.685	0.681	0.683	0.680	0.682	0.680	0.682	0.684	0.680	0.682	0.321	0.318	0.319	0.320	0.320	0.318	0.319	0.320	0.319
2 31 มี.ค. 32	15	0.661	0.672	0.665	0.664	0.666	0.669	0.663	0.661	0.664	0.664	0.320	0.318	0.319	0.320	0.319	0.318	0.321	0.319	0.319
3 15 เม.ย. 32	30	0.650	0.642	0.648	0.649	0.647	0.647	0.648	0.649	0.651	0.648	0.320	0.318	0.319	0.319	0.320	0.320	0.320	0.319	0.319
4 30 เม.ย. 32	45	0.630	0.632	0.634	0.630	0.631	0.631	0.630	0.631	0.632	0.631	0.318	0.318	0.316	0.315	0.318	0.317	0.319	0.318	0.318
5 30 พ.ค. 32	75	0.620	0.628	0.625	0.622	0.624	0.623	0.624	0.622	0.623	0.623	0.318	0.317	0.316	0.3187	0.316	0.316	0.317	0.319	0.317
6 30 มิ.ย. 32	105	0.590	0.591	0.592	0.590	0.591	0.590	0.592	0.591	0.591	0.591	0.315	0.317	0.318	0.317	0.318	0.315	0.316	0.317	0.317
7 30 ก.ค. 32	135	0.570	0.572	0.573	0.576	0.573	0.581	0.573	0.572	0.575	0.575	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.316	0.315	0.315
8 30 ส.ค. 32	165	0.550	0.554	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.561	0.555	0.315	0.315	0.316	0.315	0.314	0.314	0.313	0.313	0.314
9 30 ก.ย. 32	195	0.542	0.541	0.548	0.543	0.544	0.541	0.541	0.546	0.543	0.543	0.310	0.315	0.314	0.314	0.314	0.312	0.312	0.311	0.313



รูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้ง กับอายุการใช้งานของผิวทางบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง



รูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางเบี่ยง (ความหนาฟิล์มน้ำเฉลี่ย 0.508 มม.) กับอายุการใช้งานของผิวทางบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวของคอนกรีตข้างเคียง

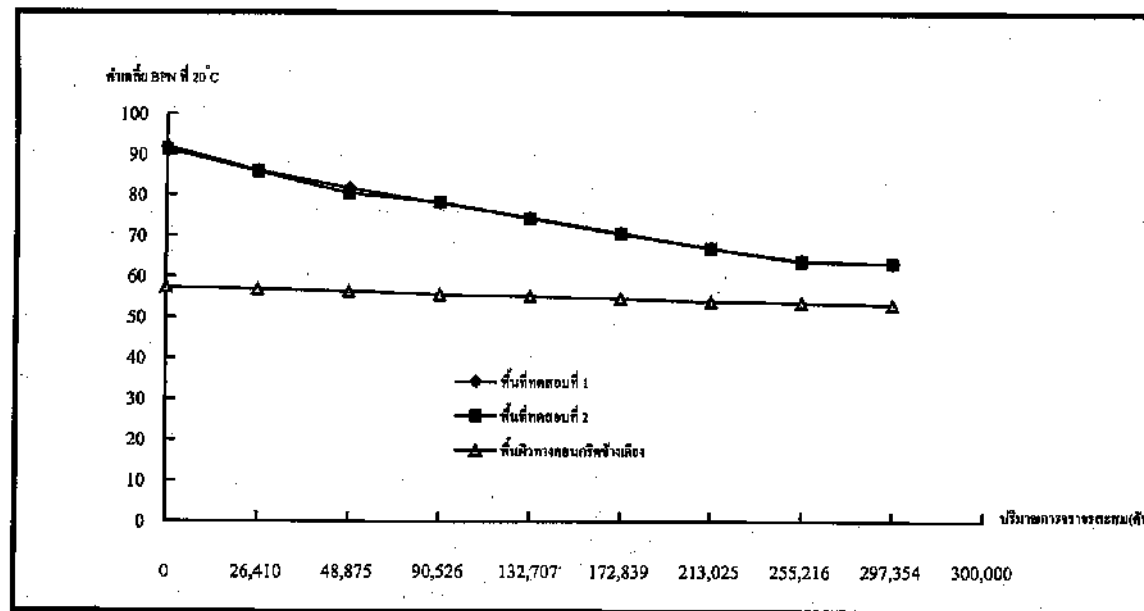
ดังนั้นพื้นที่สัมผัสนี้ของยางกับพื้นผิวทางจึงลดน้อยลงกว่าสภาพที่ไม่มีของเหลวมาปิดกัน ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัสของยางกับพื้นผิวทางในสภาพผิวทางเปียกมีค่าต่ำกว่าสภาพผิวทางแห้ง

ความต้านทานการลื่นไถลในแนวร่องล้อทั้งสภาพแห้งและสภาพเปียกพบว่ามีความต้านทานการลื่นไถลในระหว่างแนวร่องล้อ เนื่องจากพื้นที่ของผิวทางในแนวร่องล้อจะถูกล้อของยานพาหนะขัดสีและบดทับโดยตรงและบ่อยครั้งกว่าพื้นที่อื่น

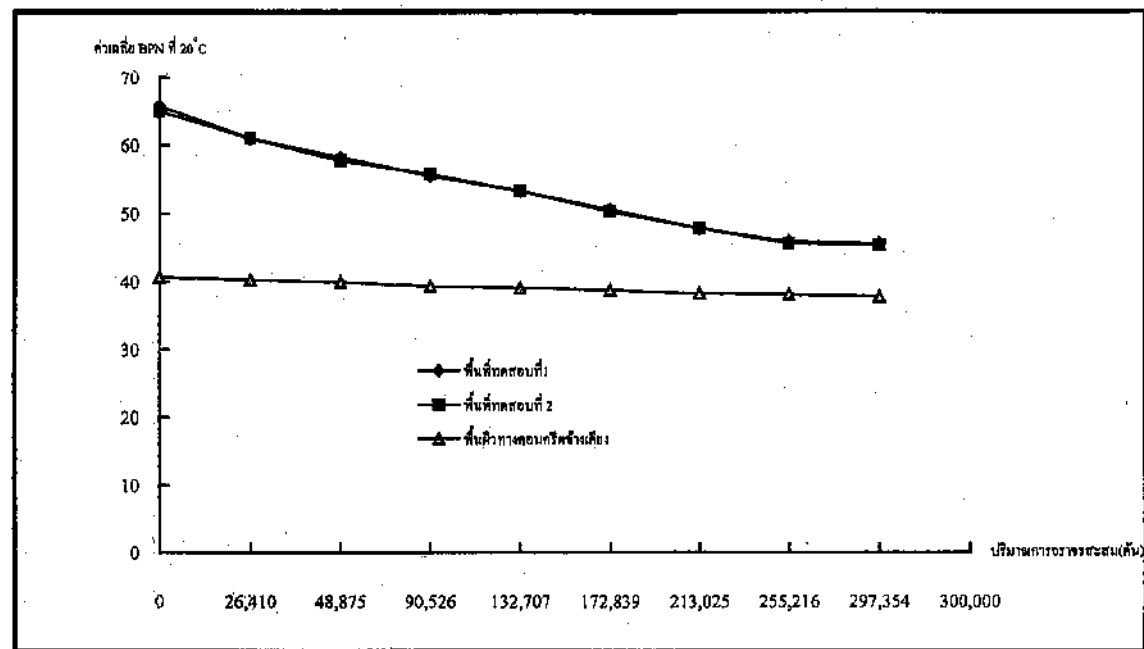
4.2 ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียก BPN_D และ BPN_W กับปริมาณการจราจรสะสม (Accumulated Traffic Volume)

ในการศึกษาวิจัยนี้ปริมาณการจราจรสะสมคิดจากปริมาณการจราจรที่ตรวจนับได้จริงในแต่ละวัน ซึ่งปกติจะมีเจ้าหน้าที่ตรวจสอบและบันทึกหมายเลขทะเบียนยานพาหนะที่เข้า-ออกโครงการฯ เป็นประจำทุกวัน ปริมาณของรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่จะเข้า-ออกโครงการฯ จำนวนน้อย เนื่องจากทางโครงการฯ ห้ามรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่ผ่าน ยกเว้นรถขนส่งวัสดุก่อสร้างภายในของโครงการฯ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามรูปที่ 24 และรูปที่ 25 แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางทั้งสภาพผิวทางเปียกและสภาพผิวทางแห้งจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อปริมาณการจราจรสะสมที่วิ่งผ่านพื้นที่ทดสอบเพิ่มมากขึ้น โดยมีอัตราการลดค่อนข้างสูงในช่วงแรก และค่อย ๆ ลดลงในช่วงต่อไป พื้นผิวทางเดิมแม้จะมีค่าความต้านทานการลื่นไถลต่ำกว่าพื้นที่ซึ่งซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้อย ทั้งนี้เนื่องจากงานแต่งผิวหน้าคอนกรีตโดยทั่วไปมักมีน้ำเหลือจากปฏิกิริยาเยิ้มขึ้นมาที่ผิว ทำให้บริเวณผิวบนของคอนกรีตมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำกว่าบริเวณอื่น และมักจะสึกหรอหลุดลอกได้โดยง่าย เมื่อมีการขัดสีและบดทับจากล้อของยานพาหนะ ทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดต่ำลงในอัตราสูงกว่าปกติ เมื่อพื้นผิวส่วนบนที่ไม่แข็งแรงหลุดลอกออกหมดแล้ว อัตราการลดลงของค่าความต้านทานการลื่นไถลจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยลง แต่ค่าความต้านทานการลื่นไถลทั้งในสภาพพื้นผิวทางเปียกและสภาพพื้นผิวทางแห้งยังคงลดต่ำลงตามปริมาณและขนาดของการจราจรที่เพิ่มขึ้นแบบสะสม โดยค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพผิวทางแห้งมีค่าสูงกว่าในสภาพผิวทางเปียกเสมอ เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสของยางกับพื้นผิวทางถูกขวางกั้นด้วยฟิล์มน้ำ ทำให้พื้นผิวสัมผัสมีค่าต่ำลง

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการลื่นไถลกับปริมาณการจราจรสะสม ประกอบกับมาตรฐานค่าความต้านทานการลื่นไถลที่แนะนำโดย Bunnag et al และ TRRL ตามประเภท



รูปที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เดี่ยวในสภาพผิวทางเทียบกับปริมาณการจราจรสะสมบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง



รูปที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางเบี่ยง กับปริมาณการบำบัดน้ำเสียบนพื้นที่ทดลองที่ 1, 2 และพื้นที่ผิวทางคอนกรีตข้างเคียง

และลักษณะของพื้นผิวทาง เราอาจคาดคะเนอายุการใช้งานของพื้นผิวทางแต่ละแบบได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานซ่อมบำรุงผิวทาง และยังสามารถช่วยความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่รถยนต์ได้อีกทางหนึ่ง

4.3 ความสัมพันธ์ของค่าความลึกผิวทาง (STD) กับอายุการใช้งานของผิวทาง

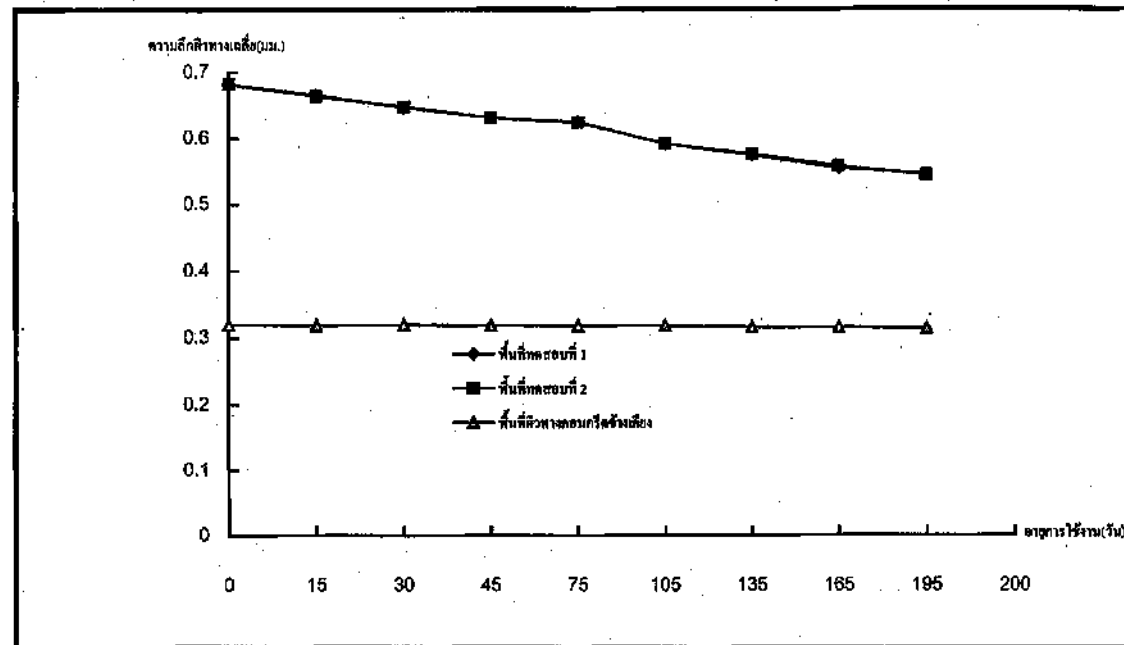
จากความสัมพันธ์ของค่าความลึกผิวทาง กับอายุการใช้งานของผิวทาง ดังแสดงในรูปที่ 26 และตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าค่าความลึกของผิวทางในพื้นที่ทดสอบที่ 1 พื้นที่ทดสอบที่ 2 และพื้นที่ทดสอบข้างเคียงมีค่าลดลงตามอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นโดยอัตราการลดลงของค่าความลึกผิวทางในพื้นที่ทดสอบที่ 1 และพื้นที่ทดสอบที่ 2 มีค่าสูงในช่วงเวลา 3 เดือนแรกต่อจากนั้นมีแนวโน้มลดต่ำลง ต่างจากพื้นที่ทดสอบข้างเคียงซึ่งแม้ค่าความลึกผิวทางจะมีค่าต่ำกว่าแต่ความเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกผิวทางตามอายุการใช้งานมีค่าต่ำกว่า

สาเหตุของการลดลงของค่าความลึกผิวทางในพื้นที่ทดสอบที่ 1 และพื้นที่ทดสอบที่ 2 มีอัตราการลดลงที่สูงในช่วงระยะ 3 เดือนแรก เนื่องจากน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเกิดการซึมสู่พื้นผิวส่วนบนขณะตกแต่งผิวหน้าคอนกรีต และสาเหตุสำคัญคือ ส่วนผสมคอนกรีตแข็งตัวเร็วมีระยะเวลาในการทำงานในสนามน้อย ประกอบกับงานตกแต่งผิวหน้าของคอนกรีตต้องทำกลางแจ้ง การระเหยของน้ำยิ่งช่วยเร่งให้ระยะเวลาการทำงานสั้นลง เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวช่างต้องใช้น้ำสไลด์ด้วยแปรงทั่วผิวหน้าที่กำลังทำงาน น้ำส่วนนี้เป็นน้ำส่วนเกินและลดความแข็งแรงของผิวหน้าคอนกรีตลงอย่างมาก เมื่อเปิดการจราจรพื้นผิวของคอนกรีตส่วนนี้จะถูกขัดสีและบดทับจากล้อยานพาหนะที่วิ่งอยู่บนพื้นผิวทาง และหลุดร่อนออกโดยง่าย เมื่อผ่านพื้นผิวชั้นนี้ไปลึกถึงเนื้อคอนกรีตที่มีคุณสมบัติดีกว่าแข็งแรงมากกว่า การหลุดร่อนจึงเริ่มน้อยลงและมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกผิวทางในอัตราค่อนข้างคงที่ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณการจราจรที่ใช้บริการบนพื้นผิวทางเป็นหลัก

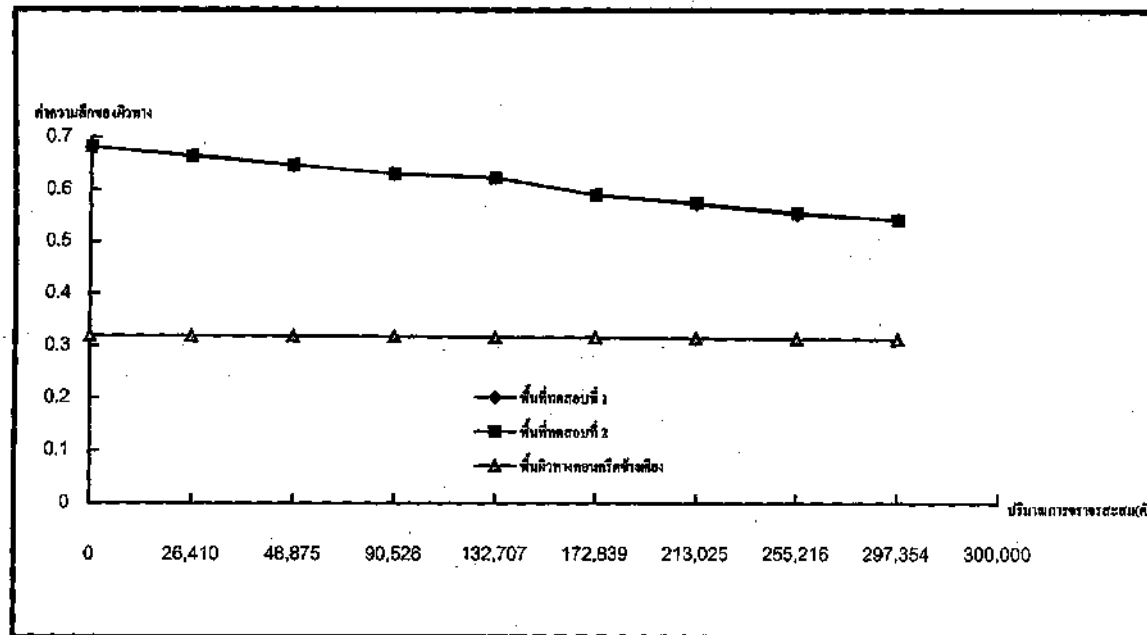
จากการสังเกตและทดสอบในภาคสนามพบว่าแนวร่องล้อที่ยานพาหนะบดทับจะลึกหรือมากกว่า และมีค่าความลึกของผิวทางน้อยกว่าแนวระหว่งร่องล้อ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวทางส่วนนี้มีการขัดสีและบดทับจากยางยานพาหนะมากกว่าค่าความลึกของผิวทางจึงน้อยกว่า

4.4 ค่าความลึกผิวทางกับปริมาณการจราจรสะสม

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกผิวทางกับปริมาณการจราจรสะสม ดังแสดงในรูปที่ 27 แสดงให้เห็นว่าค่าความลึกผิวทางโดยเฉลี่ยจะลดลงเมื่อปริมาณการจราจรสะสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยอัตราการลดลงของค่าความลึกผิวทางจะมีอัตราสูงในระยะ 3 เดือนแรก หลังจากนั้นอัตรา



รูปที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่วางไข่ของผึ้งกับอายุการใช้งานของผึ้งทางบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นที่วางคอนกรีตข้างเคียง



รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความดีของดินทางกับปริมาณการใส่ปุ๋ย

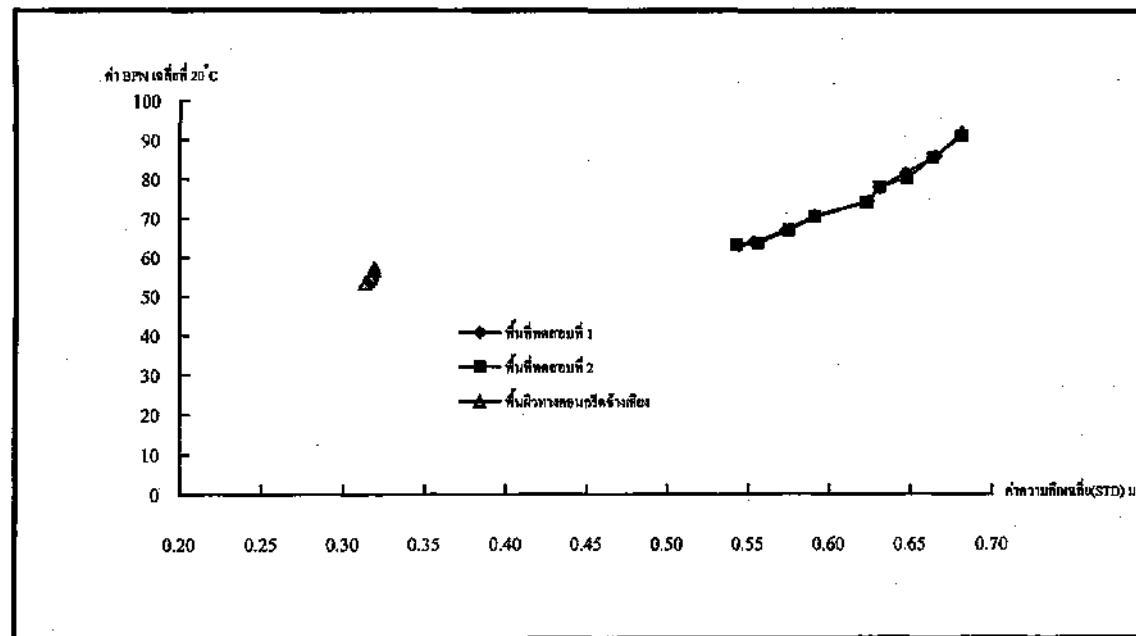
การลดลงจะน้อยลง แต่ยังคงมีแนวโน้มลดต่ำลงเรื่อย ๆ พื้นผิวทางในพื้นที่ทดสอบที่ 1 และพื้นที่ทดสอบที่ 2 มีค่าความสึกผิวทางเฉลี่ยทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษาสูงกว่าพื้นที่ข้างเคียง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ข้างเคียงเปิดให้บริการก่อนพื้นที่ซึ่งทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3 ปี การสึกหรอเนื่องจากการขัดสีและบดทับของยานพาหนะที่ใช้พื้นผิวการจราจรสะสมมากกว่า จึงมีการสึกหรอของผิวทางมากกว่า ทำให้ค่าความสึกผิวทางน้อยกว่า เนื่องจากพื้นผิวทางที่สึกหรอมักเป็นไปในลักษณะค่อย ๆ สึกหรอทีละน้อยและเป็นแบบกลมมนลึกเข้าไปในเนื้อวัสดุทั้งเม็ดหยาบและเม็ดละเอียดเรื่อย ๆ ไม่เป็นแบบแตกบิ่นเป็นเสี่ยง ๆ ดังนั้นค่าความสึกของพื้นผิวทางจึงลดน้อยลงเป็นสัดส่วนแบบผกผันกับปริมาณการจราจรแบบสะสม

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลกับค่าความสึกผิวทาง

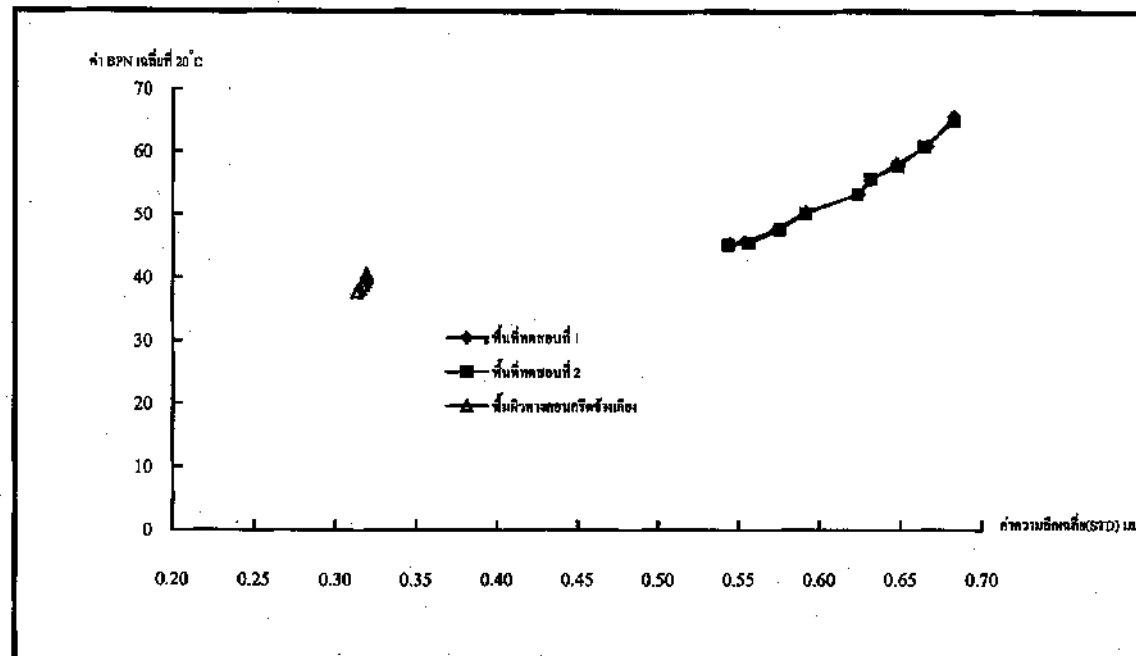
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลกับค่าความสึกผิวทาง ดังแสดงในรูปที่ 28 และรูปที่ 29 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานการลื่นไถลจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความสึกผิวทางแบบแปรผันตรงตามกันทั้งในสภาพพื้นผิวทางแห้งและสภาพพื้นผิวทางเปียก

ในสภาพผิวทางแห้งและมีค่าความสึกผิวทางมาก แสดงถึงผิวมหภาคของพื้นผิวทางมีความหยาบมาก ซึ่งลักษณะเช่นนี้เป็นกาารเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัสของยางล้อพาหนะกับพื้นผิวทาง และเกิดการยุบตัวของยางดีซ์ขึ้นกว่าผิวทางเรียบ ทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผิวทางเรียบ

เมื่อสภาพผิวทางเปียกฟิล์มของน้ำที่ปกคลุมบนพื้นผิวการจราจรเป็นสิ่งปิดกั้นการสัมผัสกันระหว่างยางยานพาหนะกับพื้นผิวการจราจร พื้นที่สัมผัสจะมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับความแหลมคมของแ่งมุมวัสดุที่ใช้ทำผิวจราจรจะสามารถแทงทะลุฟิล์มน้ำได้มากหรือน้อย และพบว่ารูปร่างของวัสดุแหลมคมมีแ่งมุมมีประสิทธิภาพในการแทงทะลุฟิล์มน้ำหรือของเหลวอื่นได้ดีกว่าวัสดุที่มีรูปร่างกลมมน ปัจจัยที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานการลื่นไถลบนผิวทางเปียก คือ ความสึกผิวทางพื้นผิวทางที่มีความสึกผิวทางมากและหยาบ จะช่วยให้การระบายน้ำที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของหน้ายางกับพื้นผิวทางได้ดีกว่าพื้นที่เรียบ เมื่อการระบายน้ำออกเกิดขึ้นได้ดีความหนาของฟิล์มน้ำจะต่ำลงและยังเป็นการลดแรงดันที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของยางกับพื้นผิวทางระหว่างที่ยานพาหนะวิ่งอยู่บนพื้นผิวทางขณะเปียกอีกทางหนึ่ง ปัจจัยทั้งหมดนี้ช่วยให้พื้นผิวทางหยาบและมีค่าความสึกผิวทางมากมีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงกว่าพื้นผิวทางเรียบ



รูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้ง กับค่าความถี่ผิวทางเฉลี่ยบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง



รูปที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางเปียก กับค่าความถี่ผิวทางเฉลี่ยบนพื้นที่ทดสอบที่ 1, 2 และพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียง

4.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบภาคสนามระหว่างพื้นผิวทางคอนกรีตเดิมกับพื้นผิวทางที่ซ่อมแซมด้วยคอนกรีตแข็งตัวแบบ Thin Bonded Patching

พื้นผิวทางคอนกรีตเดิมเปิดให้บริการก่อนที่จะเกิดความเสียหาย ในลักษณะการหลุดร่อนของพื้นผิวทางประมาณ 3 ปี ความเสียหายเนื่องจากการหลุดร่อนนี้เคยดำเนินการซ่อมแซมด้วย Asphalt Overlay แต่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้เนื่องจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ พื้นผิวที่ซ่อมแซมเกิดการหลุดลอกโดยง่ายเนื่องจากความหนาของชั้น Asphalt Overlay น้อยเกินไป และไม่เป็นที่พึงพอใจของผู้พบเห็นเนื่องจากขาดความสวยงาม จากนั้นได้ทำการซ่อมแซมแบบ Thin Bonded Patching โดยการใช้ Cement Paste เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตเก่าและคอนกรีตใหม่ แต่ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหามาได้เนื่องจากเกิดการหลุดลอกโดยทั่วไป ต่อมาได้ทดลองนำ Latex Concrete มาใช้งานและใช้ Latex Polymer เป็นตัวเชื่อมระหว่างคอนกรีตเก่าและคอนกรีตใหม่วิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาทางซ่อมแซมได้ทั้งหมดโดยไม่เกิดความเสียหาย เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้เกี่ยวข้องงานจึงได้ทำการตรวจวัดค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองเพื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวทางคอนกรีตเดิมและมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป

4.6.1 พิจารณาด้านความต้านทานการสิ้นเปลือง

ตารางที่ 9 รูปที่ 22 และรูปที่ 23 แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองบนพื้นที่ทดสอบที่ 1 และพื้นที่ทดสอบที่ 2 ให้ค่าสูงกว่าค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองบนพื้นที่ทดสอบผิวจราจรคอนกรีตเดิมทั้งสภาพพื้นผิวทางเปียกและสภาพพื้นผิวทางแห้ง เป็นหลักฐานบ่งชี้ว่างานซ่อมบำรุงผิวจราจรคอนกรีตที่หลุดร่อน แดกบั้น ทุกขนาดของพื้นที่สามารถซ่อมบำรุงด้วยส่วนผสมของคอนกรีตตามการศึกษาวิจัยนี้ได้ โดยไม่เกิดความเสียหายและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ยานพาหนะ

ค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองของพื้นที่ผิวทางที่ซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองบนพื้นผิวทางเดิม เนื่องจากลักษณะผิวมหภาคของพื้นผิว Thin Bonded Patching มีความหยาบมากกว่า จึงช่วยให้การระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสระหว่างยางยานพาหนะกับพื้นผิวทางเกิดขึ้นได้ดีกว่า การยุบตัวของยางระหว่างวิ่งบนพื้นผิวทางที่หยาบเกิดขึ้นดีกว่า จึงเป็นปัจจัยทำให้ค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองสูงกว่า ในขณะที่ผิวจราจรเดิมเปิดให้บริการมาแล้วถึง 3 ปี ปริมาณการจราจรสะสมมีค่าสูงกว่า การขูดสีและบดทับจากยานพาหนะเกิดขึ้นมากกว่า ทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นสูงตามไปด้วย พื้นผิวที่ถูกขูดสีและสึกหรือด้วยยางยานพาหนะที่วิ่งบนพื้นผิวทางนี้

ทำให้พื้นผิวมหภาคของพื้นผิวทางเรียบมน ทำให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสของยาง กับพื้นผิวทางลดลง การยุบตัวของยางขณะวิ่งบนพื้นผิวทางเรียบเกิดขึ้นไม่ดีพอ องค์ประกอบเหล่านี้ ทำให้พื้นผิวทางคอนกรีตเดิมมีค่าความต้านทานการลื่นไถลต่ำกว่าพื้นผิวทางที่ซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching

4.6.2 พิจารณาด้านความสึกผิวทาง

ค่าความสึกผิวทางคอนกรีตเดิมสัมพันธ์กับอายุการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 24 และตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าความสึกผิวทางของพื้นผิวทางคอนกรีตเดิมมีค่าความสึกลดลงเมื่ออายุการใช้งาน เพิ่มมากขึ้น แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความสึกผิวทางมีค่าต่ำและค่อนข้างเปลี่ยนแปลงไปด้วยอัตราคงที่ ส่วนความสึกของพื้นผิวทางที่ซ่อมบำรุงด้วยคอนกรีตแข็งตัวเร็วแบบ Thin Bonded Patching พบว่ามี อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความสึกของผิวทางสูงกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสึกผิวทางพื้นผิวทาง คอนกรีตเดิม ในระยะเวลาประมาณ 3 เดือน หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความสึกผิวทาง เริ่มต่ำลง แต่ค่าความสึกผิวทางยังคงสูงกว่าพื้นผิวทางคอนกรีตเดิม ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวทางคอนกรีตเดิม เปิดให้บริการมาแล้วประมาณ 3 ปี การขัดสีและการบดทับจากยานพาหนะจึงทำให้เกิดการสึกหรอสูงกว่า ค่าความสึกของผิวทางจึงน้อยกว่าค่าความสึกผิวทางที่ซ่อมแซมใหม่

4.6.3 พิจารณาด้านความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานซ่อมบำรุง

ความเสียหายของพื้นผิวทางคอนกรีตในลักษณะการหลุดร่อนสำรวจพบเห็นโดยทั่วไป โดยเฉพาะกรณีใช้หินกรวดผสมคอนกรีตแทนหินโม เนื่องจากผิวของหินกรวดลื่นเป็นมันแรงยึดเกาะ ระหว่างพื้นผิวเม็ดกรวดกับซีเมนต์จึงมีค่าต่ำ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการหลุดร่อนที่ผิวหน้าของ คอนกรีตซึ่งได้รับการขัดสีและบดทับจากยางของยานพาหนะหลุดร่อนได้โดยง่าย สาเหตุเนื่องจากการเยิ้ม ของน้ำในส่วนผสมที่มากเกินไป การเพิ่มน้ำให้แก่คอนกรีตบริเวณผิวหน้าที่เริ่มแข็งตัวและตกแดง ได้ยาก และการใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำเกินไป ส่วนเป็นสาเหตุให้ผิวหน้าของคอนกรีตหลุดร่อนและแตกบิ่นได้ ทั้งสิ้น ความเสียหายในลักษณะการหลุดร่อนพบว่าความลึกที่เกิดการเสียหายมีขนาดตั้งแต่ 3 มม. ถึง 50 มม. แต่ส่วนมากมักมีค่าไม่เกิน 10 มม. ทำให้ยากในการซ่อมบำรุงโดยไม่มีการหลุดลอก การนำ Latex Polymer มาผสมในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติ ด้านแรงดึงเหนียว แรงดัดที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้สามารถใช้ส่วนผสม Latex Polymer กับคอนกรีต

ละเอียด (Fine Concrete) ซ่อมแซมความเสียหายที่ลึก 10 มม. ถึง 30 มม. และใช้ Mortar ผสม Latex Polymer ซ่อมแซมความเสียหายที่ลึกน้อยกว่า 10 มม. ได้โดยไม่หลุดลอก

พิจารณาด้านความปลอดภัยเนื่องจากการสั่นไหว จากตารางที่ 9 พบว่าค่าความต้านทานการสั่นไหวของพื้นผิวทางที่ซ่อมแซมแบบ Thin Bonded Patching ในพื้นที่ทดสอบที่ 1 และพื้นที่ทดสอบ ที่ 2 มีค่าสูงกว่าพื้นผิวทางคอนกรีตข้างเคียงทั้งสภาพผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียก แม้จะผ่านการใช้งานถึง 195 วัน ปริมาณการจราจรสะสม 297,354 คัน การซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching ด้วยคอนกรีตแข็งตัวเร็วผสม Latex Polymer จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการซ่อมบำรุงผิวจราจรคอนกรีต

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 คุณสมบัติต้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

5.1.1 ความต้านทานการลื่นไถล ในสภาพผิวทางเปียกมีค่าต่ำกว่าสภาพผิวทางแห้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 1-6 เท่า ทั้งพื้นผิวทางคอนกรีตเดิม และพื้นผิวทางที่ซ่อมแซมแบบ Thin Bonded Patching เมื่ออายุการใช้งานเท่ากัน

5.1.2 ความต้านทานการลื่นไถลบนผิวทางที่ซ่อมแซมแบบ Thin Bonded Patching มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลบนผิวทางคอนกรีตเดิมทั้งในสภาพผิวทางเปียกและสภาพผิวทางแห้ง

5.1.3 ความต้านทานการลื่นไถลแบบผกผัน อายุการใช้งานทั้งสภาพผิวทางเปียกและสภาพผิวทางแห้ง และอัตราการลดลงของค่าความต้านทานการลื่นไถลจะมีอัตราลดลงสูงในระยะเวลาประมาณ 3 เดือนแรกซึ่งมีปริมาณการจราจรประมาณ 1.7×10^5 เที่ยว

5.1.4 ความต้านทานการลื่นไถลแบบผกผันกับปริมาณการจราจรสะสมทั้งสภาพผิวทางเปียกและสภาพผิวทางแห้ง

5.1.5 ความต้านทานการลื่นไถลแปรผันตรงตามค่าความลึกผิวทาง

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตละเอียด (Fine Concrete) สำหรับซ่อมแซมความเสียหายบนพื้นผิวทางคอนกรีตทุกขนาดความลึกที่เกิดความเสียหาย ปัญหาอุปสรรค คือ ความไม่เหมาะสมและยุ่งยากในการตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบ ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป คือ

5.2.1 แบ่งส่วนผสมของวัสดุที่จะใช้งานทดสอบเป็น 2 ประเภท คือ Mortar และ Fine Concrete เลือกใช้วัสดุทั้ง 2 ประเภทให้เหมาะสมกับความลึกที่เกิดความเสียหาย

5.2.2 ทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล ค่าความลึกผิวของ Mortar และ Fine Concrete เปรียบเทียบกับผิวทางคอนกรีตเดิม

5.2.3 ควรทำการวัดค่าความต้านทานการลื่นไถล ค่าความลึกของผิวทาง และปริมาณการจราจรสะสมระยะยาว เพื่อเปรียบเทียบผลและสรุปผลเป็นความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ เพื่อประโยชน์ต่องานบำรุงทางในแง่ความปลอดภัยต่อผู้ใช้ขี้นยาน

5.2.4 ตรวจวัดค่าการหลุดลอกของพื้นผิวทางที่ทำการทดสอบในสนาม

เอกสารอ้างอิง

- Bunnag, S., Sukhawan, C., et al** "Pavement Surface Characteristics and Their Skid Resistance Values." Proceeding of the First Conference of The Road Engineering Association of Asia and Australia. Vol.I. pp 64-78, Bangkok, United Production, 1975
- Csathy, T.I., Burnett, W.C., and Armstrong, M.D.** "State of the Art of Skid Resistance Research." Highway Research Board Special Report 95. Pp. 34-48. Washington D.C., 1968
- Ciles, C.G., Sabey, B.E., and Cardew, H.H.F.** "Development and Performance of the Portable Skid Resistance Tester." Road Research Technical Paper No. 66. London : Her Majesty Station Office, 1964.
- Giles, C.G.**, "The Skidding Resistance of Road and the Requirements of Modern Traffic." Proc. Inst. Civ. Eng., Vol. 6, P. 216-249, February 1957.
- Hosking, J.R.** "Synthetic Aggregates of High Resistance to Polishing : Part 3-Porous Aggregates." TRRL Laboratory Report 655 (LR 655) Crowthorne, Berkshire. 1974.
- Hosking, J.R., and Jacob, F.A** "Synthetic Aggregates of High Resistance to Polishing : Part 4-Specially Shaped Chippings." TRRL Laboratory 655 (LR 655). Crowthorne, Berkshire. 1974.
- Hosking, J.R., and woodford, G.C.** "Measurement of Skidding Resistance. Part II Factors affecting the Slipperness of a Road Surface." TRRL Laboratory Report 738 Crowthorne, Berkshire. 1976
- Horne, W.B.** "Tire Hydroplaning and Its Effect on Tire Traction." Highway Research Record No. 214. (1968) : pp. 24-33.
- Lupton, G.N.** "Thefield Testing of Skidding." Presented at a Symposium of the Influence of the Road Surface on Skidding at the Centre for Transport Studies." University of Salford, October 1968.

- Maycock, G. "Experiments on Tyre Tread Patterns." Ministry of Transport Road Research Laboratory. Report No. LR 122. Crowthorne, Berkshire, 1967.
- Maclean, D.J., and Shergold, F.A. "The polishing of the Roadstone in Relation to the Resistance to Skidding of Bituminous Road Surfacing." Road Research Technical Paper No. 43, London : Her Majesty Station Office, 1968.
- Road Research Laboratory. "Research on Road Safety." Department of Scientific and Industrial Research, HMSO London 1963.
- Sabey, B.E. "Road Surface Texture and the Change in Skidding Resistance with Speed." RRL Report No. 20. Harmondsworth. 1966.
- Sabey, B.E. "The Road Surface in Relation to Friction and Wear of Tyre." Road Tar Vol. 23, No.1, March 1969.
- Salt, G.F., and Szatkowski, W.S. "A Guide to Levels of Skidding Resistance for Roads." TRRL Laboratory Report 510 (LR 510) Crowthorne, Berkshire. 1973.
- Salt, G.F. "Research on Skid-Resistance at the Transport and Road Research Laboratory (1927-1977)." TRRL Supplementary Report 340. Crowthorne, Berkshire. 1977.
- ปรีชา ไกรสิริเดช "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินผสมทรายเผาหินปูนเผาแก้วตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอม เพื่อมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง." วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ. 2523.
- เจน บุญเชื้อ "การศึกษาการใช้เม็ดดินเผา สำหรับผิวทางแอสฟัลท์ติก" วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2523.
- วิชัย สัมพรพานสกุล "การผลิตและหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินเผา ซึ่งทำจากดินเหนียวกรุงเทพฯ." วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2523.

- รายงานฉบับที่ : วพ. 171 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
- ผู้เขียน : นายชยันต์ เจริญพร, นายสุเชษฐ์ เอี่ยมเขย
- ชื่อเรื่อง : ความต้านทานการลื่นไถลของงานซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching
- บทคัดย่อ : Latex จัดเป็นสาร Polymer ประเภทหนึ่งซึ่งได้ถูกนำมาใช้งานในลักษณะ Bonding Medium คุณสมบัติเด่นของ Latex ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ใช้เพิ่มแรงยึดเกาะและเชื่อมประสานระหว่างคอนกรีตใหม่กับพื้นผิวของคอนกรีตเก่า และได้ใช้ Latex Concrete เป็นวัสดุซ่อมบำรุงพื้นผิวทางคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายในลักษณะต่าง ๆ ที่สำรวจพบโดยทั่วไปในประเทศไทยเช่นการแตกหลุดของผิวหน้าคอนกรีต การหลุดร่อนของผิวหน้าคอนกรีต หรือการแตกแบบรอยบิ่น
- ติดตามรอยต่อ
- วัตถุประสงค์และของของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถลบนพื้นผิวทางที่ซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching สัมพันธ์กับค่าอายุการใช้งาน ค่าความลึกผิวทาง และปริมาณการจราจรสะสม โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้จากการตรวจวัดบนพื้นที่ทดสอบขนาด 3.00X5.00 เมตร จำนวน 2 แปลง ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางในสภาพแห้งและเปียกวัดด้วยเครื่อง British Portable Tester และค่าความลึกผิวทางวัดโดยวิธี Sand Patch
- จากข้อมูลในการศึกษาวิจัยพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพผิวทางเปียกบนพื้นที่ทดสอบทั้ง 2 แปลง สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดทั่วไป คือ 45 จึงถือว่าปลอดภัยเนื่องจากอุบัติเหตุเนื่องจากการลื่นไถล
- ศัพท์เฉพาะเรื่อง : ความต้านทานการลื่นไถล, ค่าความลึกผิวทาง, Latex Concret

ทล. วพ./ว/2542/ท.

ISSN 0125-8044

- Report No.** : RD171, Road Research and Development Center, Department of Highways.
- Authors** : Chayan Charoenporn, Suchest Eamchoey
- Title** : Skid Resistance of Thin Bonded Patching
- Abstract** : Latex is one of Polymer used for bonding medium. The prominence of latex in this research is used for bonding new concrete to old concrete surface. Common patterns of failure of rigid pavement in Thailand are Spalling and Surface Breaking, Spalling and Shallow Spalling at Joint. By using Latex Concrete as Thin Bonded Patching material is suitable for maintenance work.
- The purpose and scope of this research were to study relationship between skid resistance on Thin Bonded Patching surface and Service life, Surface Texture Depth and Accumulated Traffic Volume. The 2 test sections of 3.00X5.00 meters were constructed. The British Portable Tester was used to measure skid resistance both dry and wet condition and surface texture depth was measured by Sand Patch Method.
- Data obtained from 2 test sections indicated that skid resistance value more than 45 and safety from slippery accident.
- Keywords** : Skid Resistance, Surface Texture Depth, Latex Concrete

DH RD/M/1999/T

ISSN 0125-8044