



การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของยางล้อรถจักรยานยนต์ระหว่างยางไบแอส  
และยางเรเดียล

A COMPARISON OF THE ROLLING RESISTANCE COEFFICIENT OF MOTORCYCLE TIRE  
BETWEEN BIASED AND RADIAL TIRE

ศุภชัย หล้าคำ  
อนันต์ เต็มเปี่ยม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2566  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของยางล้อรถจักรยานยนต์ระหว่างยางไบแอส  
และยางเรเดียล

A COMPARISON OF THE ROLLING RESISTANCE COEFFICIENT OF MOTORCYCLE TIRE  
BETWEEN BIASED AND RADIAL TIRE

ศุภชัย หล้าคำ  
อนันต์ เต็มเปี่ยม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2566  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

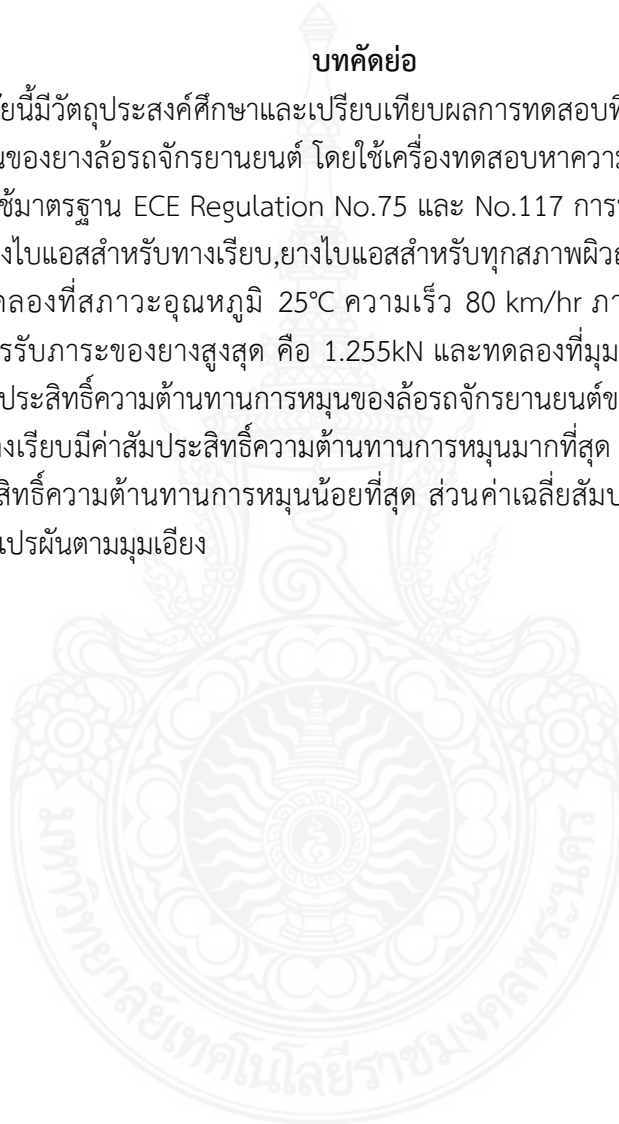
ชื่อเรื่อง : การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของยางล้อรถจักรยานยนต์  
ระหว่างยางไบแอสและยางเรเดียล

ผู้วิจัย : นายศุภชัย หลักคำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร  
นายอนันต์ เต็มเปี่ยม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

พ.ศ. : 2566

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบความต้านทานการหมุนของยางล้อรถจักรยานยนต์ โดยใช้เครื่องทดสอบหาความต้านทานการหมุนของยางล้อและประยุกต์ใช้มาตรฐาน ECE Regulation No.75 และ No.117 การทดลองครั้งนี้ใช้ตัวอย่างยางล้อ 3 ชนิด คือยางไบแอสสำหรับทางเรียบ,ยางไบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนนและยางเรเดียลสำหรับทางเรียบโดยทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 25°C ความเร็ว 80 km/hr ภายใต้แรงกดซึ่งอ้างอิงจากความสามารถรับภาระของยางสูงสุด คือ 1.255kN และทดลองที่มุม 0°, 5°, 10° และ 15° จาก การทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของล้อรถจักรยานยนต์ขณะทำมุมต่างกัน พบว่ายางไบแอสสำหรับทางเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนมากที่สุด และยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนน้อยที่สุด ส่วนค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนในแต่ละมุมแปรผันตามมุมเอียง



Title : A comparison of the rolling resistance coefficient of motorcycle tire between biased and radial tire

Researcher : Mr.Supachai Lakkam, Faculty of Engineering, RMUTP  
Mr.Anan Tempiam, Faculty of Engineering, RMUTP

Year : 2023

### ABSTRACT

This research aims to study and compare the test results of the rolling resistance coefficient using a tire rolling resistance testing machine. The ECE Regulation No.75 and No.117 standard was also applied to this study. This study used three types of tires including bias sport tires, bias touring tires and radial sport tires. The study was conducted at the temperature of 25° C, velocity 80 km/hr, the maximum load used for pressing at 1.255 kN. The study was tested at the angles of 0°, 5°, 10° and 15°. As a results, the rolling resistance coefficient of motorcycle tire at different angles was found that the bias tires is the highest rolling resistance coefficient and the radial tires is the least rolling resistance coefficient. The mean of rolling resistance coefficient at each angle vary according to the angle of inclination.



### กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2566 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้ที่ให้ความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

คณะผู้วิจัย



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ยาง	4
2.2 ชนิดของยางล้อ	6
2.3 โครงสร้างยางแบบไบแอสและเรเดียล	7
2.4 แรงต้านการหมุนของล้อ	9
2.5 การคำนวณหาเส้นรอบวงของยางล้อรถยนต์	10
2.6 การคำนวณหาค่าแรงต้านทานการหมุนแฝงของเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดี่ยว	10
2.7 แรงต้านการหมุนของยางล้อ	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	12
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	12
3.2 การออกแบบล้อทดลอง	13
3.3 การออกแบบการทดลอง	15
3.4 การเตรียมอุปกรณ์	16
3.5 ขั้นตอนการใช้เครื่องทดสอบ	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	26
4.1 ผลการทดลอง	26
4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	30
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	30

5.2 ปัญหาและอุปสรรค	30
5.3 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32
ประวัติผู้วิจัย	34
ภาคผนวก	39



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ (Kr) ตามชนิดและสภาพถนน	10
3.1	ยางที่ใช้ในการทดลอง	15
3.2	สภาวะการทดลอง	16
4.1	สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัส	29





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ลักษณะของโครงสร้างยาง	4
2.2	ส่วนประกอบของยาง	5
2.3	ยางสำหรับทุกสภาพผิวถนน	6
2.4	ยางสำหรับทางเรียบ	7
2.5	โครงสร้างยางแบบไบแอส	8
2.6	โครงสร้างยางแบบเรเดียล	8
2.7	แรงต้านการหมุนของล้อที่เกิดจากการยุบตัวของยางกลิ้งบนถนนแข็ง	9
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	12
3.2	การวัดขนาดเพื่อทำการออกแบบ	13
3.3	ลักษณะของชิ้นงาน	13
3.4	ล้อที่ใช้สำหรับการทดลอง	14
3.5	การสวมพอดีปลอกกรองแกนกับวงล้อที่ใช้กับเครื่องทดสอบ	14
3.6	กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าหลักของเครื่องทดสอบ	17
3.7	กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า	18
3.8	คอมพิวเตอร์ใช้ในการทดสอบ	18
3.9	โปรแกรม RMUTP TIRE TEST PROGRAM	19
3.10	อุปกรณ์ตรวจจับระยะกด	19
3.11	กล่องควบคุมหลักของเครื่องทดสอบ	20
3.12	หน้าต่าง Warning	20
3.13	ปุ่ม Setting distance	21
3.14	ปุ่ม Done	21
3.15	หน้าต่าง Test report and test data	22
3.16	Operation	22
3.17	หน้าต่าง Formula	23
3.18	ช่องน้ำหนักร MAX LOAD	23
3.19	SET POINT	24
3.20	ภาพชุดกดยาง	24
3.21	หน้าต่าง COMMAND	25
3.22	ตำแหน่งการหาพื้นที่ผิวสัมผัส	25
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนยางไบแอสสำหรับทางเรียบ	26
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนยางไบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน	27

- 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมมองและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน  
อย่างเรเดียลสำหรับทางเรียบ 28
- 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอง และค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่  
ของยางทั้ง 3 ตัวอย่าง 29



## บทที่ 1

### บทนำ

งานวิจัยบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของการศึกษาประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีความโดดเด่น และมีการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน ผลิตภัณฑ์จากยางพาราจำนวนมากถูกนำไปแปรรูปเป็นชิ้นส่วนต่างๆผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมทั้งส่งออกและใช้ในประเทศ ยางล้อเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ปลายน้ำที่โดดเด่นและเป็นอีกชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีขนาดกำลังการผลิตสูง โดยประเทศไทยถือเป็นประเทศที่ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์รายใหญ่ระดับโลก ซึ่งชิ้นส่วนยางล้อเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนดังกล่าวที่มีทั้งการผลิตเพื่อใช้ในประเทศและส่งออก

อย่างไรก็ตาม หากมองกลับมาสังเกตพฤติกรรมการณ์ผลิตยางล้อทั้งที่ส่งออกและใช้งานภายในประเทศจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ยางล้อจะถูกควบคุมคุณภาพด้วยมาตรฐานสากลซึ่งผู้ผลิตทุกรายจำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ของตนให้ผ่านมาตรฐานดังกล่าว เพื่อเปิดโอกาสให้ผลิตภัณฑ์ยางล้อของตนสามารถเข้าสู่การแข่งขันในท้องตลาดได้ ในขณะที่มีมาตรฐานการทดสอบคุณภาพยางล้อระดับสากลเข้ามาควบคุมหลายรายการ กลับพบว่าประเทศไทยซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางล้อรายใหญ่ของโลกกลับไม่มีศูนย์ทดสอบยางล้อที่ครบวงจร และครอบคลุมทุกรายการทดสอบตามมาตรฐาน เป็นเหตุให้ผู้ประกอบการทั้งหลายมีความจำเป็นต้องส่งผลิตภัณฑ์ยางล้อต้นแบบไปทดสอบยังต่างประเทศส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายและเงินตราไหลออกนอกประเทศหลายล้านบาทต่อนอกจากนี้ยังเป็นช่องว่างทำให้ผู้ประกอบการซึ่งมีนายทุนต่างชาติสร้างมาตรฐานของตนเอง เพื่อกำหนดและควบคุมความน่าเชื่อถือในผลิตภัณฑ์ของตน

ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม(มอก.) เป็นผู้ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์มาตรฐานการทดสอบต่างๆ แต่ก็ยังเป็นเพียงมาตรฐานที่ถูกชี้แนะจากมาตรฐานสากล และมาตรฐานดังกล่าวถูกนำมาใช้ทดสอบคุณสมบัติยางล้อในสถานะใหม่เท่านั้น หากแต่ความเป็นจริงยางล้อที่ถูกใช้งานจะมีคุณสมบัติที่เสื่อมถอยลงตามสภาพการใช้งาน แต่กลับไม่มีการเปิดเผยถึงผลการทดสอบหรือมาตรฐานใดรับรองคุณสมบัติยางล้อระหว่างการใช้งานได้ อีกทั้งพฤติกรรมการใช้งานและองค์ความรู้ของผู้บริโภคที่มีไม่มากนักต่อผลิตภัณฑ์ยางล้อ และไม่สามารถเข้าถึงการทดสอบเพื่อตรวจสอบระดับคุณภาพยางล้อขนาดใหญ่ใช้งานได้ เนื่องจากไม่มีศูนย์ทดสอบหรือเครื่องทดสอบคุณภาพยางล้อในระดับรากหญ้า

จากการสำรวจข้อมูลของกรมการขนส่งทางบกพบว่าวันที่ 16 ก.ค. 2562 มีการเปิดเผยถึงสถิติรถจดทะเบียนใหม่ทั่วประเทศ 6 เดือนแรกของปี (ม.ค.-มิ.ย. 2562) มีผู้จำหน่ายใหม่ป้ายแดง

มาจดทะเบียน 1,615,254 คัน ในจำนวนทั้งหมดมีรถจักรยานยนต์มากที่สุด คือ 971,761 คัน มากกว่าในปี 2561 จากสถิติข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้ยานพาหนะเพิ่มขึ้นจึงทำให้อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เติบโตตามไปด้วยและกลายเป็นอีกผลิตภัณฑ์ที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตออกมาจึงทำให้เกิดโครงการทดลองและศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยาง ผลิตภัณฑ์ยางในปัจจุบันนั้นมีความสำคัญกับผู้คนเป็นอย่างมากเพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ในหลายๆด้าน รวมไปถึงเป็นส่วนหนึ่งของยานพาหนะเช่น ยางรถยนต์ และยางรถจักรยานยนต์ ในปัจจุบันนั้นผู้คนใช้รถใช้ถนนกันมากขึ้น และรถจักรยานยนต์เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่ผู้คนหันมาใช้เป็นยานพาหนะ ทั้งนี้ส่วนสำคัญที่ทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้นั่นคือล้อยางดังนั้นล้อยางจึงเป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่งของรถจักรยานยนต์โดยล้อยางเป็นส่วนที่รองรับภาระหน้าที่หลายอย่าง เช่น รองรับน้ำหนักของตัวรถเอง หรืออาจจะเป็นน้ำหนักของสิ่งของที่บรรทุก และยังช่วยในการบังคับเลี้ยว โดยล้อยางจะยึดติดกับพื้นถนนตลอดเวลาและในขณะที่เคลื่อนที่ผิวยางจะสัมผัสกับพื้นผิวถนนโดยตรงซึ่งจะทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างยางและพื้นถนนโดยเฉพาะขณะที่เลี้ยวล้อจะทำมุมเอียงกับพื้นถนนในขณะนั้นจะทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเช่นกันแต่จะเกิดแรงเสียดทานมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการทดลองและศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของผลิตภัณฑ์ล้อยางของรถจักรยานยนต์ขณะทำมุมเอียงและหาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.) เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการหมุนของยางล้อจักรยานยนต์แบบไบแอสและเรเดียล

## 1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาหาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการพลังงานในการขับเคลื่อนและล้อหรือยางรถยนต์ พบว่าประเด็นดังกล่าวมีอิทธิพลอย่างมากโดย Joshua M. Pearce และคณะ (2007) ได้กล่าวถึงการกำหนดพระราชบัญญัติปี 2000 ในประเทศสหรัฐอเมริกาเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานจากการควบคุมความดันลมยางทั้งนี้ในปัจจุบันสหรัฐอเมริกา มีรถยนต์ 220 ล้านคัน ทำให้สูญเสียพลังงานจากแรงต้านการเคลื่อนที่ของยางเป็นจำนวนมาก ได้มีการศึกษาระดับความดันลมยางจากผู้ใช้รถในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีผลกระทบเกี่ยวกับ 1) ด้านความปลอดภัย 2) ลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3) ทางเศรษฐกิจในเรื่องลดการนำเข้าน้ำมันดิบ และ 4) ลดมลพิษและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 13.5 ล้านตัน/ปี

ในขณะที่ A.K. Elwaleed และคณะ (2006) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการขยายตัวของแก้มยางที่มีผลต่อแรงต้านการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและได้ทำการทดสอบในสภาพดินทราย ดินเหนียว และดินร่วน ทดลองโดยใช้ค่าความดันที่ 166,193 และ 221 KPa ทำการศึกษาและการวิเคราะห์ ด้วยวิธี (ANCOVA) พบว่าการขยายของแก้มยางเนื่องจากความดัน มีผลต่อแรงต้านการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและขึ้นอยู่กับระดับความดันที่แตกต่างกัน

C. Halfmann และคณะ (1997) ได้สังเกตเห็นความสำคัญด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับการดูแลรักษาสภาพยาง และความดันลมยาง ถือว่าเป็นขั้นพื้นฐานของความปลอดภัยของยานพาหนะ และยัง

เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้น C. Halfmann และคณะ ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบความดันลมยาง โดยการวิเคราะห์คลื่นความถี่ของฟังก์ชัน จากการเดินของยางทั้งล้อหน้า และล้อหลัง

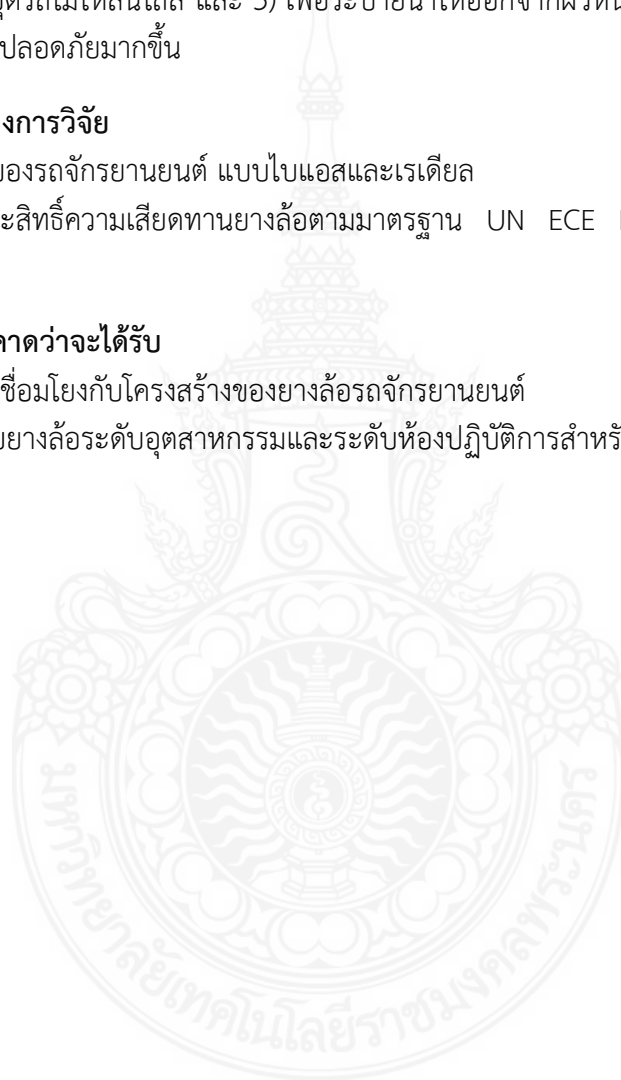
J.E. Purkyne และคณะ (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบดอกยางที่ใช้ในการเกษตรในแบบต่างๆเพื่อลดแรงต้านการเคลื่อนที่ การแก้ปัญหาในเชิงลบสำหรับดอกยาง และความดันลมยาง การออกแบบดอกยางที่บริเวณหน้ายางมักอาศัยร่องลึก ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ประกอบกับเพื่อออกแบบดอกยางให้มีคุณสมบัติเฉพาะตัว 1) เพื่อการยึดเกาะถนนขณะเลี้ยวโค้ง 2) เพื่อช่วยให้การขับเคลื่อนและหยุดรถไม่ให้เกิดไถล และ 3) เพื่อระบายน้ำให้ออกจากผิวหน้าของดอกยางอย่างรวดเร็ว ช่วยให้การขับขี่มีปลอดภัยมากขึ้น

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.) ศึกษายางล้อของรถจักรยานยนต์ แบบไบแอสและเรเดียล
- 2.) ทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานยางล้อตามมาตรฐาน UN ECE Regulation No.75 และ No.117

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) องค์ความรู้ที่เชื่อมโยงกับโครงสร้างของยางล้อรถจักรยานยนต์
- 2.) เครื่องทดสอบยางล้อระดับอุตสาหกรรมและระดับห้องปฏิบัติการสำหรับยางล้อรถจักรยานยนต์



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

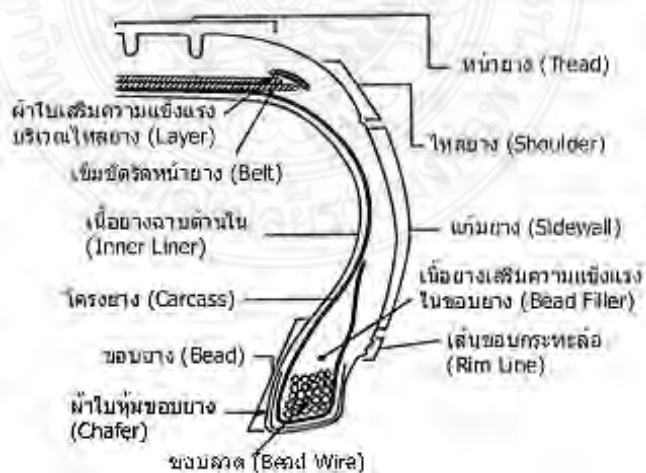
#### 2.1 ยาง

ยางเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในด้านของความปลอดภัยในการขับเคลื่อนรถยนต์ ยางเป็นส่วนหนึ่งของรถยนต์ที่ใช้สำหรับทำหน้าที่รองรับน้ำหนักรถ ความนุ่มนวลขณะขับขี่ การหยุดเบรก และประสิทธิภาพการยึดเกาะพื้นผิวถนน รวมไปถึงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งยางเป็นส่วนที่สัมผัสกับพื้นถนนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของยาง และยังทำให้การยึดเกาะถนนลดลง

การออกแบบยางในปัจจุบันนี้ลักษณะของยางรถยนต์ที่จะแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานของยางรถยนต์สามารถจำแนกส่วนประกอบออกได้เป็น 6 ส่วน ดังนี้

- หน้ายาง (Tread)
- ไหล่ยาง (Shoulder)
- แก้มยาง (Sidewall)
- โครงยาง (Carcass)
- ผ้าใบเสริมหน้ายางหรือเข็มขัดรัดหน้ายาง (Breaker or Belt)
- ขอบยาง (Bead)

ส่วนประกอบแต่ละส่วนถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับหน้าที่และประสิทธิภาพในการใช้งาน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของโครงสร้างยาง [สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2532]

1) หน้ายาง (Tread) คือ ส่วนประกอบที่อยู่นอกสุดของยางและเป็นส่วนเดียวที่สัมผัสผิวถนนทำหน้าที่ป้องกันของมีคมที่จะทำอันตรายต่อโครงยางที่หน้ายางจะประกอบไปด้วยดอกยางและร่องยางเพื่อทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนน มีแรงกฤษเวลาวิ่งเบรกหยุดได้มั่นใจในปัจจุบันดอกยางมีอยู่หลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไปดังนั้นผู้ใช้จึงควรเลือกชนิดของดอกยางให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานดังรูปที่ 2.2

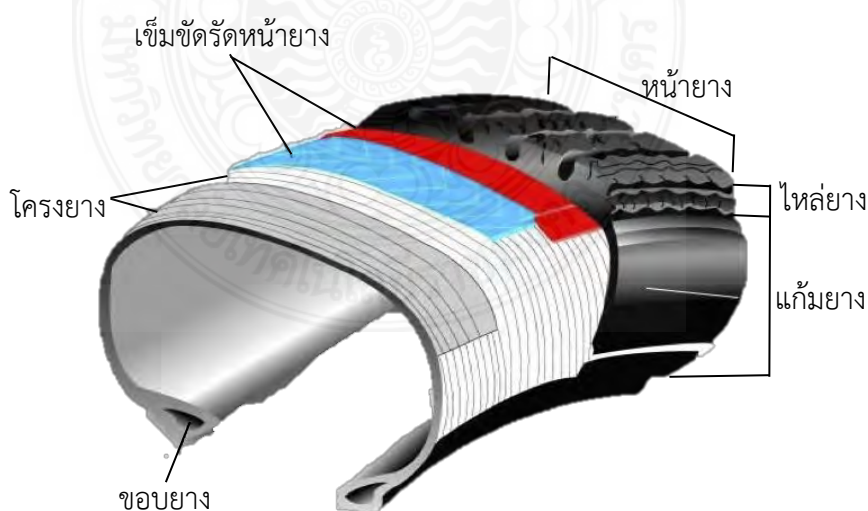
2) ไหล่ยาง (Shoulder) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างหน้ายางกับแก้มยางมีความหนาพอๆ กับหน้ายางปกติไหล่ยางจะถูกออกแบบเป็นร่องให้เหมาะสม เพื่อช่วยระบายความร้อนภายในยางให้ออกมาได้ง่ายดังรูปที่ 2.2

3) แก้มยาง (Sidewall) เป็นส่วนด้านข้างสุดของยางที่ไม่ได้สัมผัสพื้นผิวถนนขณะที่รถวิ่งอยู่และเป็นส่วนที่ยืดหยุ่นมากที่สุดของยางในขณะใช้งาน

4) โครงยาง (Carcass) เป็นส่วนประกอบหลักของยาง ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่คงรูปร่าง และจะรักษาความดันลมภายในยาง เพื่อให้ยางสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ รวมทั้งต้องทนทานต่อแรงกระแทก หรือสั่นสะเทือนจากถนนที่มีต่ออย่างได้ดังรูปที่ 2.2

5) ผ้าใบเสริมหน้ายางหรือเข็มขัดรัดหน้ายาง (Breaker or belt) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างหน้ายาง (Tread) กับโครงยาง (Carcass) ในกรณียางธรรมดา (Bias tire) เราเรียกว่า “ผ้าใบเสริมหน้ายาง (Braker)” และในกรณียางเรเดียล (Radial tire) จะเรียกว่า “เข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt)” ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรง ให้กับหน้ายาง ให้อย่างสามารถรับแรงกระแทกได้ดี และป้องกันไม่ให้โครงยางชำรุดเสียหายจากสิ่งอันตรายต่าง ๆ จากพื้นถนนดังรูปที่ 2.2

6) ขอบยาง (Bead) ประกอบด้วยกลุ่มของเส้นลวดเหล็กกล้า (High carbon steel) ที่ช่วยยึดส่วนปลายทั้ง 2 ข้างของโครงยางเอาไว้ เพื่อให้บริเวณขอบยาง (Bead) มีความแข็งแรงสามารถยึดแน่นสนิทกับกระทะล้อได้ดีเมื่อนำไปใช้งานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของยาง [My Garage Story, 2016]

นอกจากนี้ การออกแบบยางสำหรับรถยนต์บนท้องถนนต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น

- 1) ความปลอดภัย
  - ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงในทุกสภาพถนน (High friction coefficients)
  - ความเร็วสูงสุดที่เหมาะสม (Top-speed)
  - รูปแบบโหลดที่กระทำต่อล้อ
  - ความปลอดภัยของการขับขี่
  - คุณสมบัติการวิ่งอย่างราบเรียบ
- 2) ความสะดวกสบาย
  - ความแข็งของยางน้อย
  - ความราบรื่นในการขับขี่
- 3) ความประหยัด
  - มีความทนทานสูง
  - ความต้านทานการหมุนต่ำ (Low rolling resisting)
  - น้ำหนักล้อต่ำ (Low dynamic wheel load)
  - ค่าใช้จ่ายด้านการสร้างต่ำ
  - อัตราการรับภาระสูง

## 2.2 ชนิดของยางล้อ

1) Touring tire หรือ ยางสำหรับทุกสภาพผิวถนน ดังรูปที่ 2.3 เรียกอีกอย่างว่า “ยางฮาล์ฟ” เพราะความพิเศษของยางชนิดนี้ก็คือเรื่องของ ผิวสัมผัสที่จะมีความแข็ง และลายยางที่ลึกลงนั้นเหมาะสำหรับการใช้งานในเส้นทางกึ่ง Off road ที่เหมาะกับเส้นทางที่เป็นถนนพื้นแข็งหรือทางดินมากกว่าทาง Off road ด้วยลักษณะของยาง Touring tire นั้นไม่เหมาะกับความเร็วสูง เพราะความลึกของลายยางที่เน้นการใช้งานในการขจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ได้ดีกว่าซึ่งความลึกนี้เมื่อสัมผัสกับพื้นถนนแล้วจะมีช่องว่างและมีส่วนของอากาศอัดอยู่ในร่องของลายยาง เกิดเป็นแรงดึงและแรงเฉื่อยทำให้การหมุนรอบของตัวยางมีความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นยางประเภทนี้เหมาะกับการทำความเร็วที่ไม่เกิน 160-180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.3 ยางสำหรับทุกสภาพผิวถนน

[<https://www.michelin.co.th/motorbike/tyres/michelin-city-pro> [10/09/2563]]



2) Off road tire หรือ ยางวิบาก ส่วนมากจะมาในรูปแบบของยาง Tube tire หรือยางที่มียางในนั้นก็เพราะว่าวงล้อของรถในแนววิบากนั้นส่วนมากจะมาในรูปแบบของล้อซี่ลวดที่สามารถลดแรงกระแทกที่เกิดจากการกระโดด และลดแรงเสียดทานของตัวยางและวงล้อได้ดีกว่าล้อแมกที่ใช้กันในรถประเภทอื่น ความพิเศษของยางประเภทนี้ก็คือหน้าสัมผัสนั้นจะมีความแข็งที่น้อยกว่า และความลึกของร่องบางที่จะลึกกว่ายางประเภทอื่น นั้นก็เพราะประเภทการใช้งานของมันที่เน้นในลักษณะการรูดขจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นออกจากเนื้อยาง เช่น น้ำ โคลน หิน ฝุ่น และทราย เป็นต้น ขอบด้านข้างของยางประเภทนี้จะมีความแข็งมากกว่ายางประเภทอื่น ยาง Off road สามารถวิ่งบนถนนได้แต่ด้วยร่องของยางที่ลึกเป็นพิเศษนี้จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างยางกับพื้นถนนที่มากกว่ายางประเภทอื่นซึ่งสิ่งที่ตามมาก็คือ เสียงรบกวนที่ออกมาจากยางจะดังกว่า และอาการสั่นสะท้านของตัวรถจะมีให้เห็นกันมากกว่าเมื่อเทียบกับยางประเภทอื่น

3) Sport tire หรือ ยางสำหรับทางเรียบ ดังรูปที่ 2.4 ยางประเภทนี้จะมีผิวสัมผัสที่นุ่มที่สุด เพื่อการช่วยในการยึดเกาะที่ดีกว่าและความเสถียรในการหมุนต่อรอบนั้นจะมีความสม่ำเสมอกว่าประเภทอื่น ความลึกของร่องลายยางนั้นจะเน้นการรูดน้ำเป็นหลักซึ่งมันจะมีความลึกที่ไม่มากนัก โดยยางประเภทนี้จะเน้นที่การยึดเกาะถนนทางเรียบเป็นหลักเมื่ออุณหภูมิของยางนั้นมีความร้อนที่พอดีแล้วจะยิ่งเกาะถนนมากขึ้น แต่จะต้องแลกมากับการสึกหรอที่รวดเร็วการหมุนของตัวยางจะมีความสม่ำเสมอทำให้การเคลื่อนที่ของตัวรถนั้นไปได้ดีกว่ายางประเภทอื่นจึงทำให้ยางประเภทนี้นิยมใช้กันเป็นอย่างมากในสนามการแข่งขัน



รูปที่ 2.4 ยางสำหรับทางเรียบ

[<http://www.pirelli.in.th/diablo-rosso-sport/> [10/09/2563],

[<https://www.Michelin.co.th/motorbike/tyres/michelin-pilot-street>]

### 2.3 โครงสร้างยางแบบไบแอสและเรเดียล

1) โครงสร้างยางแบบไบแอส (Bias) ทำจากชั้นผ้าใบที่จัดเรียงทำมุมต่อกัน แต่ละชั้นถูกวางไว้เพื่อให้เส้นใยมีรูปแบบเป็นกากบาท โครงสร้างทั้งหมดมีลักษณะเดียวกัน หน้ายางและแก้มยางมีคุณสมบัติทางกลที่คล้ายกันดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างยางแบบไบแอส

[<https://www.michelin.co.th/motorbike/tips-and-advice/advice-motorbike/radial-or-bias?>]

2) โครงสร้างยางแบบเรเดียล (Radial) ด้วยโครงสร้างที่เป็นแนวรัศมี เส้นใยจะกระจายออกมาจากศูนย์กลางของยางนอกจากนี้ หน้ายางจะทำมาจากชั้นผ้าใบที่ทำเป็นเข็มขัด ซึ่งทำให้หน้ายางและแก้มยางมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างยางแบบเรเดียล

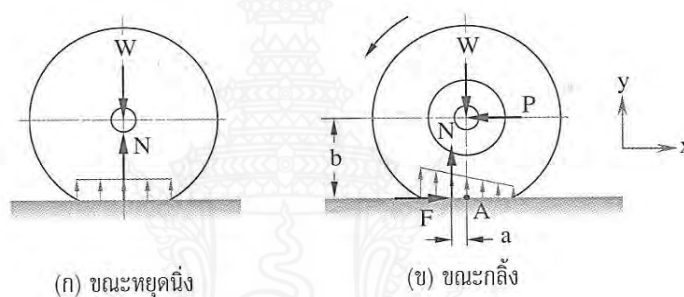
[<https://www.michelin.co.th/motorbike/tips-and-advice/advice-motorbike/radial-or-bias?>]

เนื่องจากแก้มยางเรเดียลมีความอ่อนนุ่มหน้ายางของยางเรเดียลจึงสัมผัสกับถนนได้ดี รอยที่ยางกดพื้นถนนนั้นสั้นกว่าแต่กว้างกว่ายางไบแอส จึงช่วยเพิ่มการยึดเกาะถนนเมื่อเอียงตัวมาก ขณะเข้าโค้ง ความดันอากาศที่สัมผัสกับพื้นผิวของยางจะกระจายตัวได้ดีกว่าในยางเรเดียล ซึ่งส่งผลให้การสึกหรอของดอกยางเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ยางเรเดียลยังให้ความนุ่มสบายมากขึ้นที่ความเร็วสูง อันเป็นผลมาจากแก้มยางที่นุ่มซึ่งช่วยลดซับแรงกระแทกจากความไม่สม่ำเสมอบนผิวถนนในทางกลับกัน ยางไบแอสนั้นสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเนื่องจากแก้มยางมีความแข็งแรงมากกว่า ที่ความเร็วสูง ยางไบแอสอาจมีรูปร่างผิดปกติดจนส่งผลต่อสมรรถนะของยางได้ ในท้ายที่สุด ยางไบแอสจะเหมาะสำหรับรถที่เดินทางด้วยความเร็วปานกลางมีเครื่องยนต์ขนาดเล็กถึงปานกลางและมีแชสซีที่

มีความยืดหยุ่น ยางเหล่านี้ยังเหมาะสำหรับรถจักรยานยนต์หนักหรือรถที่มีน้ำหนักบรรทุกมากอีกด้วย ยางเรเดียลเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับรถที่มีพลังกำลังมากและมีแชสซีที่มีความแข็งแรงมาก

## 2.4 แรงต้านทานการหมุนของล้อ (ธีระยุทธ, 2552)

แรงต้านทานการหมุนของล้อขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ สภาพผิวถนน ความเสียดทานในลูกปืนของล้อรถยนต์ การยุบตัวของยางและผิวถนน ความดันลมยางรถยนต์ การเสียดสีของเบรก และขนาดของล้อ แรงต้านทานการหมุนของล้อแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักของรถยนต์ การยุบตัวของยางและผิวถนนมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกรณีความดันในลมยางรถยนต์ต่ำมาก ยางจะยุบตัวมาก จะมีผลให้แรงต้านทานการหมุนของล้อสูงมากขึ้น



รูปที่ 2.7 แรงต้านทานการหมุนของล้อที่เกิดจากการยุบตัวของยางกับถนนแข็ง

ถ้า  $P$  เป็นแรงดันที่ทำให้ล้อรถยนต์สามารถกลิ้งไปได้บนถนนแข็ง แสดงดังรูปที่ 2.7 (ข) ส่วนของยางที่สัมผัสกับถนนจะยุบตัวหน้าสัมผัสระหว่างยางกับถนนจะเป็นพื้นที่กว้าง น้ำหนักของรถยนต์จะกระจายบนผิวหน้าสัมผัสระหว่างยางกับถนน ในขณะที่ล้อกลิ้งไปบนถนนนั้น ยางจะยุบตัวและคืนตัวสลับกัน ทำให้เกิดความเสียดทานขึ้นในเนื้อยางและก่อให้เกิดความร้อนขึ้น แรงต้านทานการหมุนของล้อจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ สัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อ (Coefficient of rolling resistance) ใช้สัญลักษณ์ ( $K_r$ ) แรงต้านทานการหมุนของล้อจะมีค่าสูงขึ้น ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่า  $K_r$  จะลดลง แรงต้านทานการหมุนของล้อ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความต้องการการใช้พลังงานสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$R_r = K_r W_v \quad (2.1)$$

เมื่อ	$R_r$	คือ	แรงต้านทานการหมุนของล้อ (N)
	$K_r$	คือ	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อ
	$W_v$	คือ	น้ำหนักของรถยนต์ (N)

ในกรณีถนนมีลักษณะอ่อนตัว เช่น ถนนดินและถนนทราย ถนนมีการยุบตัวทำให้แรงต้านการหมุนของล้อเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อบนสภาพถนนต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ (Kr) ตามชนิดและสภาพถนน

ชนิดและสภาพถนน	Kr (เฉลี่ย)
ถนนลาดยางและคอนกรีต	
สภาพดีเยี่ยม	0.014 - 0.018
สภาพดีพอใช้	0.018 - 0.020
ถนนหินปูพื้น	0.023 - 0.030
ถนนลูกรัง	0.020 - 0.025
ถนนดิน	
ดินแข็งอัดแน่น	0.025 - 0.035
ดินเปียกหลังฝนตก	0.050 - 0.150
ถนนทราย	0.10 - 0.30

## 2.5 การคำนวณหาเส้นรอบวงของยางล้อรถยนต์

โดยการหาค่าเส้นรอบวงกลม (เส้นรอบวงยางล้อรถยนต์) ดังสมการที่ 2.2

$$C = 2\pi r \quad (2.2)$$

เมื่อ C คือ เส้นรอบวงของยางล้อรถยนต์ (m)

r คือ รัศมีของยางล้อรถยนต์ (m)

## 2.6 การคำนวณค่าแรงต้านทานการหมุนแฝงของเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดี่ยว

แรงต้านทานการหมุนแฝงของเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดี่ยว คือ แรงต้านทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ แรงต้านทานแฝงถือเป็นแรงต้านที่ถูกรวมกับแรงต้านรวม โดยเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างการเคลื่อนที่ ค่าแรงต้านทานการหมุนแฝง แสดงดังสมการที่ 2.3

$$F_{pl} = \frac{T_p}{r} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $F_{pl}$  คือ แรงต้านทานการหมุนแฝงของเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดี่ยว (N)

$T_p$  คือ แรงบิดเพลลาของเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดี่ยว (Nm)

## 2.7 แรงต้านการหมุนของยางล้อ (Rolling resistance)

แรงต้านการหมุนของยางล้อขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ สภาพของผิวถนน ความเสียดทานในแบริ่งของล้อรถยนต์ การยุบตัวของยางและผิวถนน ความดันลมในยางรถยนต์ การเสียดสีที่เบรก และขนาดของล้อ ภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ แรงต้านการหมุนของล้อแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักของรถยนต์ ถ้าสามารถลดน้ำหนักรถยนต์ลงได้มากก็จะยิ่งประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มาก ทั้งในการวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่และในการเร่งรถยนต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรถยนต์ 367-2532) การลดน้ำหนักของรถยนต์จะนำไปสู่การลดขนาดของเครื่องยนต์ ห้องเกียร์ ระบบกันสะเทือน และชิ้นส่วนอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักรถยนต์ระหว่างรถเปล่ากับรถที่มีภาระบรรทุกเต็มมันต่างกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับรถยนต์ขนาดเล็ก เทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยให้เราสามารถใช่วสดุที่มีน้ำหนักเบาได้ ประกอบกับการออกแบบ ในปัจจุบันได้ใช้เทคโนโลยีด้านแคด (Computer Aided Design, CAD) และแคม (Computer Aided Manufacturing, CAM) เข้าช่วยอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ด้านเอฟอีเอ็ม (Finite Element Modeling, FEM) ของตัวรถยนต์และชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งนำไปสู่การลดน้ำหนักรถยนต์ลงได้มาก โดยการคำนวณหาแรงต้านการหมุนของยางล้อรถยนต์ และการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านการหมุนของยางล้อรถยนต์ แสดงดังสมการที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

$$F_r = \frac{T_t}{R} - F_{pl} \quad (2.4)$$

เมื่อ	$F_r$	คือ แรงต้านทานการหมุนของยางล้อรถยนต์	(N)
	$T_t$	คือ แรงบิดเพลลาของเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดี่ยว ภายใต้สภาวะรับน้ำหนักบรรทุก	(N.m)
	$R$	คือ รัศมีของยางล้อรถยนต์ ภายใต้สภาวะรับน้ำหนักบรรทุก	(m)

$$C_r = \frac{F_r}{L_m} \quad (2.5)$$

เมื่อ	$C_r$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านการหมุนของยางล้อรถยนต์	(N/kN)
	$L_m$	คือ แรงลงล้อรถยนต์	(kN)

### บทที่ 3

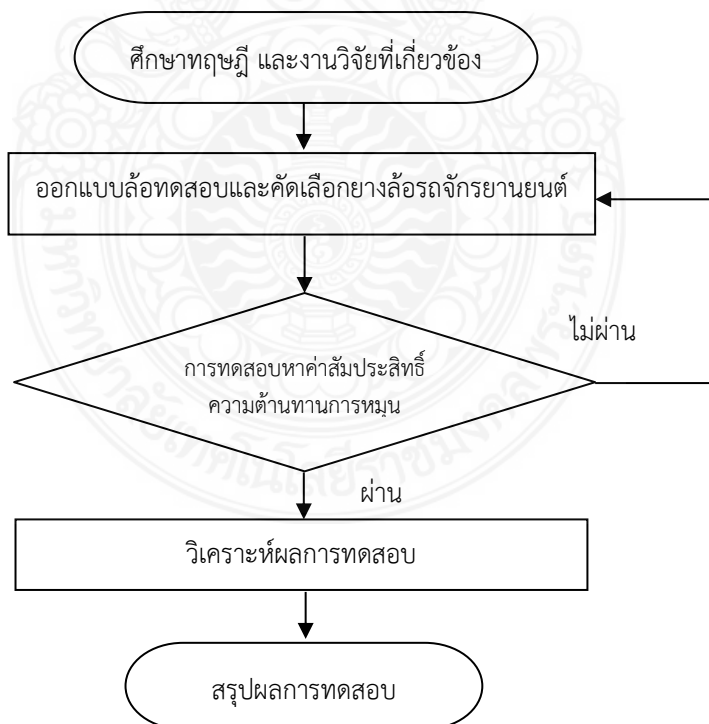
#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์งานวิจัยในครั้งนี้ จำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ และ ออกแบบการทดสอบ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบล้อยทดสอบและคัดเลือกขงล้อยรถจักรยานยนต์
- 3) การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของขงล้อย
- 4) วิเคราะห์ผลการทดสอบ
- 5) ทดสอบการเบรก
- 6) สรุปผลงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

## 3.2 การออกแบบล้อทดลอง

### 3.2.1 การวัดขนาดเพลาชุดทดไฮดรอลิก

การออกแบบชิ้นงานนั้น โดยขั้นตอนแรกในกระบวนการออกแบบชิ้นงานคือ ทำการวัดขนาดของเพลาชุดทดไฮดรอลิกที่เครื่องทดสอบโดยตรวจวัดขนาดของเพลา เพื่อที่จะนำไปออกแบบขนาดของแบบปลอกกรองแกนสวมล้อรถจักรยานยนต์โดยการใช้เครื่องมือวัดละเอียดในการวัด เครื่องมือที่ใช้ในการวัด คือ เวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีความแม่นยำและมีความละเอียดสูงวัดขนาดของเพลา ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การวัดขนาดเพื่อทำการออกแบบ

### 3.2.2 การเขียนแบบ

เมื่อได้ทำการวัดขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในจุดที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือเขียนแบบของเพลาชุดทดไฮดรอลิก เพื่อที่จะทำการออกแบบปลอกกรองแกนสวมล้อดังรูปที่ 3.3 โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบทางวิศวกรรมด้วยโปรแกรมเขียนแบบ SOLIDWORK มาช่วยในการออกแบบ



รูปที่ 3.3 ลักษณะของชิ้นงาน

### 3.3.2 ขั้นตอนการเลือกใช้วงล้อ

โดยเกณฑ์ในการเลือกวงล้อซึ่งเราจะเลือกใช้วงล้อที่มีความแข็งแรงทนทานเพราะวงล้อจะต้องรับแรงกดสูงสุดที่ 1,255.68N ในการทดลองจริง วงล้อที่ใช้เป็นวงล้อที่ทำขึ้นจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ ที่มีความแข็งแรง โดยวงล้อที่เลือกใช้เป็นวงล้อที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้กับ รถที่มีน้ำหนักรวม



ประมาณ 120 kg และเป็นรถจักรยานยนต์ คน โดยใช้มาตรฐาน 2 ล้อ รับน้ำหนักคนขี่ได้ 2ไซส์ไทย [SizeThai, 2543] ในการคีดน้ำหนักคนขี่จะสามารถรับน้ำหนักคนขี่ได้ 150 kg จากการวิเคราะห์แต่ ละล้อจะรับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า 135 kg หรือ 1,324 N จากข้อมูลนี้วงล้อจึงจะสามารถรับแรงกด สูงสุดในการทดลองได้ดังนั้นผู้จัดทำจึงทำการเลือกวงล้อของรถจักรยานยนต์ดังรูปที่ 3.4 มาใช้ในการ ทดลอง



รูปที่ 3.4 ล้อที่ใช้สำหรับการทดลอง

#### 3.2.4 การสวมพอดีปลอกล้อกับวงล้อที่ใช้ในการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะต้องกลึงส่วนแกนกลางล้อให้ได้ขนาดกับ ขนาดของปลอกรองแกน เพื่อ ความแม่นยำในการลอง โดยค่าพิกัดความเผื่อมากที่สุด -9 ไมโครเมตรและพิกัดความเผื่อต่ำสุด -39 ไมโครเมตร [ความพอดีและพิกัดความเผื่อ Fits and Tolerances,2554] เมื่อทำการการกลึงได้ขนาด แล้ว ทำการสวมปลอกรองแกนเข้ากับตัวล้อแล้วยึดเข้ากับจุดยึดจารเบรกด้วยสกรู 4 ตัวดังรูปที่ 3.5 และทำการตัดกลึงโลหะส่วนเกินบริเวณแกนล้อออก เพื่อให้สวมเข้ากับเพลาชุดกดไฮดรอลิกได้พอดี



รูปที่ 3.5 การสวมพอดีปลอกรองแกนกับวงล้อที่ใช้กับเครื่องทดสอบ



### 3.3 การออกแบบการทดลอง

#### 3.3.1 ยางที่ใช้ในการทดสอบ

ในการออกแบบการทดลองโครงการนี้ ซึ่งเป็นการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยาง ดังนั้นการเลือกยางจึงเป็นปัจจัยสำคัญโดยผู้จัดทำได้คัดเลือกยางที่มีคุณภาพและเป็นยางที่มีลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างที่แตกต่างกันมาทั้งหมด 3 ตัวอย่าง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานและสำรวจหาปัจจัยที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปลี่ยนแปลง โดยตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ยางที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ขนาด	โครงสร้างยาง และชนิดของยาง	รูปร่าง
1	17-90/80	ไบแอสสำหรับทางเรียบ	
2		ไบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน	
3		เรเดียลสำหรับทางเรียบ	

### 3.3.2 สภาวะการทดลอง

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางล้อรถจักรยานยนต์ในครั้งนี้ผู้จัดทำได้แบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้ การทดลองของยางแต่ละเส้นจะทดลองที่มุมเอียงตั้งแต่  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$  และ  $15^{\circ}$  โดยแต่ละมุมจะทดลองทั้งหมดเป็นจำนวน ครั้ง โดย 3 แรงลงล้อ มุมทดลองจะมาจากกรคำนวณแรงตามมุมที่ทดลอง โดยในการทดลองจะใช้แรงกดเพียง 80% ดังตารางที่ ความดัน 3.2 25 บาร์และอุณหภูมิห้อง 2.5 ลมยาง อองศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทดลอง

มุม $\theta$ ( $^{\circ}$ )	ความเร็ว ที่ใช้ในการทดลอง $v$ (km/hr)	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด $m$ (kg)	แรงลงล้อขณะทำมุม $L_{m\theta} = mg \cos(\theta) \times 80\%$ (N)
0	80	160	1,256
5			1,248
10			1,232
15			1,209

### 3.4 การเตรียมอุปกรณ์

#### 3.4.1 การเตรียมล้อทดลอง

ล้อทดลองประกอบไปด้วย ยาง, ล้อและปลอกกรองแกน เป็นอุปกรณ์ส่วนสำคัญในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน จึงต้องจัดเตรียมให้พร้อมสำหรับการทดลอง เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

1) ปรับแต่งผิวภายในปลอกกรองแกนด้วยกระดาษทราย เพื่อให้ล้อทดลองสวมเข้ากับเพลาชุดกตไฮดรอลิกได้พอดี

2) วัดความบิดเบี้ยวของวงล้อทดลองในการวัดจะวัดที่ขอบล้อ โดยวัดทั้งสองแนวคือ ในแนวรัศมีและแนวแกนของล้อโดยใช้ไดอัลเกจในการวัดค่าความบิดเบี้ยวที่ได้ ไม่เกิน 0.5 mm

3) ประกอบยางเข้ากับล้อทดลองโดยให้ลายยางหมุนไปทางเดียวกันทั้ง3ชนิด

#### 3.4.2 การเตรียมเครื่องทดสอบ

ชิ้นส่วนหลักของเครื่องทดสอบประกอบไปด้วย วงล้อทดสอบ มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดกตไฮดรอลิก ชุดปั๊มไฮดรอลิก และระบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ก่อนการทดลองจะต้องตรวจสอบอุปกรณ์เหล่านี้ ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1) ตรวจสอบเตีจาระบี ลูกปืนเพลาวงล้อทดสอบ

2) ตรวจสอบความตึงสายพานมอเตอร์ไฟฟ้า

3) ตรวจสอบความคลอน และปรับตั้งลูกปืนเพลาชุดกตไฮดรอลิก

4) ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อหาข้อบกพร่อง

5) ตรวจสอบการทำงานของปั๊มไฮดรอลิก

### 3.4.3 อุปกรณ์ช่วยทดสอบ

อุปกรณ์ช่วยทดสอบ คือ อุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ ที่ใช้เพื่อตรวจวัด หรือช่วยวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องทดสอบ ให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน

- 1) เครื่องเต็มสมยาง และวัดความดันสมยาง ในหน่วย bar
- 2) เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมลงโปรแกรมสำหรับเครื่องทดสอบยาง
- 3) ใบอนุญาตอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเข้าใช้โปรแกรมทดสอบยาง (License)

## 3.5 ขั้นตอนการใช้เครื่องทดสอบ

### 3.5.1 ขั้นตอนการเปิดใช้เครื่องทดสอบ

การเปิดเครื่องทดสอบจะทำตามลำดับอย่างเคร่งครัด เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องทดสอบ ดังนี้

- 1) ทำการเปิดสวิตช์เครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 3.6 โดยเปิดสวิตช์หลัก แล้วตามด้วยสวิตช์ YSD และ PLC



รูปที่ 3.6 กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าหลักของเครื่องทดสอบ

- 2) เมื่อทำการเปิดสวิตช์จะมีไฟขึ้นแสดงผลที่กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า
- 3) เปิดสวิตช์มอเตอร์ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า

4) ตรวจสอบไฟแสดงผลหน้าตู้กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าว่าปกติหรือไม่

### 3.5.2 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน

การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานในการทดลองยางรถจักรยานยนต์ครั้งนี้ให้จะทดสอบแบบอัตโนมัติ แบบ C1 เพื่อใช้แรกกวด 80% ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด มีขั้นตอนดังนี้

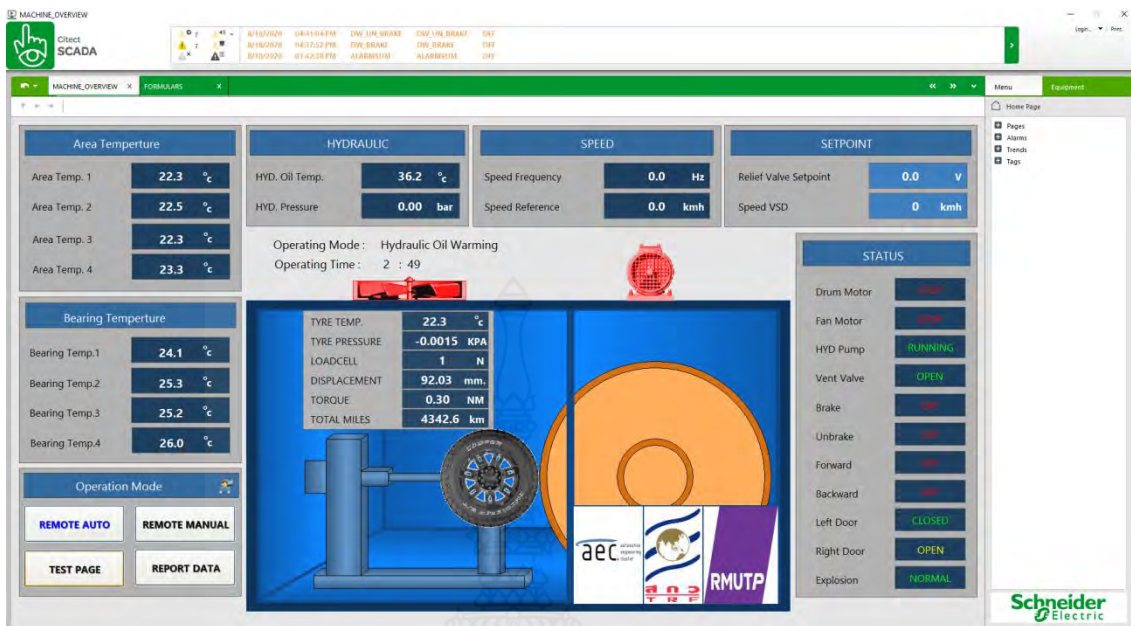
1) เปิดคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 คอมพิวเตอร์ใช้ในการทดสอบ

2) ทำการเสียบใบอนุญาตอิเล็กทรอนิกส์ โดยเสียบไปที่ช่อง USB type-A ช่องใดก็ได้

3) เปิดโปรแกรม RMUTP TIRE TEST PROGRAM ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โปรแกรม RMUTP TIRE TEST PROGRAM

4) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับระยะ ที่ชุดกดไฮดรอลิกดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ตรวจจับระยะกด

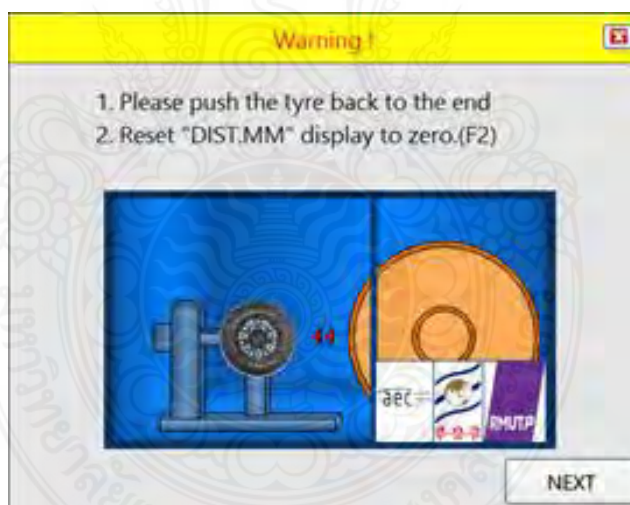
5) ปรับโหมดการใช้งานที่กล่องควบคุมหลักของเครื่องทดสอบดังรูปที่ 3.11ไปที่ A(auto) จากนั้นกดไปที่ ROMOTE AUTO ที่โปรแกรมทดสอบในคอมพิวเตอร์





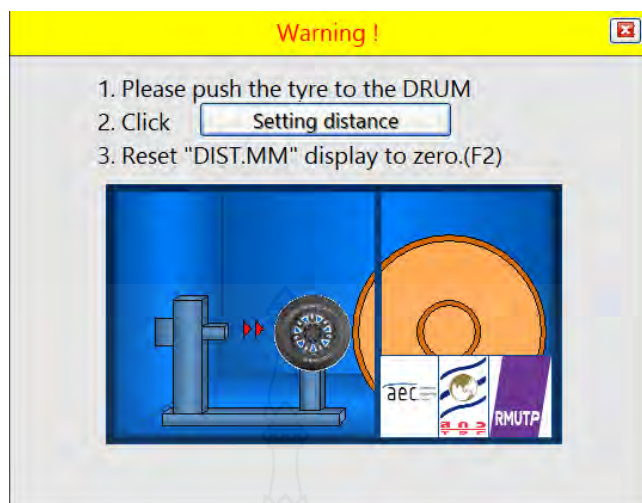
รูปที่ 3.11 กล่องควบคุมหลักของเครื่องทดสอบ

6) เมื่อมีหน้าต่าง Warning ดังรูปที่ 3.12ปรากฏขึ้นมาให้เลื่อนล้อทดลองจนอุปกรณ์วัดแรงกดแตะกับก้านลูกสูบชุดกดไฮดรอลิก จากนั้นกด F2 ที่ Dist.MMกล่องควบคุมหลักของเครื่องทดสอบ เพื่อปรับตั้งระยะให้เป็นศูนย์ แล้วกด Next



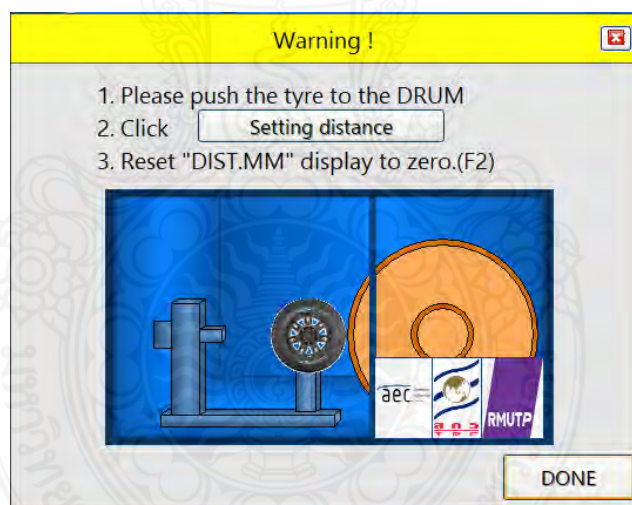
รูปที่ 3.12 หน้าต่าง Warning

7) เมื่อมีหน้าต่าง Warning ปรากฏขึ้นมาอีกครั้ง ให้เลื่อนล้อทดลองไปจนชนกับวงล้อทดสอบ จากนั้นให้กดปุ่ม Setting distanceดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 ปุ่ม Setting distance

8) จากนั้นกด F2 ที่ Dist.MMกล่องควบคุมหลักของเครื่องทดสอบดังรูป 3.11 เพื่อปรับตั้งระยะให้เป็นศูนย์อีกครั้ง แล้วกดปุ่ม Done ดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 ปุ่ม Done

9) เมื่อมีหน้าต่าง Test report and test data ดังรูปที่ 3.15ปรากฏขึ้นมาให้ใส่ข้อมูลต่าง ๆ ของยางเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลแล้วกดปุ่ม Done

Warning!

Test report and Test data (Rolling resistance)

- Type Approval authority or Technical Service:

- Name and address of applicant:

- Test report No:

- Manufacturer and brand name or trade description:

- Tyre class (C1, C2 or C3):

- Category of use:

- Comments (if any):

- Tyre size designation and service description:

- Tyre brand and trade description:

- Reference inflation pressure :

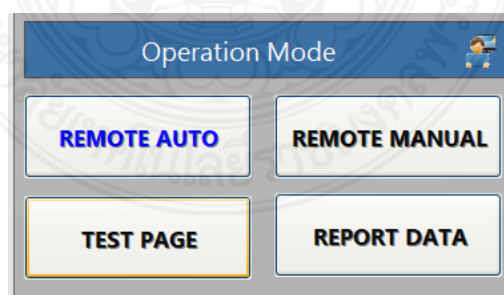
- Test rim width and material :

- Signature :

Done

รูปที่ 3.15 หน้าต่าง Test report and test data

10) กดไปที่ Test page ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 Operation

11) เมื่อมีหน้าต่าง Formula ดังรูปที่ 3.17ปรากฏขึ้นมา ให้เลือก TYPE C1



รูปที่ 3.17 หน้าต่าง Formula

12) กดไปที่ช่อง MAX LOAD ดังรูปที่ 3.18 จากนั้นใส่น้ำหนักลงไป เครื่องจะกดที่ 80% ของน้ำหนักที่ใส่ไปกดไปที่ FIRST และกด START เพื่อเริ่มกระบวนการ

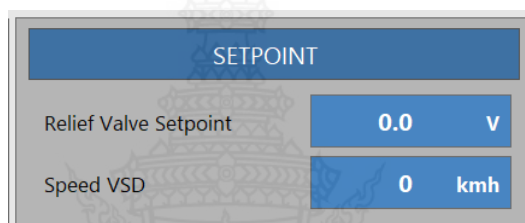
รูปที่ 3.18 ช่องน้ำหนัก MAX LOAD

13) เครื่องจะทำการอุ่นน้ำมันไฮดรอลิก จากนั้นเครื่องก็จะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ จะต้องไม่มีการหยุดของเครื่องทดสอบ ตลอดกระบวนการทดสอบ

### 3.5.3 การหาพื้นที่ผิวสัมผัสของยาง

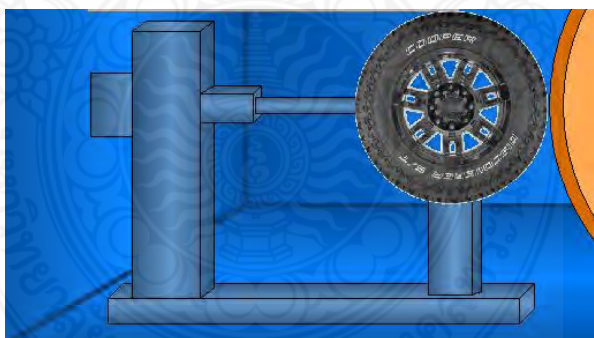
การหาพื้นที่ผิวสัมผัสของยาง จะใช้โปรแกรมทดสอบยาง RMUTP TEST PROGRAM แบบควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.8
- 2) ทำการเสียบใบอนุญาตอิเล็กทรอนิกส์ โดยเสียบไปที่ช่อง USB ช่องใดก็ได้
- 3) เปิดโปรแกรม RMUTP TIRE TEST PROGRAM ดังรูปที่ 3.9
- 4) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจذبระยะกวดังรูปที่ 3.10
- 5) ปรับโหมดการใช้งานที่หน้าผู้ควบคุมไปที่ A (AUTO) จากนั้นกดไปที่ REMOTE MANUAL ตรง Operation ดังรูปที่ 3.16
- 6) ใส่แรงดันไฟฟ้า 2V ไปที่ Relief valve set point ดังรูปที่ 3.19



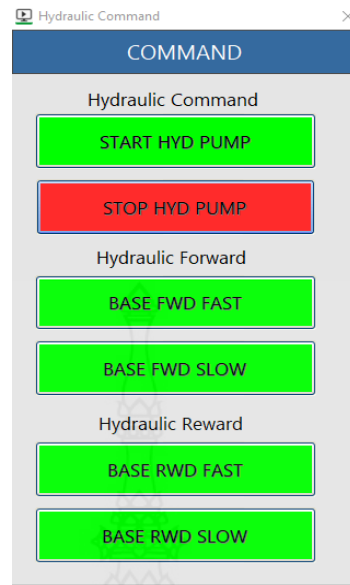
รูปที่ 3.19 SET POINT

- 7) กดไปที่ ภาพชุดกดยางดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ภาพชุดกดยาง

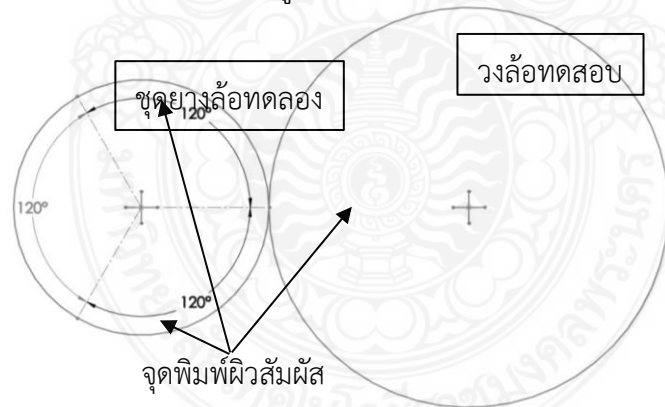
- 8) โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง COMMAND ดังรูป 3.21 จะสามารถสั่งงานชุดกดไฮดรอลิกได้



รูปที่ 3.21 หน้าต่าง COMMAND

9) การเลือกจุดพิมพ์ผิวสัมผัส จะสุ่มเลือกมา 3 ตำแหน่ง แล้วจึงนำภาพพิมพ์ที่ได้ไปวาดโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK เพื่อหาขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสในแต่ละจุด แล้วจึงนำมาเฉลี่ยหาค่าพื้นที่ผิวสัมผัสเฉลี่ย มีขั้นตอนดังนี้

9.1) ทำการระบุตำแหน่งของยางล้อ 3 ตำแหน่งโดยแต่ละตำแหน่งนั้นให้ห่างกัน  $120^\circ$  ที่ทุกมุมเอียงให้ใช้ตำแหน่งเดียวกันดังรูป 3.22



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งการหาพื้นที่ผิวสัมผัส

9.2) ทำการควบคุมความดันลมยางที่ 2.5 bar

9.3) ทำการทาสีลงบนผิวยาง ให้ทั่วจุดที่ทำการระบุตำแหน่งไว้

9.4) ทำการหมุนยางล้อให้ตำแหน่งที่ระบุตรงกับวงล้อเครื่องทดสอบและสั่งเบรกชุดล้อทดลองดังรูปที่ 3.22

9.5) ทำการสังเกตด้วยแรงดันไฮดรอลิก โดยแรงกดดันอ้างอิงจากแรงลงล้อขณะเอียงตามสภาวะการทดลองจากตารางที่ 3.2

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

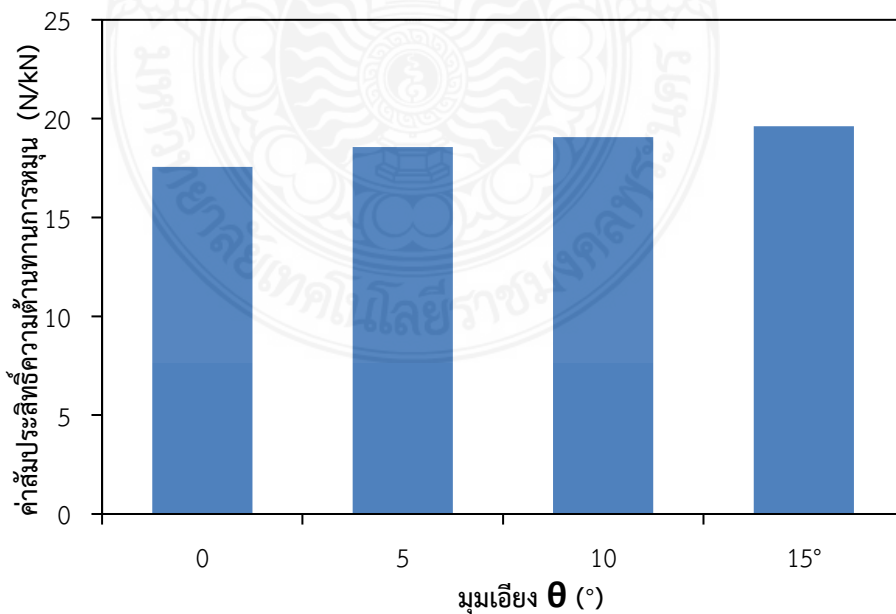
เครื่องทดสอบความต้านทานการหมุนของยางล้อเป็นอุปกรณ์ทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางรถยนต์และรถจักรยานยนต์ผู้ปฏิบัติงานศึกษาข้อมูลการใช้งานและวิธีการใช้งานของเครื่องทดสอบก่อนการปฏิบัติงานทดลองเพราะเครื่องทดสอบมีกลไกในการปฏิบัติงานที่ซับซ้อนและยังมีการหมุนอยู่ตลอดเวลาในขณะทดสอบถ้าหากไม่รู้ถึงวิธีการใช้งานอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และอาจเกิดอุบัติเหตุต่อผู้ปฏิบัติงานได้

#### 4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของล้อรถจักรยานยนต์ภายใต้สภาวะการทดลองตามตาราง 3.2 โดยการใช้ยางล้อรถจักรยานยนต์จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีความแตกต่างกันตามชนิดการใช้งานและโครงสร้างของตัวยางมีผลการทดลองดังนี้

##### 4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานยางไบแอสสำหรับทางเรียบ

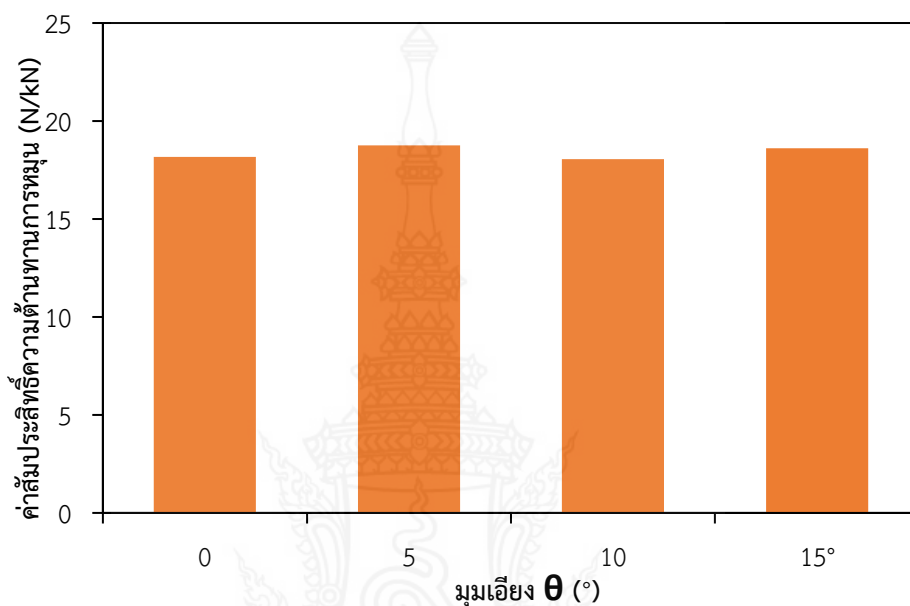
ยางไบแอสสำหรับทางเรียบเมื่อทำมุมมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานมากขึ้นตามความเอียง โดยได้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางที่ต่ำสุด คือ 17.56N/kN ที่มุม  $0^{\circ}$  และค่าสูงสุดคือ 19.62N/kN ที่มุม  $15^{\circ}$  ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีค่าต่างกันถึง 10.5%



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนยางไบแอสสำหรับทางเรียบ

#### 4.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานยางโปแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน

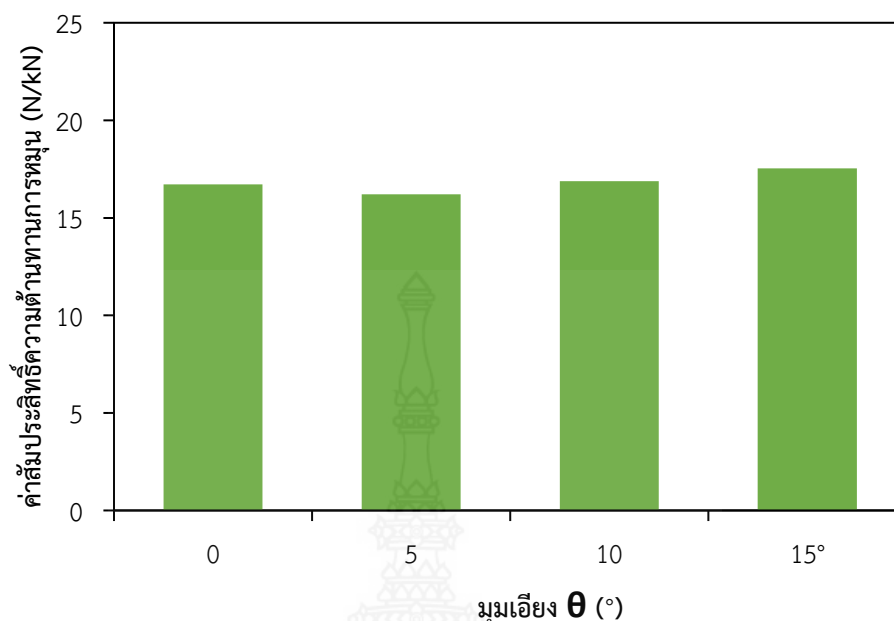
ยางโปแอสทุกสภาพผิวถนน จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานในแต่ละมุมนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานมากที่สุดที่มุม  $5^\circ$  คือ 18.75 N/kN และมีค่าต่ำสุดที่มุม  $10^\circ$  คือ 18.05 N/kN ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีค่าต่างกันเพียง 3.7%



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนยางโปแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน

#### 4.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ

ยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่มุม  $0^\circ$  คือ 16.72 N/kN มากกว่าที่มุม  $5^\circ$  คือ 16.20 N/kN อยู่เพียง 4.32% เมื่อยางเอียงทำมุม  $5^\circ$  ถึง  $15^\circ$  ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานค่อนข้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.3 ผลการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานสูงสุดที่มุม  $15^\circ$  คือ 17.54 N/kN และค่าต่ำสุดที่มุม  $5^\circ$  คือ 16.20 N/kN ซึ่งมีค่าต่างกันถึง 7.63%



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน  
 ยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ

#### 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ยางล้อแต่ละชนิดนั้นมีความคงสภาพหรือความแข็งอ่อนที่ต่างกัน เนื่องจากแต่ละตัวอย่างนั้นถูกออกแบบมาแตกต่างกัน โดยจากการทดลองที่สภาวะเดียวกันแต่พื้นที่ผิวสัมผัสที่ได้มีค่าไม่เท่ากัน จากกรณีนี้เพื่อให้เห็นถึงคุณสมบัติของการยึดเกาะของยางล้อแต่ละชนิด โดยไม่คำนึงถึงผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นผู้ทดลองจึงนำค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่มาทำการวิเคราะห์

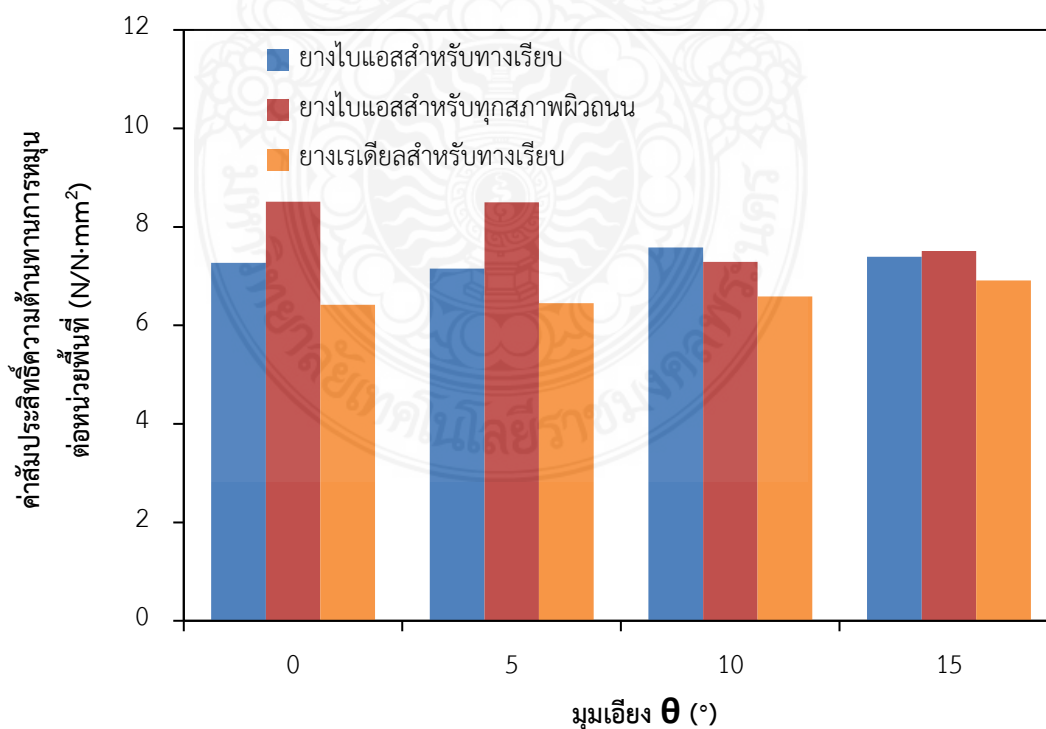
จากการวิเคราะห์ยางไบแอสสำหรับทางเรียบจากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานและพื้นที่ผิวสัมผัสมากที่สุดที่มุม  $15^{\circ}$  คือ  $19.62 \text{ N/kN}$  และ  $2,653 \text{ mm}^2$  ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 การออกแบบยางออกแบมาเพื่อช่วยการเข้าโค้งบนถนนเรียบ และให้ความสามารถในการยึดเกาะในทุกสภาวะของการขับขี่

จากการวิเคราะห์ยางไบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน จากรูปที่ 4.4 พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุดที่มุม  $0^{\circ}$  คือ  $8.51 \text{ N/N}\cdot\text{mm}^2$  ดังตารางที่ 4.1 เนื่องจากยางไบแอสทุกสภาพผิวถนน จะมีลายยางที่กว้างถี่เพื่อช่วยในการรีดน้ำ และฝุ่นออกจากผิวยาง จึงทำให้เกิดแรงต้านของกระแสน้ำที่ไหลผ่าน [ประชา ธารแก้ว, 2553]

จากการวิเคราะห์ยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ จากรูปที่ 4.4 พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่น้อยที่สุดที่มุม  $0^{\circ}$  คือ  $6.42 \text{ N}\cdot\text{mm}^2$  ดังตารางที่ 4.1 แต่ค่าสัมประสิทธิ์ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นตามมุมเอียง การออกแบบยางอาจจะออกแบบมาเพื่อช่วยลดแรงต้านทานการหมุนจากแรงฉุดของกระแสน้ำที่ไหลผ่าน และช่วยการเข้าโค้งในถนนทางเรียบ

ตาราง 4.1 สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัส

ยาง	มุม $\theta(^{\circ})$	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนเฉลี่ย $Cr_{25^{\circ}C}$ (N/kN)	จำนวนครั้งที่ทดลอง $n$ (ครั้ง)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนS.D.	พื้นที่ผิวสัมผัสเฉลี่ย A ( $mm^2$ )	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ $Cr_{25^{\circ}C}/A$ ( $N/N \cdot mm^2$ )
ไบแอสสำหรับทางเรียบ	0	17.56	3	0.28	2,414	7.27
	5	18.56		0.57	2,593	7.15
	10	19.06		0.55	2,511	7.58
	15	19.62		0.19	2,653	7.39
ไบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน	0	18.17	3	0.38	2,134	8.51
	5	18.75		0.10	2,203	8.50
	10	18.05		0.37	2,473	7.29
	15	18.61		0.17	2,477	7.51
เรเดียลสำหรับทางเรียบ	0	16.72	3	0.73	2,602	6.42
	5	16.20		0.12	2,509	6.45
	10	16.88		0.79	2,558	6.59
	15	17.54		0.67	2,534	6.91



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม และค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ของยางทั้ง 3 ตัวอย่าง



## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

การทำโครงการเรื่องนี้ ทำให้ได้รับประสบการณ์ความรู้ และขั้นตอนการทำงานอย่างมาก ได้แก่ การรู้จักใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆในการปฏิบัติงานมีทักษะในการใช้เครื่องทดสอบได้เป็นอย่างดี ได้ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับยางล้อและทฤษฎีต่างๆทำให้เข้าใจในสิ่งที่ค้นคว้าได้ดียิ่งขึ้นและยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างเกิดประโยชน์ซึ่งจากการจัดทำโครงการสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางล้อรถจักรยานยนต์ขณะทำมุมต่างกัน พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน ได้แก่ ชนิดของยางตามการใช้งานที่ผู้ผลิตกำหนด (ยางสำหรับทางเรียบ(ยางสำหรับทุกสภาพผิวถนน , ประเภทของโครงสร้างยาง ,เรเดียล) ไบแอสและมุมเอียง โดยในกรณียางทางเรียบค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานแปรผันตามมุมเอียง แต่ ( ในกรณียางสำหรับทุกสภาพผิวถนนมุมเอียงไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางล้อรถจักรยานยนต์ขณะทำมุมต่างกัน พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปลี่ยนแปลง คือประเภทของยางตามการใช้งานที่ผู้ผลิตกำหนด (ยางสำหรับทางเรียบและประเภทของ (ยางสำหรับทุกสภาพผิวถนน , ) โครงสร้างยางเรเดียล, ไบแอส( โดยในกรณียางทางเรียบค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานแปรผันตามมุมเอียงแต่ในกรณียางสำหรับทุกสภาพผิวถนนมุมเอียงไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานส่วนในกรณียางไบแอสค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานแปรผันตามมุมเอียง และในกรณียางเรเดียล ที่มุม  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$  และ  $10^{\circ}$ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานมีค่ามากที่สุดที่มุม  $15^{\circ}$ เมื่อวิเคราะห์ตามลักษณะของยางไบแอส มีแก้มยางที่แข็งกว่ายางเรเดียล แต่ยางเรเดียลที่นำมาทดลองจากรูปทรงของยางมีบ่าที่บริเวณไหล่ยางจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางไบแอส มีค่ามากกว่าขณะทำมุมเอียง แต่ที่มุม  $0^{\circ}$  ยางเรเดียล มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานมากกว่ายางไบแอส

#### 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1.) ขั้นตอนการพิมพ์ผิวสัมผัสยาง สีที่เลือกใช้แห้งเร็วเกินไป ในบางครั้งจึงทำให้ลายพิมพ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นจริง จึงต้องเสียเวลาทำการพิมพ์ลายใหม่
- 2.) ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเมื่อทดลองไประยะหนึ่งจะเกิดการคาคเคลื่อนของชิ้นส่วนทางกลของเครื่องทดสอบ เช่น ลูกปืนแกนล้อทดลองจะเกิดระยะคลอนขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ได้มีความคาคเคลื่อน



### 5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1.) ควรเลือกใช้สีที่แม่แห้งเร็วจนเกินไป ในการใช้เพื่อพิมพ์ลายผิวสัมผัสระหว่างยางและวงล้อเครื่องทดสอบ
- 2.) ควรหมั่นตรวจสอบลูกปืนแกนล้อทดลองทุกครั้งก่อนการทดลอง
- 3.) เพื่อให้ได้ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของยางที่ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ควรเลือกใช้กระดาษตารางในการพิมพ์ลายผิวสัมผัส



## บรรณานุกรม

- ความพอดีและพิถีพิถัน Fits and Tolerances. 2554. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/20%2103203Mech%20drawing/Ch2%40Fits%20and%20tolerances.pdf> [10/09/2563]
- ประชา ธารแก้ว. 2553. ยางประหยัดพลังงาน (ENERGY TIRE), เอกสารประกอบการบรรยาย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม[18/08/2563]
- ธีระยุทธ สุวรรณประทีป. 2552. วิศวกรรมยานยนต์. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ:วิศวะพัฒน์ .. พลศจิกายน, 2552
- สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรถยนต์ 367-2532 เล่ม 1-2. ตุลาคม 2557.
- A.K. Elwaleed, A. Yahya, M. Zohadie, D. Ahmad, and A.F. Kheiralla. 2006. Effect of inflation pressure on motion resistance ratio of a high-lug agricultural tyre. Department of Biological and Agricultural Engineering. Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, Vol. 43, pp. 69-84.
- C. Halfmann, M. Ayoub, and H. Hoizmann. 1997. SUPERVISION OF VEHICLES' TYRE PRESSURES BY MEASUREMENT OF BODY ACCELERATIONS. Institute of Automatic Control. Darmstadt University of Technology. Laboratory for Control Engineering and Process, Vol. 5, pp. 1151-1159.
- J.E. Purkyne. 2010. Thrust and slip of a low-pressure tire on compressible ground by the compression-sliding approach. Faculty of Production Technologies and Management University, Vol. 47, pp. 249-259.
- Joshua M. Pearce and Jason T. Hanlon. 2007. Energy conservation from systematic tire pressure regulation, Clarion University of Pennsylvania, Vol. 35, pp. 2673 - 2677.
- M Triches Jr, S N Y Gerges, and R Jordan. 2004. Reduction of squeal noise from disc brake systems using constrained layer damping. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, pp. 3-4.
- My Garage Story, 2016, **Important Features to Look For In Good Motorbike Tyres**] Online[, Available:<https://mygaragestory.net/important-features-look-good-motorbike-tyres/#tab-con-1> [10/02/2563]
- SizeThai, 2000, **ผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ**[ออนไลน์],แหล่งที่มา: [http://www.size-thailand.org/region\\_all.html](http://www.size-thailand.org/region_all.html) [6/10/2563]

[http://www.transport.michelin.co.th/Home/New-Retreaded-Tyres/Tyre Basics/Bias-Radial/](http://www.transport.michelin.co.th/Home/New-Retreaded-Tyres/Tyre-Basics/Bias-Radial/). [Online]. พฤศจิกายน 2557.



ประวัติผู้วิจัย



### หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายศุภชัย หลักคำ  
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Supachai Lakkam
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
3. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
โทรศัพท์:02-8363000 ต่อ 4138  
โทรสาร:02-8363000 ต่อ 4138  
E-mail: supachai.l@rmutp.ac.th

### 4. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาเอก	Ph.D.	Mechanical Engineering	The SirindhornInternational Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2560	ไทย
ปริญญาโท	M.Sc.	Automotive Engineering	The SirindhornInternational Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2552	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล เกียรตินิยมอันดับ) (สอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2549	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ ระบุสาขาวิชาการ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
  - เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computation and Simulation Techniques)
  - เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน (Energy Technology and Management)

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

6.1 ผู้อำนวยการงานวิจัย : -

6.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

- เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน

- การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์

6.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. ผลกระทบและประสิทธิภาพผ้าเบรกเชิงเสียดทาน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	พ.ศ.2552	Industry Subcontracting Exhibition of Thailand 2009	บริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (1994)	นักวิจัย
2. Investigation of Brake Noise Parameters Using Single Dynamometer	Apr.2009	The 5 <sup>th</sup> International Conference on Automotive Engineering ICAE-5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	นักวิจัย/ ผู้นำเสนอ
3. Econo Power Car	Jun.2010	The 2 <sup>nd</sup> RMUTP International Conference : Green Technology and Productivity	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย/ ผู้นำเสนอ
4. Analysis of Clutch Materials behaviour : Comparison between Coefficient of Friction Testing and Full Size Testing	Jun.2012	World Academe of Science, Engineering and Technology 66, 2012	EXEDY Friction Material Co. LTD	ผู้ช่วยวิจัย
5. Study and Trend of Development for Electric Railway and Related Industries in Thailand )Phase 2)		รอเผยแพร่	Industrial Technology Assistance Program	ผู้ร่วมวิจัย
6. โครงการศึกษาเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ เพื่อจัดทำร่างกฎกระทรวง	พ.ศ.2555	RMUTP Research Journal, Vol.6, No.2,	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ	ผู้ร่วมวิจัย

เฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน ตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550			อนุรักษ์พลังงาน กระทรวง พลังงาน	
7.Design and Development of Bus structure for single and double deck		รอเผยแพร่	กรมขนส่งทาง บก	ผู้ช่วย วิจัย
8.เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุ ความเสียดทาน	พ.ศ.255 5	วารสารวิชาการพระจอม เกล้าพระนครเหนือ ปีที่ ฉบับที่2 22	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
9.การทดสอบการอัดตัวของ วัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ต่างๆ	พ.ศ.255 6	KKU Research Journal Vol.18, No.2	มทร.พระนคร	ผู้ร่วม วิจัย
10. การศึกษาโครงสร้างกันแรง กระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อ การดูดซับพลังงาน	พ.ศ.255 6	วารสารวิจัย มช.	ม. เทคโนโลยี ราชมงคลพระ นคร	ผู้ร่วม วิจัย
11. การศึกษาลักษณะทาง กายภาพจานเบรกที่ส่งผล กระทบต่อความสามารถการ เบรก	พ.ศ.255 6	วารสารวิชาการพระจอม เกล้าพระนครเหนือ	ม. เทคโนโลยี ราชมงคลพระ นคร	ผู้ร่วม วิจัย
12. Study of heat transfer on front- and back-vented brake discs	2013	Songklanakarin J. Sci. Technol. 35(6)	ม. เทคโนโลยี ราชมงคลพระ นคร	ผู้ร่วม วิจัย

6.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -

**ผู้ร่วมโครงการ**

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายอนันต์ เต็มเปี่ยม  
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Anan Tempaim
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 7
3. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
โทรศัพท์:02-8363000 ต่อ 4138  
โทรสาร:02-8363000 ต่อ 4138  
E- mail : anan.t@rmutp.ac.th
4. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาเอก	ปร.ด.	พลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	2563	ไทย
ปริญญาโท	วศม..	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2547	ไทย
ปริญญาตรี	วศบ..	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2538	ไทย













5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
  - เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computation and Simulation Techniques)
  - เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน )Energy Technology and Management(
  - ระบบไฮดรอลิกส์และนิวเมติกส์
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
  - 6.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -
  - 6.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -
  - 6.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : -
  - 6.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -















ภาคผนวก















ตารางแสดงผิวสัมผัสภายในสำหรับทางเรียบ

มุมเอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	จุดที่ 1 $\times_1$		จุดที่ 2 $\times_2$		จุดที่ 3 $\times_3$	
	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ A ( $\text{mm}^2$ )	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ A ( $\text{mm}^2$ )	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ A ( $\text{mm}^2$ )
0		2,349		2,492		2,401
5		2,581		2,551		2,647
10		2,406		2,662		2,466
15		2,546		2,792		2,621

ตารางแสดงผิวสัมผัสยางไปแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน

มุมเอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	จุดที่ 1 $x_1$		จุดที่ 2 $x_2$		จุดที่ 3 $x_3$	
	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ $A$ ( $mm^2$ )	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ $A$ ( $mm^2$ )	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ $A$ ( $mm^2$ )
0		2,118		2,252		2,030
5		2,131		2,118		2,361
10		2,588		2,339		2,493
15		2,362		2,538		2,531

ตารางแสดงผิวสัมผัสยางรถยนต์สำหรับทางเรียบ

มุมเอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	จุดที่ 1 x <sub>1</sub>		จุดที่ 2 x <sub>2</sub>		จุดที่ 3 x <sub>3</sub>	
	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ A (mm <sup>2</sup> )	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ A (mm <sup>2</sup> )	รูปแสดงผิวสัมผัส	พื้นที่ A (mm <sup>2</sup> )
0		2,614		2,612		2,579
5		2,436		2,523		2,567
10		2,634		2,526		2,512
15		2,516		2,512		2,575

ตารางแสดงค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวสัมผัสของยางที่ใช้ทดสอบ

ยาง	มุมเอียง $\theta(^{\circ})$	จุดที่ 1 $x_1(\text{mm}^2)$	จุดที่ 2 $x_2(\text{mm}^2)$	จุดที่ 3 $x_3(\text{mm}^2)$	เฉลี่ย $\bar{X}(\text{mm}^2)$
ยางไบแอส สำหรับทาง เรียบ	0	2,349	2,492	2,401	2,414
	5	2,581	2,551	2,647	2,593
	10	2,406	2,662	2,466	2,511
	15	2,546	2,792	2,621	2,653
ยางไบแอส สำหรับทุก สภาพผิวถนน	0	2,118	2,252	2,030	2,134
	5	2,131	2,118	2,361	2,203
	10	2,588	2,339	2,493	2,473
	15	2,362	2,538	2,531	2,477
ยางเรเดียล สำหรับทาง เรียบ	0	2,614	2,612	2,579	2,602
	5	2,436	2,523	2,567	2,509
	10	2,634	2,526	2,512	2,558
	15	2,516	2,512	2,575	2,534

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของยางแต่ละตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 25°C(N/kN)

มุม เอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	ยางไบแอส สำหรับทางเรียบ			ยางไบแอส สำหรับทุกสภาพผิวถนน			ยางเรเดียล สำหรับทางเรียบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
0	17.80	17.65	17.24	16.97	16.92	16.28	18.85	18.27	17.39
5	18.08	18.41	19.20	16.08	16.32	16.20	18.79	18.61	18.87
10	18.64	19.69	18.85	17.15	17.04	16.45	18.96	17.49	17.42
15	19.45	19.57	19.85	17.43	17.45	17.76	19.34	18.48	18.01

ตารางค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มุมเอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	ยางใบแอสสำหรับทางเรียบ		ยางใบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน		ยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ		ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนในแต่ละมุม (N/kN)
	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ (N/kN)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ (N/kN)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ (N/kN)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.	
0	17.56	0.28	18.17	0.73	16.72	0.38	17.43
5	18.56	0.57	18.75	0.12	16.20	0.10	17.83
10	19.06	0.55	18.05	0.79	16.88	0.37	17.99
15	19.62	0.19	18.61	0.67	17.54	0.17	18.59

ตารางค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ยางใบแอสสำหรับทางเรียบ

มุมเอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวสัมผัส $A$ ( $\text{mm}^2$ )	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน $C_{r25^{\circ}\text{C}}$ (N/kN)	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ ( $\text{N/kN}\cdot\text{mm}^2$ )
0	2,414	17.56	7.2
5	2,593	18.56	7.1
10	2,511	19.06	7.5
15	2,653	19.62	7.3
$\bar{X}$	2,543	18.70	7.3

ตารางค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ยางใบแอสสำหรับทุกสภาพผิวถนน

มุมเอียง $\theta$ ( $^{\circ}$ )	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวสัมผัส $A$ ( $\text{mm}^2$ )	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน $C_{r25^{\circ}\text{C}}$ (N/kN)	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ ( $\text{N/kN}\cdot\text{mm}^2$ )
0	2,134	18.17	8.5
5	2,203	18.75	8.7
10	2,473	18.05	6.9
15	2,477	18.61	7.8
$\bar{X}$	2,322	18.39	8.0

ตารางค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนต่อหน่วยพื้นที่ยางเรเดียลสำหรับทางเรียบ

มุม เอียง $\theta$ (°)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวสัมผัส A (mm <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความ ต้านทานการหมุน C <sub>r25°C</sub> (N/kN)	สัมประสิทธิ์ความ ต้านทานการหมุนต่อ หน่วยพื้นที่ (N/kN·mm <sup>2</sup> )
0	2,602	16.72	6.3
5	2,509	16.20	6.4
10	2,558	16.88	6.4
15	2,534	17.54	6.9
$\bar{X}$	2,551	16.83	6.5

