



การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลมวลรวมหิน

THE STUDY OF SKID RESISTANCE VALUE OF AGGREGATE

นายชนากรณ์ ชะเอม รหัส 53360286
นางสาวนิวาริน คำตรง รหัส 53360392
นางสาวภัทรนันท์ บุญขาน รหัส 53360767

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 30, ก.ย. 2558
เลขทะเบียน..... 16920925
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๖
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ๕ ๒๙/ ๗

๕๕๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

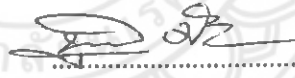
ปีการศึกษา 2556

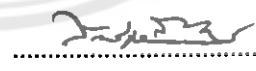


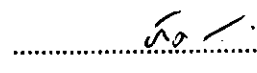
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาความต้านทานการเดินไถลของหิน
ผู้ดำเนินโครงการ นายชนากรณ์ ชะเอม รหัส 53360286
นางสาวนิวาริน คำตรง รหัส 53360392
นางสาวภัทรนันท์ บุญขาน รหัส 53360767
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์บุญพล มีไชโย
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์บุญพล มีไชโย)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สติกรณต์ เหลืองวิชเจริญ)


.....กรรมการ
(อาจารย์กัตพงษ์ หอมเนียม)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของหิน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธนากรณั	ชะเอม	รหัส 53360286
	นางสาวนิวาริน	คำตรง	รหัส 53360392
	นางสาวภัทรนันท์	บุญชนาน	รหัส 53360767
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์บุญพล	มีไชโย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

โครงการการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษา ความต้านทานการลื่นไถลมวลรวมของหินปูน ขนาด $3/4$ นิ้ว , $1/2$ นิ้ว และ $3/8$ นิ้ว ในอัตราส่วนที่คละกัน จากแหล่งหิน อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถลของหินใน อัตราส่วนต่างๆกับจำนวนรอบในการขัด โดยใช้เครื่องมือในการทดลอง 2 ชนิด คือ เครื่องขัด ทดสอบ (Polishing Machine) และ เครื่องวัดความต้านทานการลื่นไถล (British Portable Tester) ทั้งหมด 27 ตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์และสรุปค่าความต้านทานการลื่นไถล

จากการศึกษาความสัมพันธ์พบว่าเมื่อจำนวนรอบในการขัดทดสอบด้วยเครื่องขัด Polishing Machine มากส่งผลทำให้มีค่าความต้านทานการไถลลดลง ในกรณีหินขนาด $1/2$ นิ้ว ผสมกับ $3/4$ นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์คือ $y = -4.7667x + 64.678$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.9151$, หินขนาด $3/8$ นิ้ว ผสมกับ $3/4$ นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -2.0111x + 54.056$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.9268$, หินขนาด $3/8$ นิ้ว ผสมกับ $1/2$ นิ้ว ใน อัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -5.0778x + 68.9$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.8522$

Project title The Study of Skid Resistance Value of Aggregate

Name Mr.Tanakorn Cha-em ID.53360286

 Ms.Niwarin Khamtrong ID.53360392

 Ms.Phattharanan Boonkhanan ID.53360767

Project advisor Mr.Boonphol Meechaiyo

Major Civil Engineering

Department Civil Engineering

Academic year 2013

Abstract

This project studies the of polished stone value of aggregate scale 3/4 in. , 1/2 in. and 3/8 in. at Prankratai distric, Kamphaeng phet Province. Our main objective is to compare the skid resistance of stone in the unequal ratio and number of polishing stone .The skid resistance tested by portable skid resistance tester and polishing stone machine, all trail 27 examples. And finally the project will analyze the skid resistance.

This project tell us that number of polishing stone have a direct effect on the resistance. However , with increasing number of cycles more polished .The skid resistance is significantly reduced. Rock scale 1/2 in. mixture 3/4 in. at 60:40 ratio in rocks correlated $y = -4.7667x+64.678$ certainty $R^2 = 0.9151$, rock scale 3/8 in. mixture 3/4 in. at 60:40 ratio in rock correlated $y = -2.0111x+54.056$ certainty $R^2 = 0.9268$, rock scale 3/8 in. mixture 1/2 in. at 60:40 ratio in rock correlated $y = -5.0778 x+68.9$ certainty $R^2 = 0.8522$

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ ทางคณะผู้ดำเนินงานต้องขอขอบคุณ อาจารย์บุญพล มีไชโย ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้ทางคณะผู้จัดทำสามารถนำหนังสือไปใช้เพื่อค้นคว้า

ขอขอบคุณนายรัชสกมล บัวชื่น ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในด้านการทดสอบวัสดุแก่คณะผู้จัดทำโครงการ

ขอขอบคุณฝ่ายอาคารปฏิบัติการของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ยืมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณคณะอาจารย์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่คณะผู้ดำเนินงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดามารดาที่ให้การอุปการะทางการเงิน และทางด้านจิตใจจนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายธนากรณ์

ชะเอม

นางสาวนิวาริน

คำตรง

นางสาวภัทรนันท์

บุญชนาน

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง.....	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล.....	6
2.3 การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลในอดีต.....	19
2.4 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง.....	24
2.5 มาตรฐานกำหนดความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	33
3.1 เครื่องมือ,วัสดุ.....	33
3.2 วิธีการทดลอง.....	35
3.3 แผนผังดำเนินโครงการ.....	41
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์.....	42
4.1 ผลการศึกษา.....	42
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	66
ภาคผนวก ค.....	67
ผู้ดำเนินโครงการ.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของยาง.....	27
2.2 ระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (SFC ₅₀) สำหรับประเภท..... และลักษณะของถนนต่างๆรวม 4 ประเภท (Giles, 1957)	30
2.3 ผลของความลึกของผิวหมาภาคที่มีต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล(SRV)..... เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น (Salt & Szatkowski, 1973)	31
2.4 ค่าความต้านทานการลื่นไถลขั้นต่ำของ BPT-Number และ Mu-Meter Number..... ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในลักษณะถนนประเภทต่างๆในกรณีผิวทางเปียก (Wet Condition) (Bunnag & Sukhawan, 1975)	32
4.1 ผลการทดสอบวัสดุหินขนาด 3/8 นิ้ว + 1/2 นิ้ว.....	43
4.2 ผลการทดสอบวัสดุหินขนาด 3/8 นิ้ว + 3/4 นิ้ว.....	43
4.3 ผลการทดสอบวัสดุหินขนาด 1/2 นิ้ว + 3/4 นิ้ว.....	44

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงแรงที่กระทำต่อล้อรถยนต์ขณะมีการเคลื่อนที่ (NHCRP, 2009).....	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดอุบัติเหตุเมื่อถนนเปียกและความเสียหายของผิวทาง.....	4
(Rizenbergs et al., 1973)	
2.3 ค่าเฉลี่ยความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุรถชนสำหรับโครงข่ายถนนในประเทศอังกฤษ.....	5
(Viner et al., 2004)	
2.4 องค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางล้อรถและผิวทาง.....	6
(Maclean & Shergold, 1968)	
2.5 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง (Lupton, 1968).....	8
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การลดลงของค่า สปส. ความเสียหาย (BFC).....	9
กับความสึกผิวทาง (STD) ของถนนในช่องทางรถวิ่งช้า และ ช่องทางรถวิ่งเร็ว	
2.7 แสดงผลของความสึกผิวทางที่มีต่อการลดลงของค่า สปส. ความเสียหาย(BFC).....	10
ที่ความเร็ว 50 และ 130 กม./ชม. (Sabey 1966)	
2.8 แสดงผลของค่าความยืดหยุ่นของคอกยาง (Tread Resilience) บนผิวทางเรียบ.....	12
และหยาบในสภาพผิวทางเปียก (Lupton, 1968)	
2.9 ผลของลักษณะคอกยางบนผิวทางเรียบและหยาบในสภาพที่มีค่อค่า.....	13
สปส.ความเสียหาย (BFC) (Lupton, 1968)	
2.10 แสดงผลของความสึกคอกยางกับค่า สปส. ความเสียหาย (BFC).....	15
บนผิวทางเปียก (Sabey, 1969)	
2.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SFC ที่อุณหภูมิใดๆ (SFC).....	16
กับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (t)	
2.12 แสดงผลของความเร็วขูดยางที่มีต่อ สปส. ความเสียหาย (SFC) ในสภาพผิวทางต่างๆ.....	18
2.13 แสดงผลของความเร็วขูดยางที่มีต่อ สปส. ความเสียหาย (SFC).....	18
ในสภาพผิวทางต่างๆ กันขณะเปียก	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.14 แสดงระดับค่า สปส.ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทางชนิดต่างๆ.....	20
2.15 แสดงระดับค่า สปส.ความเสียดทาน (SFC ในฤดูร้อน) บนผิวทางมาตรฐาน Motorway.....	21
2.16 แสดงการเพิ่มค่าของ สปส.ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทาง.....	21
Trunk Road A 4 ,COLNBROOK BY -PASS เมื่อการจราจรลดลง (Salt, 1977)	
2.17 แสดงความสัมพันธ์ของค่า M – MV กับ BPTV (Bunnag & Sukhawan, 1975).....	23
2.18 เครื่อง British Portable Tester (BPT).....	26
2.19 แสดงแผ่นคัชนี.....	28
2.20 เครื่องขัด (Polishing Machine).....	29
3.1 ทาน้ำมันที่แบบหล่อ(mold).....	36
3.2 เรียงเม็ดหินตัวอย่างลงในแบบหล่อ(mold) และวางลวดเสริมเหล็ก.....	36
3.3 หล่อด้วยปูนทราย.....	37
3.4 นำแผ่นตัวอย่างไปแช่น้ำ.....	37
3.5 ทำการหาค่าเฉลี่ย PSV ก่อนทำการขัดทดสอบ.....	38
3.6 นำแผ่นตัวอย่างมาจัดเรียงในวงล้อเหล็ก.....	39
3.7 เดินเครื่องดำเนินการขัดแผ่นตัวอย่าง.....	39
3.8 เลื่อนแกนแกว่งให้สัมผัสตัวอย่างเป็นระยะ 7.6 ± 0.1 ซม.....	40
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และจำนวนรอบในการขัดของ.....	45
หินขนาด 3/8 นิ้ว + 1/2 นิ้ว	
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และจำนวนรอบในการขัดของ.....	46
หินขนาด 3/8 นิ้ว + 3/4 นิ้ว	
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และจำนวนรอบในการขัดของ.....	47
หินขนาด 1/2 นิ้ว + 3/4 นิ้ว	

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

PSV = Polished Stone Value

BFC = Brake Force Coefficient

SFC = Sideway Force Coefficient



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) คือ แรงต้านทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง หรือแรงต้านไม่ให้ล้อลื่นไถลไปบนผิวทาง ค่าความเสียดทานของผิวทางนับเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งในการประเมินสภาพความปลอดภัยของถนน โดยผิวทางที่มีความเสียดทานของผิวทางต่ำ เมื่อถนนลื่นย่อมส่งผลให้ถนนเกิดความไม่ปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณทางโค้งซึ่งพบอุบัติเหตุบ่อย นอกจากนี้ถนนที่มีค่าความเสียดทานของผิวทางสูงจะช่วยทำให้ระยะการเบรกของรถสั้นลง รถสามารถชะลอความเร็วได้ดีขึ้น ช่วยลดอุบัติเหตุหรือทำให้อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยลงได้ เราจึงได้ทำการทดลองหาค่าความต้านทานการลื่นไถลของหินแต่ละขนาด เพื่อที่จะนำค่าความต้านทานการลื่นไถลของหินไว้เป็นกรณีศึกษาในการคัดเลือกหินที่ใช้ในการทำถนน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคูสมบัติของหินแต่ละขนาด ที่ใช้ในการก่อสร้างถนน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของมวลรวมหินกับเครื่องทดสอบ
- 1.2.3 เพื่อหาแนวทางในการลดอุบัติเหตุจากการลื่นไถล เมื่อถนนเปียก

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบคุณสมบัติของหินแต่ละขนาด
- 1.3.2 สามารถประเมินค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางได้ในอนาคต
- 1.3.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปปรับใช้ในการก่อสร้างถนนเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง และได้ประสิทธิภาพมากขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

ศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของหินแต่ละขนาด จากแหล่งหินอำเภอรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร โดยนำตัวอย่างหินขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว เลือกใช้ขนาดละเป็นคู่ผสมกันในอัตราส่วน 50:50, 60:40, 40:60 นำมาจัดในแบบหล่อ (Mold) เพื่อทำการขัดทดสอบด้วยเครื่องขัด (Polishing Machine) โดยใช้ผงขัดหยาบและผงขัดละเอียดในการขัดทดสอบแบ่งการขัดเป็น 5,000 10,000 15,000 และ 20,000 รอบ จากนั้นนำไปวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่อง (British Portable Tester) หลังจากนั้นนำค่ามาวิเคราะห์หาความแตกต่าง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

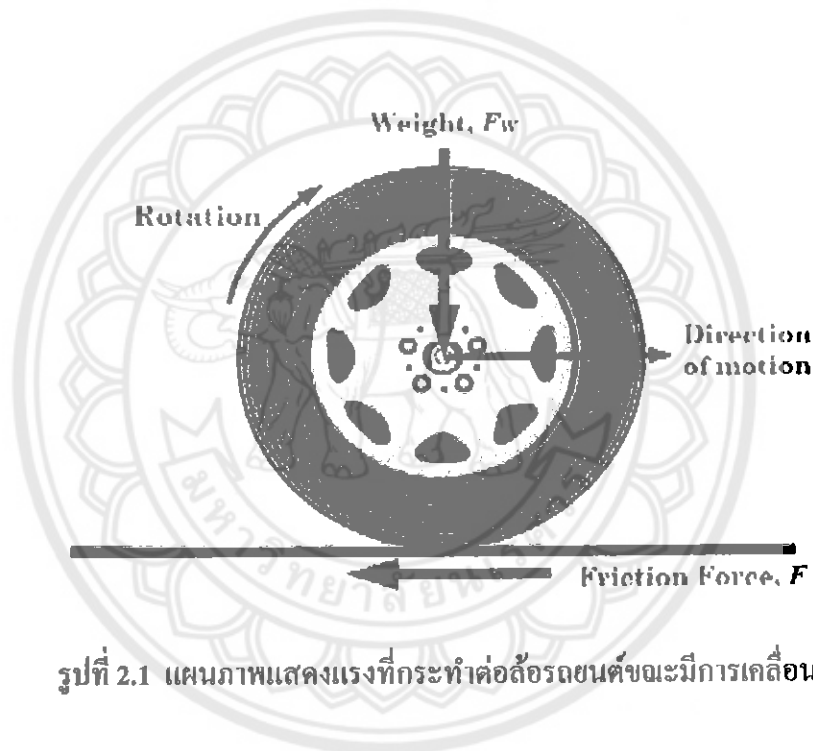
1. ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างหิน
2. ทำการทดสอบตัวอย่างหินแต่ละขนาดและเก็บข้อมูล
3. นำข้อมูลของแต่ละขนาดของหินมาสรุปผล
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) คือ แรงที่ต้านการเคลื่อนไหวย ระหว่างยางของรถยนต์กับผิวทาง แรงด้านนี้จะเกิดขึ้นเมื่อยางรถยนต์หมุนหรือไถลไปตามพื้นผิวของถนน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแรงด้านนี้จะหาได้จากสมการที่ 1 โดยแรงเสียดทานของผิวทางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ ความเสียดทานตามยาว (Longitudinal Friction) และความเสียดทานด้านข้าง (Side Force Friction)



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงแรงที่กระทำต่อล้อรถยนต์ขณะมีการเคลื่อนที่

(NHCRP, 2009)

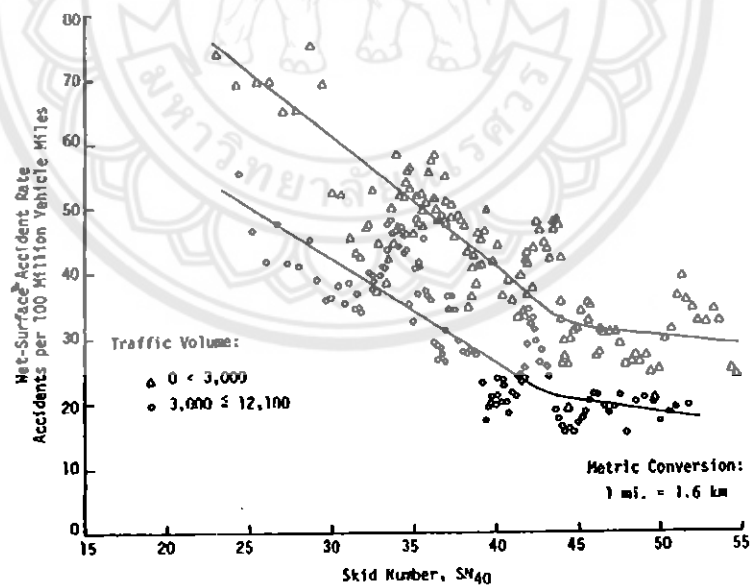
$$\mu = F/F_w \quad (\text{สมการที่ 1})$$

โดยที่ μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

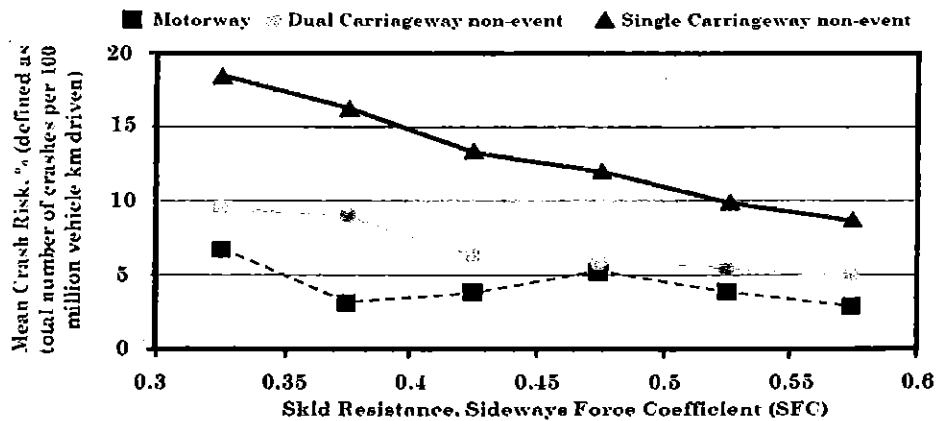
F = แรงเสียดทานในแนวตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่

F_w = แรงกดที่เกิดจาก น้ำหนักรถยนต์ที่กระทำต่อล้อในแนวตั้ง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้นระหว่างยางรถยนต์กับผิวทางเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่เป็นตัวควบคุมและลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุรถชน (Henry, 2000 และ Ivey et al, 1992) โดยพบว่าเมื่อสภาพถนนเปียก จะทำให้เกิดอุบัติเหตุรถชนกันเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้ความเสียหายของผิวทางลดลงเช่นกัน (Rizenbergs et al, 1973) ดังรูปที่ 2.2 การศึกษาของกระทรวงคมนาคมของรัฐเท็กซัส (Texas Department of Transportation, TXDOT) ก็พบว่าการเสียชีวิตและได้รับบาดเจ็บสูงขึ้น เมื่อความเสียหายของผิวทางลดลง โดยวัดที่ความเร็ว 50 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (McCullough et al, 1966) นอกจากนี้ยังพบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (Agent et al, 1996 และ Wallman and Astrom, 2001) การศึกษาความสัมพันธ์จากผลการศึกษา Tangent Alignments ในสภาพถนนเปียกโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า SCRIM ที่ 13 เปอร์เซ็นต์ Slip (Viner et al., 2004) แสดงดังรูปที่ 2.3 ผลการวิจัยเบื้องต้นบ่งชี้ว่าค่าความเสียหายของผิวทางมีความสัมพันธ์ต่ออัตราการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ดังนั้นการตรวจสอบประเมินค่าความเสียหายของผิวทางให้มีสภาพปลอดภัยในการขับขี่จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยปัจจุบันเครื่องมือใช้วัดค่าความเสียหายแบบพกพาทั้ง 3 ประเภท มีคุณลักษณะการใช้งานดังนี้



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดอุบัติเหตุเมื่อถนนเปียกและความเสียหายของ
(Rizenbergs et al., 1973)



รูปที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุรถชนสำหรับโครงข่ายถนน ในประเทศอังกฤษ

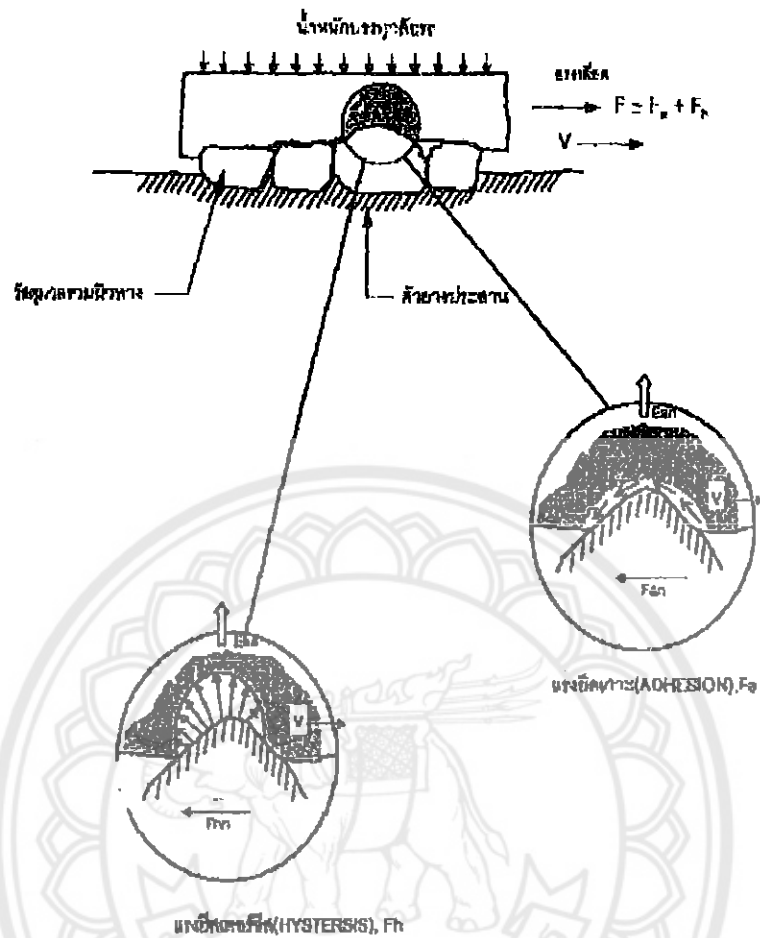
(Viner et al., 2004)

2.1 ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

องค์ประกอบที่ก่อให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของพื้นผิวทาง ทั้งพื้นผิวทางแบบคอนกรีตและพื้นผิวทางแบบลาดยางมีอยู่ 2 องค์ประกอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4

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

2.1.2 แรงฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Force) เป็นแรงที่เกิดจากการดูดกลืนพลังงาน เมื่อหน้ายางขูดตัวลงขณะที่รถแล่นไปบนผิวทาง มีค่าแปรผันตรงกับค่าความขูดตัวของยาง ไม่ขึ้นอยู่กับของเหลวที่ปิดกั้นระหว่างผิวสัมผัสของยางกับพื้นผิวทาง



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางล้อรถและผิวทาง
(Maclean & Shergold, 1968)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Parameters)

การควบคุมยานพาหนะให้สามารถแล่นอยู่ในทิศทางตามที่ต้องการบนเส้นทางการจราจรได้ต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง สิ่งสำคัญอย่างยิ่ง คือ แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทางและผิวหน้าสัมผัสยางของยานพาหนะ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยรองอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งความนำมาพิจารณาในการออกแบบควบคู่กันไปด้วย ดังนี้ คือ

2.2.1 คุณลักษณะและรูปร่างของวัสดุผิวรวม (Aggregate Characteristics and Surface Texture) วัสดุที่มีความแข็ง มีเหลี่ยมมุม (Angular) ทนทานต่อการขัดสีของดอกยางสามารถเจาะผ่านฟิล์มของของเหลวที่กั้นอยู่ระหว่างผิวสัมผัสหน้ายางและพื้นผิวทางได้ดีกว่า ทำให้ค่าแรง

ขีดเกาะของยางและพื้นผิวทางมีค่าสูงกว่าวัสดุที่มีผิวเรียบหรือผิวมน (Rounded Aggregates) เป็นผลให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงตามไปด้วย

Hosking (1974) ได้ทำการศึกษาวัสดุที่มีเนื้อพรุน (Porous Aggregates) พบว่าความต้านทานการลื่นไถลจะเป็นสัดส่วนกับความพรุน และมีค่าสูงกว่าวัสดุที่มีเนื้อแน่น และได้ศึกษาการนำคินมอสไซท์ที่มีอนุภาคนำสูงมาทำการเผา พบว่าความพรุนของเนื้อดินภายหลังการเผาเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานการลื่นไถลดีขึ้น แต่ความสึกหรอจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย





2.2.2 ผิวมหภาค (Macro Texture) หมายถึง ผิวขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาในลักษณะ Large Scale Texture ของขนาด รูปร่าง และลักษณะผิววัสดุรวมซึ่งเป็นเครื่องบ่งบอกลักษณะความหยาบ หรือละเอียดของพื้นผิวทางโดยทั่วไป ผิวมหภาคที่ดีจะต้องสามารถระบายน้ำออกจากหน้าสัมผัสยางรถได้ดี และช่วยให้ยางรถขุดตัวในขณะที่รถวิ่งบนพื้นผิวทางด้วยความเร็วสูงเพื่อทำให้เกิดแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น

2.2.3 ผิวจุลภาค (Micro Texture) หมายถึง ผิวของมวลรวมแต่ละก้อนบนพื้นผิวทางเป็นการพิจารณาลักษณะเฉพาะก่อนแบบ Small – Scale Texture ของพื้นผิวทาง ผิวจุลภาคที่ดีจะต้องมีความแข็ง ความขรุขระ ความหยาบเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลเมื่อรถแล่นด้วยความเร็วระดับหนึ่งที่ได้ออกแบบไว้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

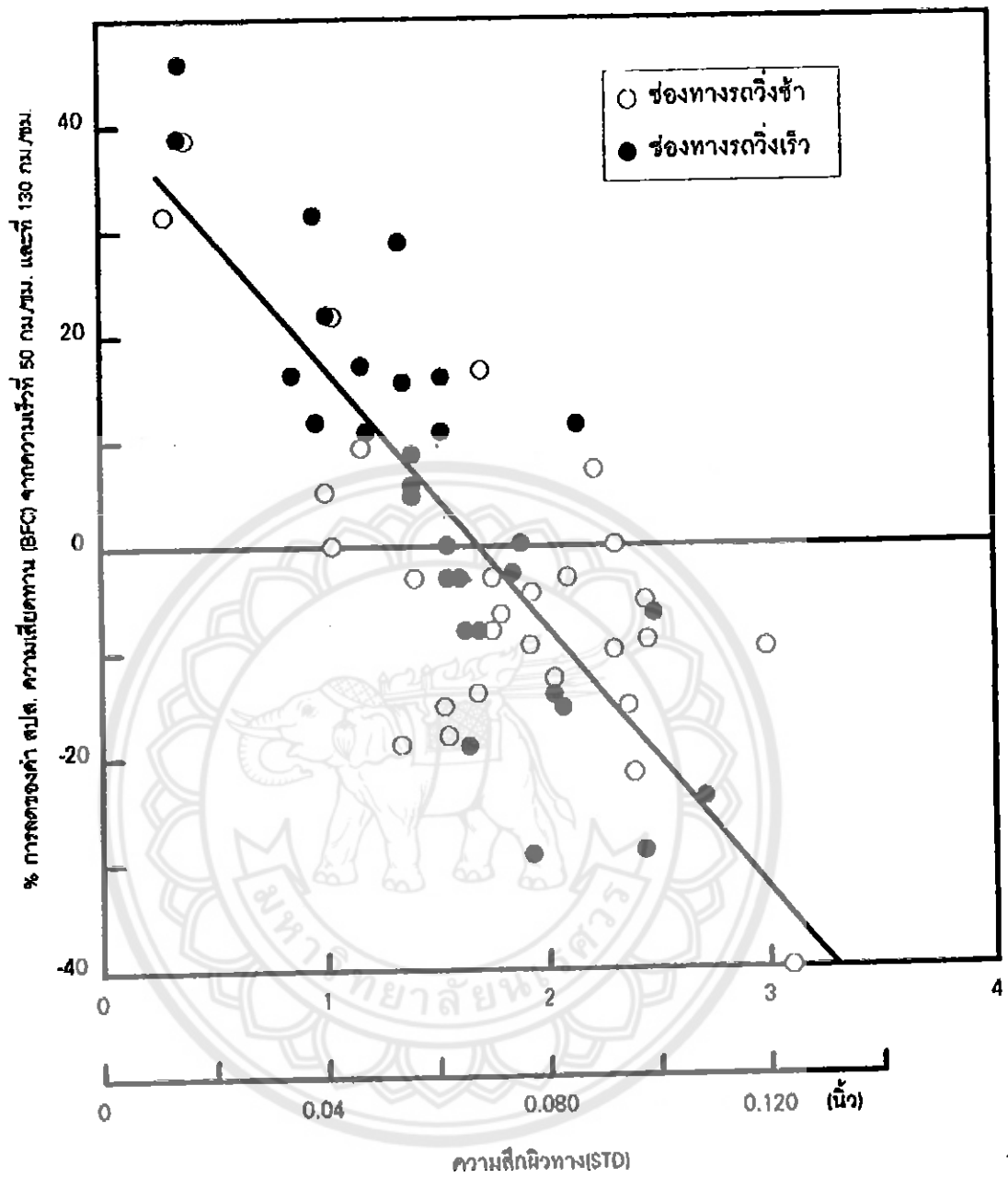
Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าความสึกของผิวทาง และการลดลงของค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางในรูปของค่า BFC ระหว่างความเร็ว 50 กม./ชม. และ 130 กม./ชม. ตามรูปที่ 2.6 พบว่าความสึกผิวทางที่น้อยกว่า $250 \mu\text{m}$ (0.010 นิ้ว) ในถนนที่ใช้ความเร็วสูงนั้นค่า BFC จะลดลงเฉลี่ย 25 % ของค่า BFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม. ดังนั้นจึงอาจกำหนดค่าความสึกผิวทางไว้อย่างน้อยที่สุดสำหรับถนนที่ใช้ความเร็วสูงเท่ากับ $250 \mu\text{m}$. เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ขยยาน

Sabey, B.E. (1966) ได้ศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ความสึกผิวทาง และการลดลงของค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางในรูปของค่า BFC ระหว่างความเร็ว 50 กม./ชม. และ 130 กม./ชม. ของพื้นผิวทางคอนกรีต และ พื้นผิวทางลาดยาง ตามรูปที่ 2.7 ซึ่งให้ผลสรุปสนับสนุนผลการศึกษาของ Lupton

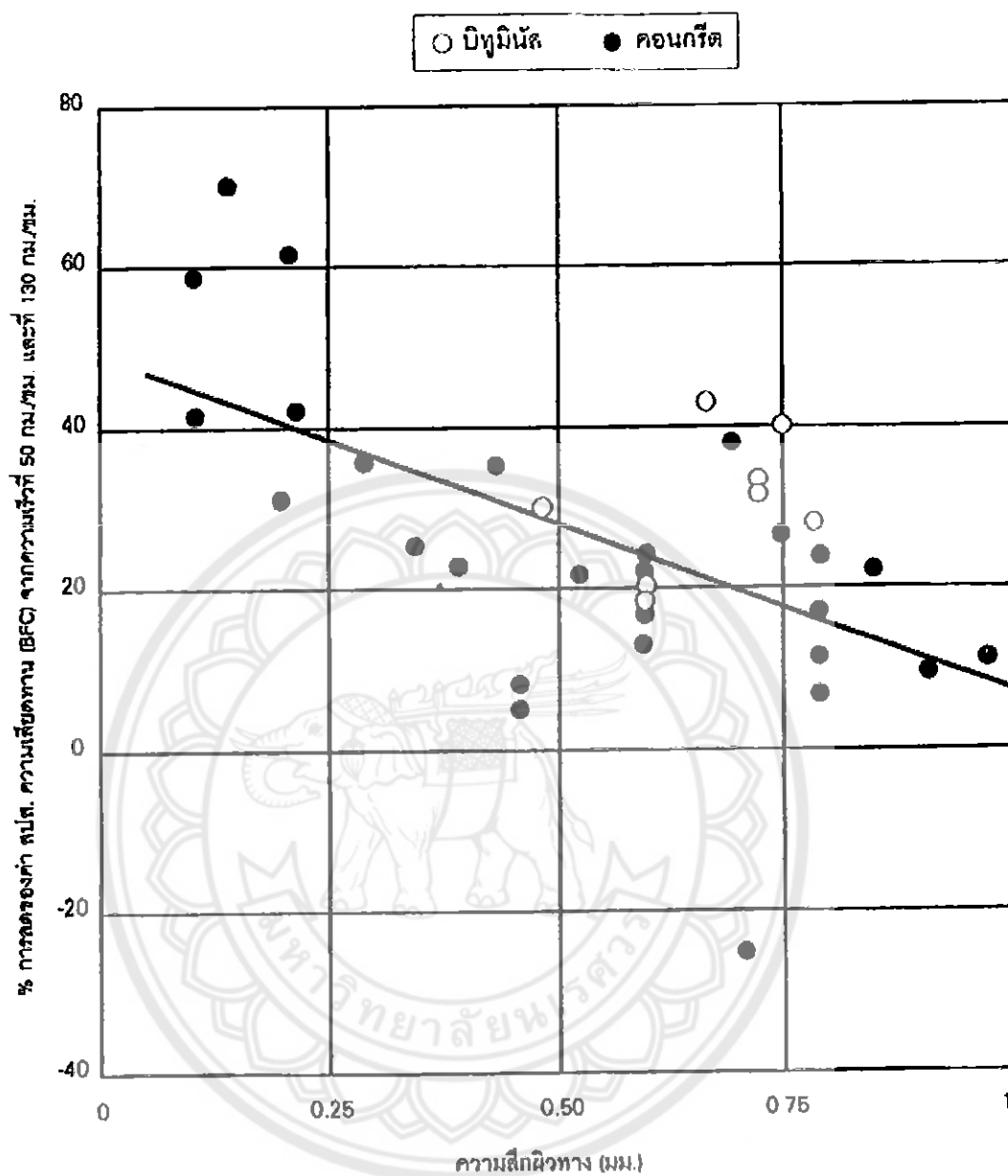
ตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องกับค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางลาดยาง คือ อัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวทาง (Mix Proportions) คุณสมบัติของวัสดุประสาน บิทูมินัส (Bituminous Binder) สำหรับพื้นผิวทางคอนกรีตคุณสมบัติของซีเมนต์ที่ใช้งานวัสดุมวลรวมหยาบ วัสดุมวลรวมละเอียด และ อัตราส่วนผสมล้วนมีผลต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลทั้งสิ้น ตลอดจนวัสดุอื่นที่อยู่บนพื้นผิวทาง เช่น ฝุ่นละออง เม็ดดิน เม็ดกรวด หิน ทราช คราบน้ำมัน และ ของเหลวที่สะสม อยู่บนพื้นผิวทางจนเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม (Traffic Film) โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพเปียกจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลงอย่างมาก

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

รูปที่ 2.5 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง (Lupton, 1968)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การลดลงของค่า สปส. ความเสียหาย (BFC) กับความถี่ผิวทาง (STD) ของถนนในช่องทางรถวงช้า และ ช่องทางรถวงเร็ว (Lupton 1968)



รูปที่ 2.7 แสดงผลของความเสี้ยวทางที่มีต่อการลดลงของค่า สปส. ความเสี้ยวทาง (BFC) ที่ความเร็ว 50 และ 130 กม./ชม. (Sabey 1966)

2.2.4 ความสามารถในการระบายน้ำของผิวทาง (Surface Drainage)

Csathy, T.I. (1968) พบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางที่เปียกจะลดลง และแปรค่าผกผันกับความหนาฟิล์มน้ำบนพื้นผิวทาง ดังนั้นมวลรวมที่ผิวมหภาคและจุลภาคที่ดี มีความพรุนสูงจะสามารถดูดซับน้ำ หรือระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสของหน้ายางและพื้นผิวทางได้ดีและรวดเร็วกว่าทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้น

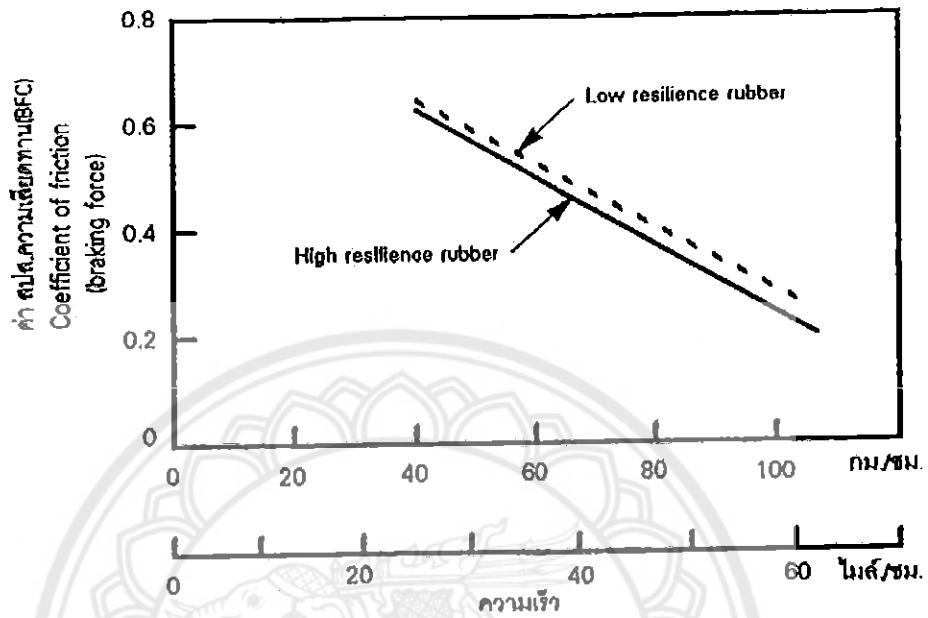
2.2.5 คุณสมบัติของยางรถ (Rubber properties) ยางรถมีคุณสมบัติสัมพันธ์กับพื้นผิวทางแบบฮิสเตอร์ซิส ดังนั้นยางที่มีคุณสมบัติฮิสเตอร์ซิสสูงจะมีผลทำให้ค่าความฝืดของผิวทางมีค่ามากขึ้น โดยเฉพาะบนพื้นผิวทางที่หยาบซึ่งมีการยุบตัวของหน้ายางมาก จะทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงขึ้นถึง 20 % ความแข็งของดอกยาง จะมีผลในกรณีผิวทางเรียบ หรือผิวทางที่มีน้ำแข็งปกคลุม โดยยางที่มีดอกยางแข็งจะทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับผิวทางที่มีค่าน้อย ความกดดันที่ผิวสัมผัสสูงการระบายน้ำเร็วขึ้นเป็นผลให้ความฝืดของผิวทางเพิ่มขึ้น

Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาคุณสมบัติฮิสเตอร์ซิสของยางรถต่อค่า สปส. ความเสียดทานของผิวทาง (BFC) บนผิวทางเรียบและหยาบที่ความเร็วต่างกัน ในแต่ละสภาพความเปียกของผิวทางตามรูปที่ 2.8 พบว่าบนพื้นผิวทางหยาบรถที่มีค่าฮิสเตอร์ซิสสูง (ค่าความยืดหยุ่นต่ำ) ค่า BFC จะมีค่าสูงกว่ายางรถที่มีค่าฮิสเตอร์ซิสต่ำ ส่วนบนผิวทางเรียบคุณสมบัติทางด้านฮิสเตอร์ซิสจะมีผลต่อค่า BFC น้อย

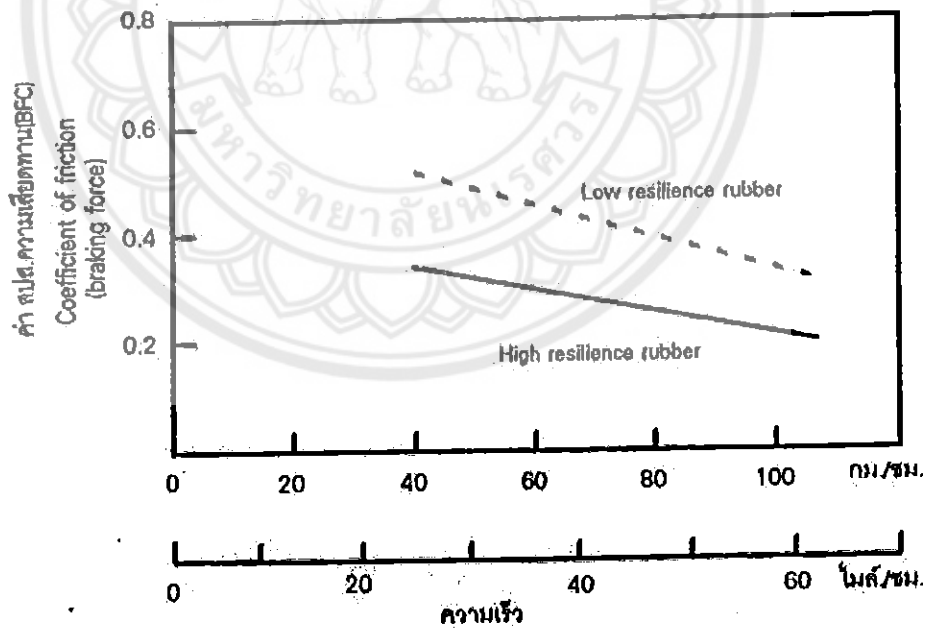
2.2.6 ลักษณะของดอกยาง (Tread Pattern) ลักษณะของดอกยางที่ดีจะต้องมีแนวสันตามเส้นรอบวง (Circumferential Ribs) และมีร่องตามแนวขวาง (Transverse Slots) ทำให้เกิดความต้านทานลื่นไถลเพิ่มขึ้นมากกว่ายางที่ไม่มีดอกยาง โดยเฉพาะเมื่อผิวทางเปียก เนื่องจากดอกยางจะช่วยระบายน้ำออกจากผิวสัมผัส ได้เร็วกว่านั่นเอง ยางที่มีดอกยางดีทำให้เกิดการลื่นไถลน้อยลงเมื่อขับขี่ด้วยความเร็วสูงและผู้ขับขี่จะได้รับความปลอดภัยสูง

Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาผลของลักษณะดอกยาง (Tread Pattern) ที่มีต่อค่า สปส. ความเสียดทานของผิวทาง (BFC) เรียบและหยาบ เมื่อความเร็วต่างกัน ในสภาพผิวทางเปียกตามรูปที่ 2.9 พบว่าในสภาพความเร็วต่ำ ลักษณะของดอกยางจะมีผลไม่มากนักต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางขณะที่เปียกทั้งพื้นผิวทางเรียบและหยาบ แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวมหภาคและพื้นผิวจุลภาคของพื้นผิวทางมากกว่าอย่างอื่น ในกรณีความเร็วสูงบนพื้นผิวทางเรียบดอกยางรถ

จะมีส่วนสำคัญต่อค่า BFC มากกว่าผิวทางหยาบ ขากรรถที่ไม่มีดอกยางค่า BFC จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วสูงขึ้น ส่วนยางที่มีดอกยางค่า BFC จะค่อยๆลดลงด้วยอัตราคงที่



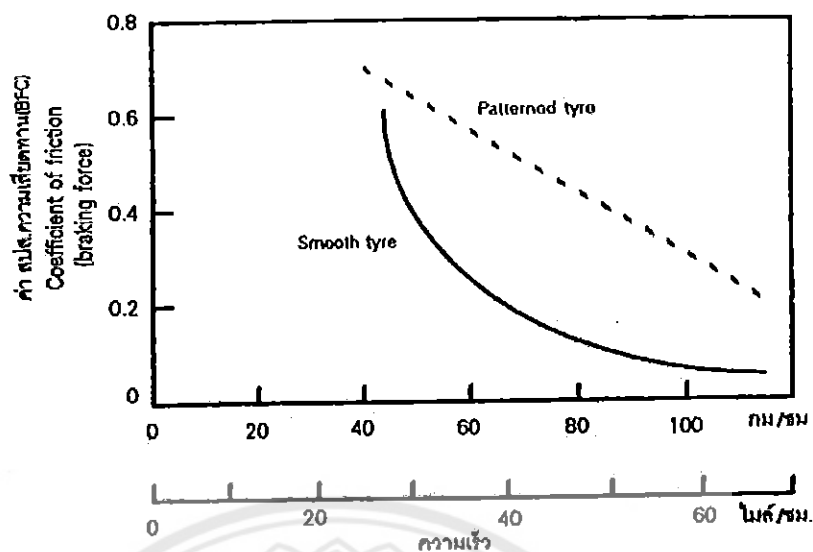
a) บนผิวทางเรียบ รูป C



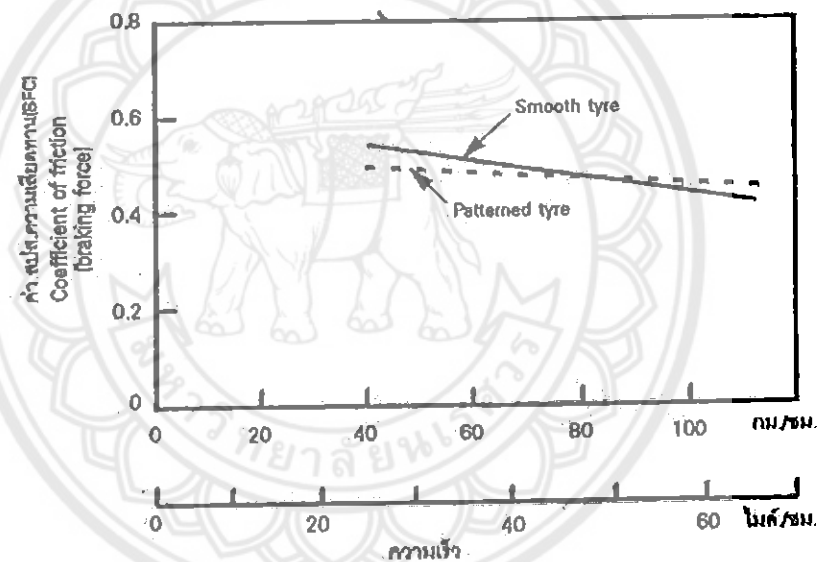
b) บนผิวทางเรียบ รูป A

รูปที่ 2.8 แสดงผลของค่าความยืดหยุ่นของดอกยาง (Tread Resilience) บนผิวทางเรียบ

และหยาบในสภาพผิวทางเปียก (Lupton,1968)



า) บนมอเตอร์เรียบ รูป C



บ) บนมอเตอร์เรียบ รูป A

รูปที่ 2.9 ของลักษณะดอกยางบนผิวทางเรียบและหยาบในสภาพที่มีต่อค่า สป.ส.ความเสียดทาน (BFC)(Lupton.1968)

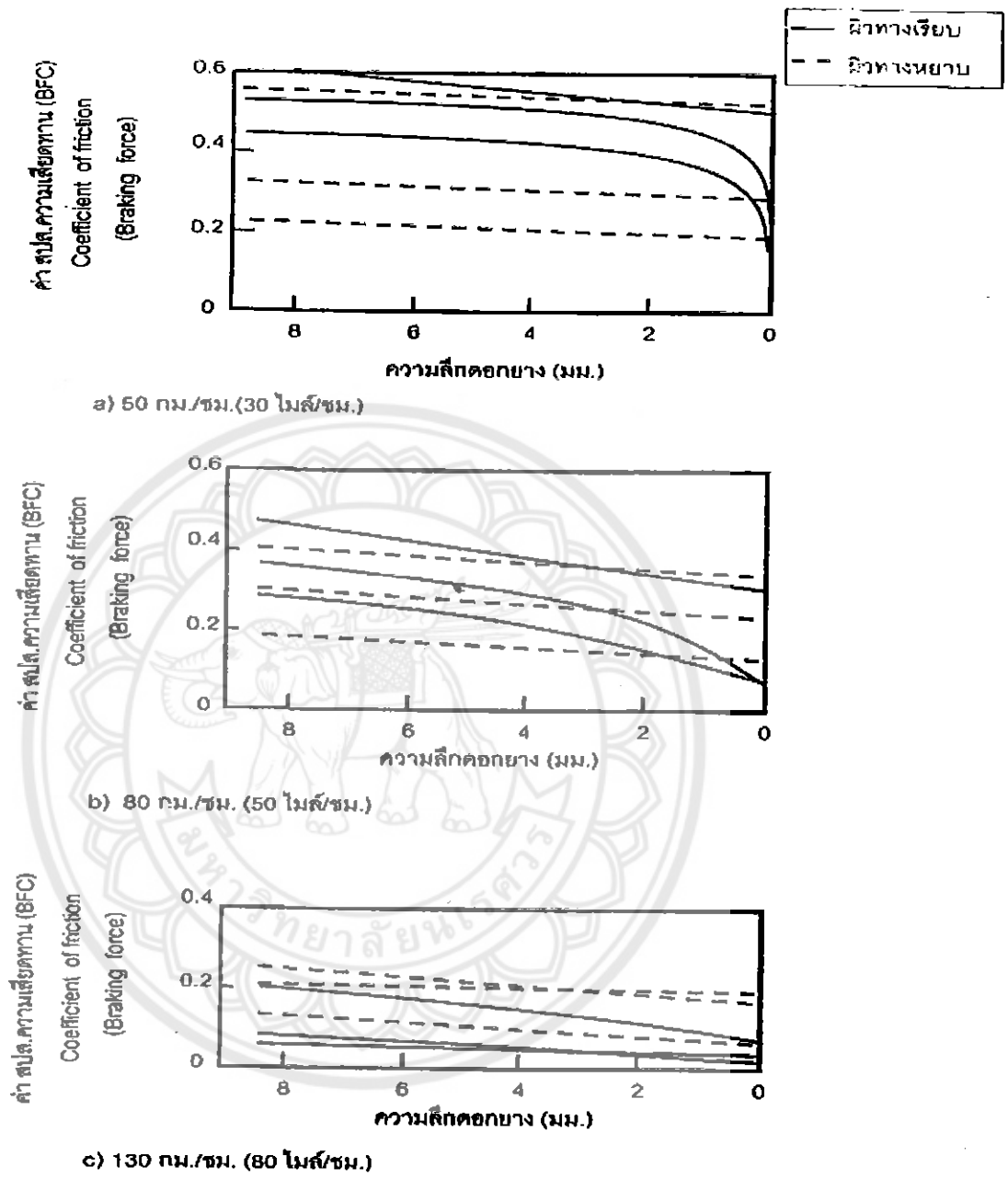
Maycock,G. (1967) ได้ทดลองเกี่ยวกับลักษณะของดอกยางรถที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล พบว่าความกว้างของร่องดอกยาง (Grooves) จะมีผลต่อการระบายออกจากผิวสัมผัสได้มากกว่าจำนวนของสัน (Ribs) ขณะผิวทางเปียก ทำให้ค่าความต้านทานการลื่น ไถลเพิ่มสูงขึ้น

Sabey, B.E. (1969) พบว่าในขณะที่ผิวทางเปียกแรงดึงดูดระหว่างผิวทางและยางรถยนต์จะลดลงเมื่อค่าความลึกของคอกยางลดลง ความลึกของคอกยางที่ลดลงนี้เนื่องจากการสึกหรอตามการใช้งานปกติแสดงในรูปที่ 2.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่า BFC และความลึกของคอกยาง (Tread Depth) ที่ความเร็วต่างๆกันคือ 50, 80 และ 130 กม./ชม. บนผิวทางหยาบ พบว่าที่ความเร็วต่างๆกันค่าของ BFC จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แม้ว่าความลึกของคอกยางจะน้อยก็ตาม เนื่องจากความหยาบของผิวทางมีมากเพียงพอ ที่จะระบายน้ำออกไปจากผิวสัมผัสได้ ส่วนบนผิวทางที่เรียบมากหรือค่าของความลึกผิวทาง มีค่าประมาณ 125 mm. ที่ค่าความเร็วต่ำ (50-80 กม./ชม.) ค่า BFC จะลดลงอย่างมากเมื่อคอกยางมีความลึกน้อยกว่า 1-2 มม. บนผิวทางเรียบที่ความเร็วสูง (≤ 130 กม./ชม.) แม้ว่าจะใช้ยางใหม่ที่มีความลึกของคอกยางมากก็ไม่ได้ทำให้ค่า BFC เพิ่มมากกว่าเมื่อใช้ยางที่มีความลึกของคอกยางน้อย แสดงว่าคอกยางไม่สามารถชดเชยความหยาบของพื้นผิวทางได้เลยที่ค่าความเร็วสูงๆ บนผิวทางเรียบ

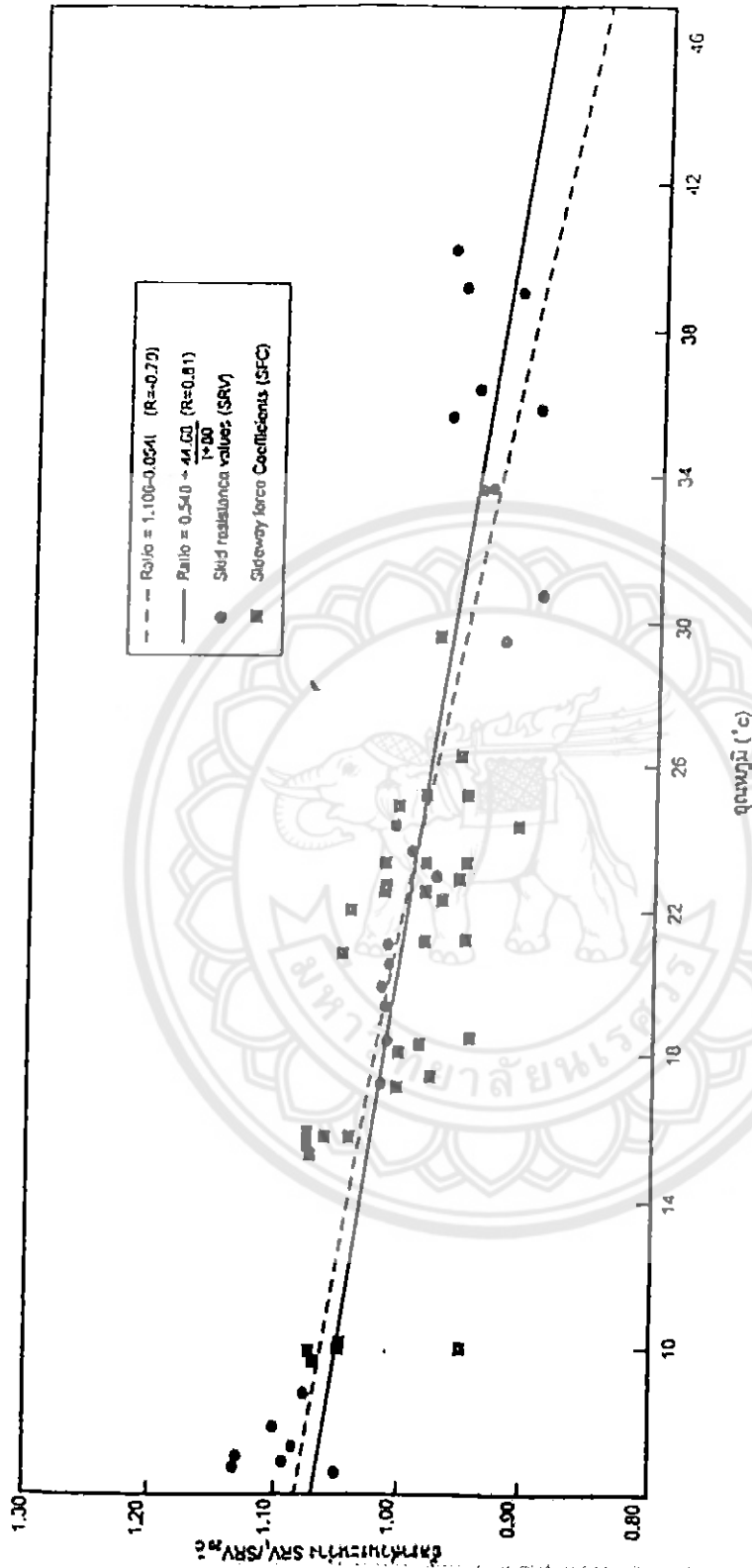
2.2.7 อุณหภูมิ (Temperature) ผลจากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวทางยางรถเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจะลดลงประมาณ 0.02 เมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นถึง 10 °F เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 1000 °F จะทำให้พื้นผิวทางลาดยางเกิดการเยิ้มเหลว (Melting)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

Giles et al, C.G. (1976) พบว่าในฤดูหนาวค่าความต้านทานการลื่นไถลจะสูงกว่าในฤดูร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงผิวจุลภาคของผิวทางซึ่งเกิดจากอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และฝุ่นที่ปกคลุมบนพื้นผิวทาง ฝุ่นละอองซึ่งมีมากในฤดูร้อนทำให้เกิดการขัดสีวัสดุใช้ทำพื้นผิวทางทำให้ผิวจุลภาคลื่นขึ้น เมื่อฝนตกฝุ่นนี้จะหายไปพื้นผิวทางจะหยาบทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มสูงขึ้น

Hoskin และ Woodford (1976) สรุปผลการทดสอบเกี่ยวกับอุณหภูมิและค่าความต้านทานการลื่นไถลว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ค่า SFC จะลดลงประมาณ 0.003 หน่วย ต่อมา Sabey, B.E. ได้ทำการศึกษาผลของค่าอุณหภูมิต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางที่วัดด้วย BPT บนพื้นผิวทางคอนกรีตและพื้นผิวทางลาดยาง ในช่วงอุณหภูมิ 7-35 °C พบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลจาก BPT (SRV) จะลดลง 0.26 หน่วย ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1°C (มีค่าประมาณ 0.003 หน่วย ของ SFC)



รูปที่ 2.10 แสดงผลของความลึกคอกยางกับค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC) บนผิวทางเปียก (Sabey, 1968)



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SFC ที่อุณหภูมิใดๆ (SFC) กับค่าคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป (t)

และยังได้แสดงความสัมพันธ์ของค่า SFC ที่อุณหภูมิใดๆ (SFC) กับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (t) ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11

2.2.8 ความเร็วของขยวดยาน (Vehicle Speed) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลจะแปรผกผันกับค่าความเร็วของขยวดยานซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพื้นผิวทางอยู่ในสภาพเปียก Home (1968) ได้ศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วของขยวดยานเพิ่มสูงขึ้นในสภาพพื้นผิวทางเปียกน้ำที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของหน้ายางและพื้นผิวทางไม่สามารถระบายออกไปได้มันจะเกิดแรงดันระหว่างพื้นผิวทางและหน้ายางขึ้น (Hydrodynamic Lift) และเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความเร็วและความสามารถที่จะระบายน้ำออกจากผิวหน้ายางได้ เมื่อแรงดันนี้ถึงระดับเดียวกับแรงดันที่ผิวหน้ายางกระทำกับผิวทาง ทำให้ขยวดยานลื่นไถลไปบนผิวทางผู้ขับขี่ไม่สามารถควบคุมทิศทางได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Hydroplaning และเรียกค่าความเร็วที่พอดีเกิดปรากฏการณ์นี้ว่า Hydroplaning Speed พบว่าค่าความสัมพันธ์ตามปรากฏการณ์นี้เป็นดังนี้

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

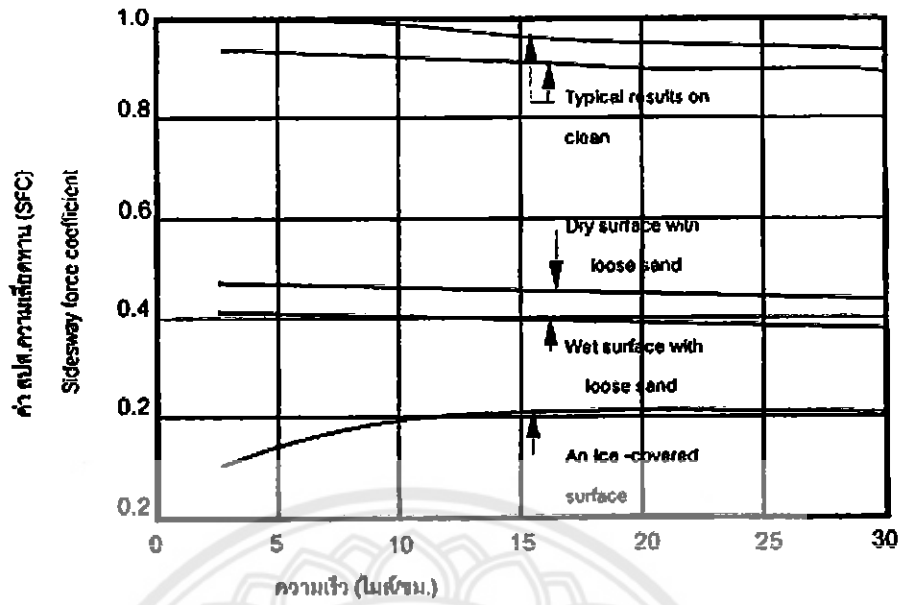
V_h = ความเร็วของขยวดยานขณะเกิด Hydroplaning หน่วยเป็น ไมล์ / ชั่วโมง

K = ค่าคงตัวที่ได้จากการสังเกตทดลองมีค่าประมาณ 10

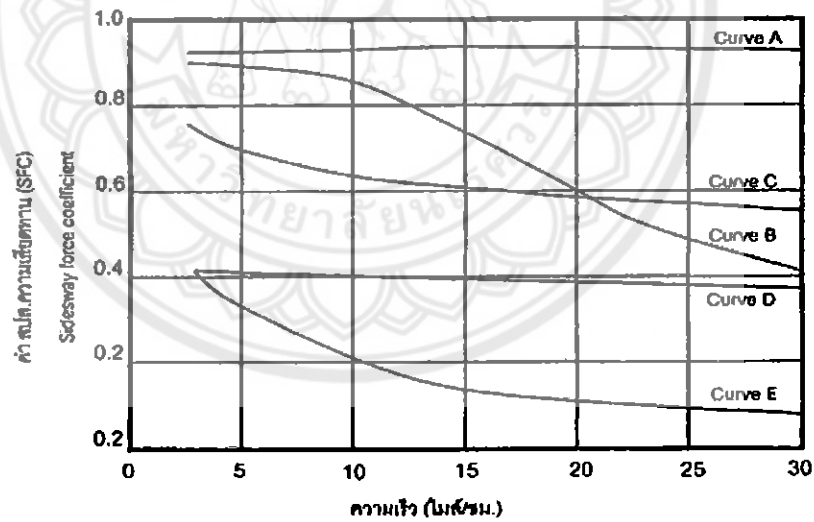
P = ความดันของยางรถ (Inflation Pressure) หน่วยเป็น ปอนด์ / ตารางนิ้ว

จากค่าความสัมพันธ์นี้ สามารถนำมาคำนวณความเร็วรถเพื่อจำกัดค่าความเร็วรถขณะผิวทางเปียกร่วมกันกับการออกแบบผิวจราจรให้หยาบระบายน้ำได้ดีเลือกใช้ยางที่มีดอกยางลึกก็จะสามารถลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ Hydroplaning

Lupton, G.N. (1968) ได้ศึกษาผลของความเร็วที่มีต่อค่า BFC ในสภาพพื้นผิวทางเปียกบนผิวทางต่างๆกัน 4 ประเภท พบว่าผิวทางเรียบที่มีผิวมหภาคน้อยค่า BFC จะลดลงอย่างมากเมื่อความเร็วขยวดยานมากขึ้น ส่วนผิวทางหยาบค่า BFC จะลดลงไม่มากนัก แสดงว่าผลของความเร็วต่อการต้านทานลื่นไถลในเทอมของ BFC จะขึ้นอยู่กับสภาพและลักษณะของผิวทางเป็นสำคัญซึ่งได้ผลสอดคล้องกับการทดลอง Research on Road safety ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงผลของความเร็วยานที่มีต่อ สปส. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่างๆ (Road Research Laboratory, 1963)



รูปที่ 2.13 แสดงผลของความเร็วยานที่มีต่อ สปส. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่างๆกัน

(Road Research Laboratory, 1963)

กราฟ A สภาพผิวทางดีมาก

กราฟ B และ E สภาพผิวทางค่อนข้างเรียบและเรียบมาก ตามลำดับ

กราฟ C และ D สภาพผิวทางหยาบมากและค่อนข้างหยาบ ตามลำดับ

2.2.9 ปัจจัยอื่นๆ ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล คือ อายุการใช้งานผิวทาง ค่า PSV ของวัสดุมวลรวมที่ใช้ทำผิวทางและปริมาณการจราจรบนผิวทาง

Salt, G.F. (1977) ได้สรุปและรวบรวมผลการทดลองที่สำคัญพบว่า บนผิวทางที่มีปริมาณการจราจรเท่ากัน ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลดลงเมื่ออายุการใช้งานของผิวทางเพิ่มขึ้น โดยอัตราการลดลงจะสูงในช่วงแรกของการใช้งานจากนั้นอัตราการลดลงจะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งค่าที่ลดลงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า PSV ของวัสดุที่ใช้ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14

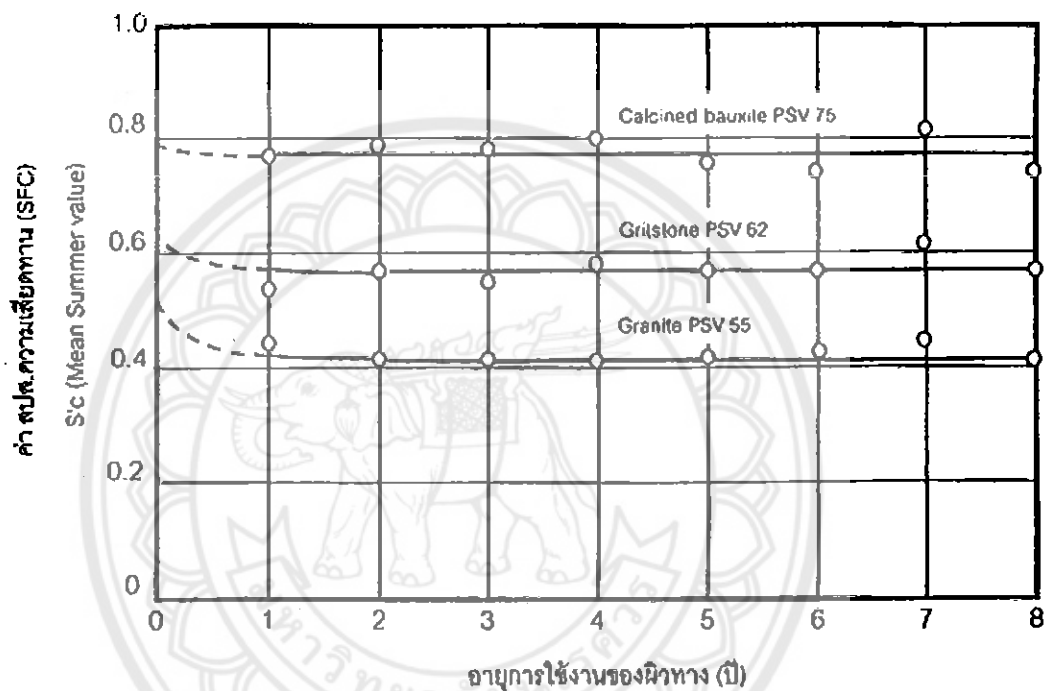
บนผิวทางที่ใช้วัสดุมวลรวมในระดับเดียวกัน คือ 58 ถึง 60 หน่วยดังรูปที่ 2.15 พบว่าผิวทางที่มีการจราจรมากจะทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลง แต่พบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการจราจรลดต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 2.16

2.3 การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลในอดีต

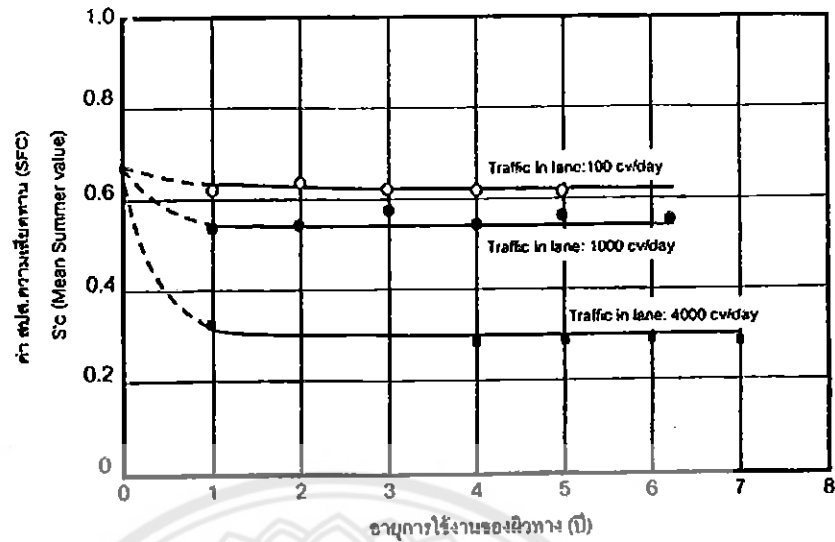
Macleam & Sheargold (1968) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV ที่วัดในห้องทดลองด้วยเครื่อง British Portable Tester และค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Value, SRV) ในสนาม โดยการฝังหินแบบต่างๆ ในปริมาณการจราจรต่างๆกัน พบว่าค่าทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันเมื่อปริมาณการจราจรหนัก 60,000 คันต่อวัน และ พบว่าสภาพหินตัวอย่างที่ถูกขัดสีมากที่สุด ในห้องทดลองจะมีสภาพเหมือนกับผิวทางจริงเมื่อเวลาผ่านไป คือ หินตัวอย่างบนเส้นทางตรงจะมีสภาพถูกขัดสีมากเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน แต่บนทางโค้ง ตัวอย่างที่ทำ การทดสอบจะอยู่ในสภาพเดียวกันในระยะเวลาเพียง 14 วันเท่านั้น

Giles, et al (1964) ได้ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลที่วัดด้วยเครื่อง British Portable Tester กับเครื่องมืออื่นในสนามบนพื้นผิวทางจริง พบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือมีความสัมพันธ์กันดีกับเครื่องมือที่ใช้ยาง มีดอกยางที่ความเร็ว 30 ไมล์ / ชั่วโมง ส่วนยางที่ไม่มีดอกยาง ค่าที่วัดได้จะสัมพันธ์กันดี ก็คือเมื่อวัดบนพื้นผิวทางที่หยาบ โดยค่าเฉลี่ยของ British Portable Tester จะมีค่าสูงกว่าเครื่องมืออื่นประมาณ 5 หน่วย

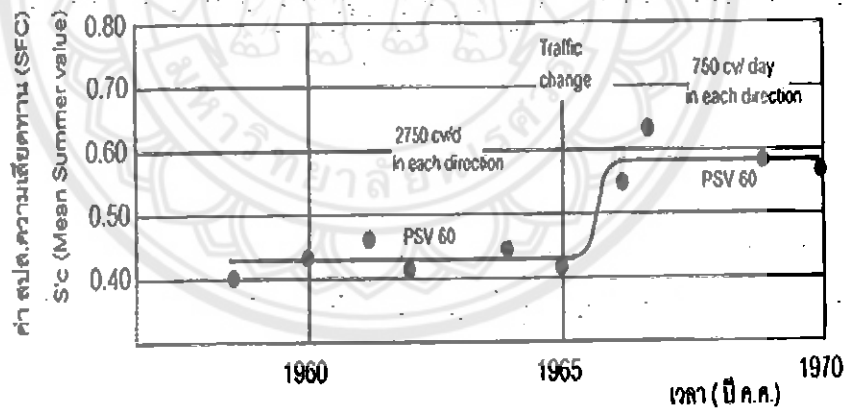
Bunnag, S.& Sukhawan (1975) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผล และ แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางระหว่างเครื่อง British Portable Tester กับเครื่อง มูมิเตอร์ (Mu - Meter, Side - Force Friction Test Trailer) โดยได้ทำการทดสอบบนบริเวณร่องล้อของผิวทางต่างๆกัน 14 จุด ในสภาพผิวทางเปียก ความหนาของฟิล์มน้ำตลอดการทดสอบเท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.14 แสดงระดับค่า สปส.ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทางชนิดต่างๆ (Surface dressing โดย ใช้ Chippings ขนาด 13 mm. มีปริมาณการจราจร 2100 คัน ต่อ ช่องทาง ต่อ วัน) (Salt, 1977)



รูปที่ 2.15 แสดงระดับค่า สปส.ความเสียหาย (SFC ในฤดูร้อน) บนผิวทางมาตรฐาน Motorway (Rolled Asphalt ด้วย Precoater Chippings มีค่า PSV ในช่อง 58- 60 Chippings ขนาด 13 mm. มีปริมาณการจราจร 2100 คัน ต่อ ช่องทาง ต่อ วัน) (Salt, 1977)



รูปที่ 2.16 แสดงการเพิ่มค่าของ สปส.ความเสียหาย (SFC) บนผิวทาง Trunk Road A 4, COLNBROOK BY-PASS เมื่อการจราจรลดลง (Salt, 1977)

ผลการวัดค่าความต้านทานการลื่น ไถลที่วัดด้วย Mu-Meter ในเทอมของ Mu-Meter Value (M-MV) ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง และค่าที่วัดด้วย British Portable Tester ในเทอมของ British Portable Tester Value (BPTV) มีความสัมพันธ์ตามสมการ $Y = 1.09X + 17.45$ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเป็น $r = 0.987$ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

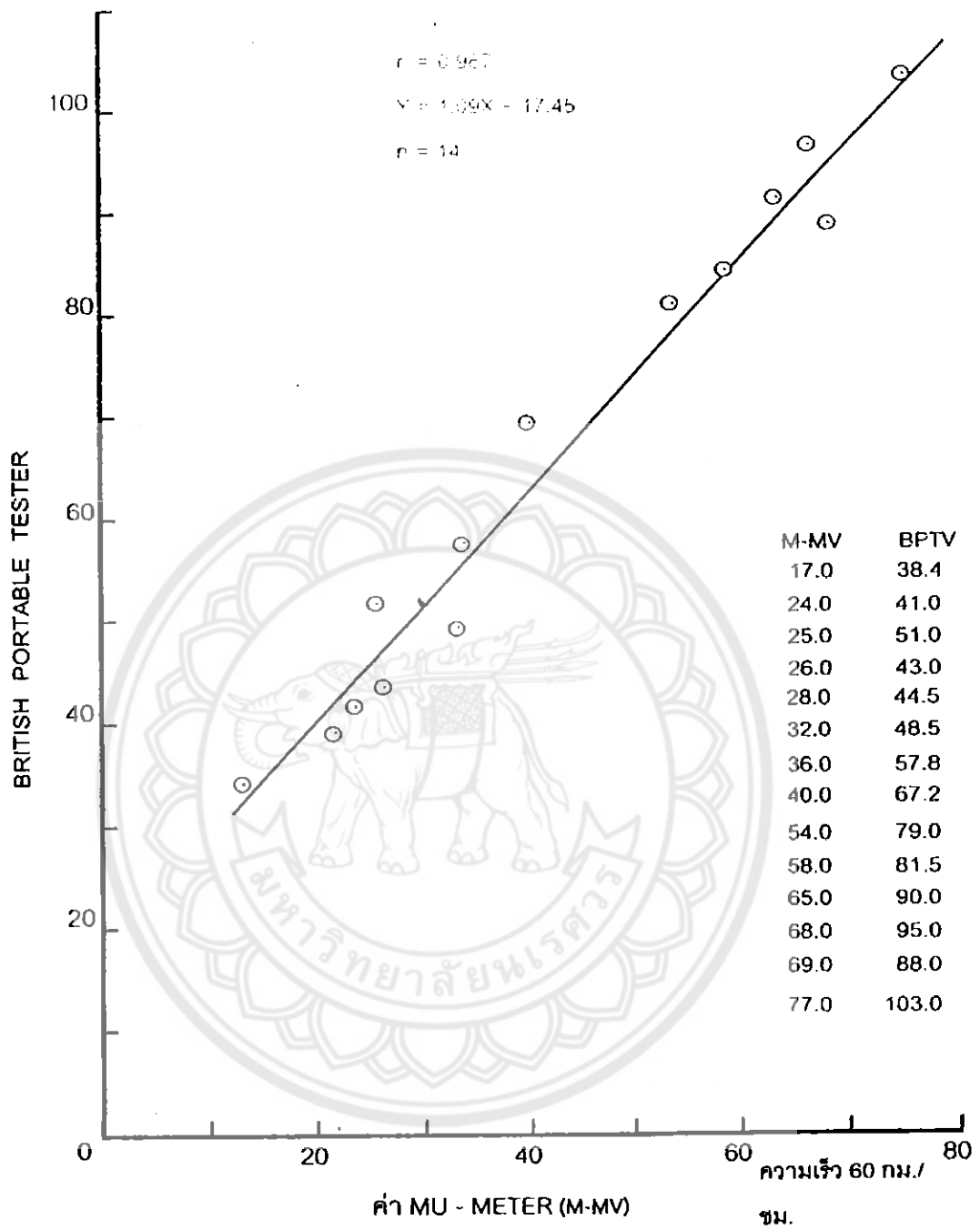
Szatkowski & Hoskig (1972) ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการลื่น ไถล ที่วัดได้จากเครื่อง Side-Force Friction Tester (SFC) กับค่า PSV จากเครื่อง British Portable Tester ในห้องทดลองเมื่อทราบปริมาณการจราจรของขบวนการพาณิชย์ (Q_v) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$SFC_{50} = 0.204 - 0.663 \times 10^{-4} Q_v + 1 \times 10^{-2} PSV$ เมื่อกำหนดให้ Q_v = ปริมาณการจราจรของขบวนการพาณิชย์ (คัน / ช่องทาง / วัน ในทิศทางเดียวกัน) PSV = ค่าแรงเสียดทานของมวลรวมที่หล่อเป็นแผ่น หลังจากการขัดสีด้วยเครื่องขัดแล้ววัดค่านี้โดยใช้เครื่อง British Portable Tester โดยทำการทดสอบ กับวัสดุมวลรวมชนิดเดียวกัน (ความเร็วที่ทำการหาค่าความสัมพันธ์ 50 กม./ชม.) ความสัมพันธ์นี้ จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกวัสดุมวลรวมที่จะนำไปใช้ในงานเป็นพื้นผิวทางประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้ความต้านทานการลื่น ไถลตามมาตรฐาน จากค่าความสัมพันธ์ข้างต้นพบว่าเมื่อค่า PSV เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะมีผลทำให้ค่า SFC_{50} ที่ความเร็ว 50 กม./ชม. มีค่าเปลี่ยนไป 0.01 หน่วย

ผลการศึกษาค่าความต้านทานการลื่น ไถลในประเทศไทย Bunnag, S. & Sukhawan (1975) ได้ผลการศึกษาสรุปดังนี้

1. จากการวิเคราะห์ค่าความฝืดของผิวทางชนิดต่างๆ คือ คอนกรีต แอสฟัลต์ติดคอนกรีต และแมคคาแคม โดยใช้หลักการของผิวมหภาคและผิวจุลภาค พบว่าพื้นผิวทางในประเทศไทยทุกชนิดมีความต้านทานการลื่น ไถลเพียงพอเมื่อผิวทางแห้ง แต่เมื่อผิวทางเปียกพื้นผิวทางประเภทแอสฟัลต์ติดคอนกรีต และแมคคาแคม จะมีค่าความฝืดต่ำกว่ามาตรฐาน.

2. ค่าความต้านทานการลื่น ไถลของพื้นผิวทางในสภาพแห้งและเปียก จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความลึกของผิวทาง (Surface Texture Depth) เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ของค่า M - MV กับ BPTV (Bunnag & Sukhawan, 1975)

3. ค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางจะลดลง เมื่อความเร็วของยานสูงขึ้น และอายุการใช้งานมากขึ้น ทั้งสภาพพื้นผิวทางเปียก และ สภาพพื้นผิวทางแห้ง
4. ความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางในสภาพเปียกจะมีค่าน้อยกว่าในสภาพแห้ง เปรียบเทียบเมื่ออายุการใช้งานเท่ากัน
5. พื้นผิวทางแบบแอสฟัลท์ติดคอนกรีต ค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางจะลดลงเมื่อความหนาน้ำหรือความหนาของชั้นน้ำบนพื้นผิวทางมีค่ามากขึ้น
6. พื้นผิวทางแอสฟัลท์ติดคอนกรีตที่ใช้งานหนักมาประมาณ 2 ปี พบว่าค่าความสึกของพื้นผิวทาง และความต้านทานการลื่นไถลจะลดลงต่ำกว่ามาตรฐานมาก จนอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ยานพาหนะที่วิ่งอยู่บนพื้นผิวทางได้ โดยเฉพาะในสภาพพื้นผิวทางเปียก

2.4 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง

พื้นผิวทางในสภาพเปียกเป็นสภาพที่วัดค่าความต้านทานการลื่นไถลได้น้อยกว่าสภาพพื้นผิวทางแห้ง ดังนั้นการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยทั่วไปจึงทดสอบในสภาพพื้นผิวทางเปียก เครื่องมือที่นิยมใช้ตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ

2.4.1 เครื่อง Braking Force Trailer โดยทั่วไปประกอบด้วยรถยนต์นั่ง หรือรถบรรทุกขนาดเล็ก ลากพ่วงเอาล้อทดสอบ (Test Wheel) จำนวนหนึ่งล้อ หรือมากกว่า เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติและถังน้ำ หลักการของวิธีนี้ คือ เมื่อทำการหยุดล้อทดสอบขณะที่รถลากกำลังวิ่งอยู่ จะเกิดแรงต้านทานที่พื้นผิวสัมผัสของหน้ายางล้อทดสอบกับพื้นผิวทาง ค่าแรงต้านทานนี้จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแล้วนำค่านี้ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเรียกว่าค่า "Braking Force Coefficient (BFC) "

Casthy , T.I. (1968) พบว่าโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการลื่นไถลจะถูกบันทึกด้วยช่วงเวลาอันสั้น และมีความคลาดเคลื่อนเพียง 1-2 % เท่านั้น จึงคุ้มค่ากับราคาเมื่อต้องทำการทดสอบในสนาม เครื่องทดสอบประเภทนี้จึงเป็นที่นิยมใช้งานในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ และ ฝรั่งเศส ต่อมาได้มีการคิดค้นเครื่องมือแบบใหม่ โดยใช้หลักการเดียวกันคือ ทำรถทดสอบที่ติดตั้งเครื่องวัดค่าความหน่วง (Decelerometer) เมื่อรถทดสอบวิ่งผ่านจุดที่ต้องการวัดค่าด้วยความเร็ว 50 กม./ ชม. ให้หยุดรถทันที และปล่อยให้รถลื่นไถลไปแล้วจึงบันทึกค่าอัตราหน่วง

ของรถทดสอบไว้ตั้งแต่ความเร็วเริ่มต้นจนถึงเวลาที่รถหยุดไถล ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการ
 ถลไถลของรถทดสอบจะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของรถทดสอบในเทอมของค่าแรงโน้มถ่วงของ
 โลก ผลที่ได้ให้ค่าใกล้เคียงกับวิธีการ Sideway - Force เมื่อรถทดสอบเป็นรถชนิดคอกยางเรียบ
 ข้อดีของวิธีนี้คือ รวดเร็วและราคาต่ำแต่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธี sideway - Force คือจะมีค่า
 ความคลาดเคลื่อนประมาณ 2-3 %

Giles (1957) ได้หาความสัมพันธ์ของค่า BFC และ SFC เมื่อวัดด้วยเครื่องมือทั้งสองแบบพบว่าค่า
 BFC โดยเฉลี่ยจะน้อยกว่าค่า SFC เล็กน้อย หรือ $BFC = 0.8 SFC$

2.4.2 เครื่อง SCRIM (Sideway - Force Coefficient Routine Investigation Machine)
 เครื่องมือชนิดนี้ TRRL เริ่มใช้งานครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อ ค.ศ. 1968 เรียกวิธีการหาค่า
 สัมประสิทธิ์การถลไถลแบบนี้ว่า Sideway-Force Coefficient (SFC) เป็นค่าอัตราส่วนของแรงทาง
 ด้านข้างของล้อทดสอบต่อน้ำหนักกระทำต่อล้อในแนวตั้ง โดยล้อทดสอบจะติดตั้งท่ามุม 20 องศา
 กับทิศทางเคลื่อนที่ของรถทดสอบ ล้อทดสอบที่ใช้เป็นล้อยางที่มีดอกยางเรียบ รถทดสอบต้อง
 สามารถบรรทุกน้ำได้จำนวนมากเพื่อให้บริเวณที่จะทำการทดสอบเปียก ส่วนประกอบที่สำคัญ
 ที่สุดของเครื่อง SCRIM คือเครื่องบันทึกผลของแรงทางด้านข้างที่ล้อทดสอบขณะที่ล้อทดสอบแล่น
 ผ่านไปบนผิวทางที่ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานความเร็วที่ทำการทดสอบปกติ 50
 กม./ชม. ตำแหน่งที่ทำการทดสอบจะถูกบันทึกออกมาเป็นช่วงด้วยกระดาษกราฟ ความคลาด
 เคลื่อนของวิธีการทดสอบด้วยวิธีนี้มี 1-2 % ข้อดีของวิธีการนี้คือ สามารถวัดค่าได้ต่อเนื่องตลอด
 เส้นทางซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการจัดระบบจราจร ในขณะที่มีการทดสอบ

2.4.3 เครื่อง British Portable Tester (BPT) เครื่องมือชนิดนี้นิยมใช้งานกันแพร่หลายซึ่ง
 ใช้ในการทดสอบครองโครงการนี้ เหมาะสำหรับการหาค่าความเสียดทานเฉพาะจุด (Spot Check)
 โดยวัดค่าความถี่ระหว่างขาที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายของแขนแกว่ง (Pendulum Arm) กับพื้นผิวทางใน
 สภาพพื้นผิวทางเปียกในรูปของ Skiding Resistance Value (SRV)

ข้อดี ของเครื่องมือแบบนี้คือ สามารถทดสอบได้รวดเร็วทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ
ค่าที่ได้สามารถอ่านได้โดยตรง สามารถทดลองได้แม้ในพื้นที่ลาดเอียง

ข้อเสีย คือเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะกรณีพื้นผิวทางขรุขระ และมีขีดจำกัดใน
การใช้งานมากกว่าเครื่องมือแบบอื่น รูปร่างของเครื่องมือทดสอบดังแสดงในรูป ที่ 2.18



รูปที่ 2.18 เครื่อง British Portable Tester (BPT)

ส่วนประกอบของเครื่อง BPT ตัวเครื่องประกอบด้วยฐานรองรับรูปตัว T ปลายแต่ละด้านของฐานมีสกรูปรับให้สูงต่ำได้ โดยใช้ระดับน้ำซึ่งติดอยู่ที่โคนขาของเครื่องเป็นตัวตรวจสอบระดับของเครื่อง เพื่อให้เครื่องตั้งอยู่ในแนวตั้งขณะทำการทดลอง แกนในแนวตั้งเป็นแกนกลม มีรางเลื่อนให้แขนแกว่ง และแผ่นค้ำขึ้นเลื่อนขึ้นลงได้ในแนวตั้ง แขนแกว่งประกอบด้วยก้านอลูมิเนียมและลูกค้ำที่ปลายแขน ภายในลูกค้ำเป็นแผ่นยางติดกับก้านสปริงมีค้ำยกก้านสปริงเพื่อให้แผ่นยางยกขึ้น เนื้อพื้นผิวทางใต้เมื่อแกว่งกลับ แขนแกว่งถูกยึดติดด้วยไพล์ล้อยที่สามารถจับ - ปลด แขนแกว่งได้ เมื่อกดไกแขนแกว่ง จะตกลงจากตำแหน่งที่ถูกยึดไว้แบบอิสระและผิวหน้าแผ่นยางจะปาดสัมผัสไปบนพื้นผิวทางที่ต้องการทดสอบ ขณะเดียวกันแขนแกว่งจะพาเอาเข็มชี้ไปที่ขีดแบ่งบนค้ำขึ้นอลูมิเนียม การเลื่อนขึ้น - ลง ของแขนแกว่งผ่านแกนในแนวตั้งเพื่อให้แผ่นยางทดสอบสัมผัสผิวทางเป็นระยะทาง 7.60 ± 0.10 ซม. ความยาวของแขนแกว่งจากจุดหมุนของแขนแกว่งถึงแผ่นยางยาว 50.00 ซม. น้ำหนักแขนแกว่งรวมลูกค้ำและแผ่นยางหลัก 1.50 ± 0.03 กก. จุดศูนย์ถ่วงอยู่ห่างจากจุดหมุน 40.50 ± 0.50 ซม. ยางมีลักษณะสีน้ำตาลสีเหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3.10 ซม. ยาว 7.60 ซม. หนา 0.06 ซม. ยึดติดกับอลูมิเนียมมีรูเสียบติดกับก้านสปริง น้ำหนักยางรวมแผ่นโลหะหนัก 22.0 ± 5.00 กรัม แผ่นยางวางท่ามุม 20 องศา กับผิวพื้นผิวทางที่ทำการทดสอบเมื่อแขนแกว่งอยู่ที่ตำแหน่งต่ำที่สุดแผ่นยางที่อายุการใช้งานอย่างน้อย 6 เดือน และมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของยาง

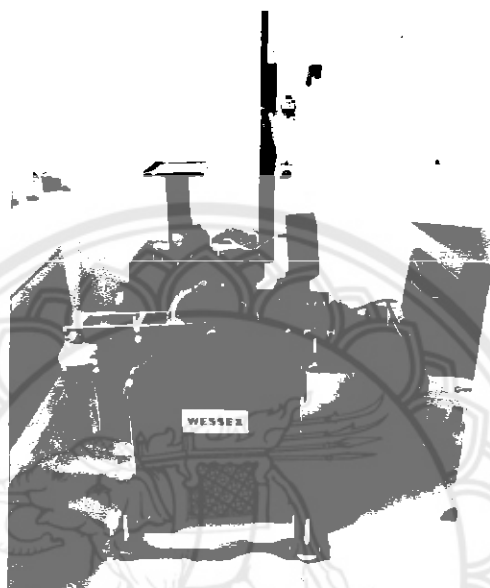
คุณสมบัติของยาง	อุณหภูมิ (°C)				
	0	10	20	30	40
ความยืดหยุ่น (Resilience)%	42-47	55-62	61-68	64-71	66-73
ความแข็ง (Hardness)	55 ± BS.DEGREE				

แผ่นดัชนีเป็นแผ่นดัชนีเคลือบรูปสี่เหลี่ยมวงกลม มีขีดแบ่งช่วงที่จุดบนสุดเป็น 0 และที่จุดล่างสุดเป็น 150 ดังรูปที่ 2.19 หลักการออกแบบเครื่องมือนี้ คือ ใช้เครื่องมือจำลองสภาพล้อรถที่วิ่งไปบนพื้นผิวทางโดยแผ่นยางที่มีพื้นที่สัมผัสเท่ากับ $3 \times 1/20$ ตารางนิ้ว มีความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเปรียบเทียบเป็นค่าความเร็วที่ 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อ่านได้จากเครื่อง (Skid Resistance Value, SRV) ที่อ่านได้จากเครื่อง BPT จะให้ค่า 100 เท่าของค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (Coefficient of Friction, C_f)



รูปที่ 2.19 แสดงแผ่นดัชนี

2.4.4 เครื่องขัด (Polishing Machine) วิธีการทดสอบหาความต้านทานการลื่นไถลของหินเมื่อถูกขัด ซึ่งเป็นประเภทการทดสอบทางกลสมบัติวัสดุรวมหินผิวทาง ที่มีผิวหน้าเรียบ รูปร่างเหลี่ยมหรือกลมไม่แบนยาว จะถูกหล่อติดกับซีเมนต์ขาวในแบบหล่อขนาด 5x20 ซม. ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เครื่องขัด (Polishing Machine)

2.5 มาตรฐานกำหนดความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง (Standard of Skid Resistance)

โดยทั่วไปมาตรฐานที่กำหนดขึ้นจะเป็นค่าขั้นต่ำ เพื่อเป็นขีดจำกัดให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่รถยนต์เป็นประการสำคัญ นอกจากนี้ยังใช้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาประเมินระยะเวลาเพื่อซ่อมบำรุงพื้นผิวจราจรได้ด้วย

Giles (1957) ได้เสนอแนะระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร / ชั่วโมงสำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท ในสภาพพื้นผิวทางเปียกดังแสดงในตารางที่ 2.2 ค่าที่ได้รับการเสนอแนะนี้ใกล้เคียงกับที่ใช้งานของหน่วยซ่อมบำรุงทางหลวงของประเทศอังกฤษ

Salt, GF, & Szatkowski, W.S. (1973) ได้เสนอแนะว่าสำหรับถนนที่ใช้สำหรับยานยนต์ที่มีความเร็วสูงเกินกว่า 95 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์การลดของค่า SRV มากที่สุดจากค่าความเร็วสูงไปต่ำไม่ควรเกิน 20% เพื่อที่จะรักษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานให้มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดอันตราย จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่า ค่าความลึกของพื้นผิวจราจรที่น้อยที่สุดสำหรับผิวทางลาดยาง คือ 1.00 มม. ผิวทางคอนกรีตเท่ากับ 0.50 มม. เมื่อค่าความลึกผิวทางน้อยกว่านี้ ควรทำการซ่อมบำรุงพื้นผิวทางใหม่

Bunnag, et al (1975) ได้เสนอแนะค่าความต้านทานการดินโคลนในสภาพพื้นผิวทางเปียกของถนนประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (SFC₅₀) สำหรับประเภทและลักษณะของถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท (Giles, 1957)

ประเภท	ลักษณะของถนน	ในสภาพผิวทางเปียก	
		ค่า SFC ₅₀	ค่า BPTV ⁽⁶⁾
A	ถนนตามจุดอันตราย(Most Difficult Sites) เช่น - วงเวียน - ถนนโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อยกว่า 500 ฟุต - ทางลาดชันมากกว่า 1 : 2 และระยะความลาดมากกว่า 300 ฟุต - บริเวณแยกใกล้ไฟสัญญาณ	มากกว่า 0.60	มากกว่า 65

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ประเภท	ลักษณะของถนน	ในสภาพผิวทางเปียก	
		ค่า SFC ₅₀	ค่า BPTV ⁽¹⁴⁾
B	ถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่ไม่ได้จัดอยู่ในประเภท A และ C (General Requirements)	มากกว่า 0.50	มากกว่า 55
C	ถนนสาธารณะในทางตรงที่มีความลาดชันน้อย รัศมีความโค้งไม่มากนัก และมีบริเวณแคบน้อย (Easy Sites)	มากกว่า 0.40	มากกว่า 55
D	ถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่มี สปส. ความเสียหายต่ำกว่า 0.40 (Proved Sites)		ถ้าต่ำกว่า 45 จะเกิดการลื่นไถล

ตารางที่ 2.3 ผลของความลึกของผิวหาค่าความต้านทานการลื่นไถล (SRV) เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น (Salt & Szatkowski, 1973)

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

ตารางที่ 2.4 ค่าความต้านทานการสิ้นไถลขั้นต่ำของ BPT-Number และ Mu-Meter Number ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในลักษณะถนนประเภทต่างๆ ในกรณีผิวทางเปียก (Wet Condition) (Bunnag & Sukhawan, 1975)

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

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

การศึกษาโครงการครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองของมวลรวม หินจากแหล่งหินอำเภอรานกระต่ายจังหวัดกำแพงเพชร โดยนำตัวอย่างหินขนาด 3/4 นิ้ว , 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว เลือกมาผสมกันเป็นคู่ในอัตราส่วน 50:50,60:40,40:60 แล้วขัดทดสอบด้วย เครื่อง polishing Machine แล้วหาค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองโดยใช้เครื่อง British Portable Tester จะหาค่าตัวอย่างแต่ละอันทั้งหมด 5 ครั้งแล้วจับบันทึกค่าทุกครั้งโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 เครื่องมือ วัสดุ

เครื่องมือ

1. เครื่องขัด (polishing Machine) ประกอบด้วยวงล้อเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. กว้าง 4.4 ซม. สำหรับบรรจุแผ่นตัวอย่างขนาดกว้าง 4.5 ซม. ยาว 9.0 ซม. ได้ 14 แผ่น วงล้อหมุนด้วยความเร็ว 315-325 รอบต่อนาที วงล้อนี้อยู่ในกรอบเหล็กเพื่อป้องกันการกระเด็นของผงขัดและน้ำ วงล้อหมุนด้วยกำลังจากมอเตอร์บนวงล้อเหล็กนี้มีล้อ ยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. กว้าง 5 ซม. เป็นล้อแบบสูบลมควมหน้าเรียบค่า ความแข็งของยาง 55 ± 5 IRH degrees ความดันลม 3.16 ± 0.14 KSC. (45 ± 2 PSI) กดทับอยู่กับแผ่นตัวอย่างด้วยตุ้มน้ำหนัก 40 ± 0.5 กก. ถ่ายน้ำหนักโดยคานซึ่งแขวน ตุ้มน้ำหนักคอนบนของล้อยางเป็นที่ป้อนผงขัด มีลักษณะเป็นกรวยทองเหลืองรูป สี่เหลี่ยม ตอนล่างเป็นรางปล่อยผงขัดให้ตกที่หน้าล้อยาง ที่ป้อนผงขัสนี้ติดกับแกน ซึ่งปรับเอียงได้ทุกทิศทาง มีเครื่องสั้นกรวยเพื่อให้ผงขัดไหลอย่างสม่ำเสมอติด อยู่ตอนล่างของกรวย เครื่องสั้นนี้สามารถปรับขนาดความสั้นให้มากน้อยได้
2. เครื่องวัดความต้านทานการสิ้นเปลือง (British Portable Tester) ดังรูปที่ 2.18 ตัวเครื่อง ประกอบด้วยฐานรับเครื่องรูปตัว T แต่ละปลายขาเป็นสกรูปรับให้สูงต่ำได้มีระดับ น้ำหนักที่โคนขาข้างหนึ่งเพื่อปรับให้เสาเครื่องอยู่ในแนวตั้ง เสาเครื่องเป็นเสากลม

กลวงตั้งอยู่บนฐานรูปตัว T และเป็นรางให้แผ่นคัทซีและแขนแกว่งเลื่อนขึ้นลงได้ แขนแกว่งประกอบด้วยก้านอลูมิเนียมและลูกคัมที่ปลายแขน ภายในลูกคัมเป็นแผ่นยางขกขึ้นพื้นตัวอย่างเมื่อแกว่งกลับ แขนแกว่งจับติดกับไพล์ลอยเมื่อกดไกแขนแกว่งจะตกลงมาและแผ่นยางจะปาดหน้าหินตัวอย่าง ขณะเดียวกันจะหาเข็มชี้ไปชี้ที่แบ่งบนแผ่นคัทซีอลูมิเนียม แขนแกว่งและแผ่นคัทซีปรับให้เลื่อนขึ้นลงได้พร้อมกัน เพื่อให้แผ่นยางปาดหน้าตัวอย่างเป็นระยะ 7.6 ± 0.1 ซม. ความยาวจากจุดหมุนของแขนแกว่งถึงแผ่นยางยาว 50 ซม. น้ำหนักแขนแกว่งรวมลูกคัมและแผ่นยางหนัก 1.50 ± 0.03 กก. จุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากจุดหมุน 40.5 ± 0.5 IRH แผ่นยางเป็นยางสีดำรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 3.1 ซม. หนา 0.6 ซม. ปิดติดกับแผ่นอลูมิเนียมมีรูเสียบติดกับก้านสปริง น้ำหนักยางรวมแผ่นโลหะหนัก 22 ± 5 กรัม ทำมุม 20 องศากับแนวราบ เมื่อแขนแกว่ง อยู่ตำแหน่งต่ำสุดในการทดลอง แผ่นยางต้องมีอายุอย่างน้อย 6 เดือน และมีคุณสมบัติดังนี้

3. แบบเหล็กหล่อตัวอย่าง มีขนาดกว้าง 4.5 ซม. ยาว 9.0 ซม.
4. ตะแกรงมาตรฐานขนาด $3/8$ " (9.52 mm.) , $5/16$ " (7.94 mm.) เบอร์ 50, เบอร์ 100

วัสดุ

1. ผงขัด เป็นผงอลูมิเนียมคาร์ไบด์ โดยทั่วไปเรียกว่า Alundum มีสองชนิด คือ ผงหยาบ (Corn Emery) และผงละเอียด (Air – Floated Emery Flour)
2. ทรายละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ค้างเบอร์ 100
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I
4. ลวดเสริมขนาด 1.2 มม.

3.2 วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

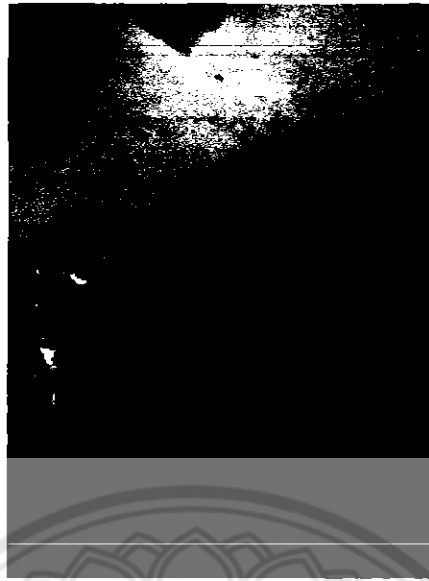
1. ตัวอย่างวัสดุหินที่ใช้ในการทดลองใช้ขนาด $3/8$ นิ้ว , $1/2$ นิ้ว , $3/4$ นิ้ว ตัวอย่างหินมีหน้าเรียบ ไม่แบน ไม่ยาวเกินไป
2. นำวัสดุหินแต่ละขนาดมาผสมกัน ในอัตราส่วน 50:50,60:40,40:60 ตัวอย่างเช่น วัสดุหินขนาด $3/8$ นิ้ว ผสมกับ $1/2$ นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50,60:40,40:60 วัสดุหินขนาด $3/8$ นิ้ว ผสมกับ $3/4$ นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50,60:40,40:60 วัสดุหินขนาด $1/2$ นิ้ว ผสมกับ $3/4$ นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50,60:40,40:60
3. นำตัวอย่างหินที่ผสมกันแต่ละขนาดประมาณ 2 กก. มาล้างให้สะอาดและผึ่งให้แห้ง
4. ทาน้ำมันหรือจารบีเฉพาะที่ด้านข้างแบบหล่อ (Mold) มาตรฐาน เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างที่หล่อไว้ติดแน่นกับแบบหล่อมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.1
5. เรียงเม็ดหินตัวอย่างลงในแบบหล่อมาตรฐาน จำนวนตัวอย่างละ 3 แบบหล่อ โดยให้จำนวนเม็ดหินในแต่ละแบบหล่ออยู่ในช่วงที่กำหนดตามมาตรฐาน B.S. 812 (1967) กำหนดไว้ 40-60 เม็ด
6. วางลวดเสริมเหล็กขนาด 1.2 มม. จำนวน 3 เส้น ตามความยาวของแบบหล่อเพื่อป้องกันการแตกร้าวของตัวอย่างในขณะที่ทำการขัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.2
7. หล่อด้วยปูนทราย ซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์กับทรายละเอียด ด้วยอัตราส่วน 10:1 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.3
8. เมื่อปูนทรายเริ่มแข็งตัว ปาดผิวให้เรียบ
9. ทิ้งไว้ให้ซีเมนต์ขาวแข็งตัว เป็นเวลาประมาณ 24 ชม.
10. ถอดแผ่นตัวอย่างออกจากแบบหล่อด้วยความระมัดระวัง
11. นำแผ่นตัวอย่างไปแช่น้ำประมาณ 7-14 วัน โดยคว่ำหน้าด้านเม็ดหินลง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 ทาน้ำมันที่แบบหล่อ(mold) ทาน้ำมันเพื่อป้องกันการบิดเกาะของปูนซีเมนต์ขาว



รูปที่ 3.2 เรียงเม็ดหินตัวอย่างลงในแบบหล่อ(mold) และวางลวดเสริมเหล็กขนาด 1.2 มม.



รูปที่ 3.3 หล่อด้วยปูนทราย ซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ขาวกับทรายละเอียด
ด้วยอัตราส่วน 10:1 โดยน้ำหนัก และปาดหน้าให้เรียบ



รูปที่ 3.4 เมื่อปูนทรายแข็งตัวแล้วทำการเซาะร่องหินอย่างระมัดระวัง และนำแผ่นตัวอย่างไปแช่น้ำ
ประมาณ 7-14 วัน เพื่อเป็นการบ่ม

การขัดแผ่นตัวอย่างหินด้วยเครื่องขัด (Polishing Machine)

1. ทำการหาค่าเฉลี่ย PSV ก่อนทำการขัดทดสอบ ดังรูปที่ 3.5
2. นำแผ่นตัวอย่างมาจัดเรียงในวงล้อเหล็ก ซึ่งบรรจุแผ่นตัวอย่างได้ทั้งหมด จำนวน 14 แผ่น โดยมีตัวอย่างหิน 12 แผ่น และ Control Stone 2 แผ่น ดังรูปที่ 3.6
3. กำหนดเครื่องขัดโดยให้เครื่องขัดทำงาน 5000 รอบ
4. เดินเครื่องดำเนินการขัดแผ่นตัวอย่างทุกๆ 5000 รอบ โดยการขัด 5,000 และ 10,000 รอบ ขัดด้วยผงหยาบ (Corn Emery) ปล่อยให้ด้วยอัตรา 20-35 กรัมต่อวินาที และปล่อยน้ำจากขวดแก้วที่ตั้งอยู่บนเสาของเครื่องมือด้วยอัตราส่วนเดียวกัน ส่วน 15,000 และ 20,000 รอบขัดด้วยผงละเอียด (Air – Floated Emery Flour) ปล่อยให้ด้วยอัตรา 2-4 กรัมต่อวินาที และปล่อยน้ำด้วยอัตราเป็น 2 เท่าของอัตราการปล่อยผงละเอียด ดังรูปที่ 3.7
5. หยุดเครื่องเมื่อครบกำหนดทุกๆ 5000 รอบ แล้วฉีดน้ำทำความสะอาดแผ่นตัวอย่างและเก็บกวาดวัสดุผงหยาบออกจากเครื่องขัดให้สะอาด จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย PSV อีกครั้ง



รูปที่ 3.5 ทำการหาค่าเฉลี่ย PSV ก่อนทำการขัดทดสอบ



รูปที่ 3.6 นำแผ่นตัวอย่างมาจัดเรียงในวงล้อเหล็ก และนำวงล้อเหล็กเข้าเครื่อง



รูปที่ 3.7 เดินเครื่องดำเนินการขัดแผ่นตัวอย่าง

การทดลองหาค่าเฉลี่ย PSV โดยใช้เครื่อง British Portable Tester

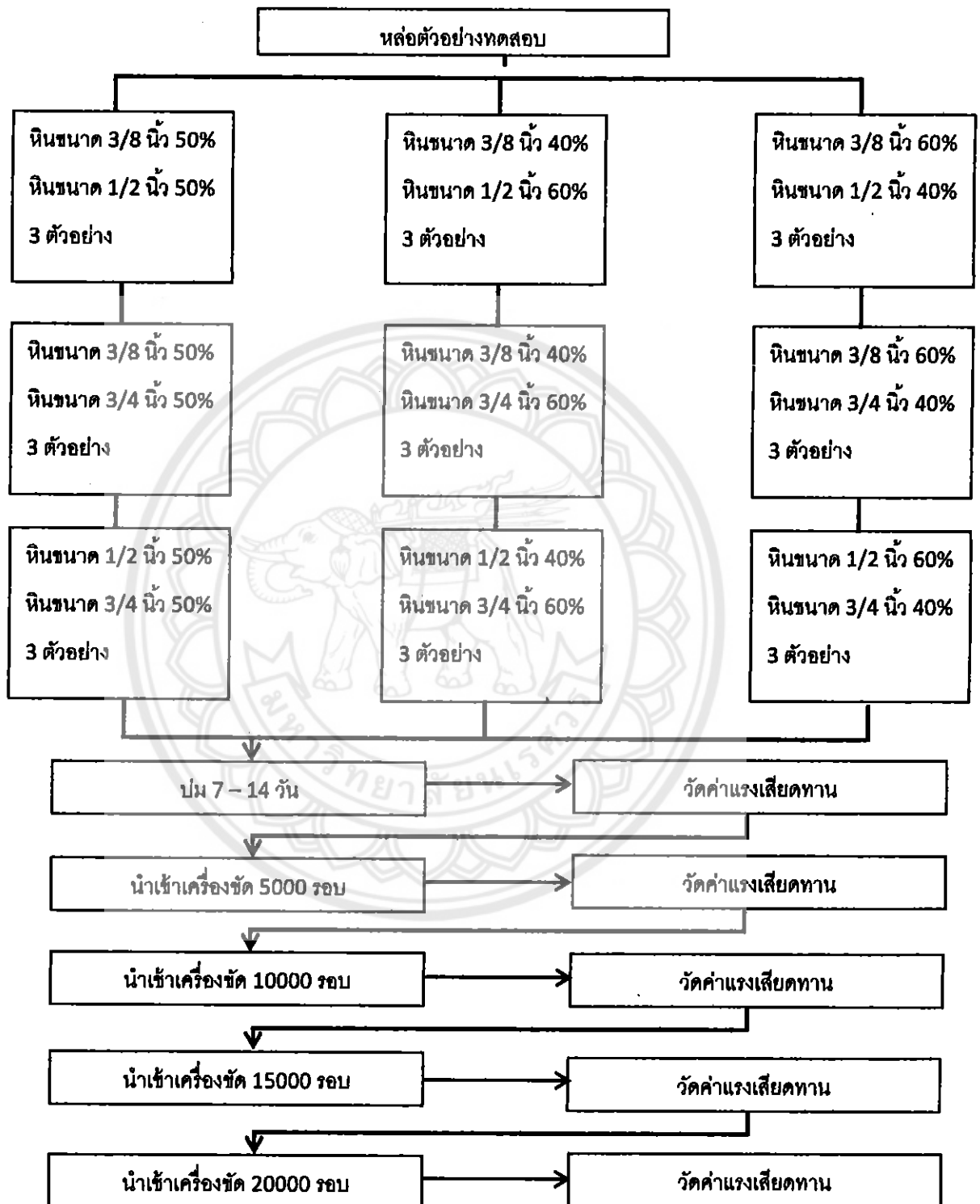
1. แช่แผ่นตัวอย่างคว่ำหน้าลงในน้ำอุณหภูมิ $18 - 22^{\circ} \text{C}$. ประมาณ $1/2 - 2$ ชม. ก่อนการทดลองหาค่าความต้านทานการลื่นไถลของตัวอย่าง
2. ปรับเครื่องมือโดยปรับระดับน้ำที่ฐานเครื่องให้เสาอยู่ในแนวตั้ง
3. ทดลองเพื่อหาค่าสมดุล โดยไม่สัมผัสกับตัวอย่าง เข็มต้องชี้ที่เลข 0
4. เมื่อปรับเรียบร้อยแล้วจึงนำตัวอย่างเข้าที่จับ (C - clamp)
5. ปรับเครื่องมือเพื่อหาสมดุล โดยให้สัมผัสตัวอย่างเป็นระยะ 7.6 ± 0.1 ซม. ดังรูปที่ 3.8
6. รดน้ำแผ่นตัวอย่างแล้วหาค่า PSV จากแผ่นคั่นนี้
7. อ่านค่าที่ได้จากการทดลอง 5 ครั้ง บันทึกค่าที่อ่านไว้ ค่า PSV เฉลี่ยของตัวอย่าง หินแต่ละแผ่นจะสามารถคำนวณได้จากค่าที่อ่านได้ 3 ครั้งหลังและค่า PSV เฉลี่ยทั้งหมดจะได้จากการเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้ง 3 แผ่นอีกครั้งหนึ่ง

การหาค่า PSV จะกระทำ 2 ครั้ง คือ ทดลองก่อนขัดตัวอย่างด้วยเครื่องขัด เรียกว่า ค่า PSV ก่อนขัดหรือ PSV (BEF) และทดลองหลังจากขัดด้วยเครื่องขัด เรียกว่า ค่า PSV หลังขัดหรือ PSV (AFT) ค่า PSV ที่นำไปใช้เปรียบเทียบคุณลักษณะของหินต่างๆ ก็คือค่า PSV หลังขัดหรือ PSV (AFT) ค่า PSV (BEF) จะมากกว่าค่า PSV (AFT) เสมอไป



รูปที่ 3.8 เลื่อนแขนแกว่งให้สัมผัสตัวอย่างเป็นระยะ 7.6 ± 0.1 ซม.

3.3 แผนผังการดำเนินโครงการ



บทที่ 4

ผลการศึกษา

การทดสอบ Polished Stone Value โดยใช้วัสดุหินในการทดสอบขนาด 3/4 นิ้ว , 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว โดยใช้วัสดุหิน 2 ขนาดผสมกันในอัตราส่วน 50:50 , 60:40 และ 40:60 โดยเครื่อง Accelerated polishing Machine และเครื่อง British Portable Tester

4.1 ผลการศึกษา

จากการทดสอบ Polished Stone Value ทำให้ทราบผลตัวอย่างของวัสดุหินในการทดสอบขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว , 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว , 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50 , 60:40 และ 40:60 จากนั้นนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skid Resistance กำหนดจำนวนรอบในการทดสอบ เพื่อหา Polished Stone Value ที่เปลี่ยนไปของวัสดุหินที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละรอบ ได้ผลการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาวัดหินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว

	ค่า Skid Resistance				
	ก่อนขัด	5,000 รอบ	10,000 รอบ	15,000 รอบ	20,000 รอบ
(3/8)+(1/2) 50:50	63.89		54.33	52.67	34.11
(3/8)+(1/2) 40:60		50.78	49.56	45.33	44.22
(3/8)+(1/2) 60:40	68.00	54.11	52.54	48.22	45.56

หมายเหตุ

1. พื้นที่สีแดงหมายถึงความผิดพลาดจากการทดลอง จึงทำให้ผลการทดลองมีการคลาดเคลื่อน
2. ค่า Skid Resistance ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุหิน

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.1 วัสดุหินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50, 40:60 และ 60:40 จะเห็นได้ว่าทุกอัตราส่วน ค่า PSV จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการขัด จากการเปรียบเทียบทั้งสามขนาดคละ โดยอัตราส่วน 60:40 มีค่าความเชื่อมั่นสูงสุด และอัตราส่วน 40:60 มีค่าความเชื่อมั่นน้อยสุด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัสดุหินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

		ค่า Skid Resistance				
		ก่อนขัด	5,000 รอบ	10,000 รอบ	15,000 รอบ	20,000 รอบ
(3/8):(3/4) 50:50	(3/8)	48(00)	45(60)	40(60)	39(58)	39(58)
(3/8):(3/4) 40:60	51(36)	50(78)	48(36)	44(67)	44(66)	
(3/8):(3/4) 60:40	54(01)	51(22)	47(00)	46(67)		

หมายเหตุ

1. พื้นที่สีแดงหมายถึงความผิดพลาดจากการทดลอง จึงทำให้ผลการทดลองมีการคลาดเคลื่อน
2. ค่า Skid Resistance ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุหิน

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.2 วัสดุหินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50, 40:60 และ 60:40 จะเห็นได้ว่าทุกอัตราส่วน ค่า PSV จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการขัด จากการเปรียบเทียบทั้งสามขนาดคละ โดยอัตราส่วน 60:40 มีค่าความเชื่อมั่นสูงสุด และอัตราส่วน 40:60 มีค่าความเชื่อมั่นน้อยสุด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัสดุหินขนาด 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

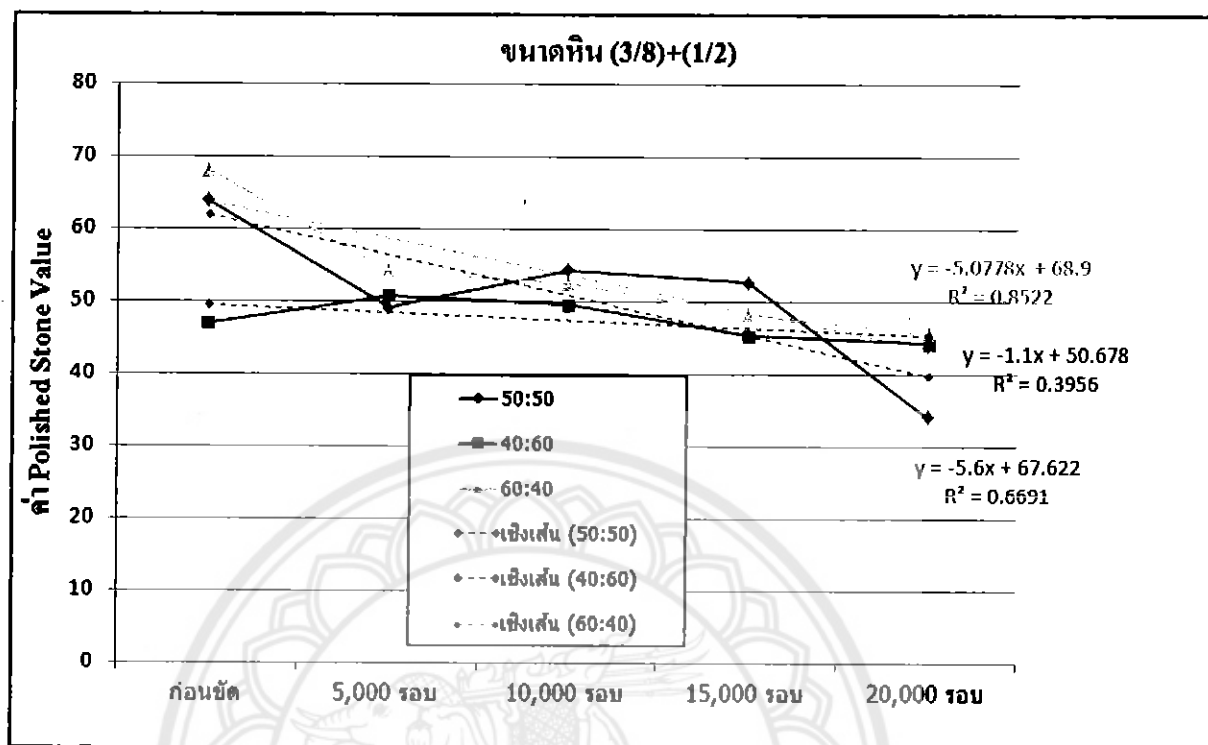
	ค่า Skid Resistance				
	ก่อนขัด	5,000 รอบ	10,000 รอบ	15,000 รอบ	20,000 รอบ
(11/2) (3/4) 50:50	401.667	382.667	362.333	342.333	322.667
(11/2) (3/4) 40:60	401.667	382.667	362.667	342.667	322.667
(11/2) (3/4) 60:40	401.667	382.667	362.667	342.667	322.667

หมายเหตุ

1. พื้นที่สีแดงหมายถึงความผิดพลาดจากการทดลอง จึงทำให้ผลการทดลองมีการคลาดเคลื่อน

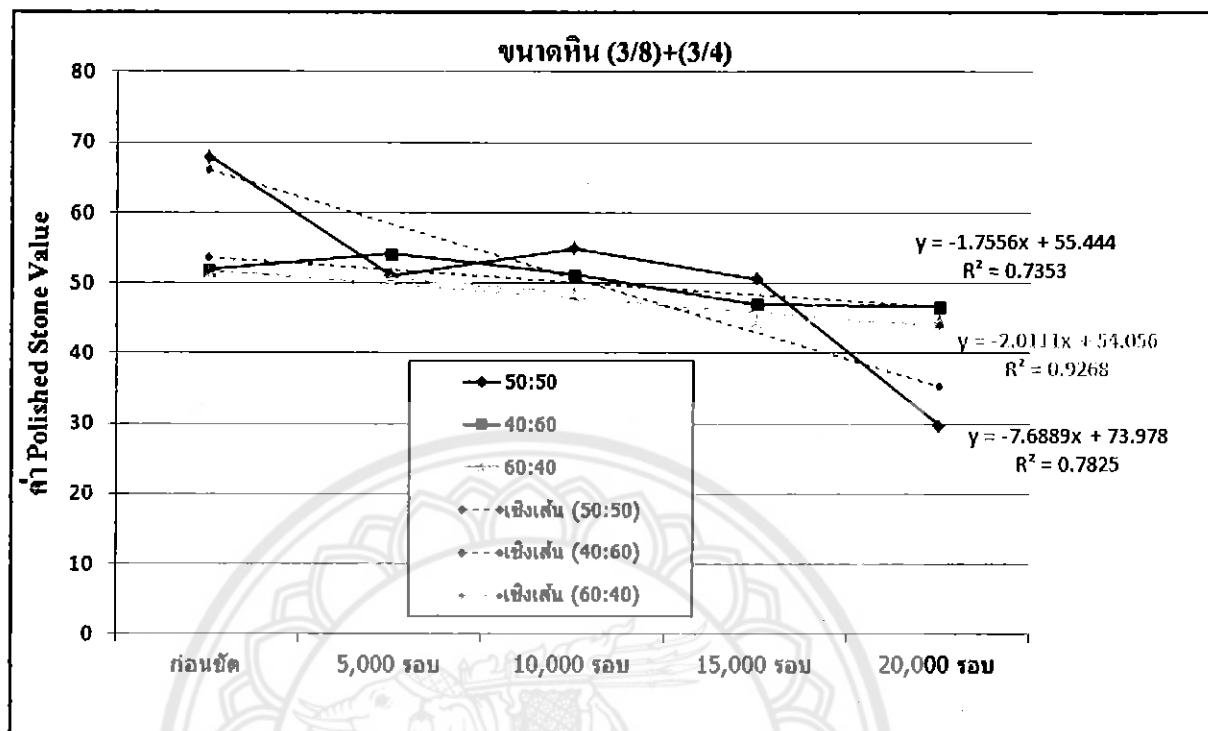
2. ค่า Skid Resistance ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุหิน

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.3 วัสดุหินขนาด 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 50:50, 40:60 และ 60:40 จะเห็นได้ว่าทุกอัตราส่วน ค่า PSV จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการขัด จากการเปรียบเทียบทั้งสามขนาดผลโดยอัตราส่วน 60:40 มีค่าความเชื่อมั่นสูงสุด และอัตราส่วน 40:60 มีค่าความเชื่อมั่นน้อยสุด



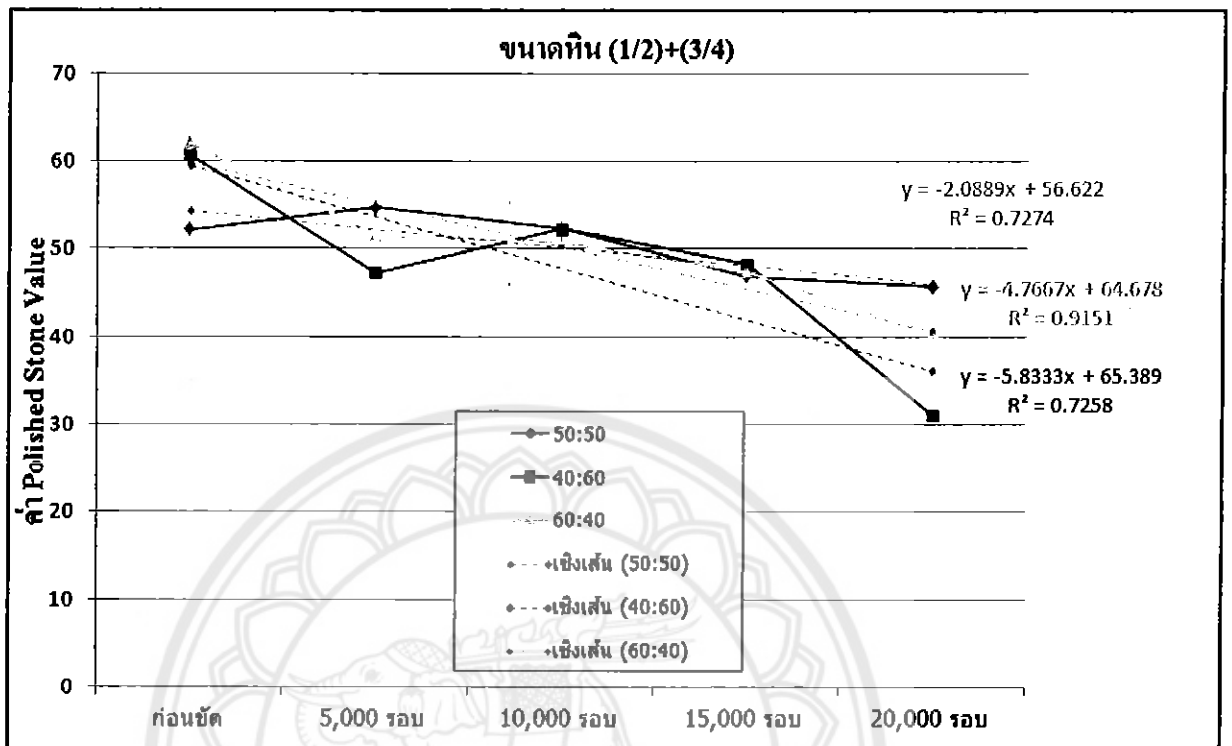
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และจำนวนรอบในการขัดของหิน
ขนาด 3/8 นิ้วผสมกับ 1/2 นิ้ว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ขัดต่อค่า PSV หินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -5.0778x + 68.9$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.8522$ ซึ่งเป็นค่าความเชื่อมั่นที่สูงที่สุด จะแสดงได้ว่า จำนวนรอบ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า PSV ได้ 85.22%



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และจำนวนรอบในการขัดของหิน
ขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ขัดต่อค่า PSV หินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -2.0111x + 54.056$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.9268$ ซึ่งเป็นค่าความเชื่อมั่นที่สูงที่สุด จะแสดงได้ว่า จำนวนรอบ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า PSV ได้ 92.68%



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และจำนวนรอบในการขัดของหิน

ขนาด 1/2 นิ้วผสมกับ 3/4 นิ้ว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ขัดต่อค่า PSV หินขนาด 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -4.7667x + 64.678$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.9151$ ซึ่งเป็นค่าความเชื่อมั่นที่สูงที่สุด จะแสดงได้ว่า จำนวนรอบ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า PSV ได้ 91.51%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่า Polished Stone Value ด้วยเครื่อง British Portable Tester ของแผ่นตัวอย่างหิน ซึ่งมีอัตราส่วนผสมดังนี้

3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว อัตราส่วน 50:50 , 60:40 และ 40:60 จำนวนอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง

3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว อัตราส่วน 50:50 , 60:40 และ 40:60 จำนวนอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง

1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว อัตราส่วน 50:50 , 60:40 และ 40:60 จำนวนอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง

ซึ่งรวมทั้งหมดเป็นจำนวน 27 ตัวอย่าง จะแบ่งค่าข้อมูลเป็น 5 ชุด ได้แก่ ชุดแรกคือ ก่อนทดลอง ชุดที่สองคือขัดตัวอย่าง 5,000 รอบ ชุดที่สาม 10,000 รอบ ชุดที่สี่ 15,000 รอบ ชุดที่ห้า 20,000 รอบ ได้สรุปค่า PSV ออกมาในรูปความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ทดสอบกับค่า PSV

ค่า PSV ของหินหลายแต่ละอัตราส่วนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตามจำนวนรอบที่ขัดทดสอบ ซึ่งมีจำนวนรอบขัดที่เพิ่มขึ้นทุก 5,000 รอบค่า PSV จะลดลงไปเรื่อยๆ

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนรอบในการขัดทดสอบมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลง ในกรณีหินขนาด 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -4.7667x + 64.678$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.9151$, หินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -2.0111x + 54.056$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.9268$, หินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีความสัมพันธ์ $y = -5.0778x + 68.9$ และมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.8522$ จากรูปจะเห็นว่า หินขนาด 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว ในอัตราส่วน 60:40 มีค่าความเชื่อมั่นมากที่สุด เมื่อนำไปก่อสร้างถนนควรใช้

ขนาดหิน 3/8 นิ้วให้มีปริมาณมากๆเพราะมีความต้านทานการลื่นไถลที่ดี เพื่อลดอุบัติเหตุการลื่นไถลเมื่อถนนเปียก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้ในการเรียงตัวอย่างวัสดุหินลงในแบบหล่อ (mold) มาตรฐาน ควรวางหินหน้าที่ยเรียบที่สุดให้สัมผัสแบบหล่อ (mold) มาตรฐาน และควรเรียงด้วยความระมัดระวังเพื่อเวลาถอดแบบหรือตอนขัดทดสอบหินจะได้ไม่หลุดจากตัวอย่างทดสอบ
2. ในการทดลองนี้เมื่อได้หล่อแผ่นตัวอย่างด้วยซีเมนต์ขาวแล้ว ไม่ควรทิ้งไว้นานถึง 24 ชั่วโมง เพราะจะทำให้ถอดแบบได้ยาก และยากต่อการแต่งหน้าผิวตัวอย่าง
3. ควรใช้หินขนาดเดียวกันทดสอบความต้านทานการลื่นไถล หรือเพิ่มจำนวนรอบขัดให้มากขึ้นกว่านี้เพื่อให้ได้ผลทดสอบที่แม่นยำเพื่อใช้ในการคาดการณ์สภาพพื้นถนนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. นายวราวุธ จิมพาลี,นายสุรศักดิ์ หาญเจริญ,นายอดิศักดิ์ เสระสัย.(2547)การศึกษาค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต:กรณีศึกษาภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร.การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง วศ.บ.,มหาวิทยาลัยนเรศวร,พิษณุโลก
2. <https://sites.google.com/site/patcharayutchanhom/khwam-seiyd-than-khxng-phiw-thang-pavement-friction>
3. http://www.doh.go.th/content.aspx?c_id=5&sc_id=18



ตารางที่ ก2 ก่อนจัดทดสอบหิน อัตราส่วน 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

อัตราส่วน (3/8):(3/4) 50:50					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	75	74	73	72	71
2	59	60	60	60	61
3	72	72	71	70	69
อัตราส่วน (3/8):(3/4) 40:60					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	50	50	50	49	49
2	52	51	50	50	50
3	55	55	55	54	53
อัตราส่วน (3/8):(3/4) 60:40					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	51	50	50	50	50
2	52	51	51	51	50
3	55	55	55	54	54

S1018/618(00)

S1018/51156

S1018/51189

ตารางที่ ก3 ก่อนจัดทดสอบหิน อัตราส่วน 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

วันที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	
1	56	56	56	54	54	
2	52	52	52	51	50	
3	51	51	50	50	49	SUM 52.22
วันที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	
1	64	63	63	63	62	
2	61	60	60	59	59	
3	60	60	59	59	59	SUM 60.67
วันที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	
1	64	63	63	60	60	
2	63	63	66	63	63	
3	59	58	57	57	57	SUM 62.00

ตารางที่ ก4 ทดสอบหิน 5,000 รอบ อัตราส่วน 3/8นิ้ว ผสมกับ 1/2นิ้ว

อัตราส่วน (3/8): (0 1/2): 30:10						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	49	49	48	48	48	
2	49	49	49	48	47	
3	51	51	50	50	49	SUM 49.11
อัตราส่วน (3/8): (0 1/2): 30:10						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	54	53	51	51	50	
2	55	55	54	53	52	
3	49	48	46	46	45	SUM 50.78
อัตราส่วน (3/8): (0 1/2): 30:10						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	56	55	55	54	54	
2	54	53	52	52	51	
3	59	56	55	55	55	SUM 54.11

ตารางที่ ก5 ทดสอบหิน 5,000 รอบ อัตราส่วน 3/8นิ้ว ผสมกับ 3/4นิ้ว

อัตราส่วนที่ 1 ((3/8)) : ((3/4)) : 5(0.50)						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	53	52	51	50	50	
2	54	52	52	51	50	
3	52	51	51	50	49	50.0(50.0)%
อัตราส่วนที่ 2 ((3/8)) : ((3/4)) : 4(0.60)						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	52	51	50	50	50	
2	51	50	50	49	49	
3	54	53	52	52	51	50.0(50.0)%
อัตราส่วนที่ 3 ((3/8)) : ((3/4)) : 4(0.60)						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	56	56	55	54	54	
2	56	55	54	53	53	
3	54	54	53	53	52	50.0(50.0)%

ตารางที่ ก6 ทดสอบหิน 5,000 รอบ อัตราส่วน 1/2นิ้ว ผสมกับ 3/4นิ้ว

ลำดับการทดสอบ	1	2	3	4	5	
1	59	59	56	56	56	
2	56	54	54	54	52	
3	54	54	53	52	51	SUM 54.67
ลำดับการทดสอบ	1	2	3	4	5	
1	46	46	45	44	44	
2	50	49	48	47	46	
3	49	49	49	48	47	SUM 47.22
ลำดับการทดสอบ	1	2	3	4	5	
1	50	50	49	48	48	
2	54	54	53	52	52	
3	54	54	53	51	52	SUM 51.56

ตารางที่ ก8 ทดสอบหิน 10,000 รอบ อัตราส่วน 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

อัตราส่วนที่ (3/8):(3/4) 50:50					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	58	56	56	55	55
2	56	55	55	55	54
3	56	55	54	54	53
อัตราส่วนที่ (3/8):(3/4) 40:60					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	50	49	49	48	46
2	50	47	46	46	45
3	52	52	50	50	49
อัตราส่วนที่ (3/8):(3/4) 60:40					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	54	53	51	50	50
2	52	51	50	49	49
3	54	54	52	51	50

ตารางที่ ก9 ทดสอบหิน 10,000 รอบ อัตราส่วน 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

จุดยอดบน/ล่าง	1	2	3	4	5	
1	53	55	54	54	52	
2	54	53	52	50	50	
3	53	52	51	50	50	SUM 52.33

จุดยอดบน/ล่าง	1	2	3	4	5	
1	45	44	44	43	43	
2	54	53	51	51	51	
3	52	51	51	50	50	SUM 48.67

จุดยอดบน/ล่าง	1	2	3	4	5	
1	49	49	49	48	48	
2	51	51	50	50	50	
3	55	53	53	52	52	SUM 50.67

ตารางที่ ก11 ทดสอบหิน 15,000 รอบ อัตราส่วน 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

อัตราส่วน (3/8) : (3/4) : 10 : 50					
จำนวนครั้ง/ก่อน	1	2	3	4	5
1	55	52	52	50	50
2	51	51	50	50	50
3	54	51	50	50	50
อัตราส่วน (3/8) : (3/4) : 10 : 50					
จำนวนครั้ง/ก่อน	1	2	3	4	5
1	46	45	43	43	42
2	45	44	42	41	40
3	50	49	48	47	47
อัตราส่วน (3/8) : (3/4) : 10 : 50					
จำนวนครั้ง/ก่อน	1	2	3	4	5
1	50	49	48	46	46
2	48	46	45	44	43
3	51	50	48	47	46

ตารางที่ ก12 ทดสอบหิน 15,000 รอบ อัตราส่วน 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

ปีงบประมาณ/งบกลาง	11	22	33	44	55	
11	53	50	49	49	49	
22	49	43	45	45	43	
33	50	43	45	45	45	SUM 46.89
ปีงบประมาณ/งบกลาง	11	22	33	44	55	
11	45	45	45	45	49	
22	52	50	49	49	49	
33	52	51	50	50	49	SUM 48.22
ปีงบประมาณ/งบกลาง	11	22	33	44	55	
11	45	45	45	45	45	
22	50	49	43	46	45	
33	52	50	50	49	49	SUM 47.44

ตารางที่ ก13 ทดสอบหิน 20,000 รอบ อัตราส่วน 3/8 นิ้ว ผสมกับ 1/2 นิ้ว

อัตราส่วน (3/8):(1/2):50:50						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	35	34	34	33	31	
2	36	35	34	34	34	
3	36	35	34	34	35	SUM 34.11
อัตราส่วน (3/8):(1/2):40:60						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	47	46	46	45	45	
2	47	46	45	45	44	
3	44	42	42	41	40	SUM 44.22
อัตราส่วน (3/8):(1/2):40:60						
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5	
1	49	46	46	45	45	
2	47	46	45	45	44	
3	44	42	42	41	40	SUM 54.56

ตารางที่ ก14 ทดสอบหิน 20,000 รอบ อัตราส่วน 3/8 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

อัตราส่วน (3/8) : (3/4) 40:60					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	30	30	30	29	29
2	31	31	30	30	29
3	31	30	29	29	29
อัตราส่วน (3/8) : (3/4) 40:60					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	45	45	44	43	40
2	46	45	44	42	41
3	48	47	46	45	45
อัตราส่วน (3/8) : (3/4) 60:40					
จำนวนครั้ง/ก้อน	1	2	3	4	5
1	50	49	48	46	45
2	49	46	45	45	44
3	49	49	46	46	45

ตารางที่ ก15 ทดสอบหิน 20,000 รอบ อัตราส่วน 1/2 นิ้ว ผสมกับ 3/4 นิ้ว

อัตราส่วน	1	2	3	4	5	
1	450	449	438	416	416	
2	445	435	443	433	431	
3	438	436	435	435	435	SUM 45.67
อัตราส่วน	1	2	3	4	5	
1	331	331	330	330	330	
2	335	333	333	333	333	
3	330	299	299	283	283	SUM 31.00
อัตราส่วน	1	2	3	4	5	
1	410	399	383	383	377	
2	431	431	410	399	399	
3	431	433	439	439	432	SUM 40.22

ภาคผนวก ข

ค่าความถ่วงจำเพาะของหินเม็ดหยาบ

ตารางที่ ข1 ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน จากแหล่งอำเภอรานกระด้าย จังหวัดกำแพงเพชร

Sample	Weight of sample			GB	GA	%Abs	
	In oven-dry Condition (A)	In SSD. Condition (B)	Immersed In water (C)	$\frac{A}{B-C}$	$\frac{A}{A-C}$	$\frac{B-A}{A} \times 100$	
Hot Bin	No.1	1011	1012.7	600	2.5	2.46	0.170
	No.2	1220.2	1227.3	700	2.314	2.346	0.582
	No.3	1136.2	1139.2	750	2.919	2.942	0.260
	No.4	962.3	964.6	500	2.071	2.081	0.240
	Total				2.451	2.457	0.313

ภาคผนวก ค

ดัชนีความแบนและความยาวของหิน

ตารางที่ ค1 ดัชนีความแบน (Flakiness Index)

Sieve Size U.S. Standard Square Opening (mm.)	Guage Length (mm.)	Mass Retained X (gm.)	Mass Passing Y (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Elongation Index %
25.4-19.05 (1"-3/4")	13.34 (0.525")	461.9	630	1091.9	-
19.06-12.7 (3/4"- 1/2")	9.53 (0.375")	1933	1350.6	3283.6	-
12.7-9.52 (1/2"- 3/8")	6.68 (0.263")	392.6	83	475.6	-
9.52-4.76 (3/8"-#4)	4.29 (0.169")	45.4	4	49.4	-
Total	-	2832.9	2067.6	4891.8	83.893

ตาราง ก2 คำนวณความยาว (Elongation Index)

Sieve Size U.S. Standard Square Opening (mm.)	Guage Length (mm.)	Mass Retained X (gm.)	Mass Passing Y (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Elongation Index %
25.4-19.05 (1"-3/4")	40.01 (1.575")	1038.2	53.6	1091.8	-
19.06-12.7 (3/4"- 1/2")	28.58 (1.125")	2746.7	528	3274.7	-
12.7-9.52 (1/2"- 3/8")	20.02 (0.788")	310.1	165.8	475.9	-
9.52-4.76 (3/8"-#4)	12.85 (0.506")	8.9	40.5	49.4	-
Total	-	4103.9	787.9	4891.8	83.893