

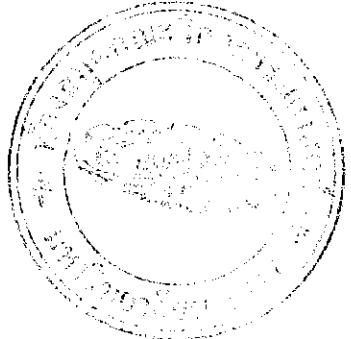


การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีต  
THE STUDY OF SKID RESISTANCE  
ON ASPHALT CONCRETE MIXTURE

นางสาววิรัสสุดา เกาสุวรรณ รหัส 54364900  
นางสาวคิริณญา ปันเงิน รหัส 54364948  
นางสาวสุภาวดี ชาญนาวา รหัส 54365013

๕๖๙๒	๑๒๕๗
๑๖๙๑๐๓๖	๑
๘๙๔	๘๙๔
๒๖๙๒	๒๖๙๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาชีวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2557



## ใบรับรองปริญญาบัตร

ชื่อหัวข้อโครงการ

การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของแօสฟิล์ตคอนกรีต

ผู้ดำเนินโครงการ

นางสาววิรัสสuda 逮าสุวรรณ รหัส 54364900

ที่ปรึกษาโครงการ

นางสาวศิริญญา ปั่นเงิน รหัส 54364948

สาขาวิชา

นางสาวสุกาวดี ชาญนาวา รหัส 54365013

ภาควิชา

อาจารย์บุญพล มีไซโย

ปีการศึกษา

วิศวกรรมโยธา

2557

วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ที่ปรึกษาโครงการ

(อาจารย์บุญพล มีไซโย)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ แตะกระโทก)

กรรมการ

(อาจารย์ภัคพงศ์ หอมเนียม)

<b>ชื่อหัวข้อโครงการ</b>	การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีต		
<b>ผู้ดำเนินโครงการ</b>	นางสาววิริลสุดา	ເຄາະສູວະຣະນ	รหัส 54364900
	นางสาวศิริญญา	ປ່ານເຈີນ	รหัส 54364948
	นางสาวสุกาวดี	ພາຍຸນວາວາ	รหัส 54365013
<b>ที่ปรึกษาโครงการ</b>	อาจารย์บุญพล	ມື້ໄຊໂຍ	
<b>สาขาวิชา</b>	วิศวกรรมโยธา		
<b>ภาควิชา</b>	วิศวกรรมโยธา		
<b>ปีการศึกษา</b>	2557		

---

### บทคัดย่อ

ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของถนนเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ทางทั้งน้องค์ความรู้และการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพความเสียดทานของผิวทางในปัจจุบันเป็นการประเมินความเสียดทานในเชิงตั้งรับจากการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ (Asphalt Mixtures) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการพัฒนาการออกแบบแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ที่นำองค์ประกอบของหินทรายคือความเสียดทานของวัสดุมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบและเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถลในสภาพเปียกที่อุณหภูมิ 30 45 60 องศาเซลเซียสซึ่งวัดจากเครื่องมือ Portable Skid-Resistant Tester

จากการศึกษาพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดสอบเพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิมีผลต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลค่าความต้านทานการลื่นไถลเรียงลำดับจากค่ามากไปค่าน้อย ดังนี้ Asphalt concrete 60/70 (12.5) > Warm mix Asphalt concrete (9.5) > Asphalt concrete 60/70 (9.5) > Warm mix Asphalt concrete (12.5)

<b>Project title</b>	The Study of Skid Resistance on Asphalt Concrete Mixture		
<b>Name</b>	Ms.Wirulsuda	Thosawan	ID.54364900
	Ms.Sirinya	Punngern	ID.54364948
	Ms.Supawadee	Channawa	ID.54365013
<b>Project advisor</b>	Mr.Boonphol	Meechaiyo	
<b>Major</b>	Civil Engineering		
<b>Department</b>	Civil Engineering		
<b>Academic year</b>	2014		

---

## Abstract

A road skid resistance is a crucial factor to the road users' safety. Currently, body of knowledge and development to optimize the pavement friction are the assessment of friction in Asphalt Mixtures. The study aimed to explore the developmental design of asphalt concrete mixtures taking the friction of material as the condition in design and to compare the value of skid resistance in wet conditions at a temperature of 30,45,60 degrees Celsius, measured by the instrument, Portable Skid Resistant Tester. Findings revealed that the values of skid resistance of asphalt concrete increase when the temperature tested increases. The temperature affects the skid resistance and the values of the skid resistance are ranked from the great to the less ones; Asphalt concrete 60/70 (12.5) > Warm mix Asphalt concrete (9.5) > Asphalt concrete 60/70 (9.5) > Warm mix Asphalt concrete (12.5)

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลังได้ ทางคณะผู้ดูแลเนินงานต้องขอบคุณ อาจารย์บุญพล มีไซโຍ ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้ทางคณะผู้จัดทำสามารถนำหนังสือไปใช้เพื่อค้นคว้า

ขอขอบคุณนายรชสกนล บัวชีน ที่เคยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในด้านการทดสอบวัสดุ แก่ คณะผู้จัดทำโครงการ

ขอขอบคุณฝ่ายอาคารปฏิบัติการของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณคณะอาจารย์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ประสิทธิ์ประสานความรู้แก่คณะผู้ดำเนินงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดามารดาที่ให้การอุปการะทางด้านการเงิน และทางด้านจิตใจ จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาววิรัลสุดา

นางสาวศิริญญา

นางสาวสุภาวดี

ເຄາະສຸວະຮັນ

ปั่นเงิน

ชาญนาวา

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาบัตรนักศึกษา.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์อักษรย่อ.....	ญ
 บทที่ 1 บทนำ.....	 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
 บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	 4
2.1 ทฤษฎี.....	4
2.2 ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง.....	9
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล.....	10
2.4 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง.....	22
2.5 มาตรฐานกำหนดความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง.....	25
2.6 บทหวานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
 บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	 28
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	28
3.2 การเตรียมตัวอย่างก้อนแอลฟิล์ตคอนกรีต.....	30
3.3 การทดสอบมาตรฐานการทดสอบแอลฟิล์ตคอนกรีตโดยวิธีมาเซลล์.....	30

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การทดสอบค่าความต้านทาน (Skid Resistance) .....	31
3.5 แผนผังการดำเนินงาน.....	32
3.6 การทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล.....	37
3.7 แผนผังการดำเนินงาน.....	39
 <b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....</b>	 40
4.1 ผลการทดสอบ.....	41
 <b>บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	 46
5.1 บทสรุปการศึกษาเรื่องความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
 <b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	 48
 <b>ภาคผนวก ก.....</b>	 49
 <b>ภาคผนวก ข.....</b>	 50



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระดับของค่าSFCที่ความเร็ว50กิโลเมตรต่อชั่วโมงของลักษณะถนนต่างๆ.....	25
2.2 Typical Skid Numbers.....	26
4.1 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC 60/70 ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.2 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	42
4.3 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA..... และAC 60/70 ที่อุณหภูมิต่างๆ	43
4.4 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA..... และAC 60/70 ที่อุณหภูมิต่างๆ	44
4.5 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA..... และAC 60/70 ค่าเฉลี่ยทั้งหมดจาก24ก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ	45



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงมวลที่มีแรงดัน P ดึงไปบนพื้นราบ.....	4
2.2 แสดงส่วนขยายของพื้นผิวสัมผัสระหว่างมวลกับพื้นทราย.....	5
2.3 แสดงแรงกระจาดที่กระทำบนมวล.....	5
2.4 แสดงแรงตัวแทนของแรงกระจาด.....	6
2.5 Simplified diagram of forces acting on a rotating wheel.....	7
2.6 Rolling resistance force with a free-rolling tire at a constant speed on..... a bare, dry paved surface	8
2.7 Key mechanisms of pavement-tire friction.....	9
2.8 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง.....	11
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การลดลงของค่า ส.ป.ส..... ความเสียดทาน (BFC) กับความลึกผิวทาง(STD)ของถนนในช่องทางรถวิ่งซ้ายและช่องทางรถวิ่งขวา	12
2.10 แสดงผลของความลึกผิวทางที่มีต่อการลดลงของค่า ส.ป.ส ..... ความเสียดทาน (BFC) ที่ความเร็ว 50 และ 130 กม./ชม	13
2.11 แสดงผลของค่าความยืดหยุ่นของดอกยาง..... (Tread Resilience) บนผิวทางเรียบและทรายในสภาพผิวทางเปียก	15
2.12 ของลักษณะดอกยางบนผิวทางเรียบและทราย..... ในสภาพที่มีต่อค่า ส.ป.ส.ความเสียดทาน	16
2.13 แสดงผลของความลึกดอกยางกับค่า ส.ป.ส. ความเสียดทาน (BFC) .....	17
2.14 แสดงผลของความเร็ววิ่งด้วยที่มีต่อ ส.ป.ส..... ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวทางต่างๆ	19
2.15 แสดงผลของความเร็ววิ่งด้วยที่มีต่อ ส.ป.ส..... ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิวต่างๆกัน	19
2.16 แสดงระดับค่า ส.ป.ส.ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทางชนิดต่างๆ.....	20
2.17 แสดงระดับค่า ส.ป.ส.ความเสียดทาน (SFC ในฤดูร้อน)..... บนผิวทางมาตรฐานMotorway	21
2.18 แสดงการเพิ่มค่าของ ส.ป.ส.ความเสียดทาน (SFC)..... บนผิวทาง Trunk Road A 4, COLNBROOK BY -PASS เมื่อการจราจรลดลง	21
2.19 เครื่อง British Portable Skid - Resistance Tester.....	23
2.20 แสดงแผ่นดินนี.....	24
3.1 มวลรวมที่ใช้ในการหาก้อนแอกฟล็อตตัวอย่าง.....	32
3.2 ออกแบบส่วนผสมของมวลรวมและวัสดุเชื่อมประสาน.....	32

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การนำมวลรวมไปอบ.....	33
3.4 การนำมวลรวมออกจากเตาและเตรียมภาชนะผสม.....	33
3.5 การเติมวัสดุเชื่อมประสาน.....	34
3.6 การผสมวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวม.....	34
3.7 การนำแบบสาหรับดัดมาให้ความร้อน.....	35
3.8 การเหตัวอย่างที่ผสมกันแล้วลงไปในแบบดัดทับ.....	35
3.9 การบดอัดห้องส่องด้าน(บน-ล่าง) ใช้การปล่อยน้ำหนักมาตรฐาน 75 ครั้ง.....	36
3.10 ก้อนตัวอย่างก่อนนำออกจากรูป.....	36
3.11 การนำก้อนแอลฟ์เลต์ตัวอย่างมาให้อุณหภูมิตามที่กำหนด.....	37
3.12 การนำก้อนแอลฟ์เลต์ตอนกรีตเข้าเครื่อง British Portable Tester.....	38
3.13 การทดสอบค่าความด้านทานการลีนไถล.....	38
3.14 แผนผังการดำเนินงาน.....	39
4.1 กราฟแสดงการเปรียบค่าความด้านทานการลีนไถลของ AC 60/70 กับอุณหภูมิ.....	41
4.2 กราฟแสดงการเปรียบค่าความด้านทานการลีนไถลของ AC-WMA กับอุณหภูมิ.....	42
4.3 กราฟแสดงการเปรียบค่าความด้านทานการลีนไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 กับอุณหภูมิ	43
4.4 กราฟแสดงการเปรียบค่าความด้านทานการลีนไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 กับอุณหภูมิ	44
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความด้านทานการลีนไถลกับอุณหภูมิของแอลฟ์เลต์ทั้งหมด.....	45

## สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

AC = Asphalt Concrete  
WMA = Warm-Mix Asphalt Concrete



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในการใช้เส้นทาง ถนนเป็นหนึ่งเส้นทางที่มีความสำคัญในการเดินทางในปัจจุบันมีหลายปัจจัยที่อาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัย ความต้านทานการลื่นไถล(Skid Resistance) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญซึ่งจะต้องควบคุมให้อยู่ในมาตรฐานเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ซึ่งความต้านทานการลื่นไถลนี้พิจารณาจากการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์(Asphalt Mixtures) เพื่อให้เกิดความต้านทานการลื่นไถลได้อย่างเหมาะสม การพัฒนาการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ที่นำองค์ประกอบของความเสียดทานของวัสดุมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบ รวมไปถึงการเลือกวัสดุมวลรวมที่มีคุณลักษณะเพิ่มความต้านทานการลื่นไถลของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสม จากการศึกษาที่ได้นำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์(Asphalt Mixtures) มาทำการศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อความต้านทานการลื่นไถล โดยทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อค่าส่วนผสมแอสฟัลต์(Asphalt Mixtures) ที่เหมาะสม การพัฒนาแนวทางและมาตรฐานการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ที่นำองค์ประกอบของความเสียดทานของวัสดุมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบ จึงเป็นแนวทางเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงผิวทางและบริหารจัดการความปลอดภัยบนถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาเรื่องความต้านทานการลื่นไถลของถนน (Skid Resistance) เพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความต้านทานการลื่นไถล
- 1.2.2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานของการลื่นไถลในแต่ละแบบ

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทานการลื่นไถลของถนน
- 1.3.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปปรับใช้ในการก่อสร้างถนน เพื่อลดอุบัติเหตุให้น้อยลงและได้ประสิทธิภาพ

### 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาถึงคุณสมบัติของมวลรวม และAsphalt cement เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ ส่วนผสมในการทำก้อนแอสฟัลต์ตัวอย่าง และเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Pavement Type
- 1.4.2 มวลรวมที่ใช้ในการทำก้อนแอสฟัลต์ตัวอย่าง จากโรงไม่หินศิลาพัฒนา จังหวัดสุโขทัย
- 1.4.3 ออกแบบส่วนผสมโดยใช้วิธีของ Marshall Test 75 blows. โดยเลือกชนิดของผิว และชนิดของ Asphalt cement มีด้วยกัน 2 ชนิดคือ AC 60/70(9.5,12.5) และ WMA(9.5,12.5)
- 1.4.4 ทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์ด้วยเครื่องมือ British Portable Skid-Resistance Testerโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส



## 1.5 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ส.ค.57	ก.ย.57	ต.ค.57	พ.ย.57	ธ.ค.57	ม.ค.58	ก.พ.58	มี.ค.58	เม.ย.58
วางแผนการดำเนินงาน		[Redacted]							
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งผลงานภายในประเทศและนอกประเทศ			[Redacted]						
ออกแบบส่วนผสมของก้อนAsphalt Concrete และทำก้อนตัวอย่าง			[Redacted]						
ทำการทดสอบก้อนตัวอย่างพร้อมเก็บข้อมูล			[Redacted]						
วิเคราะห์ผลการทดสอบ						[Redacted]			

## บทที่ 2

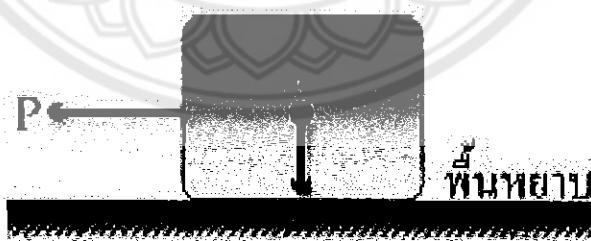
### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ความด้านทานการลื่นไถ (Skid Resistance) ของถนนสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวของรถบนถนน และ การเบรกของรถ ซึ่งความด้านทานการลื่นไถนี้จะพิจารณาจากความเรียบของผิวถนน ถ้าผิวนนทำมาจากแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ก็จะต้องพิจารณาจากสัดส่วนที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์ เพื่อให้เกิดความด้านทานการลื่นไถได้อย่างเหมาะสมและเป็นปัจจัยสำคัญ ต่อ ความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง

#### 2.1 ทฤษฎี

ความเสียดทาน หรือ แรงเสียดทาน คือ แรงที่ทำให้สามารถเกินบนพื้นเอียงหรือสามารถเคลื่อนที่ได้ซึ่งถ้าปราศจากแรงเสียดทานจะทำให้ล้อรถหรือคนเดินนั้นลื่นไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่ถ้าหากมีมากเกินไปจะทำให้การเคลื่อนที่เกิดความลำบากและเป็นสาเหตุในการสูญเสียพลังงาน

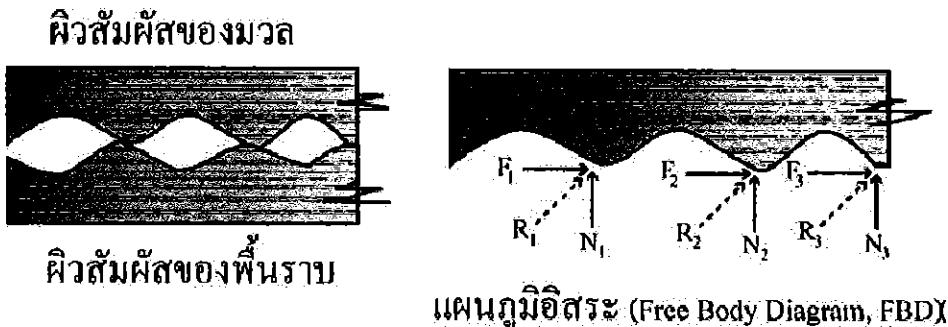
จากการศึกษาจากแบบเรียน วิชาคณิตศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร แรงเสียดทานชนิดแห้ง (Dry Friction) การเกิดแรงเสียดทานชนิดแห้งบนผิวสัมผัสเกิดขึ้น เมื่อผิวสัมผัสของของแข็งสอง พื้นผิวสัมผัสกันโดยไม่มีของในลักษณะระหว่างหน้าสัมผัสนั้นๆ เราอาจจะอธิบายปรากฏการณ์ของ แรงเสียดทานได้จากการพิจารณามวล ซึ่งมีแรงเนื่องจากน้ำหนักตัวมันเอง คือ  $W$  นิวตัน กระทำอยู่ มวลนี้วางอยู่บนพื้นที่ทาง โดยมีแรงดึง  $P$  นิวตัน ดึงไปทางซ้ายมือดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงมวลที่มีแรงดัน  $P$  ดึงไปบนพื้นราบ

(ผศ.ดร.นิติพงษ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์, 2554)

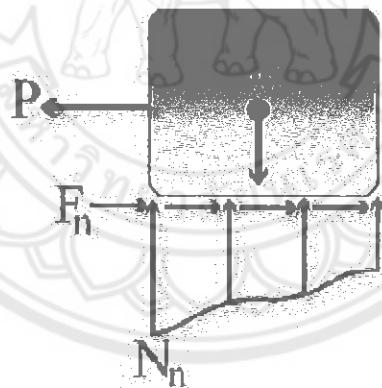
เมื่อเราใช้กล้องขยายส่องดูที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างมวลและพื้นหยาบ จะพบว่ามีเวกเตอร์แรงเล็กๆ จำนวนมากกระทำอยู่บนพื้นผิวสัมผัสของมวลนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนขยายของพื้นผิวสัมผัสระหว่างมวลกับพื้นหยาบ

(ผศ.ดร.นิติพงศ์ ไสภณพงศ์พิพัฒน์,2554)

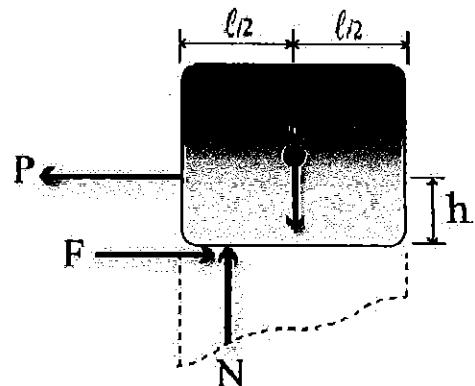
จากรูป พบว่าแรง  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  แรงเหล่านี้จะมีองค์ประกอบของแรงตามแนวราบเป็นแรง  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$  และมีองค์ประกอบของแรงตามแนวตั้งเป็นแรง  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$  ตามลำดับ แรงเหล่านี้มีลักษณะเป็นแรงกระจายไปตามผิวสัมผัส



รูปที่ 2.3 แสดงแรงกระจาย  $F_n$  และ  $N_n$  ที่กระทำบนมวล

(ผศ.ดร.นิติพงศ์ ไสภณพงศ์พิพัฒน์,2554)

จากการศึกษาสรุปได้ว่าหากว่าเรามาหนดให้  $F$  คือแรงตัวแทนของแรงกระจาย  $F_n$  และ  $N$  คือแรงตัวแทนของแรงกระจาย  $N_n$  จากรูปที่ 2.3 จะเขียนได้เป็นรูปที่ 2.4 โดยจะสังเกตเห็นว่า แนวแรง  $F$  จะอยู่ในแนวเดียวกับแรงกระจาย  $F_n$  เนื่องจากแรงกระจาย  $F_n$  ทุกแรงอยู่ในแนวเดียวกันในขณะที่แรง  $N$  อยู่ที่ตำแหน่งเช็นทรอยด์ (centroid) ของแรงกระจาย แรงกระจาย  $N_n$  อาจจะไม่ได้อยู่กึ่งกลางก็ได้ ตำแหน่งของแรง  $N$  จะขึ้นกับรูปร่างของแรงกระจาย  $N_n$



รูปที่ 2.4 แสดงแรงตัวแทนของแรงกระจาย  $F_g$  และ  $N_n$   
(ผศ.ดร.นิติพงศ์ โภกณพงศ์พิพัฒน์, 2554)

แรง  $N$  คือแรงปฏิกิริยาที่พื้น

แรง  $F$  คือแรงเสียดทาน

แรงเสียดทานเกิดจากการขัดตัวกันของร่องเล็กๆ จำนวนมากที่อยู่บนผิวสัมผัสทั้งสอง ดังนั้น บนผิวเรียบลื่นซึ่งไม่มีร่องเล็กๆ เหล่านี้อยู่จะไม่มีแรงเสียดทาน

1. แรงเสียดทานสถิตย์ (Static Friction) คือ แรงเสียดทานที่ต้านแรง  $P$  ที่เกิดขึ้นก่อนมวลจะลื่นไถล แรงเสียดทานสถิตย์สูงสุด ( $F_s$ ) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกิริยาที่พื้น ( $N$ )  
ดังสมการ

$$F_s = \mu_s N$$

โดยที่  $\mu_s$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Static friction coefficient) และ แรงเสียดทานสถิตย์สูงสุดนี้จะเกิดขณะที่มวล “เริ่ม” จะลื่นไถล

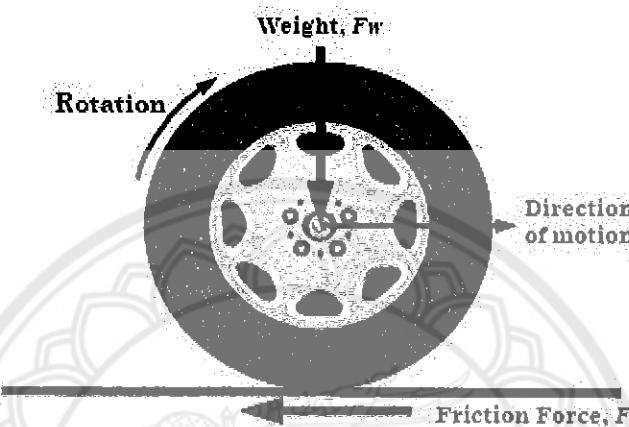
2. แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic frictional force) คือ การเกิดแรงเสียดทานต้านแรง  $P$  ตลอดการเคลื่อนที่ของมวล แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่มวลเริ่มเคลื่อนไถลซึ่งพบว่า แรงเสียดทานจลน์สูงสุด ( $F_k$ ) มีความสัมพันธ์กับแรง

ดังสมการ

$$F_k = \mu_k N$$

โดย  $\mu_k$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (Kinetic friction coefficient)

จากการศึกษาจาก National Cooperative Highway Research Program (Web-only Document 108) Guide For Pavement Friction แรงเสียดทานที่ผิว มีบทบาทสำคัญในการรักษาความปลอดภัยของถนน ที่จะทำให้คนขับรถสามารถควบคุมรถได้ในลักษณะที่ปลอดภัยในทั้ง 2 ทิศทาง แรงเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction) หมายถึง แรงที่ต่อต้านการเคลื่อนที่โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างล้อยางรถกับผิวทางซึ่งแรงเสียดทานจะแสดงดังภาพที่ 2.5 โดยแสดงในรูปแบบของการเคลื่อนที่ของล้อรถบนผิวทาง

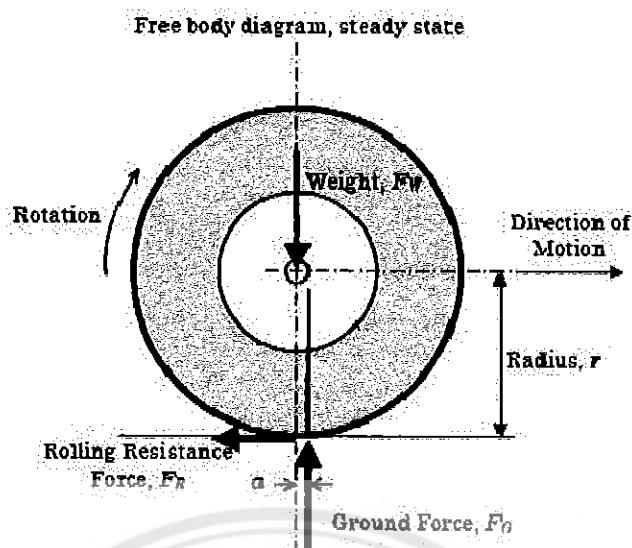


รูปที่ 2.5 Simplified diagram of forces acting on a rotating wheel.  
( NCHRP,2009)

### สมการที่ 1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

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

โดยที่  $\mu$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  
 $F$  = แรงเสียดทานในแนวตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่  
 $F_w$  = แรงกดที่เกิดจากน้ำหนักรถยกที่กระทำต่อล้อในแนวตั้ง



**รูปที่ 2.6** Rolling resistance force with a free-rolling tire at a constant speed on a bare, dry paved surface  
( NCHRP,2009)

จากรูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพอิสระของแรงให้ว่ามีแรงที่กระทำจากพื้น( $F_G$ )เป็นแรงอิสระที่กระทำต่อศูนย์กลางล้อยางและมีแรง Rolling Resistance Force ( $F_R$ ) เป็นแรงต้านทานการหมุนซึ่งจะมีค่าแปรผันตามความเร็วที่เกิดขึ้น

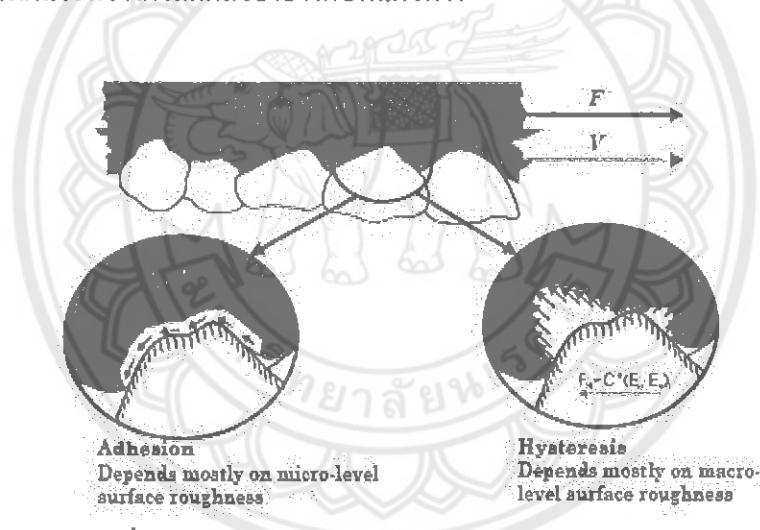
## 2.2 ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

จากการศึกษารายงานการวิจัยเรื่องความต้านทานการลื่นไถลของการซ่อมบำรุงแบบ Thin Bonded Patching (ชัยันต์ เจริญพร และ สุเชษฐ์ เอี่ยมเซย, 2542)

องค์ประกอบที่ก่อให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของพื้นผิวทาง ทั้งพื้นผิวทางแบบคอนกรีตและพื้นผิวทางแบบ柏油ยางมีอยู่ 2 องค์ประกอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6

**2.2.1 แรงยึดเกาะ (Adhesion Force)** ในขณะที่หน้าสัมผัสของล้อยางยานพาหนะและพื้นผิวทางเกิดการสัมผัสนั้น ตลอดแนวสัมผัสนั้นจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นในลักษณะของแรงเฉือนค่าของแรงเฉือนนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวทาง ชนิดและลักษณะของดอกยาง พื้นที่สัมผัส แรงยึดเกาะนี้มีค่าสูงเมื่อพื้นผิวทางแห้ง และจะลดค่าลงเมื่อมีลิ่งสกปรกหรือของเหลวมาปิดกั้นระหว่างผิวสัมผัส

**2.2.2 แรงไฮสเตอร์ไซส์ (Hysteresis Force)** เป็นแรงที่เกิดจากการดูดกลืนพลังงาน เมื่อหน้ายางยุบตัวลงขณะที่รถแล่นไปบนพื้นผิวทาง มีค่าแปรผันตรงกับค่าความยุบตัวของยาง ไม่ขึ้นอยู่กับของเหลวที่ปิดกั้นระหว่างผิวสัมผัสของยางกับพื้นผิวทาง



รูปที่ 2.7 Key mechanisms of pavement-tire friction.  
( NCHRP,2009)

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงคุณและสำคัญของกลไกของแรงเสียดทาน Friction Mechanism คือ แรงเสียดทานของพื้นผิวทางที่มีผลมาจากความชันข้อนระหว่างองค์ประกอบทั้ง 2 คือ แรงยึดเกาะ (Adhesion Force) และแรงยึดติด(Hystersis Force)

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Parameters)

การควบคุมยานพาหนะให้สามารถแล่นอยู่ในทิศทางตามที่ต้องการบนเส้นทางการจราจรได้ต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง สิ่งสำคัญอย่างยิ่ง คือ แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทางและผิวน้ำสัมผัส ยางของยานพาหนะ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งความนำมาพิจารณาในการออกแบบควบคู่กันไปดังนี้ คือ

**2.3.1 คุณลักษณะและรูปร่างของวัสดุมวลรวม (Aggregate Characteristics and Surface Texture)** วัสดุที่มีความแข็ง มีเหลี่ยมมุม (Angular) ทนทานต่อการขัดสีของดอกยาง สามารถเจาะผ่านฟิล์มของขอบเลواที่กันอยู่ระหว่างผิวสัมผัสน้ำยาทางและพื้นผิวทางได้ดีกว่า ทำให้ค่าแรงยึดเกาะของยางและพื้นผิวทางมีค่าสูงกว่าวัสดุที่มีผิวเรียบหรือผิวนอน(Rounded Aggregates) เป็นผลให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงตามไปด้วย

**2.3.2 ผิวมหภาค (Macro Texture)** หมายถึง ผิวน้ำดใหญ่ เมื่อพิจารณาในลักษณะ Large Scale Texture ของขนาด รูปร่าง และลักษณะผิววัสดุมวลรวมซึ่งเป็นเครื่องบ่งบอกลักษณะความหยาบ หรือละเอียดของพื้นผิวทางโดยทั่วไป ผิวมหภาคที่ดีจะต้องสามารถระบายน้ำออกจากหน้าสัมผัสยางรถได้ดี และช่วยให้ยางรถยุบตัวในขณะที่รถวิ่งบนพื้นผิวทางด้วยความเร็วสูงเพื่อทำให้เกิดแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น

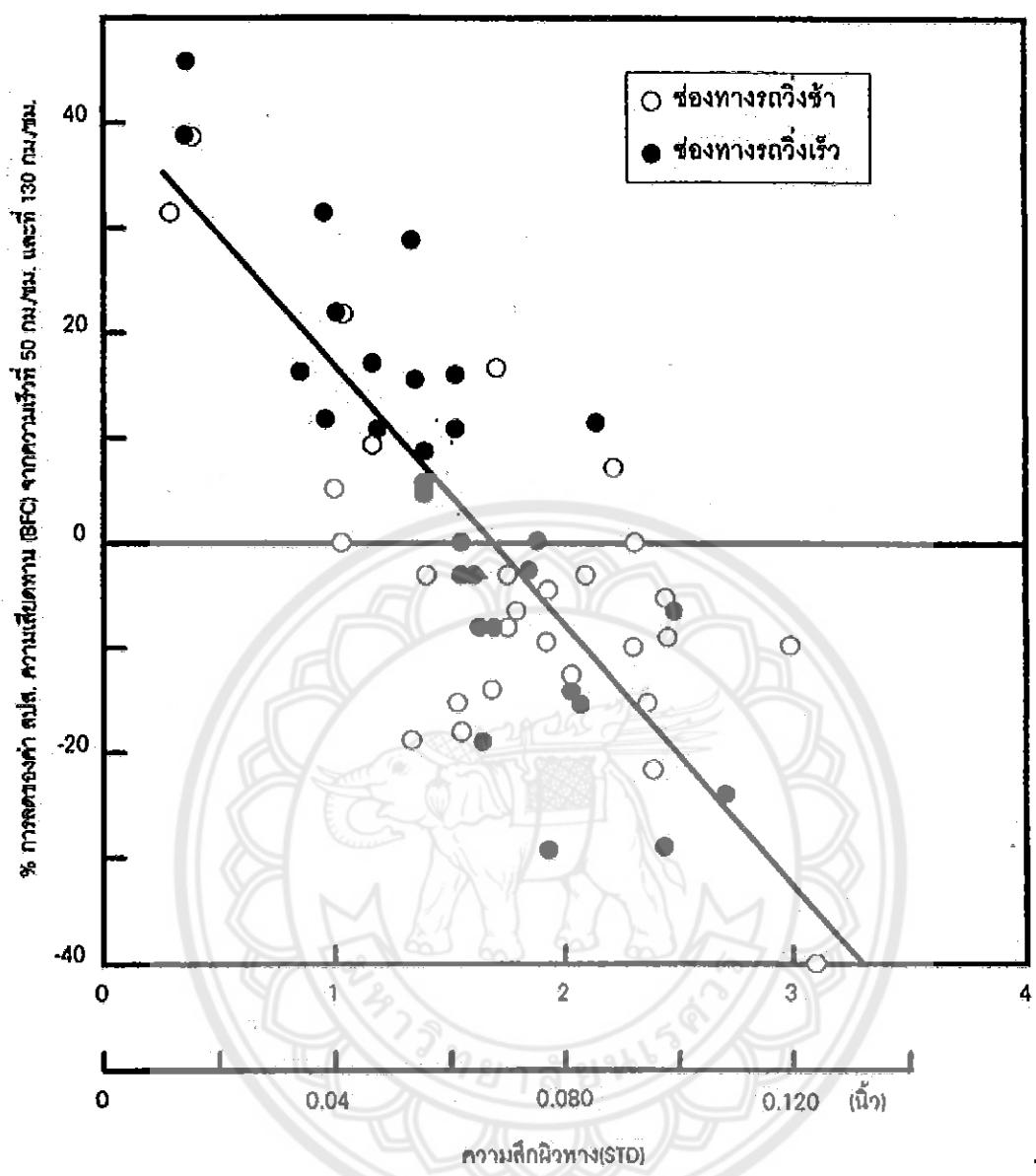
**2.3.3 ผิวจุลภาค (Micro Texture)** หมายถึง ผิวของมวลรวมแต่ละก้อนบนพื้นผิวทางเป็นการพิจารณาลักษณะเฉพาะก้อนแบบ Small – Scale Texture ของพื้นผิวทาง ผิวจุลภาคที่ดีจะต้องมีความแข็ง ความชรุขระ ความหยาบเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลเมื่อรถแล่นด้วยความเร็วระดับหนึ่งที่ได้ออกแบบไว้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

**2.3.4 ตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องกับค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางลடายาง** คือ อัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวทาง (Mix Proportions) คุณสมบัติของวัสดุประสาน บิทูมินัส (Bituminous Binder) สำหรับพื้นผิวทางคอนกรีตคุณสมบัติของซีเมนต์ที่ใช้งานวัสดุมวลรวมหยาบ วัสดุมวลรวมละเอียด และ อัตราส่วนผสมล้วนมีผลต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลทั้งสิ้น ตลอดจนวัสดุอื่นที่อยู่บนพื้นผิวทาง เช่น ผุนละเอือง เม็ดดิน เม็ดกรวด หิน ราย คราบน้ำมัน และ ของเลวที่สะสม อยู่บนพื้นผิวทางจนเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม (Traffic Film) โดยเฉพาะเมื่อออยู่ในสภาพเปียกจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลงอย่างมาก

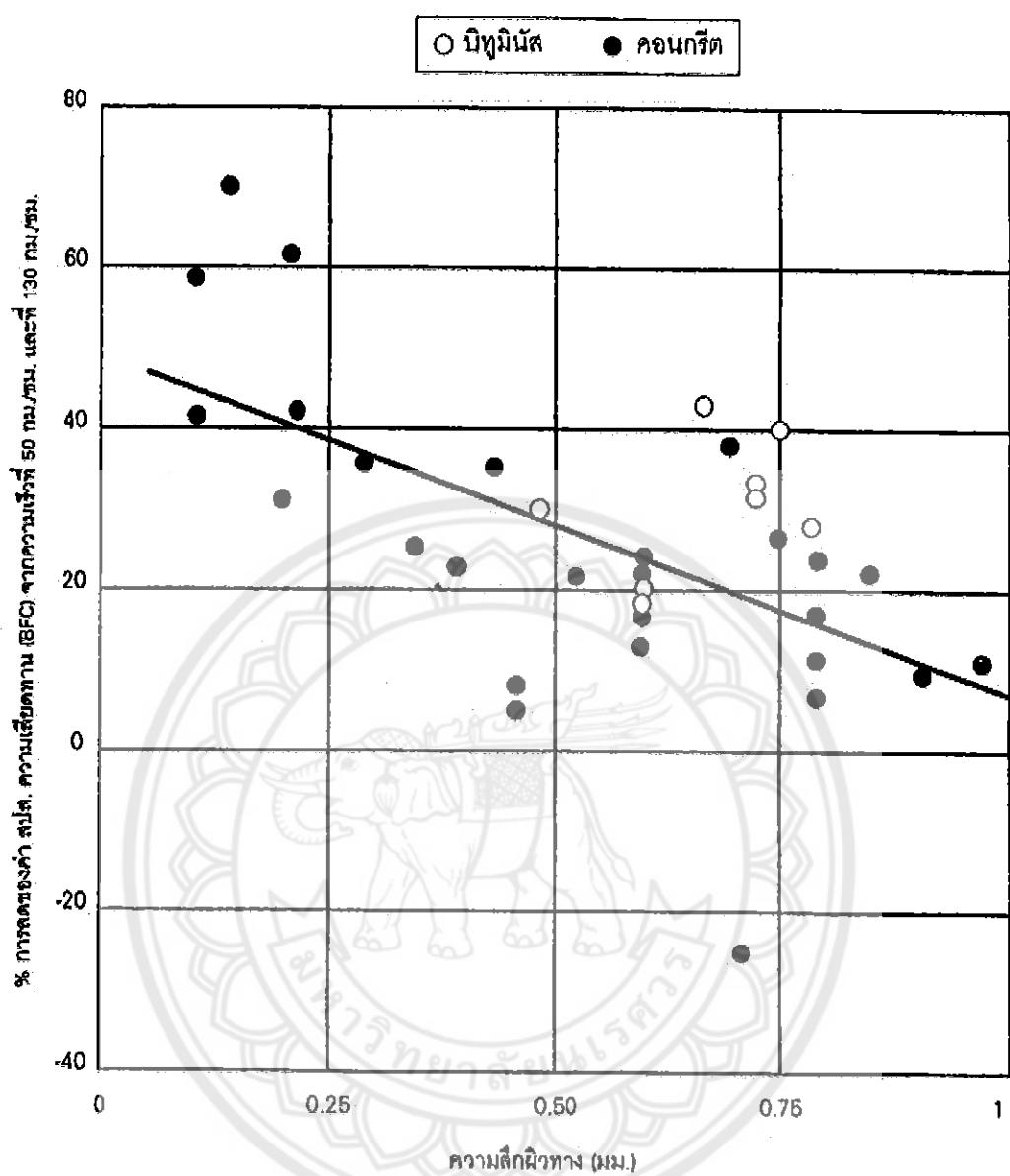
	ผ้า	ขนาดของลักษณะผ้า	
		มหภาค (ขนาดใหญ่)	จุลภาค (ขนาดเล็ก)
1		บุรุษะ	หมาย
2		บุรุษะ	เนียน
3		เรียบ	หมาย
4		เรียบ	เนียน

รูปที่ 2.8 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผ้าทาง

(ชัยันต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยม象征, 2542)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การลดลงของค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC) กับความสีกผิวทาง (STD) ของถนนในช่องทางรถวิ่งซ้ายและช่องทางรถวิ่งเร็ว  
(ชัยนันต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ อุ่ยมเซย, 2542)

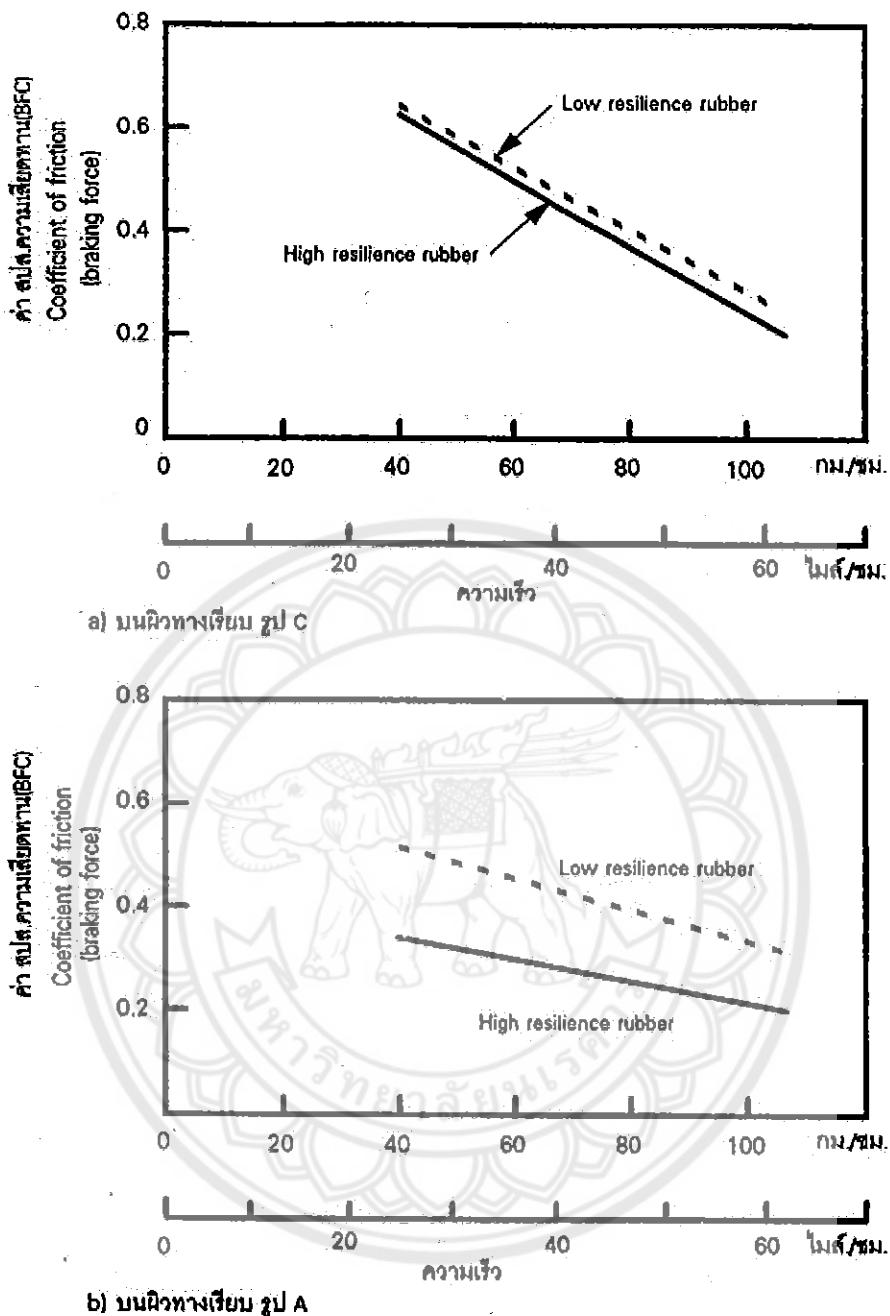


รูปที่ 2.10 แสดงผลของความลึกผิวทางที่มีต่อการลดลงของค่า สปส. ความเสียดทาน (BFS)  
ที่ความเร็ว 50 และ 130 กม./ชม.  
(ชัยน์ต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ อุ่ยม象征, 2542)

**2.3.5 คุณสมบัติของยางรถ (Rubber properties)** ยางรถมีคุณสมบัติสัมพันธ์กับพื้นผิวทางแบบไฮสเตรอร์ซีส ดังนั้นยางที่มีคุณสมบัติไฮสเตรอร์ซีสสูงจะมีผลทำให้ค่าความฝืดของผิวทางมีค่ามากขึ้นโดยเฉพาะบนพื้นผิวทางที่หยาบซึ่งมีการยุบตัวของหน้ายางมาก จะทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงขึ้นถึง 20 % ความแข็งของดอกยาง จะมีผลในกรณีที่ผิวทางเรียบ หรือผิวทางที่มีน้ำแข็งปกคลุม โดยยางที่มีดอกยางแข็งจะทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับผิวทางที่มีค่าน้อย ความกดตันที่ผิวสัมผัสสูงการระบายน้ำเร็วขึ้นเป็นผลให้ความฝืดของผิวทางเพิ่มขึ้น

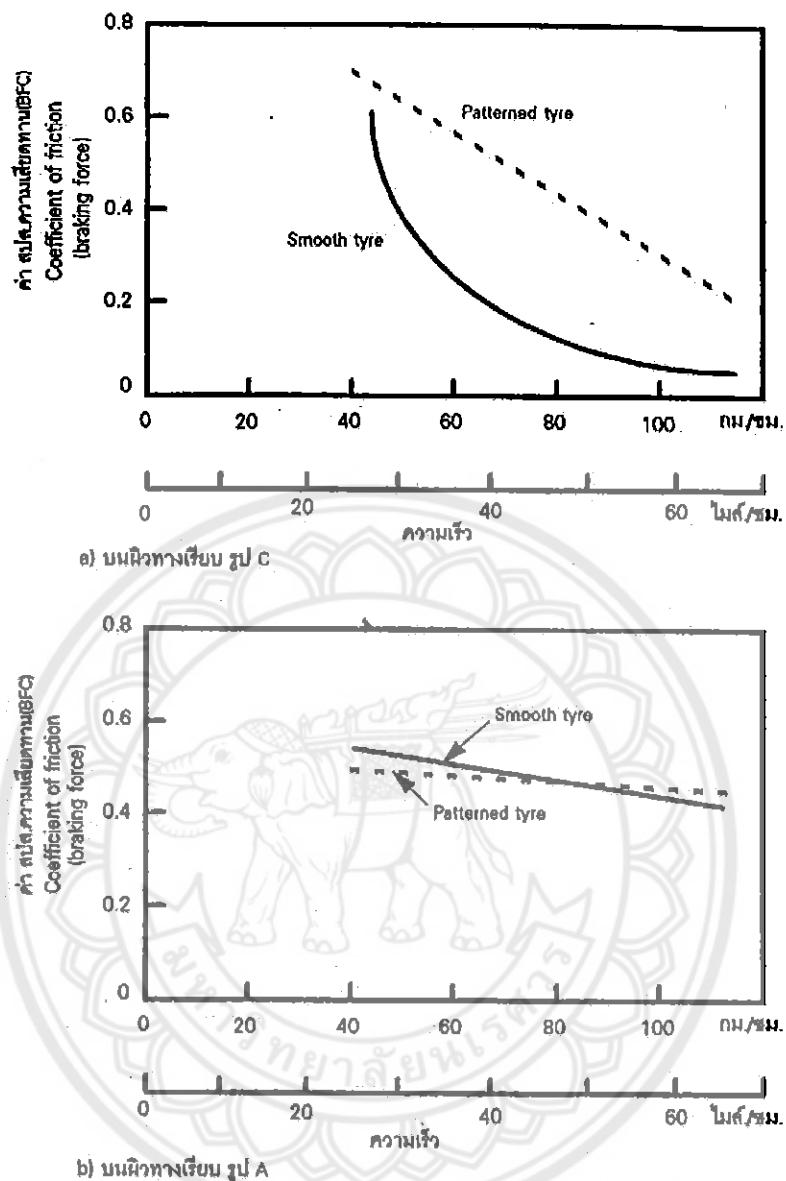
**2.3.6 ลักษณะของดอกยาง (Tread Patten)** ลักษณะของดอกยางที่ดีจะต้องมีแนวสันตามเส้นรอบวง (Circumferential Ribs) และมีร่องตามแนวขวาง (Transverse Slots) ทำให้เกิดความต้านทานลื่นไถลเพิ่มขึ้นมากกว่ายางที่ไม่มีดอกยางโดยเฉพาะเมื่อผิวทางเปียก เนื่องจากดอกยางจะช่วยระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสได้เร็วกว่าเดิม ยางที่มีดอกยางดีทำให้เกิดการลื่นไถลน้อยลง เมื่อขับขี่ด้วยความเร็วสูงและผู้ขับขี่จะได้รับความปลอดภัยสูง





รูปที่ 2.11 แสดงผลของค่าความยืดหยุ่นของดอกยาง (Tread Resilience) บนผิวทางเรียบและ  
หยาบในสภาพผิวทางเปียก

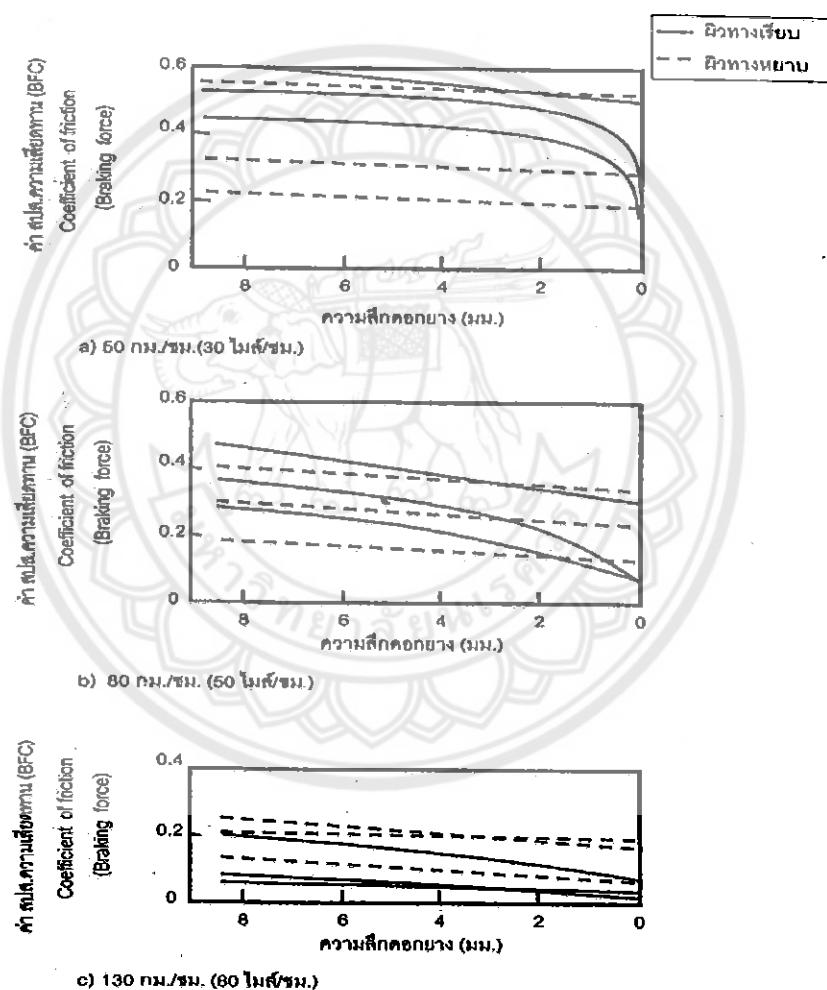
(ชัยันต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเซย, 2542)



รูปที่ 2.12 ของลักษณะดอกยางบนผิวทางเรียบและหยาบในสภาพที่มีต่อค่าสปส. ความเสียดทาน  
(ชัยันต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเชย, 2542)

**2.3.7 อุณหภูมิ (Temperature)** ผลจากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถล จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวทางยางรถเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ไปค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจะลดลงประมาณ 0.02 เมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นถึง  $10^{\circ}\text{F}$  เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง  $1000^{\circ}\text{F}$  จะทำให้พื้นผิวทางลาดยางเกิดการเยิ้มเหลว (Melting) ของยางและทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลลดลง

จาก BPT (SRV) จะลดลง 0.26 หน่วย ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  (มีค่าประมาณ 0.003 หน่วย ของ SFC) และยังได้แสดงความสัมพันธ์ของค่า SFC ที่อุณหภูมิใดๆ (SFC) กับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ( $t$ ) ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 แสดงผลของความลึกดอกยางกับค่า สปส. ความเสียดทาน (BFC)  
บนผิวทางเปียก

(ชัยันต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอียนเซย, 2542)

**2.3.8 ความเร็วของยวดยาน (Vehicle Speed)** จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลจะแปรผกผันกับค่าความเร็วของยวดยานซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพื้นผิวทางอยู่ในสภาพเปียก Horne (1968) ได้ศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วของยวดยานเพิ่มสูงขึ้นในสภาพพื้นผิวทางเปียกน้ำที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของหน้ายางและพื้นผิวทางไม่สามารถระบายออกໄไปได้ทันจะเกิดแรงดันระหว่างพื้นผิวทางและหน้ายางขึ้น (Hydrodynamic Lift) และเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความเร็วและความสามารถที่จะระบายน้ำออกจากผิวหน้ายางได้ เมื่อแรงดันนี้ถึงระดับเดียวกันกับแรงดันที่ผิวน้ำยางกระทำกับผิวทาง ทำให้ยวดยานลื่นไถลไปบนพื้นผิวทางผู้ขับขี่ไม่สามารถควบคุมทิศทางได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Hydroplaning และเรียกค่าความเร็วที่พอดีเกิดปรากฏการณ์นี้ว่า Hydroplaning Speed พบว่าค่าความสัมพันธ์ตามปรากฏการณ์นี้เป็นดังนี้

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

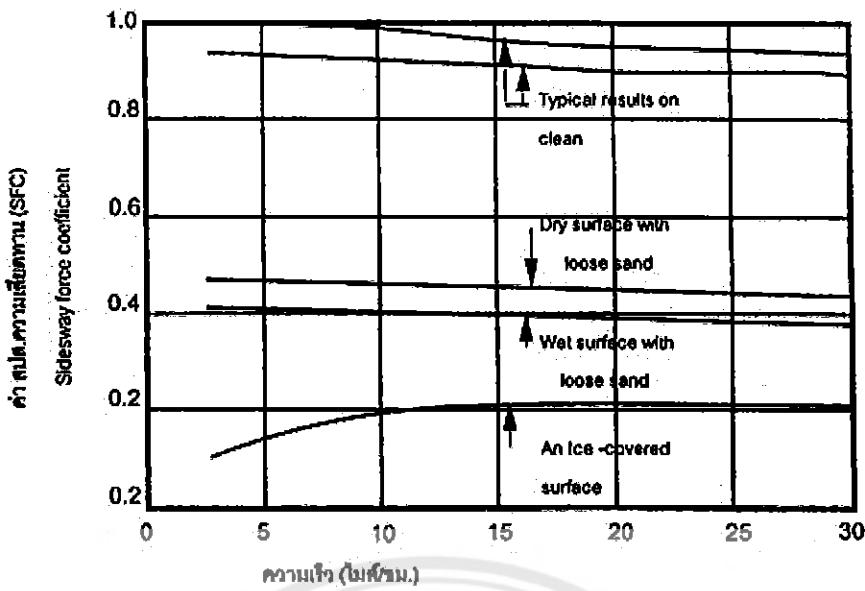
$V_h$  = ความเร็วของยวดยานขณะเกิด Hydroplaning หน่วยเป็น เมตร / ชั่วโมง

$K$  = ค่าคงตัวที่ได้จากการสังเกตทดลองมีค่าประมาณ 10

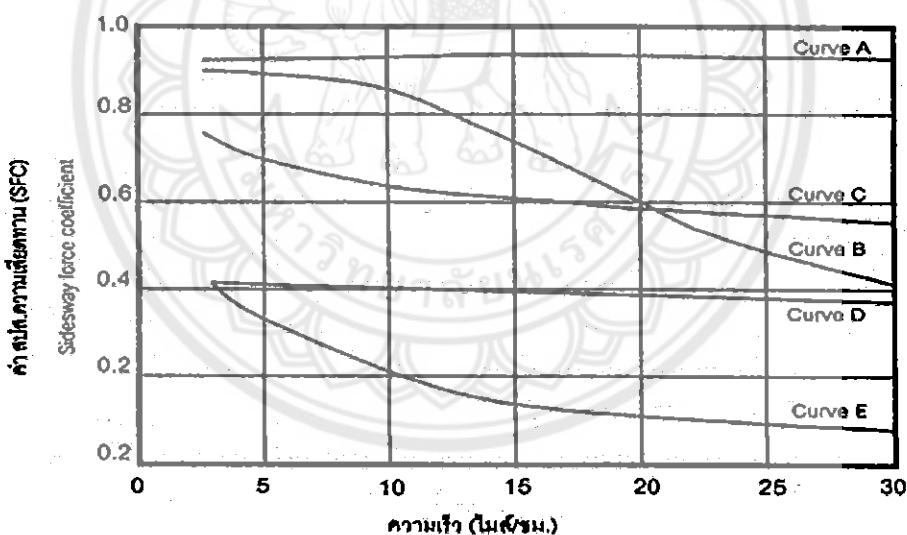
$P$  = ความดันของยางรถ (Inflation Pressure) หน่วยเป็น ปอนด์ / ตารางนิ้ว

จากค่าความสัมพันธ์นี้ สามารถนำมาคำนวณความเร็วรถเพื่อจำกัดค่าความเร็วขณะผิวทาง เปียกร่วมกับการออกแบบพิวจาระให้หยาบรอบบ้านได้ดีเลือกใช้ยางที่มีดีไซน์ลึกก็จะสามารถลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากการปรากฏการณ์ Hydroplaning

จากการศึกษารายงานการวิจัยของ ชัยนต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเชย,2542 ได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเร็วซึ่งเป็นการศึกษาของ Lupton,G.N. (1968) ได้ศึกษาผลของความเร็วที่มีต่อค่า BFC ในสภาพพื้นผิวทางเปียกบนพื้นผิวทางต่างๆกัน 4 ประเภท พบร่วมกับผิวทางเรียบที่มีผิวหกคน้อย ค่า BFC จะลดลงอย่างมากเมื่อความเร็วยวดยานมากขึ้น ส่วนผิวทางหยาบค่า BFC จะลดลงไม่นัก แสดงว่าผลของความเร็วต่อการต้านทานลื่นไถลในทุกอย่าง BFC จะขึ้นอยู่กับสภาพและลักษณะของผิวทางเป็นสำคัญซึ่งได้ผลสอดคล้องกับการทดลอง Research on Road safety ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.14 แสดงผลของความเร็วധayan ที่มีต่อ สปส. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิว  
ทางต่างๆ  
(ชัยน์ต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ อุ่ยมเซย, 2542)



รูปที่ 2.15 แสดงผลของความเร็วধayan ที่มีต่อ สปส. ความเสียดทาน (SFC) ในสภาพผิว  
ต่างๆกัน  
(ชัยน์ต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ อุ่ยมเซย, 2542)

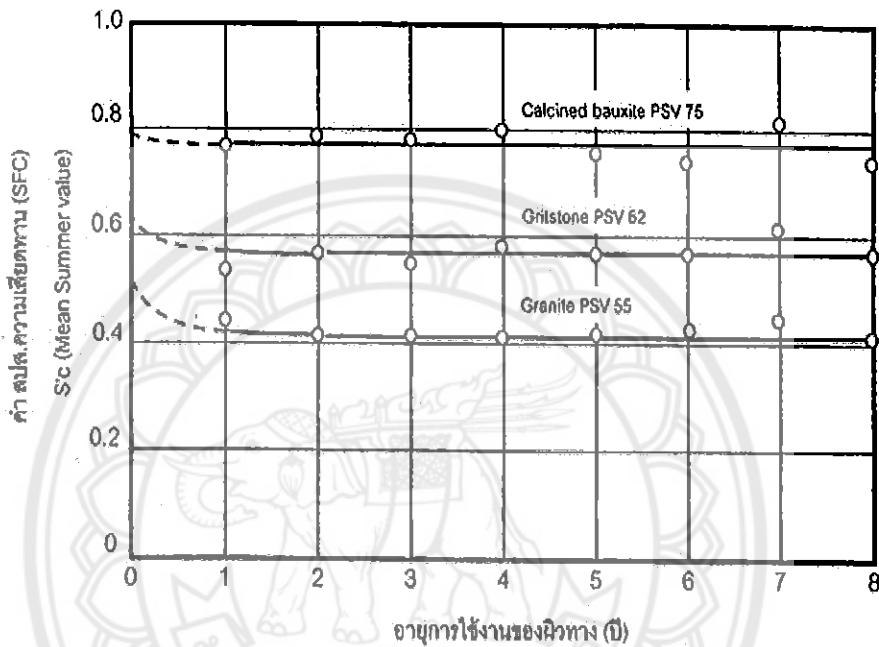
กราฟ A สภาพผิวทางดีมาก

กราฟ B และ E สภาพผิวทางค่อนข้างเรียบและเรียบมาก ตามลำดับ

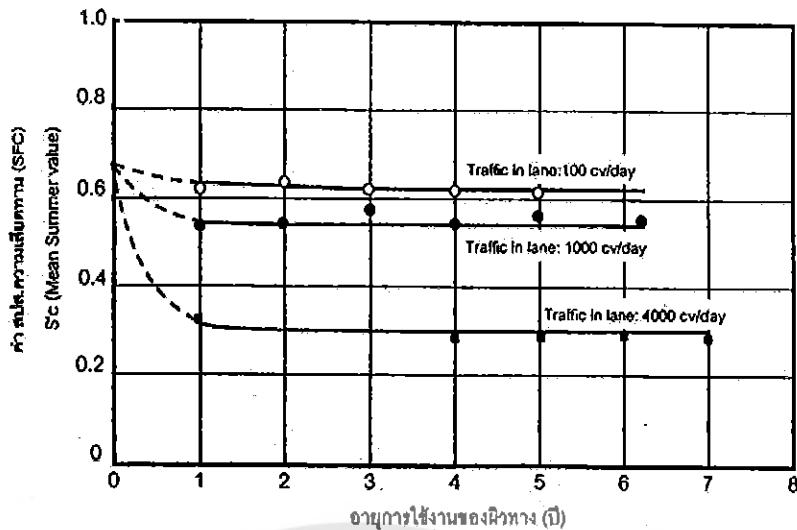
กราฟ C และ D สภาพผิวทางหยาบมากและค่อนข้างหยาบ ตามลำดับ

**2.3.10 ปัจจัยอื่นๆ** ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความด้านทานการลื่นไถล คือ อายุการใช้งานผิวทาง ค่า PSV ของสัดมูลรวมที่ใช้ทำผิวทางและปริมาณการจราจรบนผิวทาง

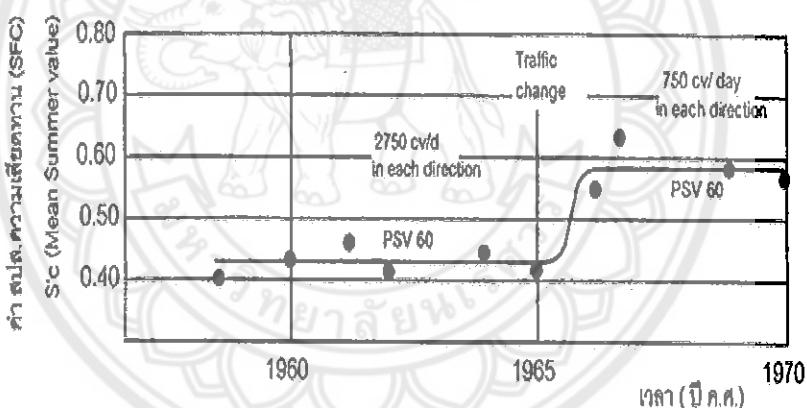
บนผิวทางที่ใช้สัดมูลรวมในระดับเดียวกัน คือ 58 ถึง 60 หน่วยดังรูปที่ 2.15 พบร่วมกับผิวทางที่มีการจราจรมากจะทำให้ค่าความด้านทานการลื่นไถลลดลง แต่พบว่าค่าความด้านทานการลื่นไถลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการจราจรมลดต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงระดับค่า สปส.ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทางชนิดต่างๆ (Surface dressingโดยใช้ Chippings ขนาด 13 mm. มีปริมาณการจราจร 2100 คันต่อ ช่องทาง ต่อ วัน)  
(ชัยนร์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเซีย, 2542)



รูปที่ 2.17 แสดงระดับค่า สปส.ความเสียดทาน (SFC ในฤดูร้อน) บนผิวทางมาตรฐาน Motorway (Rolled Asphalt ด้วย Precoater Chippings มีค่า PSV ในช่อง 58- 60 Chippings ขนาด 13mm. มีปริมาณการจราจร 2100 คัน/ช่องทาง/วัน)  
(ชัยนต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเซย,2542)



รูปที่ 2.18 แสดงการเพิ่มค่าของ สปส.ความเสียดทาน (SFC) บนผิวทาง Trunk Road A 4, COLNBROOK BY -PASS เมื่อการจราจรลดลง  
(ชัยนต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเซย,2542)

ผลการวัดค่าความด้านทานการลื่นไถลที่วัดด้วย Mu-Meter ในเทอมของ Mu-MeterValue (M-MV) ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง และค่าที่วัดด้วย British Portable Skid-Resistance Tester ในเทอมของ British Portable Tester Value (BPTV) มีความสัมพันธ์ตามสมการ  $Y = 1.09X + 17.45$  ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเป็น  $r = 0.987$  ดังแสดงในรูปที่ 2.19

## 2.4 การวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง

พื้นผิวทางในสภาพเปียกเป็นสภาพที่วัดค่าความต้านทานการลื่นไถลได้น้อยกว่าสภาพพื้นผิวทางแห้ง ดังนั้นการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยทั่วไปจึงทดสอบในสภาพพื้นผิวทางเปียก เครื่องมือที่นิยมใช้ตรวจวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางโดยทั่วไปมี 3 ชนิดคือ

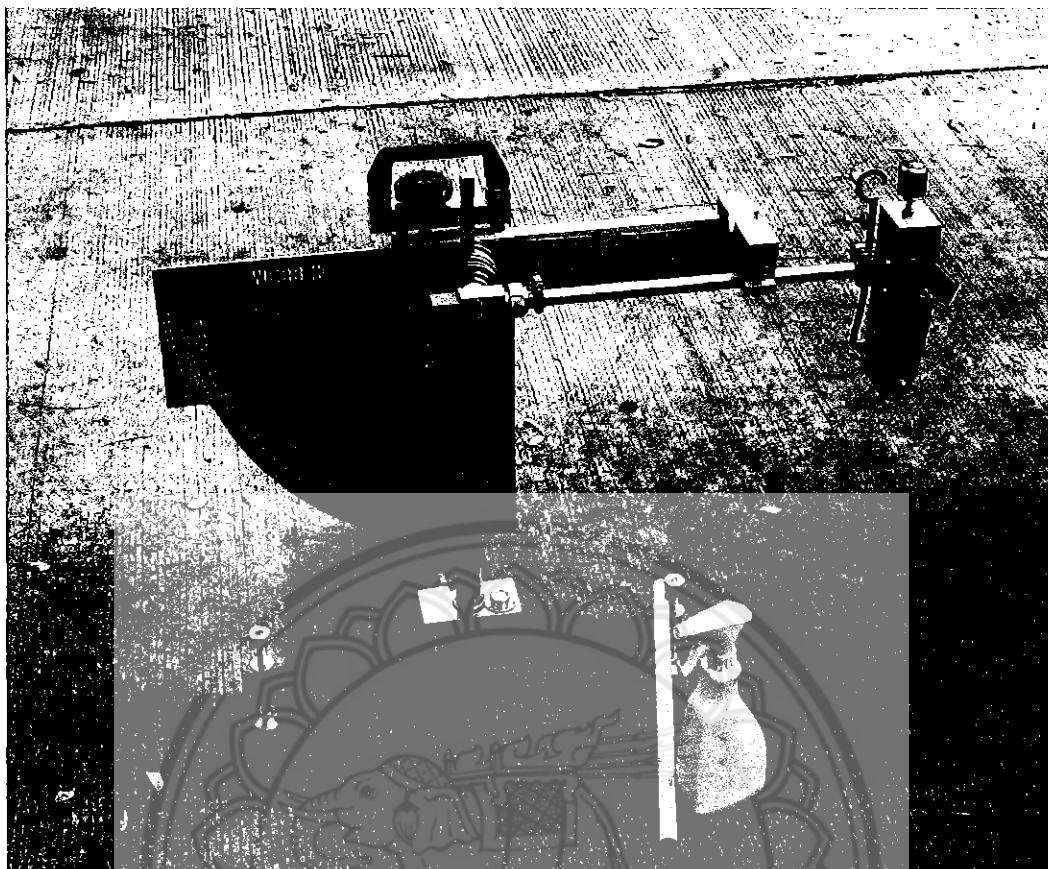
**2.4.1 เครื่อง Braking Force Trailer**โดยทั่วไปประกอบด้วยรดยกน้ำหนัก หรือรถบรรทุกขนาดเล็ก ลากพ่วงเอาล้อทดสอบ (Test Wheel) จำนวนหนึ่งล้อ หรือมากกว่า เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติและถังน้ำ หลักการของวิธีนี้ คือ เมื่อทำการหยุดล้อทดสอบขณะที่รถลากกำลังวิ่งอยู่ จะเกิดแรงต้านทานที่พื้นผิวสัมผัสของหน้ายางล้อทดสอบกับพื้นผิวทาง ค่าแรงต้านทานนี้จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแล้วนำค่ามาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเรียกว่าค่า “Braking Force Coefficient (BFC) ”

**2.4.2 เครื่อง SCRM (Sideway - Force Coefficient Routine Investigation Machine )**เครื่องมือชนิดนี้ TRRL เริ่มใช้งานครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อ ค.ศ. 1968 เรียกวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การลื่นไถลแบบนี้ว่า Sideway-Force Coefficient(SFC) เป็นค่าอัตราส่วนของแรงทางด้านข้างของล้อทดสอบต่อน้ำหนักการทำต่อล้อในแนวตั้ง โดยล้อทดสอบจะติดตั้งทำมุม 20 องศา กับพื้นทางการเคลื่อนที่ของรถทดสอบ ล้อทดสอบที่ใช้เป็นล้อยางที่ปีดอย่างเรียบ รถทดสอบต้องสามารถบรรทุกน้ำได้จำนวนมากเพื่อทำให้บริเวณที่จะทำการทดสอบเปียก ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่อง SCRM คือเครื่องบันทึกผลของแรงทางด้านข้างที่ล้อทดสอบขณะที่ล้อทดสอบแผ่นผ่านไปบนพื้นทางที่ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานความเร็วที่ทำการทดสอบปกติ 50 กม./ชม. ตำแหน่งที่ทำการทดสอบจะถูกบันทึกออกมาเป็นช่วงด้วยกระดาษกราฟ ความคลาดเคลื่อนของวิธีการทดสอบด้วยวิธีนี้มี 1-2 % ข้อดีของวิธีการนี้คือ สามารถวัดค่าได้ต่อเนื่องตลอดเส้นทางซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการจัดระบบจราจรในขณะที่มีการทดสอบ

**2.4.3 เครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester (BPT)**เครื่องมือชนิดนี้นิยมใช้งานกันแพร่หลายซึ่งใช้ในการทดสอบของโครงงานนี้ เหมาะสำหรับการหาค่าความเสียดทานเฉพาะจุด ( Spot Check ) โดยวัดค่าความฝืดระหว่างยางที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายของแขนแกง ( Pendulum Arm) กับพื้นผิวทางในสภาพพื้นผิวทางเปียกในรูปของ Skiding Resistance Value (SRV)

**ข้อดี** ของเครื่องมือแบบนี้คือ สามารถทดสอบได้รวดเร็วทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ ค่าที่ได้สามารถอ่านได้โดยตรง สามารถทดลองได้แม้ในพื้นที่ลาดเอียง

**ข้อเสีย** คือเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะกรณีพื้นผิวทางชุขระ และมีขีดจำกัดในการใช้งานมากกว่าเครื่องมือแบบอื่น รูปร่างของเครื่องมือทดสอบตั้งแสดงในรูป ที่ 2.18



รูปที่ 2.19 เครื่อง British Portable Skid - Resistance Tester (BPT)  
(วราภุทธ นิมพาลี, สุรศักดิ์ หาญจริง, และอดิศักดิ์ เสรีสัน, 2547)

ส่วนประกอบของเครื่อง BPT ตัวเครื่องประกอบด้วยฐานรองรับรูปตัว T ปลายแต่ละด้านของฐานมีสกรูปรับให้สูงต่ำได้ โดยใช้ระดับน้ำชึงติดอยู่ที่โคนขาของเครื่องเป็นตัวตรวจสอบระดับของเครื่อง เพื่อให้เครื่องตั้งอยู่ในแนวตั้งขณะทำการทดสอบ แกนในแนวตั้งเป็นแกนกลม มีร่องเลื่อนให้แขนแก้วง และแผ่นด้านนี้เลื่อนขึ้นลงได้ในแนวตั้ง แขนแก้วงประกอบด้วยก้านอลูมิเนียมและลูกตุ้มที่ปลายแขน ภายในลูกตุ้มเป็นแผ่นยางติดกับก้านสปริงมีคันยิกก้านสปริงเพื่อให้แผ่นยางยกขึ้น เมื่อพื้นผิวทางได้มือแก้วงกลับ แขนแก้วงถูกยึดติดด้วยไกปล่อยที่สามารถจับ – ปล่อยแขนแก้วงได้ เมื่อกดไกแขนแก้วง จะตกลงจากตำแหน่งที่ถูกยึดไว้แบบอิสระและผิวน้ำแผ่นยางจะปาดสัมผัสไปบนพื้นผิวทางที่ต้องการทดสอบ ขณะเดียวกันแขนแก้วงจะพาเอาเข้าชี้ไปที่ขีดแบ่งบนด้านลูมิเนียม การเลื่อนขึ้น – ลง ของแขนแก้วงผ่านแกนในแนวตั้งเพื่อให้แผ่นยางทดสอบสัมผัสพื้นทางเป็นระยะทาง  $7.60 \pm 0.10$  ซม. ความยาวของแขนแก้วงจากจุดหมุนของแขนแก้วงถึงแผ่นยางยาว 50.00 ซม. น้ำหนักแขนแก้วงรวมลูกตุ้มและแผ่นยางหลัก  $1.50 \pm 0.03$  กก. จุดศูนย์ถ่วงอยู่ห่างจากจุดหมุน  $40.50 \pm 0.50$  ซม. ยางมีลักษณะสีดำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3.10 ซม. ยาว 7.60 ซม. หนา 0.06 ซม. ยึดติดกับอลูมิเนียมมีรูเสียบติดกับก้านสปริง น้ำหนักยางรวมแผ่นโลหะหนัก

$22.0 \pm 5.00$  กรัม แผ่นยางวางทำมุน 20 องศา กับผิวพื้นผิวทางที่ทำการทดสอบ เมื่อแขนแก่ว่องอยู่ที่ตำแหน่งต่ำที่สุดแผ่นยางที่อายุการใช้งานอย่างน้อย 6 เดือน

แผ่นดังนี้เป็นแผ่นดังนีเคลือบรูปเสี้ยววงกลม มีขีดแบ่งช่วงที่จุดบนสุดเป็น 0 และที่จุดล่างสุดเป็น 150 ดังรูปที่ 2.20 หลักการออกแบบเครื่องมือนี้ คือ ใช้เครื่องมือจำลองสภาพล้อรถที่วิ่งไปบนพื้นผิวทางโดยแผ่นยางที่มีพื้นที่สัมผัสเท่ากับ  $3x1/20$  ตารางนิ้ว มีความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเปรียบเทียบเป็นค่าความเร็วที่ 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อ่านได้จากเครื่อง (Skid Resistance Value, SRV) ที่อ่านได้จากเครื่อง (Skid Resistance Value, SRV) ที่อ่านได้จากเครื่อง BPT จะให้ค่า 100 เท่าของค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (Coefficient of Friction, CF)



ปที่ 2.20 แสดงแผ่นดังนี้  
(รายุทธ ฉิมพาลี, สุรศักดิ์ หาญจิริง, และอดิศักดิ์ เสรีสัน, 2547)

## 2.5 มาตรฐานกำหนดความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทาง

### (Standard of Skid Resistance)

โดยทั่วไปมาตรฐานที่กำหนดขึ้นจะเป็นค่าขั้นต่ำ เพื่อเป็นขีดจำกัดให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ยานพาหนะเป็นประการสำคัญ นอกจากนี้ยังใช้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาประเมินระยะเวลาเพื่อซ่อมบำรุงพื้นผิวจราจรได้ด้วย

ตารางที่ 2.1 ระดับของค่า SFC ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตร / ชั่วโมง ( $SFC_{50}$ ) สำหรับประเภทและลักษณะของถนนต่างๆ รวม 4 ประเภท (ชัยน์ต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ เอี่ยมเซีย, 2542)

ประเภท	ลักษณะของถนน	ในสภาพพื้นทางเปียก	
		ค่า $SCF_{50}$	ค่า $BPTV^{(14)}$
A	ถนนดีดูดอันตราย(Most Difficult Sites) เช่น - วงศ์วิ่น - ถนนโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อยกว่า 500 พุต - ทางลาดชันมากกว่า 1 : 2 และระยะความลาดมากกว่า 300 พุต - บริเวณแยกใกล้ไฟสัญญาณ	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. ความเสียดทานต่ำกว่า 0.40 (Proved Sites)		ถ้าต่ำกว่า 45 จะเกิดการลื่นไถล

ตารางที่ 2.2 Typical Skid Numbers (Pavement Interactive,2007)

Skid Number	Comment
<30	Take measures to correct
≥30	Acceptable for low volume roads
31 – 34	Monitor pavement frequently
≥35	Acceptable for heavily traveled roads

ตารางแสดงถึงค่าของความต้านทานการลื่นไถลโดยทั่วไปที่มีการทดสอบมาแล้วสามารถนำมาเปรียบได้กับค่าที่ได้ทำการทดสอบ

## 2.6 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Henry, 2000 และ Ivey et al, 1992 จากการศึกษางานวิจัยในอดีตความเสียดทานของผิวทางที่เกิดขึ้นระหว่างยางรถยนต์กับผิวทางเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่เป็นตัวควบคุมและลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุรถชนโดยพบว่าเมื่อสภาพถนนเปียงจะทำให้เกิดอุบัติเหตุรถชนกันเพิ่มมากขึ้นในขณะเดียวกันก็ทำให้ความเสียดทานของผิวทางลดลงเช่นกัน

2.6.2 Nanyang Technological University School of Civil and Structural Engineering การลื่นไถลเป็นการสูญเสียการต้านทานระหว่างยางรถยนต์และผิวถนน อาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุในหลายปีที่ผ่านมาผู้ผลิตยางรถยนต์ได้ทำการวิจัยมากรายที่เกี่ยวกับประเภทของยางเพื่อปรับปรุงให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งทางรัฐบาลได้มีข้อกำหนดถึงเรื่องความลึกและลักษณะของดอกยาง เช่นเดียวกับวิศวกรรมการทางที่ได้ทำการวิจัยและปรับปรุง เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานการลื่นไถลอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย อีกทั้งยังส่งเสริมให้มีการสร้างเครื่องมือวัดความต้านทานการลื่นไถลที่สามารถใช้นอกสถานที่ และจำลองการวิ่งและการเบรกของรถ ที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.6.3 Yingjian Lou,2003 ได้ศึกษา หัวข้อ “Temperature Effects” การศึกษาส่วนใหญ่จะพบว่าองค์ประกอบทั้ง 4 จะมีปฏิกิริยาและผลกระทบต่อยางรถยนต์และผิวถนน คือ อากาศ, น้ำ, ยาง และ ผิวถนน ซึ่งส่งผลกระทบต่อแรงเสียดทานบนผิวถนน

### สิ่งที่ได้รับจากการทดสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เมื่ออุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น(Air Temperature) ค่าแรงความต้านทานทางจะมีค่าลดลง (ทำการทดสอบ)
2. Friction Parameter ซึ่งเป็นตัวแปรนการทดสอบค่าในแต่ละพื้นที่การศึกษาที่แตกต่างกัน แต่ผลการทดลองยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานจะมีค่าลดลง
- 3.Tire Temperature พบร่วมค่าแรงเสียดทานที่วัดจาก เครื่องมือBritish Portable Skid-Resistance Tester จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิPavement Temperature จะถูกสร้างขึ้นจาก ส่วนผสมตามความต้องการที่เหมาะสม ซึ่งในการทดสอบนี้วัดค่าจากตัวอย่างการทดสอบ พบร่วม ค่า Skid number ที่วัดได้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินโครงการ

การศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมี อุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักในการทดสอบที่ 30, 45, และ 60 องศาเซลเซียส มวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสม ของแอสฟัลต์คอนกรีตได้แก่ มวลรวมหยาบ(หิน) 4 ขนาด จากโรงโม่หินศิลาหัตนา จังหวัดสุโขทัย ได้แก่ ขนาด  $3/4"$ ,  $3/8"$ ,  $1/2"$  และหินฝุ่น

แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบ 3 ประเภท ได้แก่ Asphalt Concrete 60/70 และ Warm Mix Asphalt Concrete นำมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์มาออกแบบส่วนผสมตามสัดส่วน (Job Mix Design) และทำก่อนตัวอย่าง Asphalt Concrete Mixture โดย วิชิมาร์แซลล์ ทำตัวอย่าง ละ 6 ก้อนตัวอย่าง รวม 24 ก้อนตัวอย่าง

AC 60/70 (9.5%)

AC 60/70 (12.5%)

Warm Mix Asphalt (9.5%)

Warm Mix Asphalt (12.5%)

แล้วจึงนำมาทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยใช้เครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester จะหาค่าตัวอย่างแต่ละอันทั้งหมด 2 ครั้ง แล้วจดบันทึกค่าทุกครั้ง

#### 3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

##### 3.1.1 เครื่องวัดความต้านทานการลื่นไถล (British Portable Skid-Resistance Tester)

ตัวเครื่องประกอบด้วยฐานรับเครื่องรูปตัว T แต่ละปลายขาเป็นสกรูรูปรับให้สูงต่ำได้มีระดับน้ำติดที่ โคนขาข้างหนึ่งเพื่อปรับให้เสาเครื่องอยู่ในแนวตั้ง เสาเครื่องเป็นเสากลม กลวงตั้งอยู่บนฐานรูปตัว T และเป็นรางให้แผ่นดัชนีและแขนแก้วงเลื่อนขึ้นลงได้แขนแก้วงประกอบด้วยก้านอลูมิเนียมละตุ่มที่ปลายแขน ภายในลูกตุ่มเป็นแผ่นยางยกขึ้นพื้นตัวอย่างเมื่อแกว่งกลับ แขนแก้วงจับติดกับไปปล่อย เมื่อกดไกแขนแก้วงจะตกลงมาและแผ่นยางจะปาดหน้าหินตัวอย่าง ขณะเดียวกันจะหาเข็มซีปีช์ที่ แบ่งบนแผ่นดัชนีอลูมิเนียม แขนแก้วงและแผ่นดัชนีปรับให้เลื่อนขึ้นลงได้พร้อมกันเพื่อให้ยางปาดหน้า ตัวอย่างเป็นระยะ  $7.6 \pm 0.1$  ซม. ความยาวจากจุดหมุนของแขนแก้วงถึงแผ่นยางยาว 50 ซม. น้ำหนักแขนแก้วงรวมลูกตุ่มและแผ่นยางหนัก  $1.50 \pm 0.03$  กก. จุดศูนย์ถ่วงอยู่ห่างจากจุดหมุน  $40.5 \pm 0.5$  IRH

##### 3.1.2 กระമังเคลือบหรือภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 เซนติเมตร ใช้สำหรับใส่วัสดุชนิดเม็ด

##### 3.1.3 ภาชนะโลหะมีขอบสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของขอบประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับใช้ผสมวัสดุ กับวัสดุยางแอสฟัลต์

##### 3.1.4 เตาอบที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 150 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับอบวัสดุชนิดเม็ด

3.1.5 เตาแบบ HOT PLATE ที่สามารถให้อุณหภูมิได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับให้ความร้อนของยางแอสฟัลต์ และเครื่องมือที่ใช้ในการบดทับ

3.1.6 หม้อโลหะสำหรับใส่ยางแอสฟัลต์ เพื่อให้ความร้อย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตร

3.1.7 เครื่องใช้ผสมวัสดุชนิดเม็ดกับยางแอสฟัลต์

3.1.8 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดมีก้านเป็นโลหะ สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250 องศาเซลเซียส

3.1.9 เครื่องซึ่ง สามารถซึ้งน้ำหนักได้ 5 กิโลกรัม มีความละเอียด 1 กรัม ใช้สำหรับวัดวัสดุชนิดเม็ด และยางแอสฟัลต์

3.1.10 เครื่องซึ่ง สามารถซึ้งน้ำหนักได้ 2 กิโลกรัม มีความละเอียด 0.1 กรัม ใช้สำหรับวัดวัสดุ แอสฟัลต์คอนกรีต ที่บดทับแล้ว

3.1.11 อ่างต้มน้ำ (BOIL WATER BATCH) มีตะแกรงลวดสำหรับวางวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ที่บดทับแล้วสามารถอุณหภูมิตามที่ต้องการได้

3.1.12 แท่นรอง (COMPACTION PEDESTAL) ประกอบด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20x20x45 เซนติเมตร (8x8x18 นิ้ว) มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30x30x2.5 เซนติเมตร (12x12x1 นิ้ว) ติดอยู่ที่ขอบบนของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความหนาแน่นแห้งประมาณ 0.65-0.80 กรัมต่อมิลลิลิตร (42-48 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้

3.1.13 แบบสำหรับบดทับ (COMPACTION MOLD) ประกอบด้วยแผ่นฐาน (BASE PLATE) แบบ (MOLD) และปลอก (COLLAR EXENTSION MOLD) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) สูง 7.62 เซนติเมตร (3 นิ้ว)

3.1.14 ค้อน (COMPACTION HAMMER) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.842 เซนติเมตร (3.875 นิ้ว) ติดกับก้านเหล็ก ซึ่งมีแท่นเหล็กหนัก 4,536 กรัม (10 ปอนด์) เสื่อมขึ้นลงได้อิสระ สำหรับทึ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะกดอัด ระยะทางของแท่นน้ำหนักเท่ากับ 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว)

3.1.15 ที่จับแบบ (MOLD HOLDER) ใช้สำหรับบังคับให้แบบบดทับอยู่กับที่

3.1.16 เครื่องดันตัวอย่าง (SAMPLE EXTRUDER)

3.1.17 ถุงมือกันความร้อน ใช้สำหรับหยอดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ร้อน

3.1.18 ถุงมือชนิดหนังยาง สำหรับหยอดตัวอย่างที่แข็งน้ำ

### 3.2 การเตรียมตัวอย่างก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.1 ห่ออัตราส่วนผสมของวัสดุชนิดเม็ด เมื่อร่วมกันแล้วได้ขนาดตามที่ต้องการ

3.2.2 นำวัสดุชนิดเม็ด ตามอัตราส่วนที่หาได้จากข้อ 1 หนัก 1,200 กรัม เมื่อบดทับแล้ว ตัวอย่างจะหนาประมาณ 6.35 เซนติเมตร หรือประมาณ 2.5 นิ้ว ใส่ในกระถางเคลือบนำไปอบในเตา อบให้ได้อุณหภูมิสูงถึง  $160 \pm 5$  องศาเซลเซียส

3.2.3 นำแบบสำหรับดัดทับและค้อนไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิระหว่าง 90 ถึง 150 องศาเซลเซียส

3.2.4 นำวัสดุยางแอสฟัลต์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ทำให้ยางแอสฟัลต์ มีค่า ความหนืด (VISCOSITY) เท่ากับ  $85 \pm 10$  วินาที เขย์โบลต์ฟรอก

### 3.3 การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แซลล์.

(มาตรฐานการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แซลล์.มทช.(ท) 607-2545)

3.3.1. นำกระถางใส่ตัวอย่างวัสดุชนิดเม็ดจากข้อ 3.2.3 ออกจากเตาอบแล้วเทลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุชนิดเม็ดกับยางแอสฟัลต์ ใช้เกรียงผสมให้วัสดุชนิดเม็ดแต่ละขนาดคละกันให้ทั่วทั้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง  $145 \pm 5$  องศาเซลเซียส ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแผ่น แล้วเท แอสฟัลต์ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.4 ตามปริมาณที่ต้องการลงในแผ่นตัวอย่างดังกล่าว

3.3.2. นำภาชนะโลหะที่ได้จากข้อ 3.2.4 ขึ้นตั้งบนแผ่นให้ความร้อน ใช้เกรียงผสมวัสดุชนิดเม็ด และยางแอสฟัลต์ให้เข้ากันเร็วที่สุดโดยประมาณ 1 นาที พยายามให้ยางแอสฟัลต์เคลือบวัสดุทุกเม็ด

3.3.3. นำแบบสำหรับดัดทับจากข้อ 3.2.3 มาประกอบเข้าที่

3.3.4. เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแหะรอบๆตัวอย่างด้านในแบบ ประมาณ 15 ครั้ง และแขวนเข้าไปในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลงจน แอสฟัลต์มีความหนืดเท่ากับ  $140 \pm 15$  วินาที เขย์โบลต์ฟรอก

3.3.5. วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการดัดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก โดยออกแบบสำหรับตนที่มีการจราจรหนาแน่น (HEAVY TRAFFIC) และคับคั่ง (VERY HEAVY TRAFFIC) ใช้การปล่อยน้ำหนักมาตรฐาน 75 ครั้ง

3.3.6. เมื่อครบจำนวนการกดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบ เอาด้านล่างขึ้น แล้วทำการดัดทับเช่นเดิมกัน

3.3.7. ทิ้งตัวอย่างบดทับเรียบร้อยไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง ทิ้งตัวอย่างเอาไว้ใน บรรยากาศปกติไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทำการทดสอบขั้นต่อไป

### 3.4 การทดสอบค่าความต้านทาน (Skid Resistance) (กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์, 2553)

3.4.1. นำก้อนแสฟล์ตตัวอย่างไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30, 45, และ 60 องศาเซลเซียส ตามที่กำหนด แล้วจึงนำก้อนแสฟล์ตตัวอย่างไปวางได้บนของเครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester ซึ่งมีสปริงและแผ่นยางทดสอบติดอยู่ โดยในการทดสอบนี้จำลองความเร็วที่ 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.4.2. ปล่อยแขนของเครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester อย่างอิสระจาก ระดับ จนกระทั่งแผ่นยางสัมผัสกับผิวของก้อนแสฟล์ตตัวอย่าง อ่านค่าที่ได้จากเครื่องมือ

3.4.3. บันทึกผลการทดสอบ โดยทำการบันทึกผลด้านละ 5 ครั้งทั้งสองด้าน

3.4.4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ



### 3.5 การทำก้อนแอกฟล์ตตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 มวลรวมที่ใช้ในการทำก้อนแอกฟล์ตตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 ออกแบบส่วนผสมของมวลรวมและวัสดุเชื่อมประสาน



รูปที่ 3.3 นำมวครวนไปอบ



รูปที่ 3.4 นำมวครวนออกจากเตา และเตรียมภาชนะผสาน



รูปที่ 3.5 เติมวัสดุเข้มประสาน



รูปที่ 3.6 คลุกเคล้าให้เข้ากัน



รูปที่ 3.7 นำแบบสำหรับดัดหัวมาให้ความร้อน



รูปที่ 3.8 เทตัวอย่างที่ผสานกันแล้วลงไปในแบบดัดหัว



รูปที่ 3.9 ทำการบดอัดทั้งสองด้าน(บน-ล่าง) ใช้การปล่อยน้ำหนักมาตรฐาน 75 ครั้ง

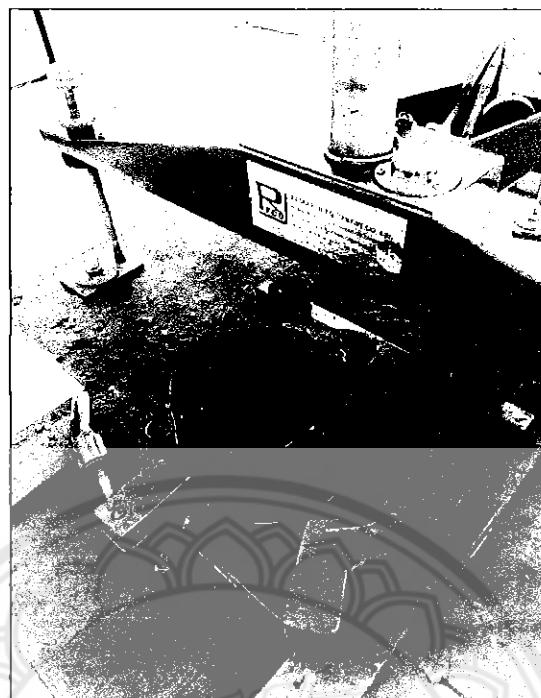


รูปที่ 3.10 ทิ้งก้อนตัวอย่างไว้ในแบบให้เย็นลง และค่อยนำออกจากแบบ

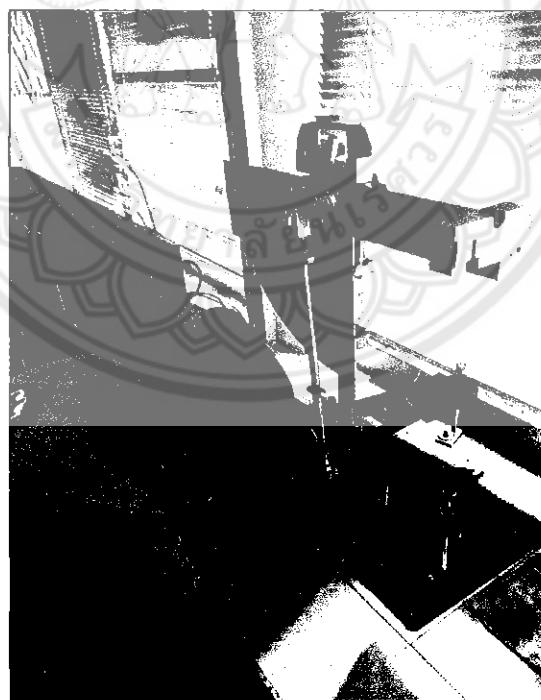
### 3.6 การทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล



รูปที่ 3.11 นำก้อนแอลฟล็อตตัวอย่าง มาให้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้คือ 30, 45, และ 60 องศาเซลเซียส

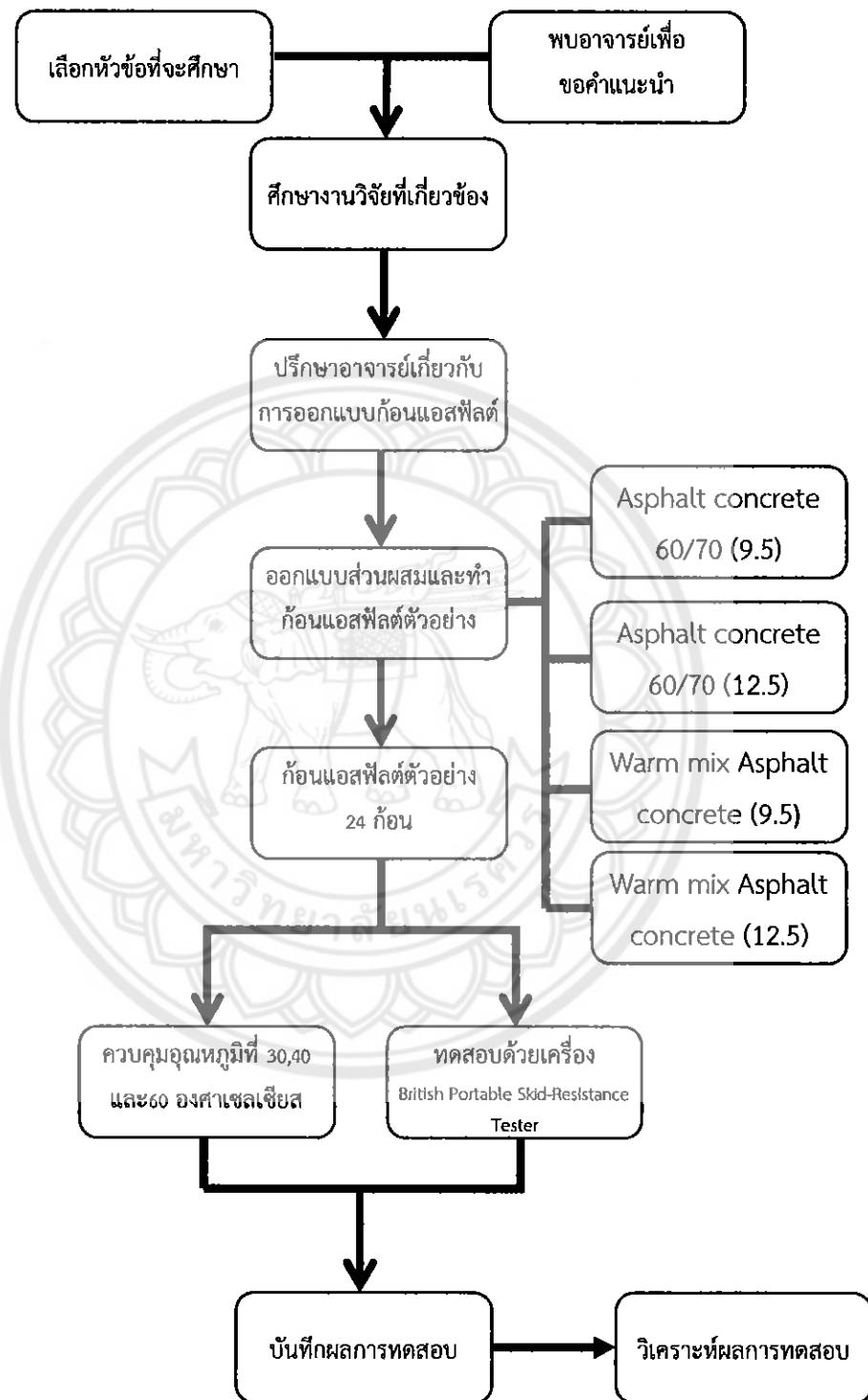


รูปที่ 3.12 นำก้อนแสฟล์ตคอนกรีตเข้าเครื่อง British Portable Skid-Resistance Tester



รูปที่ 3.13 ทำการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล และบันทึกค่าที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

### 3.7 แผนผังการดำเนินงาน



รูปที่ 3.14 แผนผังการดำเนินงาน

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการลื่นไถลของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งได้ทำการทดลองโดยการออกแบบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต 2 ประเภท ประเภทละ 6 ก้อนตัวอย่าง คือ

1. Asphalt concrete 60-70 แบ่งเป็น

Asphalt concrete 60-70 (12.5) และ Asphalt concrete 60-70 (9.5)

2. Warm Mix Asphalt concrete แบ่งเป็น

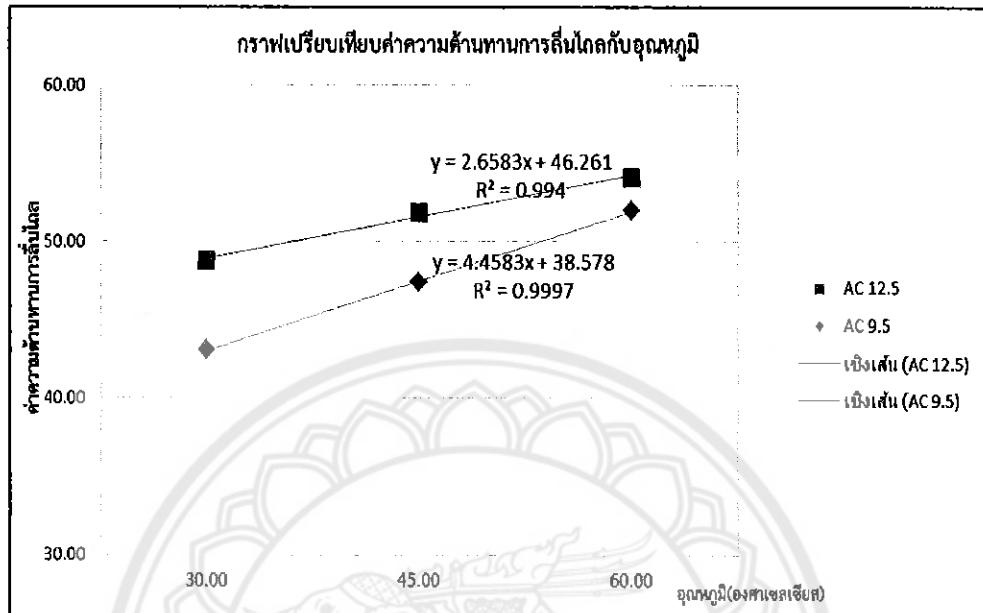
Warm Mix Asphalt concrete (12.5) และ Warm Mix Asphalt concrete (9.5)

รวมทั้งหมด 24 ก้อนตัวอย่าง และควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง 3 อุณหภูมิ ที่ 30,45,60 องศาเซลเซียส ได้ทำการทดสอบและบันทึกผลค่า(SRV)เพื่อนำว่าวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถลที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อค่าความต้านทานการลื่นไถลในรูปแบบใด



## 4.1 ผลการทดสอบ

### 4.1.1 ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่าง AC 60/70 (12.5) และ AC 60/70 (9.5)



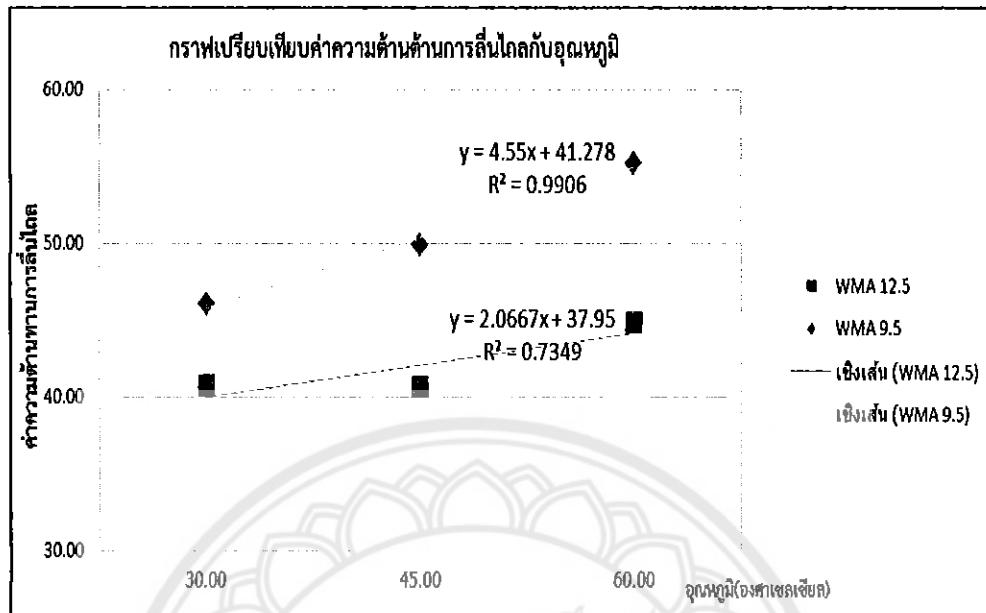
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC 60/70 กับอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC 60/70 ที่อุณหภูมิต่างๆ

Pavement Type	ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อุณหภูมิ		
	30.00	45.00	60.00
AC 60/70 12.5	48.80	51.82	54.12
AC 60/70 9.5	43.08	47.40	52.00

จากการทดสอบ ค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC 60/70 (12.5) กับ AC 60/70 (9.5) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและแสดงการเปรียบเทียบดังกราฟที่ 4.1 ผลของการเปรียบเทียบ AC 60/70 (12.5) จะมีค่าความต้านทานการลื่นไถลมากกว่า AC 60/70 (9.5)

#### 4.1.2 ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่าง AC-WMA (12.5) และ AC-WMA (9.5)



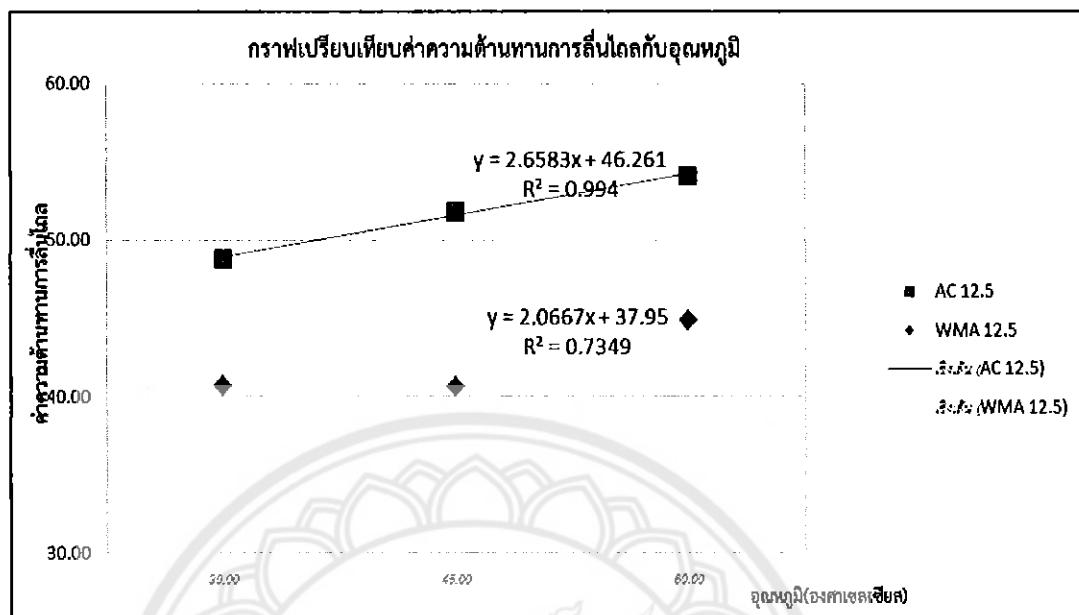
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA กับอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA ที่อุณหภูมิต่างๆ

Pavement Type	ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อุณหภูมิ		
	30.00	45.00	60.00
AC-WMA 12.5	40.73	40.65	44.87
AC-WMA 9.5	46.08	49.87	55.18

จากผลการทดสอบ ค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA (12.5) กับ AC-WMA (9.5) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและ แสดงการเปรียบเทียบดังกราฟที่ 4.2 ผลของการเปรียบเทียบ AC-WMA (9.5) จะมีค่าความต้านทานการลื่นไถลมากกว่า AC-WMA (12.5)

#### 4.1.3 ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่าง AC-WMA (12.5) และ AC 60/70 (12.5)



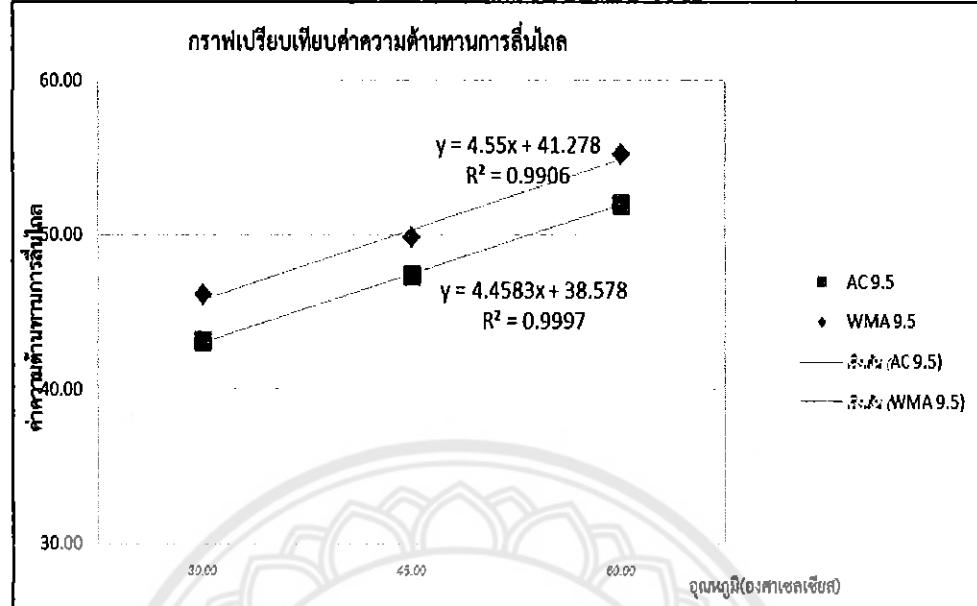
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 กับอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.3 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 ที่อุณหภูมิต่างๆ

Pavement Type	ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อุณหภูมิ		
	30.00	45.00	60.00
AC-WMA 12.5	40.73	40.65	44.87
AC 60/70 12.5	48.80	51.82	54.12

จากผลการทดสอบ ค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA (12.5) กับ AC 60/70 (12.5) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและ แสดงการเปรียบเทียบดังกราฟที่ 4.3 ผลของการเปรียบเทียบ AC 60/70 (12.5) จะมีค่าความต้านทานการลื่นไถลมากกว่า AC-WMA (12.5)

#### 4.1.4 ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่าง AC-WMA (9.5) และ AC 60/70 (9.5)



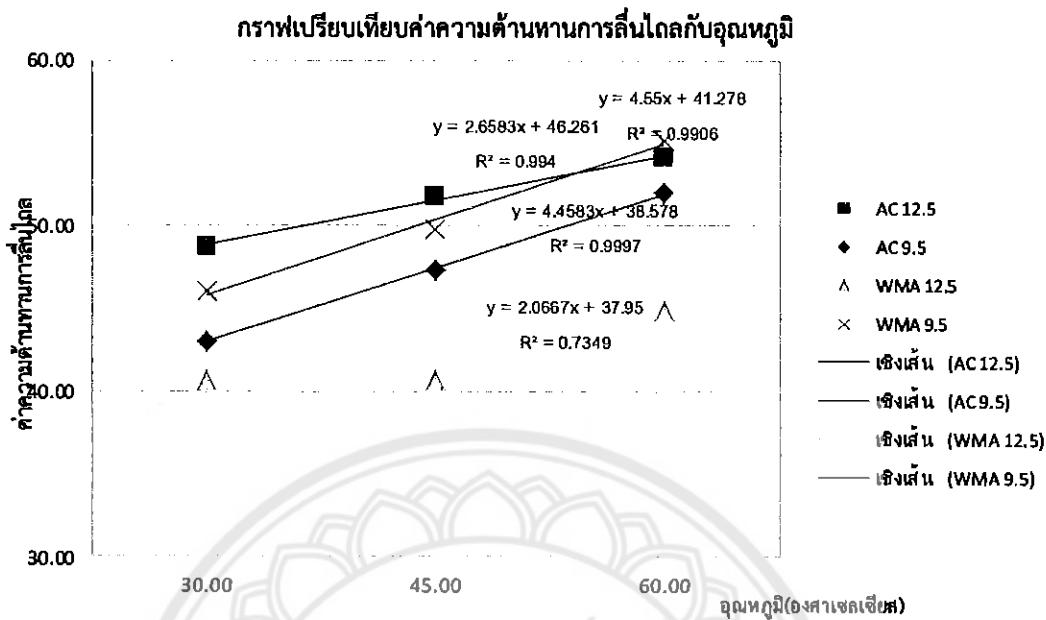
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 กับอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.4 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 ที่อุณหภูมิต่างๆ

Pavement Type	ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อุณหภูมิ		
	30.00	45.00	60.00
AC-WMA 9.5	46.08	49.87	55.18
AC 60/70 9.5	43.08	47.40	52.00

จากการทดสอบ ค่าความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA (9.5) กับ AC 60/70 (9.5) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 ค่าความต้านทานการลื่นไถลมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและ แสดงการเปรียบเทียบดังกราฟที่ 4.4 ผลของการเปรียบเทียบ AC-WMA (9.5) จะมีค่าความต้านทาน การลื่นไถลมากกว่า AC 60/70 (9.5)

#### 4.1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถล



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถลกับอุณหภูมิของแอสฟัลต์ทั้งหมด

ตารางที่ 4.5 ตารางค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลของ AC-WMA และ AC 60/70 ค่าเฉลี่ยทั้งหมด จาก 24 ก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ

Pavement Type	ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่อุณหภูมิ		
	30.00	45.00	60.00
AC 12.5	48.80	51.82	54.12
AC 9.5	43.08	47.40	52.00
WMA 12.5	40.73	40.65	44.87
WMA 9.5	46.08	49.87	55.18

อุณหภูมิมีผลต่อค่าความต้านทานการลื่นไถล เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น จากราคา 4.5 ผลของการเปรียบเทียบ ดังนี้

Asphalt concrete 60/70 (12.5) > Warm mix Asphalt concrete (9.5) > Asphalt concrete 60/70 (9.5) > Warm mix Asphalt concrete (12.5)

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การศึกษาเรื่องความต้านทานการลื่นไถล(Skid Resistance)ของผิวทาง

การจากศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า ความเสียดทานของผิวทางที่เกิดขึ้นระหว่างยางรถยนต์ กับผิวทางเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่เป็นตัวควบคุมและลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุชนน โดยพบว่า เมื่อสภาพถนนเปลี่ยนจะทำให้อุบัติเหตุชนเพิ่มมากขึ้นในขณะเดียวกัน จะทำให้ความเสียดทานของ ผิวทางลดลงเช่นกัน

เมื่ออุณหภูมิของถนนเพิ่มขึ้น ค่าความเสียดทานระหว่าง ยางรถยนต์กับผิวทางจะเพิ่มมากขึ้น แต่จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความความต้านทานการลื่นไถลลดลงโดยเรียง จากค่าไปมากไปน้อยดังนี้ Asphalt Concrete 60/70 (12.5) > Asphalt Concrete Warm Mix Asphalt (9.5) > Asphalt Concrete 60/70 (9.5) > Asphalt Concrete Warm Mix Asphalt (12.5)

จากการเปรียบเทียบค่าความต้านทานการลื่นไถลในแต่ละรูปแบบผิวทาง เปรียบเทียบได้ดังนี้

- 1.) Asphalt Concrete (12.5) มีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงกว่า Asphalt Concrete (9.5)
- 2.) Asphalt Concrete Warm Mix Asphalt (9.5) มีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูง กว่า Asphalt Concrete Warm Mix Asphalt (12.5)
- 3.) Asphalt Concrete (12.5) มีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูงกว่า Asphalt Concrete Warm Mix Asphalt (12.5)
- 4.) Asphalt Concrete Warm Mix Asphalt (9.5) มีค่าความต้านทานการลื่นไถลสูง กว่า Asphalt Concrete (9.5)

การเปรียบเทียบทั้งหมดนั้น เป็นไปในทิศทางเดียวกันที่ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความ ต้านทานการลื่นไถลจะเพิ่มขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. อัตราส่วนและขนาดของมวลรวม มีผลต่างค่าความด้านทานการลีน์ใกล้ของ Asphalt Concrete ในการออกแบบควรออกแบบให้สัดส่วนที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละรูปแบบเพื่อให้รองรับความปลดภัยในเรื่องการลีน์ใกล้ของผิวทาง
2. ในกรณีนำก้อนตัวอย่าง (Asphalt Mixtures) มาทำการทดสอบ ควรรักษาสภาพให้คงเดิม และอุณหภูมิให้คงที่ ก่อนนำมาทำการทดสอบเพื่อให้การทดสอบไม่คลาดเคลื่อนและแม่นยำที่สุด



## เอกสารอ้างอิง

กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์.(2553).การศึกษาค่าความเสียดทานของผิวทางที่มีผลต่อความปลอดภัยทางถนน กรณีศึกษา : ผลกระทบของน้ำเมื่อกลางถนนพระราม 2 จังหวัดสมุทรสาคร.สืบค้นเมื่อ 3 มิถุนายน 2558, จาก[http://www.roadsafetythai.org/sites/default/files/file/upload/ACC\\_53004.pdf](http://www.roadsafetythai.org/sites/default/files/file/upload/ACC_53004.pdf)

ชัยันต์ เจริญพรและสุเชษฐ์ อุ่ยมเชย.(2542). ความต้านทานการลื่นไถลของงานช่องบารุงแบบ

**Thin Boded Pantching**,กรุงเทพมหานคร.

นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์.(2554). กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์., มหาวิทยาลัยศิลปากร,  
สมุทรปราการ.สืบค้นเมื่อ 3 มิถุนายน 2558, จาก

[http://www.eng.su.ac.th/me/elearning/Statics/2554\\_2%20newstatic/STchapter\\_6.PDF](http://www.eng.su.ac.th/me/elearning/Statics/2554_2%20newstatic/STchapter_6.PDF)

วรรยาฤทธิ์ ฉิมพะสี, สุรศักดิ์ หาญจริง, และอดิศักดิ์ เสรีระสัน(2547). การศึกษาความต้านทาน

การลื่นไถลของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตพิษณุโลก : มหาวิทยาลัยเรศวร

สมัย ใจติสกุล, สันติภาพ ศิริยิ่งค์, สิทธิชัย ศิริพันธุ์, บุญญา แสงเพชรงาม, วิศวนุ ทรัพย์สมพล,

พีรพงศ์ จิตเสี้ยym, วีระชัย วงศ์วีระนิมิตร, และ พัชราฤทธิ์ จันทน์หอม(2557).การออกแบบและ

พัฒนาความต้านทานการลื่นไถลของพื้นผิวทางแอสฟัลต์ด้วยคุณลักษณะของมวลรวม.ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนาทางหลวงชนบท.(2545). มาตรฐานการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดย

วิธีมาร์แซลล์.มทช.(ท) 607-2545.สืบค้นเมื่อ 3 มิถุนายน 2558, จาก

<file:///D:/pp/mthch.th607-2545.pdf>

Henry,J.J.(2000). Evaluation of Pavement Friction Characteristics,NCHRP Synthesis 291,

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Washington, D.C

Ivey, D.L., L.I. Griffin III, J.R. Lock (1992), Proposed Program to Reduce Skid Initiated

Accidents in Texas, 9100, The Texas State Department of Highways and

Public Transportation, Austin, Texas.

NANYANG Technological University School of Civil and Structural Engineering,

**Skid Resistance Test**, Laboratory-Pavement Materials.

National Cooperative Highway Research Program(2009).Guide For Pavement Friction,

**Chapter 4.Pavement Friction and Surface Texture**, Washington, D.C .

Pavement Interactive., Skid Resistance, United States.Retrieved June 3,2015,from

<http://www.pavementinteractive.org/article/skid-resistance/>.

Yingjian Lou.(2003). Effect of Pavement Temperature on Frictional Properties

of Hot-Mix-Asphalt Pavement Surfaces at the Virginia Smart Road, Blacksburg,

Virginia

## ภาคผนวก ก

### ข้อมูลการออกแบบก้อนแอสฟัลต์ตัวอย่าง

#### ตารางสัดส่วนการออกแบบ (Mix Proportion)

ชนิด	ผิวทาง	สัดส่วน	% Asphalt Concrete
Asphalt Concrete 60/70	AC 9.5	49:51:0:0	5.00%
	AC 12.5	47:22:13:18	5.20%
Warm-Mix Asphalt Concrete	AC 9.5	49:51:0:0	5.00%
	AC 12.5	47:22:13:18	5.20%

## ภาคผนวก ข

### ผลการทดสอบค่าความต้านทานการลื่นไถล

#### Asphalt Concrete 60/70 (12.5)

ตัวอย่าง ที่	หน้า	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		30					45					60				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	A	44	44	43	43	42	48	46	46	45	45	55	55	55	53	53
	B	48	46	45	44	44	55	54	53	53	53	53	53	53	52	52
2	A	49	49	48	46	45	49	49	48	48	47	50	50	48	48	48
	B	55	54	53	53	52	55	55	54	53	50	60	59	59	58	55
3	A	47	45	44	44	44	48	48	45	45	45	60	60	59	59	59
	B	57	56	55	55	54	58	58	57	57	57	53	52	52	52	52
4	A	56	56	54	53	52	53	53	52	52	50	60	59	59	59	59
	B	48	48	47	47	46	60	60	59	59	59	50	48	58	45	44
5	A	46	45	44	44	42	49	49	48	48	47	49	48	47	47	46
	B	55	55	54	53	51	49	49	49	49	49	57	57	55	54	54
6	A	48	47	47	46	45	51	50	49	49	49	57	55	54	54	53
	B	52	52	50	50	47	60	59	59	59	58	60	59	59	57	57

### Asphalt Concrete 60/70(9.5)

ตัวอย่าง ที่	หน้า	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		30					45					60				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	A	55	55	54	50	49	47	45	45	44	44	52	51	51	51	51
	B	53	53	53	53	52	55	55	53	53	53	60	60	59	59	59
2	A	41	38	38	36	36	45	45	44	44	44	51	51	50	49	49
	B	48	48	48	47	45	56	53	53	51	51	40	38	36	36	55
3	A	47	45	44	43	43	48	47	47	45	44	55	54	54	54	53
	B	36	33	33	32	32	44	43	43	43	42	52	51	52	52	50
4	A	45	44	44	43	43	52	53	52	52	51	56	55	55	53	53
	B	44	44	43	42	40	47	45	45	45	44	53	53	53	52	52
5	A	37	36	35	35	33	50	50	49	48	48	52	52	50	50	50
	B	44	41	41	40	39	52	51	51	50	49	59	59	58	58	49
6	A	40	38	36	36	36	46	46	46	46	46	52	52	51	51	50
	B	49	49	48	48	48	52	52	52	50	49	54	54	53	53	53

### Warm-Mix Asphalt Concrete (12.5)

ตัวอย่าง ที่	หน้า	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		30					45					60				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	A	44	40	39	39	36	44	44	43	41	41	40	40	40	39	39
	B	50	49	49	47	47	45	44	43	41	40	49	48	48	48	46
2	A	41	35	35	34	33	39	39	36	36	35	40	40	40	40	40
	B	46	46	45	44	44	43	43	43	42	41	45	45	44	44	44
3	A	34	32	31	31	30	32	31	30	30	30	42	43	43	45	45
	B	42	43	41	40	39	51	52	52	52	56	56	56	56	56	56
4	A	45	41	39	38	37	40	40	40	40	40	52	52	52	53	54
	B	40	39	36	38	36	46	46	46	46	50	50	50	50	50	50
5	A	46	44	42	41	40	35	31	31	31	31	44	44	44	43	41
	B	50	49	49	47	47	42	42	41	40	40	36	35	34	34	32
6	A	34	30	30	30	29	34	34	34	34	40	39	40	40	40	40
	B	46	48	50	47	50	48	48	48	48	44	48	48	48	48	48

### Warm-Mix Asphalt Concrete (9.5)

ตัวอย่าง ที่	หน้า	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		30					45					60				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	A	51	49	49	48	48	48	48	48	47	46	52	52	52	51	51
	B	54	51	51	48	48	53	53	53	53	53	58	58	57	57	57
2	A	48	46	46	45	45	59	59	58	57	56	56	56	55	52	52
	B	62	61	60	59	59	56	56	55	55	55	61	61	61	61	61
3	A	47	45	44	43	43	48	47	47	45	44	55	54	54	54	53
	B	36	33	33	32	32	44	43	43	43	42	52	51	52	52	50
4	A	40	40	40	39	39	51	49	49	48	48	56	56	56	56	55
	B	58	58	57	56	56	52	52	51	51	51	56	56	56	56	53
5	A	44	43	43	41	41	47	47	47	46	46	52	52	50	50	50
	B	52	50	49	49	48	48	48	48	48	47	59	59	58	58	57
6	A	41	39	39	38	38	51	50	50	49	48	53	52	52	51	50
	B	44	43	42	41	41	52	52	51	51	50	62	62	60	60	60

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาววิรุลสุดา เก้าสุวรรณ  
ภูมิลำเนา 267 ม. 3 ต.วัดป่า อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์  
ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกาญจนากาภิเษก วิทยาลัย  
เพชรบูรณ์

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิชารัฐประยุทธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [wirulsuda@gmail.com](mailto:wirulsuda@gmail.com)



ชื่อ นางสาวศิริญญา ปันเงิน  
ภูมิลำเนา 167/1 ม.4 ต.บ้านแยง อ.นครไทย  
จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียม  
อุดมศึกษาภาคเหนือ จังหวัดพิษณุโลก

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิชารัฐประยุทธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [cystalsky@outlook.co.th](mailto:cystalsky@outlook.co.th)



ชื่อ นางสาวสุวนันดา ชาญนาวา  
ภูมิลำเนา 210 ม. 4 ต.ทับยาย อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

ภาคเหนือ จังหวัดพิษณุโลก

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชารัฐศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: channawa\_re@windowlive.com

