

การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แถบส้นขนาดบ้นไหล่ทาง
บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

นายประมุข ปราบจะบก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณทิท
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

**A STUDY OF EFFICIENCY OF SHOULDER RUMBLE
STRIPS ON MOTORWAY**

Pramuk Prabjabok

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Transportation Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2011

การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แถบส้นขนาดบ้นใหม่
บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.รัฐพล ภูบุบผาพันธ์)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.ศิริศดล ศิริธรรม)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ประมุข ปรามจะบก : การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แถบสันระนาบบนไหล่ทางบน
ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (A STUDY OF EFFICIENCY OF SHOULDER RUMBLE
STRIPS ON MOTORWAY) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห,
104 หน้า.

แถบสันระนาบบนไหล่ทางสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถใช้ถนนบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง เพื่อป้องกัน
และเตือนผู้ขับขี่ไม่ให้ขับรถออกนอกเส้นทาง โดยเฉพาะผู้ขับขี่ที่อยู่ในสภาวะหลับใน จากผล
การศึกษาในต่างประเทศ พบว่าการนำแถบสันระนาบบนไหล่ทางมาใช้ เพื่อช่วยให้จำนวนสถิติ
อุบัติเหตุจากการจราจรลดลง ดังนั้นก่อนมีการนำแถบสันระนาบบนไหล่ทางมาใช้จริงในสภาพ
การจราจรของประเทศไทย โดยเฉพาะบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จึงควรมีการศึกษาวิจัย
ผลกระทบต่าง ๆ ของการใช้แถบสันระนาบบนไหล่ทาง ทั้งด้านประสิทธิภาพ ประสิทธิผล ที่มีต่อผู้
ขับขี่โดยตรง ในการวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ
เซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เหลี่ยมโพลีเอสเตอร์ (Transverse Raised
Shoulder Rumble Strips) และแบบปูมูนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking) บน
ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง โดยทำการวัดค่าแรงสั่นสะเทือนในห้องโดยสารภายในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล
บริเวณตำแหน่งแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งผู้ขับขี่ คอพวงมาลัย และพื่นรถข้างคนขับ
เปรียบเทียบกรณีการทดสอบระหว่างขับรถทดสอบผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ
เซาะร่อง ด้วยระดับความเร็วของรถทดสอบที่ 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. 80 กม./ชม.
100 กม./ชม. และ 120 กม./ชม. ซึ่งจากผลการวิจัยในการทดสอบแถบสันระนาบบนไหล่ทางทั้ง 3
แบบ พบว่า ความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยมี
แนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม

PRAMUK PRABJABOK : A STUDY OF EFFICIENCY OF SHOULDER
RUMBLE STRIPS ON MOTORWAY. THESIS ADVISOR : ASSOC.
PROF. VATANAVONGS RATANAVARAHA, Ph.D., 104 PP.

MILLED IN SHOULDER RUMBLE STRIPS/TRANSVERSE RAISED SHOULDER
RUMBLE STRIPS/THERMOPLASTIC PROFILE MARKING/SPEED/VIBRATION
LEVEL

The purposes of using Shoulder Rumble Strips on motorway are to protect and taking awareness of road user from running-off roadway accident, especially for the driver who feel asleep while driving. The result in many country shows that shoulder rumble strip can reduce a number of traffic accidents. Therefore, shoulder rumble strip is applied in the real traffic situation of Thailand, especially on motorway. There is no study of the effectiveness of shoulder rumble strip in Thailand. The efficiency of Milled in Shoulder Rumble Strip, Transverse Raised Shoulder Rumble Strips and Thermoplastic Profile Marking are analyzed by measuring the level of vibration inside the vehicle at the position of driver seat, steering wheel and car's floor, while the testing car's speed are 40 km./hr. 60 km./hr. 80 km./hr. 100 km./hr. and 120 km./hr. The result of the measured vibration is compared with the ambient condition in order to determine the increasing vibration of the tested car. The result shows that the relationship between the speed and vibration has a positive correlation.

School of Transportation Engineering

Academic Year 2011

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำอบรมสั่งสอน และเป็นทีที่ปรึกษาตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้ลุล่วงด้วยดี นอกจากนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ ดร.ศิริชล ศิริธร และอาจารย์ ดร.รัฐพล ภูมุปภาพันท์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อคณะบุคคลจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาวิจัย ให้ข้อมูล และช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ดร.พลเทพ เลิศรวนิช ที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ ด้วยความยินดีเสมอมา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ สัตยมัลลิต ที่เป็นผู้ริเริ่มให้ผู้เขียนได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ในเรื่องแถบสันระนาบบนไหล่ทาง

ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งต่อบุคคลที่แวดล้อมและมีส่วนสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย คุณไกรสิทธิ์ ทิพย์วงศ์ คุณดารินทร์ งามสม คุณจรรย์าภรณ์ และเจ้าหน้าที่ในศูนย์เทคโนโลยีประยุกต์ด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ ทุกท่าน ผู้เขียนขอขอบพระคุณในความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคุณอาจารย์ และบุคลากรในสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทุกท่านที่ให้การปรึกษาและความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้เลย หากผู้เขียนมิได้รับกำลังใจสนับสนุน ทั้งทางด้านกำลังความคิด กำลังกาย และกำลังใจ ที่เข้มแข็ง จากบุพการีทั้งสองท่านของผู้เขียนถึงแม้ว่าท่านจะล่วงลับไปแล้ว แต่ท่านทั้งสองยังคงอยู่ในใจของผู้เขียนเสมอมา ด้วยคุณงามความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบเป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้มีพระคุณทุกท่าน

ประมุข ปราบจะบก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	3
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ลักษณะรูปแบบของแถบสั่นระนาด.....	4
2.2 ชนิดของแถบสั่นระนาด.....	5
2.3 ลักษณะรูปแบบของแถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง (Shoulder rumble Strips).....	7
2.4 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียงและการสั่นสะเทือน.....	11
2.4.1 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ที่อยู่ในสถานการณ์เหม่อลอย.....	11
2.4.2 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่แบบทันทีทันใด.....	12
2.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแถบสั่นระนาด.....	12
2.6 การศึกษาการกระตุ้นเตือนผู้ใช้งานจากแถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง.....	15
2.6.1 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียง.....	15
2.6.2 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยแรงสั่นสะเทือน.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	23
3.1 รูปแบบการวิจัย.....	23
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	23
3.3 บริเวณที่ติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทาง.....	24
3.4 ลักษณะของแถบสันระนาบบนไหล่ทางและวิธีการติดตั้ง.....	25
3.4.1 ลักษณะของ Thermoplastic Profiled Marking และวิธีการติดตั้ง.....	25
3.4.2 ลักษณะของ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และวิธีการติดตั้ง.....	28
3.4.3 ลักษณะของ Milled in Shoulder Rumble Strips และวิธีการติดตั้ง.....	30
3.5 เครื่องมือการวิจัย.....	33
3.6 ขั้นตอนการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล.....	35
3.6.1 ดำรวจข้อมูลวัดค่าการสันสะเทือน.....	35
3.6.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	36
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One - way ANOVA).....	41
4 ผลการศึกษา.....	45
4.1 บทนำ.....	45
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	45
4.3 ผลการทดสอบการสันสะเทือนของ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	46
4.3.1 ผลการทดสอบการสันสะเทือนเบาะนั่งผู้ขับขี่.....	46
4.3.2 ผลการทดสอบการสันสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์.....	48
4.3.3 ผลการทดสอบการสันสะเทือนพื้นรถด้านผู้ขับขี่.....	50
4.4 ผลการทดสอบการสันสะเทือนของ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	59
4.4.1 ผลการทดสอบการสันสะเทือนเบาะนั่งผู้ขับขี่.....	59
4.4.2 ผลการทดสอบการสันสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3 ผลการทดสอบการสันสะเทือนพื้นรูดด้านผู้ขับขี่.....	63
4.5 ผลการทดสอบการสันสะเทือนของ Thermoplastic Profile Marking.....	71
4.5.1 ผลการทดสอบการสันสะเทือนเบาะนั่งผู้ขับขี่.....	71
4.5.2 ผลการทดสอบการสันสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์.....	73
4.5.3 ผลการทดสอบการสันสะเทือนพื้นรูดด้านผู้ขับขี่.....	74
4.6 สรุปผลการวิเคราะห์แรงสันสะเทือนในการทดสอบแถบสันระนาด บนไหล่ทาง.....	84
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ระดับเสียงที่เกิดจากภาคการขนส่ง โดยทั่วไป (วัดภายในห้องโดยสาร).....	16
2.2	ระดับเสียงที่เกิดจากแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่องและแบบกลิ้งทับ.....	18
3.1	แสดงสถิติอุบัติเหตุที่เกิดมากที่สุดบนทางหลวงหมายเลข 7.....	24
3.2	ข้อมูลเกี่ยวกับรถทดสอบ.....	34
3.3	แสดงการหาค่า F-test.....	43
4.1	แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	47
4.2	แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอกพวงมาลัยรถยนต์ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	49
4.3	แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	51
4.4	แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านแถบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	52
4.5	แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบไม่ผ่านแถบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	53
4.6	แสดงค่าความแตกต่างของระดับแรงสั่นสะเทือนระหว่างผ่านและไม่ผ่านแถบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	53
4.7	การทดสอบ Test of Homogeneity of Variances (แบบ Milled in SRS ที่เบาะ นั่งคนขับ).....	56
4.8	แสดงการทดสอบ Robust Tests of Equality of Means (แบบ Milled in ที่เบาะ นั่งคนขับ).....	56
4.9	แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Milled in ที่พวงมาลัย).....	56
4.10	แสดงผล ANOVA (แบบ Milled in ที่พวงมาลัย).....	57
4.11	แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Milled in ที่พื้นรถ).....	57
4.12	แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Milled in ที่พื้นรถ).....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั่นสะเทือนในแต่ละจุดแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	58
4.14 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	59
4.15 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลย์รถยนต์ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	61
4.16 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	63
4.17 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านแถบ Transverse Raised SRS.....	64
4.18 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบไม่ผ่านแถบ Transverse Raised SRS.....	65
4.19 แสดงค่าความแตกต่างของระดับแรงสั่นสะเทือนกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่านแถบ Transverse Raised SRS.....	65
4.20 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Transverse Raised ที่เบาะนั่ง คนขับ).....	68
4.21 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Transverse Raised ที่เบาะนั่ง คนขับ).....	68
4.22 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลย์).....	68
4.23 แสดงผล ANOVA (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลย์).....	69
4.24 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลย์).....	69
4.25 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลย์).....	69
4.26 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั่นสะเทือนในแต่ละจุดของ แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	70
4.27 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking.....	71
4.28 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลย์รถยนต์ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking.....	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.29 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking.....	75
4.30 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking.....	76
4.31 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking.....	77
4.32 แสดงค่าความแตกต่างของระดับแรงสั่นสะเทือนระหว่างกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking.....	77
4.33 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่เบาะนั่งคนขับ).....	80
4.34 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่เบาะนั่งคนขับ).....	80
4.35 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พวงมาลัย).....	81
4.36 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พวงมาลัย).....	81
4.37 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พื้นรถ).....	82
4.38 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พื้นรถ).....	82
4.39 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั่นสะเทือนในแต่ละจุดของแบบ Thermoplastic Profile Marking.....	83
5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่.....	86
5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัย.....	87
5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถข้างคนขับ.....	88

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่าง Rumble Strips แบบนูน.....	4
2.2 ตัวอย่าง Rumble Strips แบบขุด.....	5
2.3 แถบสันระนาดบนผิวแบบพาดขวางช่องจราจร (Traveled Way Rumble Strips).....	6
2.4 แถบสันระนาดบนไหล่ทาง (Shoulder Rumble Strip).....	6
2.5 แถบสันระนาดบนเส้นแบ่งช่องจราจร (Centerline Rumble Strip).....	7
2.6 ตัวอย่าง Milled in Shoulder Rumble Strips.....	8
2.7 ตัวอย่าง Rolled Shoulder Rumble Strips.....	8
2.8 แถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบหลุมผิว (Formed SRS).....	9
2.9 ตัวอย่าง Raised Shoulder Rumble Strips.....	9
2.10 ชนิดของแถบ Rumble Strips.....	13
2.11 คำจำกัดความของการออกแบบแถบ Rumble Strips.....	14
3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	24
3.2 ช่วงการติดตั้ง SRS ที่ใช้ทดสอบ.....	25
3.3 รูปแบบการติดตั้ง Thermoplastic Profiled Marking ที่ใช้ทดสอบ.....	26
3.4 ขณะดำเนินการติดตั้ง Thermoplastic Profiled Marking.....	27
3.5 ลักษณะ Thermoplastic Profiled Marking หลังติดตั้งแล้วเสร็จ.....	27
3.6 (a) รูปแบบการติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	28
3.6 (b) รูปแบบการติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	29
3.7 การติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....	29
3.8 ลักษณะ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips หลังติดตั้งแล้วเสร็จ.....	30
3.9 รูปแบบการติดตั้ง Milled in Shoulder Rumble Strips.....	31
3.10 การติดตั้ง Milled in Shoulder Rumble Strips.....	32
3.11 ลักษณะ Milled in Shoulder Rumble Strips หลังติดตั้งแล้วเสร็จ.....	32
3.12 ตัววัดแรงสั่นสะเทือนยี่ห้อ Crossbow รุ่น CXL04M3 Tri Axial.....	33
3.13 รถยนต์นั่งส่วนบุคคล Honda Accord 2.3 VTi ที่ใช้ในการทดสอบ.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 รูปแบบของการทดสอบให้รดยนต์วิ่งผ่านแถบ SRS.....	36
3.15 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่หลังติดตั้งแล้วเสร็จ.....	37
3.16 ลักษณะของเซ็นเซอร์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่.....	38
3.17 ลักษณะของเซ็นเซอร์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลย์รดยนต์หลังติดตั้งแล้วเสร็จ.....	38
3.18 ลักษณะของเซ็นเซอร์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรดยนต์หลังติดตั้งแล้วเสร็จ.....	39
3.19 การทดสอบภาคสนามกรณีขับผ่าน Milled in Shoulder Rumble Strips โดยใช้รดยนต์นั่งส่วนบุคคล.....	39
3.20 การทดสอบภาคสนามกรณีขับผ่าน Thermoplastic Profile Marking โดยใช้รดยนต์นั่งส่วนบุคคล.....	40
3.21 การทดสอบภาคสนามกรณีขับผ่าน Transverse Raised Shoulder Rumble Strips โดยใช้รดยนต์นั่งส่วนบุคคล.....	40
4.1 ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	47
4.2 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ระหว่างขับรดยนต์และไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	48
4.3 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลย์รถในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	49
4.4 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลย์รดยนต์ระหว่างขับรดยนต์และไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	50
4.5 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรดยนต์ด้านคนขับในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	51
4.6 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรดยนต์ด้านคนขับระหว่างขับรดยนต์และไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	ค่าแรงสันสะเทือนกรณีเหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....
	53
4.8	ค่าแรงสันสะเทือนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....
	54
4.9	เปรียบเทียบค่าแรงสันสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips.....
	54
4.10	ค่าแรงสันสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	60
4.11	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสันสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	60
4.12	เปรียบเทียบค่าแรงสันสะเทือนบริเวณคอพวงมาลัยรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	62
4.13	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสันสะเทือนบริเวณคอพวงมาลัยรถยนต์ระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strip.....
	62
4.14	เปรียบเทียบค่าแรงสันสะเทือนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	63
4.15	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสันสะเทือนบริเวณพื้นรถยนต์ด้านคนขับระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	64
4.16	ค่าแรงสันสะเทือนกรณีเหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	65
4.17	ค่าแรงสันสะเทือนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	66
4.18	เปรียบเทียบค่าแรงสันสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัยและพื้นรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips.....
	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19	ค่าแรงสั้นสะท้อนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking 72
4.20	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั้นสะท้อนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ระหว่างขับรถผ่าน และไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking 72
4.21	เปรียบเทียบค่าแรงสั้นสะท้อนบริเวณคอปวงมาลัยรถในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking 73
4.22	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั้นสะท้อนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์ระหว่าง ขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking 74
4.23	เปรียบเทียบค่าแรงสั้นสะท้อนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking 75
4.24	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั้นสะท้อนบริเวณพื้นรถยนต์ด้านคนขับระหว่างขับ รถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking 76
4.25	ค่าแรงสั้นสะท้อนกรณีเหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการ ทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking 78
4.26	ค่าแรงสั้นสะท้อนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถใน การทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking 78
4.27	ค่าแรงสั้นสะท้อนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking 79
5.1	เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั้นสะท้อนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่แต่ละรูปแบบ 86
5.2	เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั้นสะท้อนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่แต่ละรูปแบบ 87
5.3	เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั้นสะท้อนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่แต่ละรูปแบบ 88
5.4	เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั้นสะท้อนในการทดสอบแบบ Milled in SRS 89
5.5	เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั้นสะท้อนในการทดสอบแบบ Transverse Raised SRS 89
5.6	เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั้นสะท้อนในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profiled Marking 90

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กม./ชม.	=	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
มม.	=	มิลลิเมตร
ม.	=	เมตร
SRS	=	Shoulder Rumble Strips
CRSs	=	Centerline Rumble Strips
LRSs	=	Laneline Rumble Strips
TRSs	=	Transverse Rumble Strips
dB(A)	=	Decibel (A)
psi	=	pound per square inch
kg	=	kilograms



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

แถบสั่นระนาด (Rumble Strips) เป็นเครื่องหมายบนผิวทาง (Marking or Road Marking) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเตือนผู้ขับขี่ให้เพิ่มความระมัดระวังในการใช้เส้นทาง ซึ่งแถบสั่นระนาดจะทำการติดตั้งลงบนผิวจราจร โดยให้มีความกว้าง ความยาว และความหนา ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในแต่ละประเภทของการใช้งาน โดยที่รูปแบบของการติดตั้งแถบสั่นระนาดนี้ อาจติดตั้งให้ตั้งฉากหรือแนวเดียวกับทิศทางของการจราจร ทั้งนี้ก็เพื่อกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ในขณะที่ขับรถผ่านชุดของแถบสั่นระนาดให้ลดความเร็วลง และเกิดความระมัดระวังต่อการเกิดอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากถนนและสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นที่เปลี่ยนไปจากสภาพปกติ เช่น บริเวณทางโค้งอันตราย ในบริเวณย่านเขตชุมชนเป็นจุดที่ต้องการให้ลดความเร็ว หรือบริเวณถนนที่มีจุดตัดจากทางม้าลาย ทางเชื่อม และบริเวณทางร่วมทางแยก

จากรายงานการศึกษาวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน Rumble Strips เพื่อลดความเร็วจราจร ของกรมทางหลวง (2553) ได้กล่าวถึงแถบสั่นระนาดโดยทั่วไปจะก่อให้เกิดเสียงต่อผู้ขับขี่และเกิดการสั่นสะเทือนภายในตัวรถเมื่อมีการใช้ความเร็วตั้งแต่ 40 กม./ชม. และจะมีเสียงดังเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อผู้ขับขี่ใช้ความเร็วสูงขึ้น การวัดความดังของเสียงภายในตัวรถนั้นโดยปกติจะทำการวัดที่บริเวณพนักพิงศีรษะหรือที่บริเวณคอพวงมาลัยของรถ ซึ่งในความเร็วที่ 40 กม./ชม. นั้นความดังของเสียงจะมีค่ามากขึ้น 15 db ในกรณีวัดที่พนักพิงศีรษะ และ 10 db ในกรณีที่วัดที่พวงมาลัย นอกจากนี้แล้วความหนาของแถบสั่นระนาดยังมีผลต่อความดังที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ถ้าความหนามีค่ามากขึ้น ความดังของเสียงก็จะมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน

ในกรณีที่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ควบคุมการจราจร (Traffic Control Devices) บนทางหลวงในบริเวณที่ต้องการให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว เช่น ป้ายเตือน ไฟสัญญาณ ที่มีการติดตั้งไว้แล้ว การติดตั้งแถบสั่นระนาดจะพิจารณาเฉพาะจุดที่จำเป็นเท่านั้น เพราะเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบ่อยจนเกินไปอาจสร้างมลภาวะทางเสียงให้กับผู้ที่ทำงานหรือผู้ที่พักอาศัยบริเวณนั้น ๆ ได้

จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุจราจรที่เกิดขึ้นบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง หมายเลข 7 ของกรมทางหลวง พบว่าระหว่างปี 2549 – 2551 มีอุบัติเหตุประเภทที่รถหลุดออกจากช่องทางวิ่ง (Run-off roadway accident) มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุจราจรภายในช่วงระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการเก็บข้อมูลมีจำนวน 5 ครั้งต่อกิโลเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาโดยเน้นพิจารณาถึง

รูปแบบของแถบสันระนาดบนไหล่ทางที่สามารถนำมาประยุกต์เพื่อติดตั้งบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ของกรมทางหลวง โดยพิจารณาถึงระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นต่อยานพาหนะทดสอบที่ใช้ความเร็วต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาระดับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในห้องโดยสารของรถทดสอบบริเวณตำแหน่งต่าง ๆ ที่จะทำให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้ถึงแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษานำร่องเบื้องต้นเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพในการใช้งานแถบสันระนาดรูปแบบต่าง ๆ บนไหล่ทาง ของทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองในสภาพการจราจรปกติของทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบปุ่มนูนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking) ที่มีผลต่อผู้ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล ในระดับความเร็วของรถที่แตกต่างกันขณะขับผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง โดยการวัดผลทดสอบในรูปแบบระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งพวงมาลัยรถ เบาะนั่งคนขับ และพื้นรถ ซึ่งการวิจัยนี้มีเป้าหมายที่สำคัญ สรุปได้ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาระดับความสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ พวงมาลัยรถ พื้นรถ และเบาะนั่งคนขับ ที่ส่งผลต่อความรู้สึกของผู้ขับขี่ ในการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (ยี่ห้อ Honda รุ่น Accord ปี 2001) เป็นรถทดสอบวิ่งผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบปุ่มนูนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking)

1.2.2 เพื่อศึกษาระดับแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถที่มีผลในการกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล ขณะขับผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง ในสภาวะความเร็ว 40 , 60, 80, 100 และ 120 กม./ชม.

1.2.3 เพื่อพิจารณาคงสมบัติและประสิทธิภาพด้านแรงสั่นสะเทือนของแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบปุ่มนูนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking) บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ดำเนินการศึกษารูปแบบการจัดทำแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบป้อนบนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking)

1.3.2 ทดสอบและประเมินระดับความแตกต่างของการสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบระหว่างกรณีที่ยึดและไม่ยึดแถบสันระนาบบนไหล่ทางในตำแหน่งของการสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถ โดยมีเงื่อนไขกำหนดให้รถทดสอบเป็นรถนั่งส่วนบุคคล และผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมการทดสอบเป็นผู้ขับขี่ที่ตื่นตัวขณะทำการทดสอบ

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรม และรูปแบบของแถบสันระนาบบนไหล่ทาง เพื่อสืบค้นความเป็นมา และผลการใช้งานแถบสันระนาบบนไหล่ทางในต่างประเทศ

1.4.2 พิจารณาคูณสมบัติและประสิทธิภาพของแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบป้อนบนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking)

1.4.3 ทดสอบและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระดับแรงสั่นสะเทือนเมื่อขับยานพาหนะที่ยึดและไม่ยึดแถบสันระนาบบนไหล่ทาง เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ และประเมินผลการทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1.5.1 ทราบถึงรูปแบบการดำเนินการติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทางในต่างประเทศ และประสิทธิภาพการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

1.5.2 ทราบคุณสมบัติของแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบป้อนบนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking)

1.5.3 ได้เรียนรู้ประสิทธิภาพของแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบเส้นสี่เทอร์โมพลาสติก (Transverse Raised Shoulder Rumble Strips) และแบบป้อนบนบนเส้นขอบทาง (Thermoplastic Profile Marking) ในเรื่องระดับการสั่นสะเทือนภายในตัวรถของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการศึกษาวิจัยคุณสมบัติและประสิทธิภาพของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง (Shoulder Rumble Strips) นี้ ได้มีการศึกษาทบทวนข้อมูลคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับแถบสันระนาดบนไหล่ทางที่ใช้งานในต่างประเทศ อาทิเช่น ชนิดโดยทั่วไปของแถบสันระนาด ลักษณะของรูปแบบแถบสันระนาด คุณสมบัติของการกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียง และการสั่นสะเทือน ผลการศึกษาระดับเสียงของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง ผลการศึกษาระดับการสั่นสะเทือนของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง ระดับเสียงในสภาพแวดล้อมปกติ ลักษณะของการออกแบบแถบสันระนาดบนไหล่ทาง และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องแถบสันระนาด เป็นต้น

2.1 ลักษณะรูปแบบของแถบสันระนาด

โดยทั่วไปแล้วลักษณะหรือกายภาพของแถบสันระนาดสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะของการติดตั้ง ได้แก่ ลักษณะของแถบสันระนาดที่นูนขึ้นมาจากพื้นผิวจราจร และลักษณะของแถบสันระนาดที่ขยุบหรือเป็นร่อง (แบบขุด) ลงไปบนพื้นผิวจราจร

2.1.1 ลักษณะของแถบสันระนาดแบบนูนสูงกว่าผิวจราจรปกติ อาจติดตั้งโดยการทำให้มีความหนากว่าพื้นผิวจราจรหรือมีความหนากว่าเส้นจราจรปกติ โดยให้นูนสูงขึ้นมา หรืออาจเป็นการติดตั้งแถบสติ๊กเกอร์บนพื้นผิวจราจร หรืออาจเป็นการติดตั้งแถบยาง หรือเป็นการก่อสร้างแถบสันระนาดเพิ่มเติม โดยให้เป็นผิวเดียวกันกับผิวจราจรเดิมหรือผิวจราจรที่แตกต่างจากผิวจราจรปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่าง Rumble Strips แบบนูน

ที่มา : <http://safety.fhwa.dot.gov/>

2.1.2 ลักษณะของแถบสันระนาบแบบเว้าต่ำกว่าผิวจราจรปกติหรือแบบขูด ซึ่งเกิดจากการใช้เครื่องกัดผิวจราจรให้เป็นร่อง หรือการใช้เครื่องกดทับลงบนผิวจราจรขณะที่กำลังก่อสร้างผิวจราจร หรือการใช้อุปกรณ์วางเป็นแบบร่องบนผิวจราจร เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



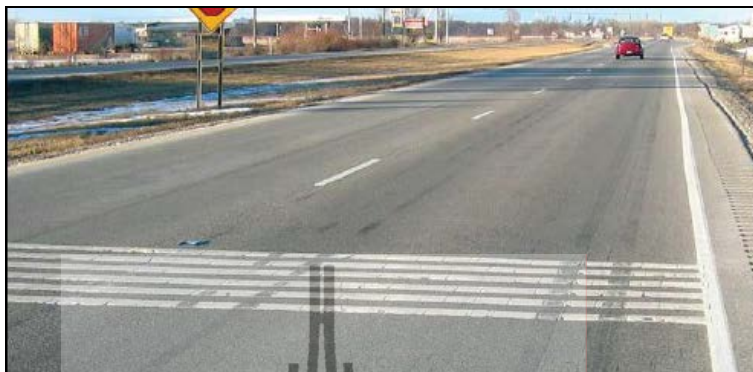
รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง Rumble Strips แบบขูด

ที่มา : <http://www.sabre-roads.org.uk/>

2.2 ชนิดของแถบสันระนาบ

แถบสันระนาบสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ลักษณะตามตำแหน่งของการติดตั้งบนถนนหรือบนพื้นผิวจราจร ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 แถบสันระนาบบนผิวแบบพาดขวางช่องจราจร (Roadway Rumble Strips or Traveled Way Rumble Strips) เป็นชุดของแถบสันระนาบ ที่วางตั้งฉากกับทิศทางของการจราจรเพื่อกระตุ้นเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว และขับขี่ด้วยความระมัดระวัง โดยติดตั้งบนพื้นผิวช่องจราจรเพื่อเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็วหรือเพิ่มความระมัดระวังในการขับร่นผ่าน บริเวณที่อาจมีการติดตั้งแถบสันระนาบบนผิวจราจร ได้แก่ จุดก่อนถึงทางโค้ง หรือทางร่วมทางแยกบนถนนสายหลัก หรือก่อนถึงด่านเก็บค่าผ่านทาง หรือจุดก่อนถึงบริเวณที่มีการปรับปรุงก่อสร้างทางหลวง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แถบสั่นระนาดบนผิวแบบพาดขวางช่องจราจร (Traveled Way Rumble Strips)

ที่มา : <http://safety.fhwa.dot.gov/>

2.2.2 แถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง (Shoulder Rumble Strips) เป็นชุดของแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางที่วางตั้งฉากกับทิศทางของการจราจรบนไหล่ทางหรือบนเส้นขอบทาง มีจุดประสงค์เพื่อกระตุ้นเตือนให้ผู้ขับขี่เพิ่มความระมัดระวังในการขับขี่ หรือกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่จากการที่รถอาจจะวิ่งตกลงข้างทางเนื่องจากวิ่งออกนอกช่องจราจร จุดที่ดำเนินการติดตั้งอาจจะเป็นจุดที่มีปัญหาอุบัติเหตุจราจรจากการที่ผู้ขับขี่หลับในตกลงข้างทางบ่อยครั้ง หรืออาจจะเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความความกว้างไหล่ทาง หรือการเตือนก่อนถึงคอสะพาน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง (Shoulder Rumble Strip)

ที่มา : <http://www.fhwa.dot.gov/>

2.2.3 แถบสันระนาบบนเส้นจราจรแบ่งทิศทางจราจรหรือบนเส้นศูนย์กลางถนน (Centerline Rumble Strips) เป็นชุดของแถบสันระนาบที่วางตามแนวเส้นจราจรศูนย์กลางของถนน ที่ร่ว่งสวนทางกันได้ เป็นถนนที่ไม่มีเกาะกลางถาวร (Undivided Highways) จุดประสงค์เพื่อกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ไม่ให้ขับรถล้ำเข้าไปในช่องจราจรของรถที่วิ่งสวนมาในทิศทางตรงกันข้าม ตำแหน่งของการติดตั้งที่พบบ่อย ได้แก่ บริเวณเส้นกึ่งกลางถนนในช่วงบริเวณทางโค้งที่เป็นถนน 2 ช่องจราจร หรือบริเวณเส้นกึ่งกลางถนนที่เป็นถนนทางตรงที่มีระยะทางของช่วงที่ค่อนข้างยาว เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แถบสันระนาบบนเส้นแบ่งช่องจราจร (Centerline Rumble Strip)

ที่มา : <http://safety.fhwa.dot.gov/>

2.3 ลักษณะรูปแบบของแถบสันระนาบบนไหล่ทาง (Shoulder rumble Strips)

ในปัจจุบัน แถบสันระนาบบนไหล่ทางที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมีจำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ แบบที่ 1 แถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) แบบที่ 2 แถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบกลิ้งทับ (Rolled Shoulder Rumble Strips) แบบที่ 3 แถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบหล่่มผิวหรือกดผิว (Formed Shoulder Rumble Strips) และแบบที่ 4 แบบยกสันด้วยวัสดุอื่น ๆ (Raised Shoulder Rumble Strips) ในต่างประเทศจะนิยมใช้้อย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 แบบคือ แบบเซาะร่อง และแบบกลิ้งทับ สำหรับการเลือกใช้แถบสันระนาบบนไหล่ทางชนิดใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการติดตั้งและรูปร่างของแถบสันระนาบบนไหล่ทาง รวมทั้งความสามารถในการสร้างแรงสั่นสะเทือน และระดับความดังของเสียงที่เกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกรถ

2.3.1 แถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) เหมาะสำหรับติดตั้งบนไหล่ทางใหม่หรือไหล่ทางเดิม เนื่องจากสามารถใช้เครื่องจักร (Roto-milling Machine) ทำการเซาะร่องให้เรียบได้ง่าย ซึ่งแบบเซาะร่องเป็นรูปแบบของแถบสันระนาดบนไหล่ทางที่มีระยะห่างของแถบร่องสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการกระแทกของล้อ และเกิดเสียงเตือนในระดับที่ค่อนข้างสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่าง Milled in Shoulder Rumble Strips

ที่มา : Federal Highway Administration, 2003

2.3.2 แถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบกลิ้งทับ (Rolled Shoulder Rumble Strips) เป็นแถบสันระนาดที่ดำเนินการติดตั้งโดยการกดผิวทางลาดยางใหม่ที่ยังคงร้อนอยู่ด้วยลูกกลิ้งซึ่งทำจากท่อเหล็กเชื่อมติดกับแกน ทำให้เกิดเป็นร่องครึ่งวงกลมหรือรูปตัววี จากผลการวิจัยพบว่าแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบกลิ้งทับจะทำให้เกิดระดับความดังของเสียงและการสั่นสะเทือนต่ำกว่าแบบเซาะร่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง Rolled Shoulder Rumble Strips

ที่มา : Federal Highway Administration, 2001.

2.3.3 แถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบหล่มผิว (Formed Shoulder Rumble Strips) เป็นแถบสันระนาดที่ดำเนินการติดตั้งโดยการกดผิวคอนกรีตสดให้เป็นคลื่น หลังจากที่เทคอนกรีตและแต่งผิวเสร็จใหม่ ๆ โดยอาจทำเป็นรูปแบบต่อเนื่องหรือทำเป็นช่วง ๆ ซึ่งในแต่ละช่วงจะมีจำนวนลอน 5-7 ลอนมีระยะห่างระหว่างช่วงประมาณ 15 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบหล่มผิว (Formed SRS)

ที่มา : Federal Highway Administration, 2001.

2.3.4 แถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบยกสัน (Raised Shoulder Rumble Strips) แถบสันระนาดบนไหล่ทางนี้สามารถทำได้จากวัสดุหลากหลายชนิดและมีวิธีการติดตั้งที่แตกต่างกัน ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้สร้างแถบสันระนาดบนไหล่ทางจะเป็นสีเทอร์โมพลาสติก (Raised Pavement Marking) หรือแบบที่สร้างด้วยแอสฟัลท์ (Raised Asphalt Bar) หรือแบบที่ทำจากแถบสติ๊กเกอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Raised Shoulder Rumble Strips

ที่มา : <http://www.filtronaextrusion.com>

ซึ่งจากรูปแบบของแถบสันระนาดบนไหล่ทางทั้ง 4 รูปแบบที่กล่าวมาข้างต้น ในต่างประเทศได้มีการศึกษาประสิทธิภาพและประโยชน์ของ SRS โดยมีงานวิจัยและการศึกษาหลายฉบับได้มีการนำเสนอเกี่ยวกับการใช้งานจริงของ SRS ตั้งแต่ปี 1984 ดังนี้

Higgings และ Barbel (1984) ได้ทำการวิจัยในรัฐ Illinois ในปี 1984 โดยวิเคราะห์ถึงการเกิดเสียงและการสั่นสะเทือนอันเกิดจาก SRS แต่ไม่ได้ศึกษาถึงเสียงภายนอกตัวรถและความแตกต่างของรูปร่างของ SRS การศึกษาพบว่า SRS สามารถก่อให้เกิดเสียงความถี่ต่ำที่ทำให้เกิดความถี่เสียงถึง 7 dB มากกว่าบนถนนปกติ (normal pavement) ซึ่งโดยปกติจะทำการวัดความถี่เสียงส่วนใหญ่จะอยู่ที่ย่านความถี่ 50-160 Hz

Ligon และคณะ (1985) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแบบ Chi-square ของข้อมูลก่อน-หลังการเกิดอุบัติเหตุบน freeway และ expressway ที่มี SRS ในปี 1985 การวิจัยในพื้นที่ทดสอบพบว่า สามารถลดอุบัติเหตุได้ถึง 19.8% และในพื้นที่ควบคุมสามารถลดอุบัติเหตุได้ถึง 9.3% ทางที่วิจัยของ Ligon ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่มีนัยสำคัญที่แตกต่างกันระหว่างค่า ADT ที่สูง และ ค่า ADT ที่ต่ำ ช่วงระยะเวลากลางวันและกลางคืน ความกว้างของไหล่ทาง

ในปี 1993 Cheng และคณะ ได้นำเสนอการวิเคราะห์ก่อน-หลังการเกิดอุบัติเหตุในช่วงปี 1990-1992 บนถนนในรัฐ Utah ผลการศึกษาพบว่าบนทาง freeway ที่ไม่มี SRS จะมีอัตราการเกิด Run-off-road crash (ROR) ได้มากกว่า (33.4%) เมื่อเปรียบเทียบกับที่มีการใช้ SRS จะมีอัตราการเกิด ROR 26.9% นอกจากนี้แล้วถนนที่เป็นผิวลาดยางที่มีการติดตั้ง SRS อย่างต่อเนื่องและติดตั้งไว้ใกล้ ๆ กับช่องจราจรจะมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุน้อยกว่าถนนผิวคอนกรีตที่ติดตั้ง SRS ไม่ต่อเนื่องและมีระยะห่างจากช่องจราจร ในการวิจัยยังได้บอกอีกว่าจากการสำรวจผู้ขับขี่รถจักรยานแบบไม่เป็นทางการจำนวน 126 ตัวอย่าง จะคำนึงถึงการจัดวาง SRS โดย 46% เห็นว่า ควรมีการจัดวาง SRS ใกล้กับเส้นขอบทาง ในขณะที่ 35% เห็นว่าควรจัดวาง SRS ใกล้กับขอบไหล่ทาง

ในปี 1994 Wood ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของแถบสันระนาด 5 รูปแบบ ที่ความระยะห่างของแถบแตกต่างกัน เรียกว่า Sonic Nap Alert Pattern (SNAP) ทำการติดตั้งบนทางด่วนในรัฐ Pensilvania จากผลการประเมินพบว่า ช่วยลดการชนแบบ Drift-off-road (DOR) ได้ถึง 70% จากการติดตั้ง SRS ตลอดเส้นทางด่วน

Khan และ Bacchus (1995) ได้แสดงให้เห็นข้อดีทางด้านเศรษฐศาสตร์และความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่จักรยานบนไหล่ทางหลวงในปี 1995 ซึ่งได้แสดงความคิดเห็นว่าการติดตั้ง SRS ช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับสัดส่วนการลงทุนเพราะจะได้กำไรมากกว่าเงินที่ลงทุน

จากนั้น Hickey ได้นำผลการวิจัยเบื้องต้นของ Wood ที่ได้มีการศึกษาไว้มาทำการทบทวนใหม่ในปี 1997 และได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณจราจรเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิด

อุบัติเหตุต่อระยะทางการเดินทาง จากการศึกษาพบว่าจำนวนร้อยละของการเกิดอุบัติเหตุจาก 70% ลดลงมาเป็น 65%

Perrillo ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจาก New York State Department of Transportation (NYSDOT) และ New York State Thruway Authority (NYSTA) ในปี 1988 เพื่อแสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ก่อนและหลังทำการศึกษาโดยผลจากการวิเคราะห์จากหน่วยงานทั้งสองข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้ง SRS ช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุได้อย่างน้อย 65% ในการเกิดการชนแบบ ROR บน rural interstate และบน Parkway

จากการศึกษาในปี 1999 Griffith ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่รัฐแคลิฟอร์เนียและรัฐอิลลินอยส์ และได้ทำการประเมินความปลอดภัยจากการติดตั้ง SRS บน freeway ดำเนินการศึกษาตามทิศทางการเดินทางซึ่งในเบื้องต้นพบว่าสาเหตุอุบัติเหตุจากการหลับในจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ไม่สามารถระบุประเภทของการชนได้ จึงได้มีการวิเคราะห์ในแนวทางอื่นแทนโดยการวิเคราะห์จากแอลกอฮอล์และการใช้ยาของผู้ขับขี่ ผลจากการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่า การติดตั้ง SRS อย่างต่อเนื่องสามารถลดการชนแบบ single-vehicle ROR ได้เฉลี่ย 18.3% บน freeway ทุกประเภท (ไม่ได้แยกพิจารณาสำหรับถนนในเมืองและถนนนอกเมือง) และลดได้ 21.1% บน rural freeways

2.4 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียงและการสั่นสะเทือน

สำหรับการกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่สามารถแบ่งการกระตุ้นเตือนออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การกระตุ้นเตือนขณะผู้ขับขี่ขณะอยู่ในสถานะเหม่อลอย และการกระตุ้นเตือนแบบจับพลาถัน ซึ่งทั้ง 2 ระดับนี้จะใช้การกระตุ้นเตือนด้วยเสียงและการสั่นสะเทือน ซึ่งเป็นระบบเตือนผู้ขับขี่แบบเฉียบพลันที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการเตือนผู้ขับขี่ถึงสถานการณ์ข้างหน้า

2.4.1 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ที่อยู่ในสถานการณ์เหม่อลอย

สำหรับที่สถานการณ์ในระดับแรกที่เกิดกับผู้ขับขี่เป็นเหตุการณ์ที่อยู่ในสภาพเหม่อลอย สภาพอ่อนล้า หรือสภาพอาการเมา เมื่อผู้ขับขี่อยู่ในสภาพสถานการณ์ดังกล่าว เมื่อผู้ขับขี่ขับผ่านแถบสัญญาณคั่นไหล่ทาง การสั่นสะเทือนและเสียงจะช่วยในการกระตุ้นเตือนให้ผู้ขับขี่รู้สึกตัวและสามารถบังคับรถให้กลับไปอยู่ในช่องจราจรปกติได้ ดังนั้นในการออกแบบแถบสัญญาณคั่นไหล่ทางในปัจจุบันจึงต้องมุ่งเน้นไปที่ความสามารถในการกระตุ้นเตือนหรือให้ผู้ขับขี่รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลง และมีสติกลับคืนมาจากสถานการณ์เหม่อลอย และความสามารถในการบังคับรถกลับเข้าสู่ช่องทางจราจรได้อย่างปลอดภัย ซึ่งในปัจจุบันการกระตุ้นเตือนขึ้นอยู่กับระดับของความเหม่อลอยของผู้ขับขี่ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตอบสนองของผู้ขับขี่ กรณีที่ผู้ขับขี่มีความตื่นตัวอยู่ระดับปานกลาง การเปลี่ยนสิ่งเร้าเล็กน้อยก็สามารถทำให้ผู้ขับขี่หันความสนใจมายังการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การเปลี่ยนคลื่นสถานีวิทยุ เป็นต้น ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกตัวและสามารถบังคับรถ

กลับมายังช่องจราจรได้ แต่สำหรับผู้ขับขี่ที่หลับในหรือหลับลึกจำเป็นต้องเพิ่มปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นเพื่อที่จะกระตุ้นเตือนให้ผู้ขับขี่สามารถที่จะบังคับรถเข้าสู่ช่องจราจรปกติ หรือ หลบลงบริเวณไหล่ทางหรือข้างทางได้ทัน่วงที

2.4.2 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่แบบทันทีทันใด

สำหรับการกระตุ้นเตือนด้วยเสียงและการสั่นสะเทือนผู้ขับขี่แบบทันทีทันใดหรือแบบจับปล้นนั้น ซึ่งจะเป็นการใช้ระดับของการกระตุ้นที่มากกว่าระดับปกติคือมากกว่าในสถานการณ์เหม่อลอย แต่จะใช้ช่วงเวลาของการกระตุ้นเตือนเพียงชั่วขณะหรือทัน่วงที โดยสามารถทำให้ผู้ขับขี่ตื่นจากภวังค์ หรือตื่นจากหลับใน (Micro sleep) พร้อมทั้งผู้ขับขี่สามารถที่จะบังคับยานพาหนะเข้าสู่ช่องจราจรปกติได้ โดยที่สิ่งเร้าที่จะใช้ในการกระตุ้นเตือนนี้จะต้องมีความแตกต่างกันจนสามารถที่จะกระตุ้นความรู้สึกตัวของผู้ขับขี่ หรือทำให้ผู้ขับขี่รับรู้ได้ สำหรับเสียงและแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางนั้นจะมีลักษณะเป็นการกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่แบบทันทีทันใดแบบหนึ่ง แต่พบว่าบ่อยครั้งที่ระดับความดังของเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเบาเกินกว่าที่จะสามารถกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ได้ โดยเฉพาะการรับรู้ที่ได้ยินหรือสัมผัสได้ภายในห้องโดยสาร ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่สำคัญประการหนึ่งที่จะต้องหาระดับเสียงที่สามารถช่วยในการกระตุ้นเตือนระดับการได้ยินภายในห้องโดยสารได้ วิธีที่นิยมใช้กันวิธีหนึ่งคือ การวัดระดับเสียงและแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเมื่อขับผ่านแถบสั่นระนาดและไม่ผ่านแถบสั่นระนาด

2.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแถบสั่นระนาด

ในปี 2001 ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เกิดอุบัติเหตุจากการไถลตกจากถนน (run-off-the-road : ROR) ประมาณ 240,000 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 23,205 ราย บาดเจ็บ 740,000 ราย คิดเป็นร้อยละ 55 ของผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางรถยนต์ และร้อยละ 35 ของผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางรถยนต์ ตามลำดับ (ข้อมูลจาก Melisa D. Finley และคณะ) ซึ่ง 2/3 ของอุบัติเหตุทั้งหมดนี้เกิดขึ้นในพื้นที่ชนบท ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุ ROR เกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความเหนื่อยล้าของผู้ขับขี่ ความบกพร่องของผู้ขับขี่ การเสียสมาธิของผู้ขับขี่ และทัศนวิสัยที่ไม่ดี ดังนั้นเพื่อลดอุบัติเหตุจาก ROR หลาย ๆ หน่วยงานทางด้านวิชาการขนส่งและจราจรท้องถิ่นในสหรัฐได้มีการติดตั้ง Rumble Strips กับถนนหลายสาย ซึ่งได้มีงานวิจัยจำนวนจาก Harwood, D.W. และ Persaud, B., R.A. Retting and C. Lyon. แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ Rumble Strips ในการช่วยลดอุบัติเหตุได้

สำหรับในปัจจุบันได้มีการใช้แถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง (SRS) รูปแบบหลากหลายมากขึ้น เนื่องมาจากผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า SRS มีประสิทธิภาพป้องกันการเกิดอุบัติเหตุการตกถนนจากการรายงานของกรมทางหลวงสหรัฐ (FHWA) สาขา Wyoming Division Office เกี่ยวกับ

ประสิทธิภาพของแถบสันระนาบบนไหล่ทางในเว็บไซต์ของกรม (<http://safety.fhwa.dot.gov/programs/rumble.htm>, Accessed June 2005.) โดยได้นำเสนองานวิจัยตั้งแต่ปี 1985 ถึงความสำเร็จของ SRS ทำให้รัฐต่าง ๆ ของสหรัฐกำหนดให้มีการใช้ SRS และเข้าไปอยู่ในโครงการ 3 R (มีการดำเนินการสร้างใหม่ถนนใหม่ การฟื้นฟู การบูรณการใหม่) จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่า Rumble Strips ที่ถูกติดตั้งในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเตือนภัยผู้ขับขี่ แถบ Rumble Strips ที่พบเห็นโดยทั่วไปมีดังนี้



รูปที่ 2.10 ชนิดของแถบ Rumble Strips

ที่มา : Melisa D. Finley และคณะ (2005)

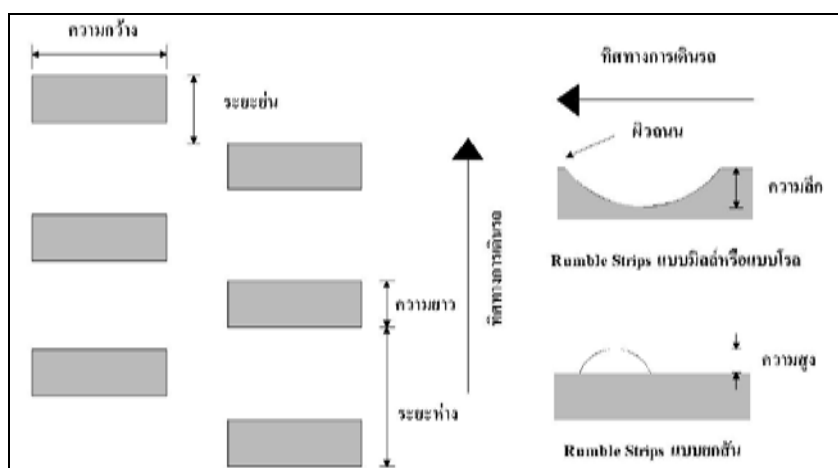
- แถบสันระนาบบนเส้นแบ่งกลางทิศทางจราจร (CRSSs) ติดตั้งเพื่อเตือนผู้ขับขี่ให้เพิ่มความระมัดระวังไม่ให้รถล้ำช่องจราจรฝั่งตรงข้าม ซึ่งช่วยป้องกันอุบัติเหตุจากการชนประสานงา การเฉี่ยวชนด้านข้าง และการไถลตกจากถนน ข้อมูลจาก Perillo, K., (1998)

- แถบสันระนาดบนไหล่ทาง (SRSs) หรือแถบเสียงสะท้อนบนเส้นขอบทางของถนน (ERS) ซึ่งสามารถพบเห็นตามแนวถนนที่มีการขยายถนน หรือบริเวณที่มีการก่อสร้าง หรือบริเวณทางแยกทางยกระดับเพื่อเตือนแก่ผู้ขับขี่จากอุบัติเหตุจากการ ไถลตกจากถนน ข้อมูลจาก Harwood, D.W. (1993)

- แถบสันระนาดบนเส้นแบ่งช่องจราจร (LRSs) ไม่ได้มีจุดประสงค์ถูกติดตั้งเพื่อเตือนผู้ขับขี่ถึงการไถลตกจากถนน แต่ติดตั้งเพื่อช่วยการจราจรในสภาวะที่ถนนเปียก และเมื่อทัศนวิสัยในการขับขี่ที่ไม่ดี

- แถบสันระนาดแบบพาดขวางช่องจราจร (TRSSs) จุดประสงค์ในการติดตั้งเพื่อเตือนผู้ขับขี่ถึงจุดเปลี่ยนช่องจราจร หรือจุดที่ควรเพิ่มความระมัดระวังในการขับขี่ หรือจุดที่ควรลดความเร็วหรือควรหยุดรถ บริเวณโค้งในแนวราบ บริเวณจุดที่มีการก่อสร้าง บริเวณทางด่วนหรือด่านเก็บเงิน และบริเวณก่อนถึงทางแยก เป็นต้น ข้อมูลจาก Harwood, D.W. (1993)

ซึ่งจะเห็นว่าแถบสันระนาดมีรูปแบบและวัตถุประสงค์ในการติดตั้งแตกต่างกันไป และยังมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน ความกว้างของแถบสันระนาดมีลักษณะตั้งฉากกับทิศทางจราจร ขณะที่ความยาวของแถบสันระนาดมีขนาดตามทิศทางจราจร ส่วนการแบ่งระยะห่างของแถบสันระนาด คือระยะตามทิศทางจราจรจากขอบด้านหน้าของแถบแถบสันระนาดหนึ่ง ไปถึงขอบปลายของแถบสันระนาดถัดไป ส่วนแถบ Milled in และแบบ Rolled ความลึกของร่องที่วัดจากผิวถนนถึงพื้นร่อง ส่วนแบบ Raised วัดความสูงจากผิวถนนถึงปลายสูงสุดของแถบ Rumble Strips ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 คำจำกัดความของการออกแบบแถบ Rumble Strips

ที่มา : Melisa D. Finley และคณะ (2005)

มีการวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาถึงเสียงและการสั่นสะเทือนจากแถบสันระนาด โดยทำการศึกษาเชิงปริมาณด้าน 2 ปัจจัยหลัก (1) ระบุรูปแบบของแถบสันระนาดที่ให้เสียงและการสั่นสะเทือนที่ชัดเจนกว่าสภาวะแวดล้อมปกติ (2) ระบุรูปแบบแถบสันระนาดที่ให้เสียงและการสั่นสะเทือนเพียงพอต่อการเตือนภัยผู้ขับขี่รถยนต์ในขณะที่ไม่เป็นอุปสรรคต่อผู้ใช้ถนนอื่น ๆ เช่น ผู้ขับขี่จักรยาน

2.6 การศึกษาการกระตุ้นเตือนผู้ใช้ถนนจากแถบสันระนาดบนไหล่ทาง

ในการกระตุ้นเตือนผู้ใช้ถนนในรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนและยุ่งยาก โดยการใช้วิธีความดังจากเสียงและจากแรงสั่นสะเทือนที่มีประสิทธิภาพ เพื่อต้องการเตือนผู้ขับขี่ให้รู้สึกรับรู้โดยทันที ซึ่งการใช้เสียงกระตุ้นเตือนและแรงสั่นสะเทือนผู้ขับขี่นั้นเป็นสิ่งที่ยอมรับในการออกแบบยานพาหนะ รวมถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรับรู้ของมนุษย์ รายละเอียดของการศึกษาเรื่องเสียงและการสั่นสะเทือนมีดังนี้

2.6.1 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียง

ได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการขับรถผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง ดังการศึกษาของนักวิจัยเหล่านี้

Perrilo, Kerry (2000) ได้รายงานผลถึงระดับเสียงภายในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิ่งบนถนนปกติพบว่ามีค่าระดับเสียงประมาณอยู่ที่ 60 dB และระดับเสียงภายในรถที่วิ่งบนทางหลวงทั่วไปไม่สามารถที่จะวัดค่าได้อย่างแน่นอน แต่สามารถที่จะประมาณได้ว่ามีค่าระดับเสียงภายในรถเทียบเท่ากับระดับเสียงภายในรถที่วิ่งอยู่บนทางด่วนประมาณ 70 dB (ในกรณีที่ไม่มีการเปิดฟังวิทยุหรือการพูดคุยสนทนากัน) ดังแสดงในตารางที่ 2.12 จากการวัดระดับเสียงภาคการขนส่งของ League for the Hard of Hearing ดังนั้นในการออกแบบแถบสันระนาดบนไหล่ทางจะมีทำให้มีระดับเสียงให้สามารถได้ยินภายในรถยนต์ได้ จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงเสียงลักษณะต่าง ๆ ในภาคการขนส่งทั่วไป ซึ่งระดับเสียงจากการจราจรในเมืองเมื่อวัดเสียงภายในห้องโดยสารมีค่าเท่ากับระดับเสียงที่วัดจากการจราจรหนาแน่น คือ 85 dB(A)

ตารางที่ 2.1 ระดับเสียงที่เกิดจากภาคการขนส่งโดยทั่วไป (วัดภายในห้องโดยสาร)

ค่าระดับเสียง (dB)	รายละเอียดต้นกำเนิดเสียง
70	เสียงจากการจราจรบนทางด่วน
85	เสียงการจราจรหนาแน่น
85	เสียงจากการจราจรในเมืองวัดเสียงภายในรถ
90	เสียงจากรถบรรทุก
95-110	เสียงจากรถจักรยานยนต์
110	เสียงจากแตรรถยนต์

ที่มา : League for the Hard of Hearing, 1999.

วิธีหนึ่งในการทดสอบการวัดระดับเสียงที่เกิดจากแถบสันระนาบถนนไหล่ทางที่นักวิจัยใช้กันมากคือการวัดเสียงที่เกิดขึ้นภายในรถยนต์และภายนอกรถยนต์ ซึ่งระดับเสียงจากการสัมผัสแถบสันระนาบถนนไหล่ทางของล้อรถจะต้องมีค่าระดับเสียงที่ไม่น้อยเกินไปหรือไม่มากเกินไปกว่าระดับเสียงภายในรถยนต์ในสภาพปกติ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบแถบสันระนาบถนนไหล่ทางคือการออกแบบให้ได้ระดับเสียงที่เหมาะสมในการเตือนผู้ขับขี่

Higgins, J. S. and W. Barbel (1984) ได้สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาแถบสันระนาบถนนไหล่ทาง โดยวิธีการขับรถทดสอบผ่านแถบ SRS พบว่า ระดับเสียงบนถนนเพิ่มสูงกว่าในสภาพแวดล้อมปกติถึง 7 dB โดยวัดห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงหรือแหล่งทดสอบในระยะ 15 เมตร (49.2 ฟุต) และยังพบว่าระดับเสียงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 87 dB ในห้องโดยสารรถบรรทุกกึ่งพวง และอีกวิธีหนึ่งที่ใช้วัดระดับการกระตุ้นด้วยเสียงของแถบ SRS คือการกำหนดคลื่นความถี่ที่ได้จากการวัด ซึ่งในการศึกษาของ Higgins, J. S. and W. Barbel เป็นการศึกษาเดียวที่ทำการวัดคลื่นความถี่ของเสียงที่ได้จาก SRS โดยพบคลื่นความถี่ในระดับต่ำ (80-315 Hz) แต่ยังไม่พบคลื่นความถี่ที่ระดับถึง 1,000 Hz โดยพบว่าความเร็วของยานพาหนะมีผลกระทบในระดับหนึ่งกับคลื่นความถี่ แต่ไม่มีการวิจัยใดที่ระบุผลกระทบของรูปแบบลักษณะของขนาด SRS กับคลื่นความถี่

ต่อมาในปี 1988 Pennsylvania DOT ได้ทำการทดสอบระยะห่างระหว่างแถบของ SRS รูปแบบต่าง ๆ ตามรายงานของ Wood ในปี 1994 โดยทำการวัดระดับเสียงภายในรถทดสอบขณะที่ขับผ่านแถบ SRS แบบ Milled in ที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบด้วยความเร็วที่ใช้ทดสอบแตกต่างกัน โดยพบว่าระดับเสียงเพิ่มขึ้นตามระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้น ซึ่งรถที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุก

Chen (1994) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของแถบสันระนาบถนนไหล่ทาง ซึ่งเปรียบเทียบคุณลักษณะของระดับความดังเสียง โดยการทำทดสอบรถวิ่งผ่านแถบ SRS ที่ระดับความเร็ว 105 กม./ชม. เปรียบเทียบระหว่างแถบสันระนาบถนนไหล่ทางแบบ Milled in และ

แบบ Rolled พบว่า Milled in SRS ให้ระดับเสียงระหว่าง 85-86 dB และแบบ Rolled SRS ให้ระดับเสียงระหว่าง 74-79 dB โดยวัดระดับความดังเสียงห่างจากตำแหน่งรถทดสอบที่ระยะ 61 เมตร (200 ฟุต) และ Chen ยังพบว่าที่ระดับเสียงที่ต่างกัน 3 dB ระหว่างแถบสันระนาบแบบ Milled in และแบบ Rolled SRS สามารถกระตุ้นให้ผู้ขับขี่รับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงของเสียงได้

ในปี 2000 คณะของ Elefteriadiou et al. ได้ทำการศึกษาระดับเสียงในห้องผู้โดยสารมินิแวนที่ขับผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in ด้วยความเร็ว 72 กม./ชม. และ 88 กม./ชม. พบว่าที่ระดับความเร็ว 72 กม./ชม. ระดับเสียงเพิ่มขึ้นจากระดับเสียงทั่วไป 68 dB เป็น 79 dB และที่ระดับความเร็ว 88 กม./ชม. ระดับเสียงเพิ่มขึ้นจากระดับทั่วไป 65 dB เป็น 81 dB

ในการศึกษาของ The California Department of Transportation (2001) ได้ทำการบันทึกระดับเสียงภายในห้องผู้โดยสารรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุกหนัก โดยทำการปิดหน้าต่าง ปิดพัดลม และวิทยุ ซึ่งพบว่า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ความเร็ว 80 และ 100 กม./ชม. มีระดับการกระตุ้นจากเสียงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นระหว่าง 11.0-19.9 dB และสำหรับรถบรรทุกหนักมีระดับเสียงกระตุ้นเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำกว่า เมื่อทำการวัดในห้องโดยสารเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.8-4.7 dB ซึ่งในการทดสอบมีข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ทำให้การทดสอบเสียงภายในรถบรรทุกหนักทำได้เพียงความเร็วที่ 80 กม./ชม. เท่านั้น

Outcalt, W. (2001) ได้ทำการเปรียบเทียบระดับเสียงรถยนต์ที่วิ่งบนแถบ SRS เปรียบเทียบกับการวิ่งบนถนนผิวเรียบทั่วไปที่ระดับความเร็วในการทดสอบ 88 และ 105 กม./ชม. ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการเพิ่มระดับเสียง 6 dB ในห้องโดยสารเป็นเสียงที่แยกได้ชัดเจนในการกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ โดยรวมแล้วระดับเสียงจะมีค่าระดับที่สูงขึ้นเมื่อแถบ SRS มีลักษณะความกว้างตามความยาวของถนนจะทำให้ระดับเสียงเพิ่มขึ้นด้วย

การศึกษาวิจัยของ Harwood, D. (1993) ได้ศึกษาถึงการปรับรูปแบบระยะความยาวของกลุ่มแถบ SRS ส่งผลทำให้ระดับเสียงที่ได้จากการทดสอบขับรถผ่าน SRS มีการเปลี่ยนแปลง โดยในการทดลองที่ระยะความยาวของกลุ่มแถบ SRS ระหว่าง 1,524 มม. และ 3,048 มม. พบว่า ระยะความยาวของกลุ่มแถบ SRS ที่ระยะ 3,048 มม. (10 ฟุต) ให้ระดับเสียงที่เบาสุด และระดับเสียงจะค่อย ๆ ลดลงแปรผกผันกับความเร็วของรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มระยะความยาวของกลุ่มแถบ SRS ซึ่งระยะความยาวของกลุ่มแถบ SRS ระหว่าง 305-915 มม. ให้ระดับเสียงที่ผันผวน และไม่เหมาะสมในการนำมาออกแบบ ผลการศึกษาเรื่องเสียงจากแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in และ Rolled แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับเสียงที่เกิดจากแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่องและแบบกลิ้งทับ

ระดับเสียงจากต้นกำหนด		ตำแหน่ง ที่วัด
Milled in SRS	Rolled SRS	
Higgins and Barbel	เพิ่มขึ้น 7 dB จากระดับปกติ	ภายนอกจรด
Wood	74-80 (รถยนต์) 86 (รถบรรทุก)	ภายในจรด
Chen	85-86	ภายนอกจรด
Elefteriadoiu et al.	75-84 (@ 72 kph) 78-89 (@ 88 kph)	ภายในจรด
Caltrans	เพิ่มขึ้นระหว่าง 12-21 (@ 80 kph) (รถยนต์) เพิ่มขึ้นระหว่าง 10-19 (@ 100 kph) (รถยนต์) เพิ่มขึ้นระหว่าง 2-5 (@ 80 kph) (รถบรรทุก)	14 (@ 80 kph) (รถยนต์) 13 (@ 100 kph) (รถยนต์) 5 (@ 80 kph) (รถบรรทุก)
Outcalt	เพิ่มขึ้นประมาณ 10 dB จากระดับปกติ	ภายในจรด

ที่มา : Federal Highway Administration, 2001.

2.6.2 การกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ด้วยแรงสั่นสะเทือน

แรงสั่นสะเทือนจากการขับรถผ่านแถบ SRS จะเริ่มเกิดขึ้นกับล้อหน้ารถก่อน โดยมีลักษณะการสั่นแบบการเร่งในแนวตั้งและการเร่งในแนวขวางของล้อซึ่งจะกระจายแรงสั่นสะเทือนผ่านยานพาหนะสู่พวงมาลัย เบาะนั่ง และพื้นรถ ในรูปแบบของแรงสั่นสะเทือนซึ่งแรงสั่นสะเทือนจากแถบ SRS ที่ดีไม่ควรที่จะมีความรุนแรงหรือมากเกินไปจนทำให้ผู้ขับขี่รถขนาดเล็กเสียหลักหรือเสียการควบคุมรถ และไม่ควรมีขนาดเบาหรือต่ำจนเกินไป ที่ทำให้ผู้ขับขี่รถขนาดใหญ่ไม่สามารถรู้สึกได้ ซึ่ง SRS ส่วนใหญ่ มักจะถูกออกแบบมาเพื่อเน้นรถขนาดใหญ่หรือรถหนักเป็นหลัก

สำหรับความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีในปัจจุบันในการตรวจวัดค่าแรงสั่นสะเทือนอย่างถูกต้องและมีความสะดวกขึ้น ซึ่ง Chen (1994) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีถึงการดทรงของล้อรถเพื่อกำหนดการวัดประสิทธิภาพของ SRS โดยตั้งสมมุติฐานว่า ความกว้างตามยาวถนนของแถบสันระนาดควรมีขนาดเพียงพอเพื่อให้ล้อรถดทรงได้ เพื่อสร้างคลื่นเสียงและแรงสั่นสะเทือนที่เพียงพอในการดึงความสนใจของผู้ขับขี่ จากรูปแบบของ SRS ตามมาตรฐานในรัฐเวอจิเนีย Chen ได้สรุปว่า Milled in SRS ให้ประสิทธิภาพดีกว่า Rolled SRS เนื่องจากล้อรถจะสามารถตกลงร่องในแบบ Milled in ได้ดีกว่า ในการทดสอบภาคสนามได้ยืนยันอีกว่า Milled in SRS ให้ประสิทธิภาพด้านคลื่นเสียงและแรงสั่นสะเทือนจะดีกว่าเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม

Eleferiadiou และคณะ (2000) ได้ให้ข้อสังเกตว่าการศึกษาเชิงทฤษฎีของ Chen นั้นได้ศึกษาเฉพาะกับยางดันมากกว่ายางยืดหยุ่น

Eleferiadiou และคณะ (2000) ได้ทำการเปรียบเทียบรูปแบบของ SRS ที่เหมาะสมสำหรับผู้ขับซึ่งรถจักรยานที่มีการใช้อยู่ในรัฐเพนซิลเวเนีย สหรัฐอเมริกา เมื่อนำผลลัพธ์การทดสอบรูปแบบ SRS เสนอเทียบกับแบบเดิมที่มีอยู่พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ความลึกของร่องแถบ SRS ที่เสนอจากงานวิจัยอยู่ระหว่าง 6.3-13 มม. ขณะที่ความลึกของแถบ SRS แบบที่พบในเพนซิลเวเนียคือ 13 มม.

The California Department of Transportation (2001) ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยของยานพาหนะที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อทดสอบการกระตุ่นจากแรงสั่นสะเทือน โดยพบว่าค่าแรงสั่นสะเทือนมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับความลึกของร่อง SRS และสิ่งสังเกตที่น่าสนใจในการทดสอบกับรถบรรทุกเมื่อใช้ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าการกระตุ่นจากแรงสั่นสะเทือนของ SRS แบบ Rolled มีค่าน้อยกว่า SRS แบบ Milled in เพียงเล็กน้อย

Outcalt, W. (2001) ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดความเร็วสองชุดกับรถตู้เพื่อวัดค่าแรงสั่นสะเทือน อุปกรณ์ชุดหนึ่งติดตั้งกับพื้นรถตู้ข้างหลังคนขับและอีกชุดหนึ่งติดตั้งกับพวงมาลัย โดยตรวจวัดที่ระดับความเร็วของรถทดสอบ 88 กม./ชม. และ 105 กม./ชม. กับผิวถนนเรียบและแบบขยับผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทาง ผลของงานวิจัยพบว่า ค่าแรงสั่นสะเทือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้ามีความกว้างของแถบสันระนาบบนไหล่ทางตามยาวของถนนมาก

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องแถบสันระนาบบนไหล่ทางตั้งแต่ปี 1984 จนถึงปัจจุบัน มีรายละเอียดดังนี้

Higgins, J. S. and Barbel, W. (1984) ได้ทำการศึกษาวิจัยที่มลรัฐอินเดียนาพบว่า แถบสันระนาบบนไหล่ทางไม่ว่าจะเป็นชนิดใดและรูปร่างแบบใด ระดับเสียงภายนอกที่เกิดขึ้นไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก และยังพบว่าแถบสันระนาบบนไหล่ทางทำให้เกิดเสียงที่มีความถี่ค่อนข้างต่ำ โดยมีระดับของเสียงที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นประมาณ 7 dB(A) จากผิวทางปกติ (Ambient Condition)

Cheng, E. Y. C., Gonzalez, E. and Mack, O. (1993) ได้ทำการวิเคราะห์อุบัติเหตุก่อนและหลังการติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทางบนถนนในมลรัฐ Utah โดยศึกษาสถิติข้อมูลอุบัติเหตุระหว่างปี 1990-1992 พบว่า บริเวณที่ไม่มีการติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทางมีสถิติอุบัติเหตุจากการตกถนนหรือหลุดออกนอกเส้นทาง (Runoff-road; ROR) มีถึงร้อยละ 33.4 ของจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และในบริเวณที่มีติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทางจะมีสถิติอุบัติเหตุจากการหลุดออกนอก

เส้นทางเหลือเพียงร้อยละ 26.9 และนอกจากนี้ยังพบว่า แถบสันระนาบบนไหล่ทางที่ก่อสร้างด้วยแอสฟัลท์และติดตั้งแบบต่อเนื่องสามารถช่วยลดอุบัติเหตุมากกว่าแถบสันระนาบบนไหล่ทางที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตแบบไม่ต่อเนื่อง

Neal, E. and Wood, P. E. (1994) จากผลการวิจัยของ Neal ส่งผลให้มีการติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled-in) ทั่วทั้งทางด่วน ซึ่ง Neal ได้ทำการประเมินข้อมูลจากโครงการ Sonic Nap Alert Pattern (SNAP) ที่ติดตั้งบนทางด่วนในรัฐ Pennsylvania และผลการประเมินพบว่าแถบสันระนาบบนไหล่ทางช่วยลดอุบัติเหตุจากการไถลตกถนนบนทางด่วนลดลงถึงร้อยละ 70.0

Chen, C. S. (1994) ได้วิเคราะห์ผลของการกระทบของยางกับแถบสันระนาบบนไหล่ทางบนถนนระหว่างรัฐในมลรัฐ Virginia โดยใช้รูปแบบของ SRS ที่แตกต่างกัน อันประกอบด้วยแบบ Milled in SRS แบบ Rolled SRS และแบบ Formed SRS ที่ติดตั้งในตำแหน่งต่าง ๆ ถึง 112 แห่งพบว่า แถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in ทำให้เกิดระยะหย่อนตัวของยางมากกว่าแบบ Rolled ถึง 50 เท่าเมื่อใช้ความเร็วในการทดสอบ 105 กม./ชม. ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in มีประสิทธิภาพมากกว่าแบบ Rolled เนื่องจากสามารถสร้างการสันสะท้อนได้มากกว่าแบบ Rolled ถึง 12.5 เท่า และสามารถกระตุ้นการไถลของล้อได้มากกว่า 3.35 เท่า

Outcalt, W. (2001) จากผลการวิจัยเพื่อจำแนกระดับการรับรู้เสียงของมนุษย์ ซึ่งพบว่าของ Outcalt พบว่า ระยะเวลาของเสียงที่เกิดขึ้นจากแถบสันระนาบต้องมีความยาวนานเพียงพอที่จะทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกตัว เช่นกรณีหากมีระดับความแตกต่างของเสียงเท่ากับ 4 dB(A) จะต้องมีระยะเวลาเกิดเสียงมากกว่า 0.35 วินาที และหากระดับความแตกต่างของเสียงเท่ากับ 2 dB(A) จะต้องมีระยะเวลาเกิดเสียงมากกว่า 0.90 วินาที ที่จะสามารถทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึงความแตกต่างของเสียงได้

Meyer and Walton. (2002) ผลการศึกษาของ Meyer และคณะพบว่า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีระดับเสียงภายในห้องโดยสารเพิ่มขึ้น 10 dB(A) จากระดับเสียงปกติ (Ambient Condition) ที่ 77 dB(A) สำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่มีระดับเสียงภายในห้องโดยสารเพิ่มขึ้น 4 dB(A) จากระดับเสียงปกติ 84 dB(A) ถ้ากรณีมีการเพิ่มความหนาของแถบสันระนาบระดับเสียงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และสำหรับระยะห่างระหว่างแถบ SRS ที่เหมาะสม พบว่าควรมีระยะห่าง 24 นิ้ว ซึ่งในการทดลองนี้ทาง Meyer และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับระดับเสียงและการสันสะท้อนภายในห้องโดยสารเมื่อขับรถทดสอบผ่านแถบสันระนาบที่มีรูปแบบแตกต่างกัน 15 รูปแบบ โดยความเร็วที่ใช้อยู่ที่ 64 กม./ชม. 80 กม./ชม. และ 97 กม./ชม. จากรถทดสอบจำนวน 3 ประเภท คือ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถบรรทุกขนาดเล็ก และรถบรรทุกขนาดใหญ่

กัมปนาท รติวัฒน์ (2552) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การประยุกต์ใช้แถบสะท้อนไหล่ทางเพื่อเตือนผู้ขับขี่ที่หลับใน โดยทำการทดสอบขับรถผ่านแถบ สะท้อนไหล่ทางแบบสี่เทอร์โมพลาสติกที่มีขนาดช่องระหว่างแถบ 15 ซม. มีความกว้างตามยาว ถนน 15 ซม. และมีความกว้างตามขวางถนน 10 ซม. และมีความหนาของแถบ 12 ซม. ซึ่งได้ทำการ ดัดแปลงมาจากแถบเสียงสะท้อนไหล่ทางแบบ Slim Strip ของ Civil Engineering Research Institute of Hokkaido คิดตั้งทดสอบบนทางหลวงชนบท โดยใช้รถทดสอบในการขับผ่านจำนวน 4 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถกระบะ และรถบรรทุก 6 ล้อ ขับผ่านแถบ สะท้อนไหล่ทางที่ความเร็ว 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. และ 80 กม./ชม. พบว่า แถบเสียงสะท้อนไหล่ ทางที่ได้ทำการทดสอบมีระดับเสียงเพียงพอสำหรับการกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่เฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น คือมีค่าความแตกต่างระหว่าง Ambient Condition กับกรณีขับผ่านมีระดับเสียง แตกต่างกันเกินกว่า 4 dB(A) ตามข้อกำหนดของ Chen C.S. (1994) และสำหรับการวัดค่า แรงสั่นสะเทือนพบว่ารถบรรทุก 6 ล้อมีค่าของแรงสั่นสะเทือนมากที่สุดตั้งแต่ระดับความเร็ว 60 กม./ชม.

กรมทางหลวง (2553) ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน Rumble Strips เพื่อลดความเร็วจราจร โดยทำการทดสอบแถบสันระนาบบนไหล่ทาง 3 รูปแบบ ประกอบด้วย แบบ Mille in SRS แบบ Transverse Raised SRS และแบบ Thermoplastic Profiled Marking ทำการทดสอบบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 โดยใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถบรรทุก 6 ล้อในการทดสอบขับผ่านแถบ SRS เปรียบเทียบกับกรณีไม่ผ่านแถบ SRS ในระดับ ความเร็วที่ 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. 80 กม./ชม. 100 กม./ชม. และที่ความเร็ว 120 กม./ชม. ซึ่งทำการ วัดระดับเสียงภายใน และระดับเสียงภายนอกที่ระยะห่างจากจุดทดสอบ 5 ม. 10 ม. 15 ม. และ 20 ม. รวมทั้งวัดแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่พบว่า ในการทดสอบรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขับ ผ่านแถบ SRS ทั้ง 3 รูปแบบ ได้ว่าระดับเสียงภายในห้องโดยสารมีความแตกต่างระหว่างกรณีผ่าน และไม่ผ่าน SRS เกินกว่า 2 dB(A) แถบ SRS ทั้ง 3 รูปแบบสามารถเตือนผู้ขับขี่ให้รู้สึกถึงความ แตกต่างขณะขับผ่านแถบ SRS ได้ และในการทดสอบรถบรรทุก 6 ล้อขับผ่านแถบ SRS ทั้ง 3 แบบ พบว่า ระดับเสียงภายในห้องโดยสารมีความแตกต่างของเสียงเกินกว่า 2 dB(A) เปรียบเทียบระหว่าง กรณีผ่านและไม่ผ่าน SRS ซึ่งได้สรุปว่าทั้ง 3 แถบ SRS สามารถเตือนผู้ขับขี่ให้รู้สึกถึงความแตกต่าง ของเสียงได้ รวมทั้งได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดตั้ง SRS มีผลต่อพฤติกรรมผู้ขับขี่หรือไม่ โดยทำการสังเกตพฤติกรรมผู้ขับขี่ของผู้ใช้เส้นทางขณะขับผ่านจุดติดตั้งแถบ SRS ซึ่งได้ข้อ สรุปว่า ในช่วงเวลากลางวันก่อนและหลังการติดตั้ง SRS ไม่ได้มีนัยสำคัญที่จะบ่งชี้ว่าการติดตั้ง SRS มีผลต่อพฤติกรรมผู้ขับขี่ เนื่องจากระยะของ lateral offset ก่อนการติดตั้งและหลังการติดตั้งไม่ได้มี ความแตกต่างกัน และในช่วงเวลากลางคืนมีอัตราการเหยียบของเส้นขอบทางก่อนและหลังมีความ

แตกต่างกันทั้งในช่วงก่อนการติดตั้งและหลังการติดตั้ง SRS โดยภาพรวมสรุปว่าการติดตั้ง shoulder rumble strip ไม่มีผลต่อพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน



บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

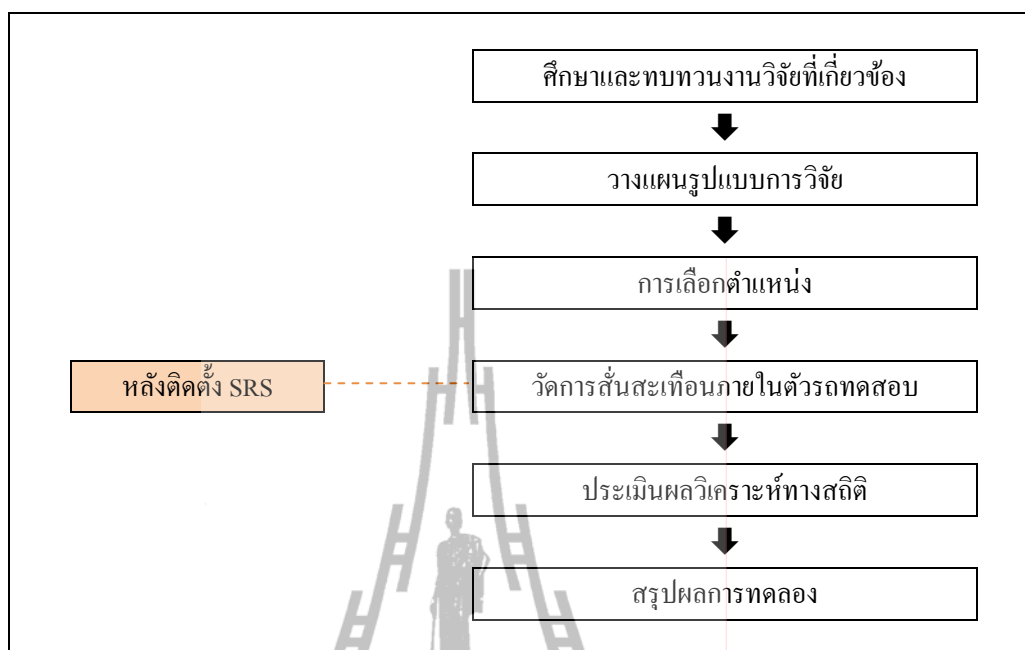
ในงานวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง (SRS) ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบบนพื้นผิวจราจรจริงบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ซึ่งทางกรมทางหลวงได้ดำเนินการติดตั้งแถบสันระนาดบนไหล่ทางไว้แล้วทั้งแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking โดยผู้วิจัยได้ขออนุญาตกับกรมทางหลวงเพื่อดำเนินการทดสอบ สำหรับรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ดำเนินการเพื่อศึกษาคุณสมบัติของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของ SRS ทั้ง 3 รูปแบบที่กล่าวมาข้างต้นในแง่ของการสิ้นสะท้อน โดยการทดลองออกแบบให้ขับรถผ่านในสภาพจริงโดยไม่เหยียบ SRS (Ambient Condition) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ผู้วิจัยขับผ่าน SRS สำหรับตำแหน่งของการวัดแรงสะท้อนในการศึกษานี้มี 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งพวงมาลัยรถ เบาะนั่งคนขับ และพื้นรถข้างคนขับ โดยการทดสอบจะใช้ความเร็วที่ความเร็ว 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. 80 กม./ชม. 100 กม./ชม. และ 120 กม./ชม. ของรถทดสอบ

3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ในการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาระดับความสิ้นสะท้อนที่เกิดจากตำแหน่งต่าง ๆ ภายในรถที่มีผลต่อผู้ขับขี่โดยการเปรียบเทียบผลและประสิทธิภาพของแถบสันระนาดบนไหล่ทางในแต่ละรูปแบบ โดยมีขั้นตอนการศึกษาวิจัยดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.3 บริเวณที่ติดตั้งแถบสั่นขนาดบนไหล่ทาง

จากการวิเคราะห์จุดและบริเวณที่มีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากผู้ขับขี่หลับใน และรถหลุดออกนอกเส้นทาง ระหว่างปี 2549-2551 บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 ดังแสดงในตาราง 3.1 พบว่า ช่วงระหว่างกิโลเมตรที่ 50 – 60 มีอุบัติเหตุจราจรเกิดขึ้นถึง 20 ครั้ง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้แสดงถึงจุดที่มีเหมาะสมในการติดตั้งแถบสั่นขนาดบนไหล่ทาง (SRS)

ตารางที่ 3.1 แสดงสถิติอุบัติเหตุที่เกิดมากที่สุดบนทางหลวงหมายเลข 7

ลำดับที่	ช่วงถนน	จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง)
1	ช่วง กม. ที่ 50-54	10
2	ช่วง กม. ที่ 55-59	10
3	ช่วง กม. ที่ 60-64	8

ที่มา : โครงการวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน Rumble Strips เพื่อลดความเร็วจราจร กรมทางหลวง, 2553

ดังนั้นช่วงตำแหน่งของจุดติดตั้ง SRS ที่ใช้ในการทดสอบ โดยดำเนินการติดตั้ง SRS แบบ Thermoplastic Profiled Marking และแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips บนไหล่ทางของทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างแยกต่างระดับบางปะกงกับทางแยกต่างระดับพานทอง ช่วงระหว่างกิโลเมตรที่ 46+691 ถึง 65+326



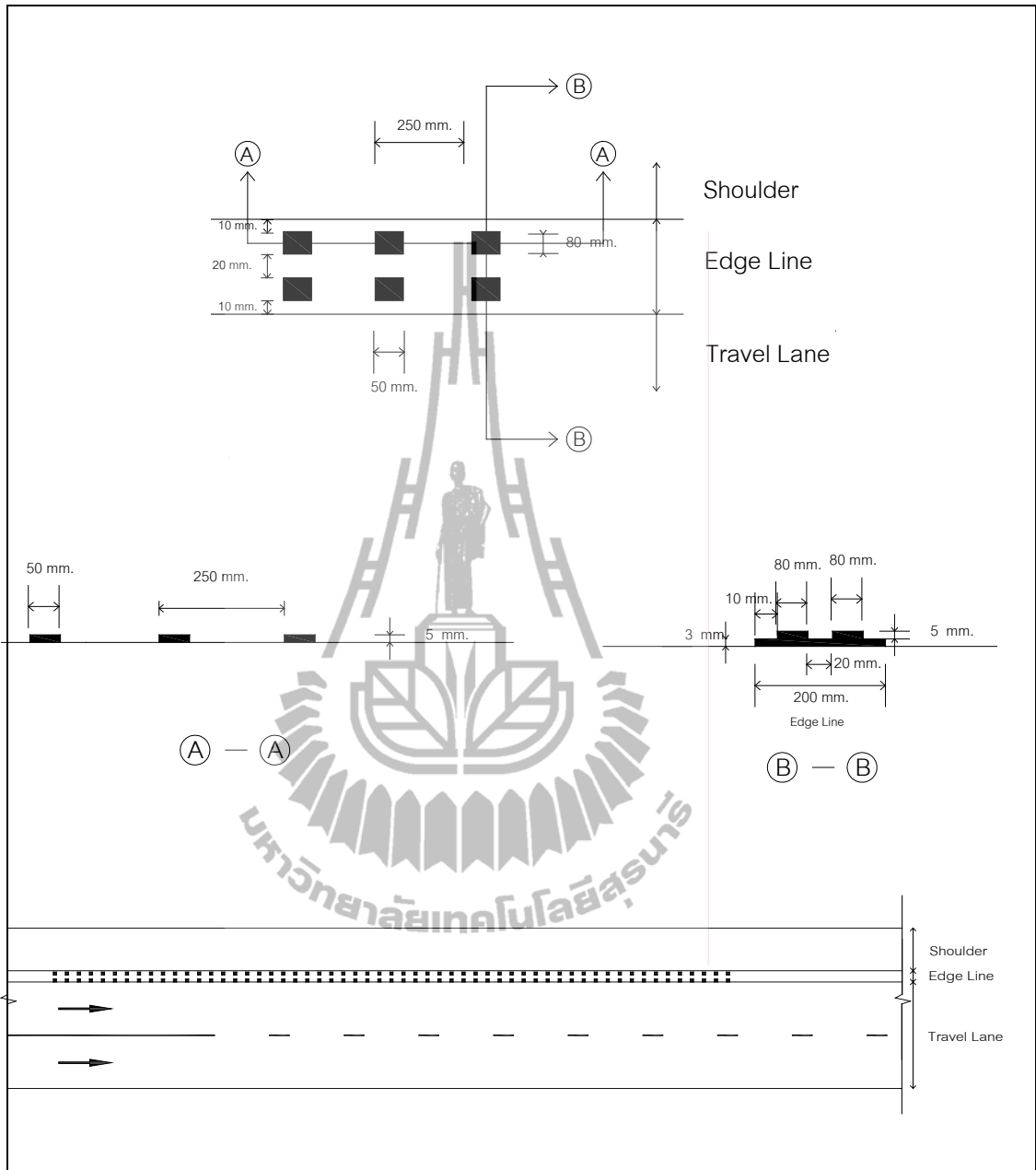
รูปที่ 3.2 ช่วงการติดตั้ง SRS ที่ใช้ทดสอบ

3.4 ลักษณะของแถบสัณระนาดบนไหล่ทางและวิธีการติดตั้ง

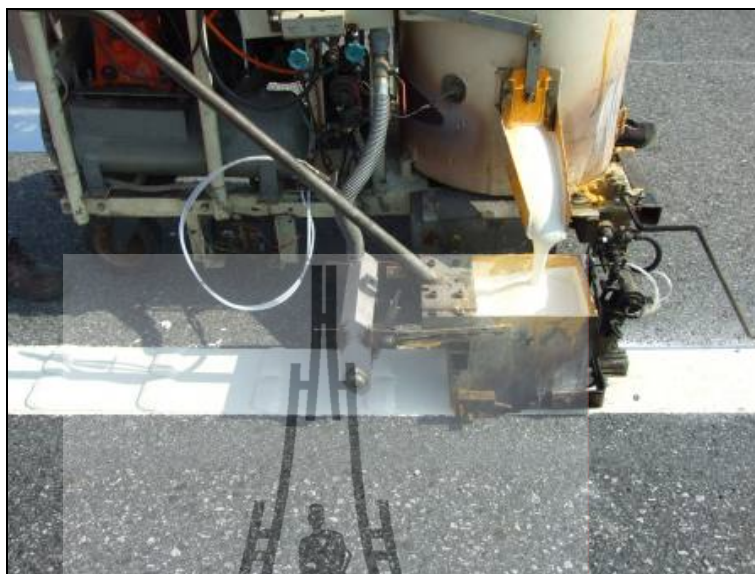
3.4.1 ลักษณะของ Thermoplastic Profiled Marking และวิธีการติดตั้ง

Thermoplastic Profiled Marking มีลักษณะเป็นปุ่มนูนบนเส้นขอบทาง โดยการติดตั้งมีลักษณะของ Thermoplastic Profiled Marking นูนขึ้นมาสูงกว่าเส้นขอบทางจำนวน 2 ปุ่ม โดยใช้วิธีการหยอดสีเทอร์โมพลาสติกให้เป็นแถว ๆ ละ 2 ก้อนบนเส้นขอบทาง ติดตั้งเรียงต่อเนื่องไปตามเส้นขอบทาง ลักษณะของ Thermoplastic Profiled Marking จะพิจารณาเป็นแถวบนเส้นขอบทาง โดยแต่ละแถวจะมีก้อนของสีเทอร์โมพลาสติกจำนวน 2 ก้อน ซึ่งในแต่ละก้อนจะมีขนาดความกว้าง 50 มม. ความยาว 80 มม. มีความหนาของก้อนสี 5 มม. และในแถวเดียวกันก้อนสีจะห่างจากเส้นขอบทาง 10 มม. และแต่ละก้อนจะห่างกัน 20 มม. แต่ละแถวจะห่างกัน 200 มม.

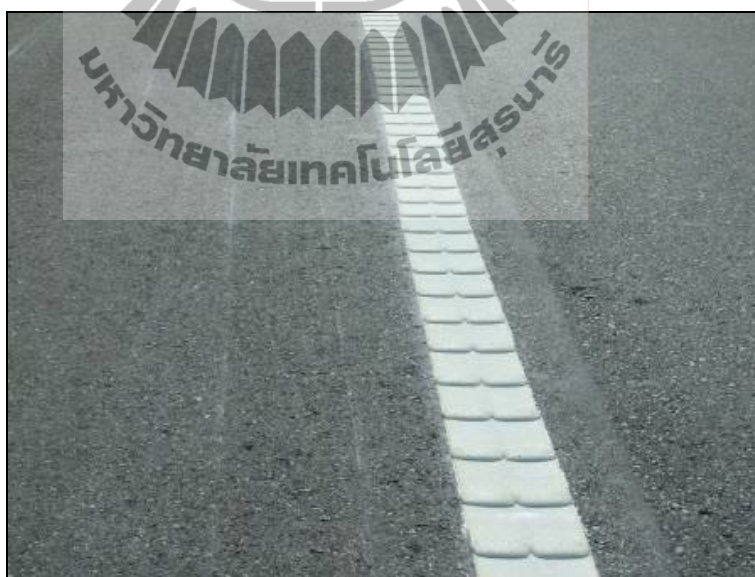
ตำแหน่งของการติดตั้ง Thermoplastic Profiled Marking บนเส้นขอบทาง บนทางหลวงหมายเลข 7 อยู่ในช่วงกิโลเมตรที่ 54+850 ถึง 54+900 เป็นระยะทาง 50 เมตร รูปแบบการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.3 วิธีการติดตั้งและลักษณะของ Thermoplastic Profiled Marking ติดตั้งแล้วเสร็จแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 รูปแบบการติดตั้ง Thermoplastic Profiled Marking ที่ใช้ทดสอบ
 ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.



รูปที่ 3.4 ขณะดำเนินการติดตั้ง Thermoplastic Profiled Marking
 ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.



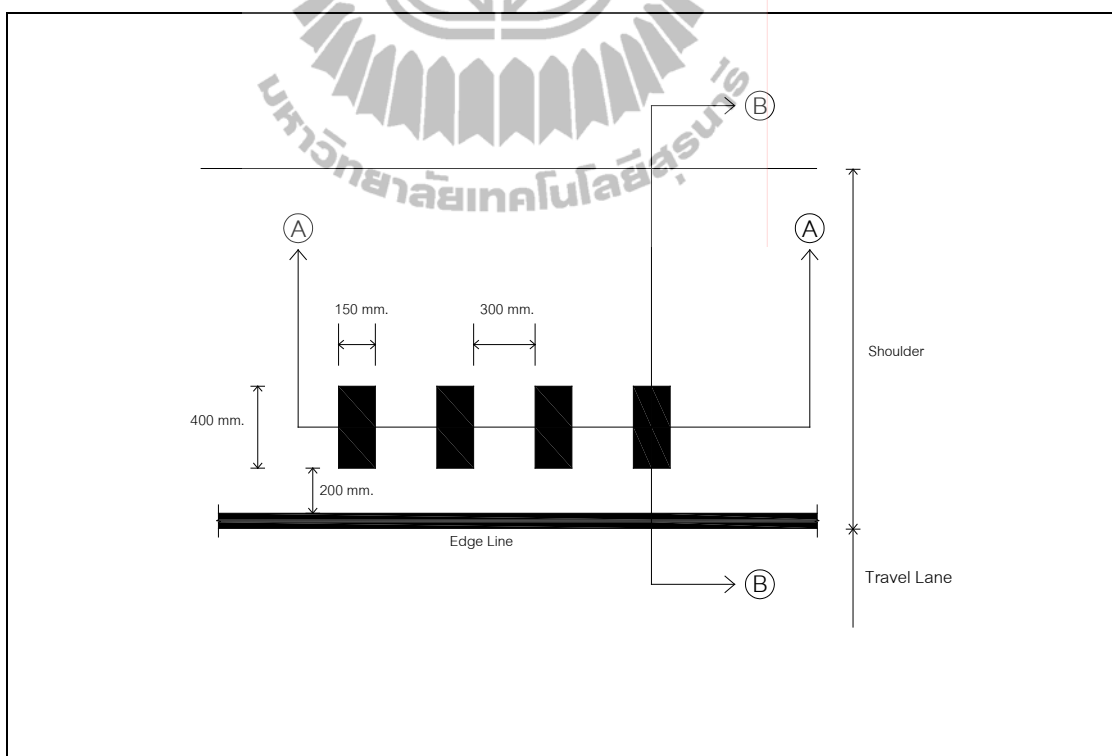
รูปที่ 3.5 ลักษณะ Thermoplastic Profiled Marking หลังติดตั้งแล้วเสร็จ
 ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.

3.4.2 ลักษณะของ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และวิธีการติดตั้ง

มีลักษณะเป็นแถบสัณระนาดที่ติดตั้งบนไหล่ทาง โดยติดตั้งให้มีลักษณะของเส้นแถบสัณระนาดตั้งฉากกับเส้นขอบทางและขวางกับทิศทางการจราจร ใช้วิธีการทาสีเทอร์โมพลาสติกให้เป็นเส้นนูนขึ้นสูงกว่าผิวจราจรปกติ ติดตั้งเป็นแถวต่อเนื่องบนไหล่ทางของถนน

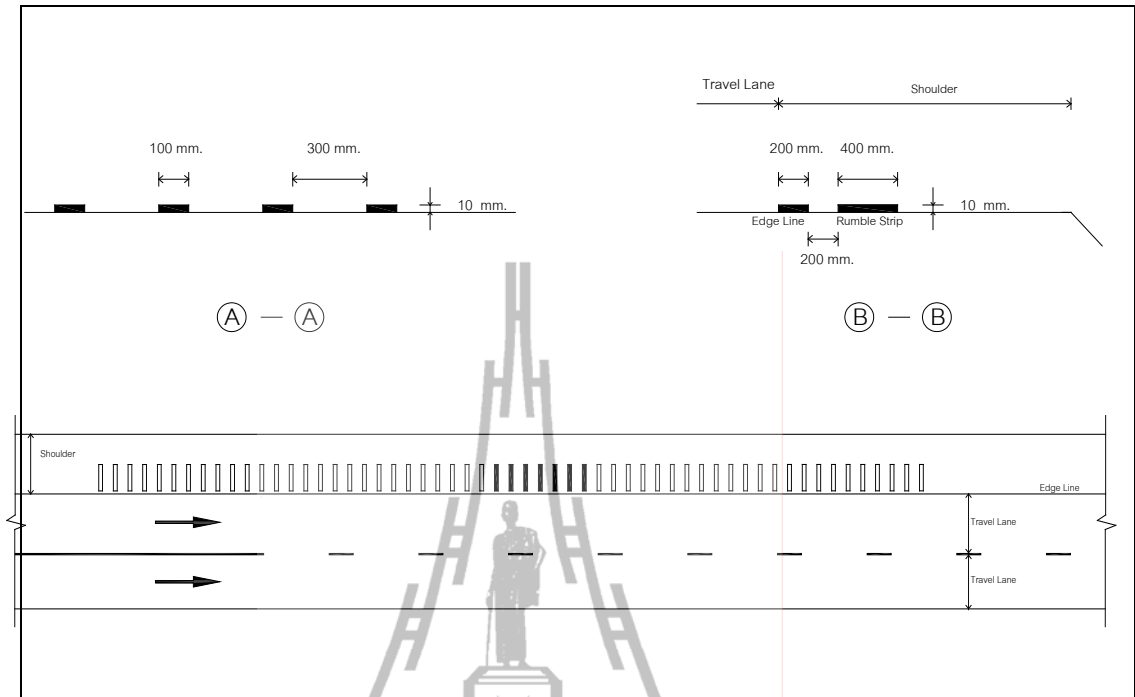
รูปแบบของ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips เป็นเส้นแถบสัณระนาดที่มีความยาว 400 มิลลิเมตร มีความกว้าง 150 มิลลิเมตร ห่างจากเส้นขอบทาง 200 มิลลิเมตร และแต่ละเส้นห่างกัน 300 มิลลิเมตร โดยแต่ละเส้นจะมีความหนาสูงจากผิวจราจรปกติ 10 มิลลิเมตร โดยดำเนินการติดตั้งต่อเนื่องกันไปตลอดช่วงถนนที่ทำการติดตั้ง

ตำแหน่งของจุดติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips บนผิวไหล่ทางบนทางหลวงหมายเลข 7 อยู่ในช่วงกิโลเมตรที่ 55+100 ถึง 55+150 เป็นระยะทาง 50 เมตร รูปแบบการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.6 วิธีการติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips แสดงในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 เป็นรูปที่แสดงลักษณะของ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips หลังการติดตั้งแล้วเสร็จ



รูปที่ 3.6(a) รูปแบบการติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.



รูปที่ 3.6(b) รูปแบบการติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips
ที่มา : กรมทางหลวง, 2553



รูปที่ 3.7 การติดตั้ง Transverse Raised Shoulder Rumble Strips
ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.



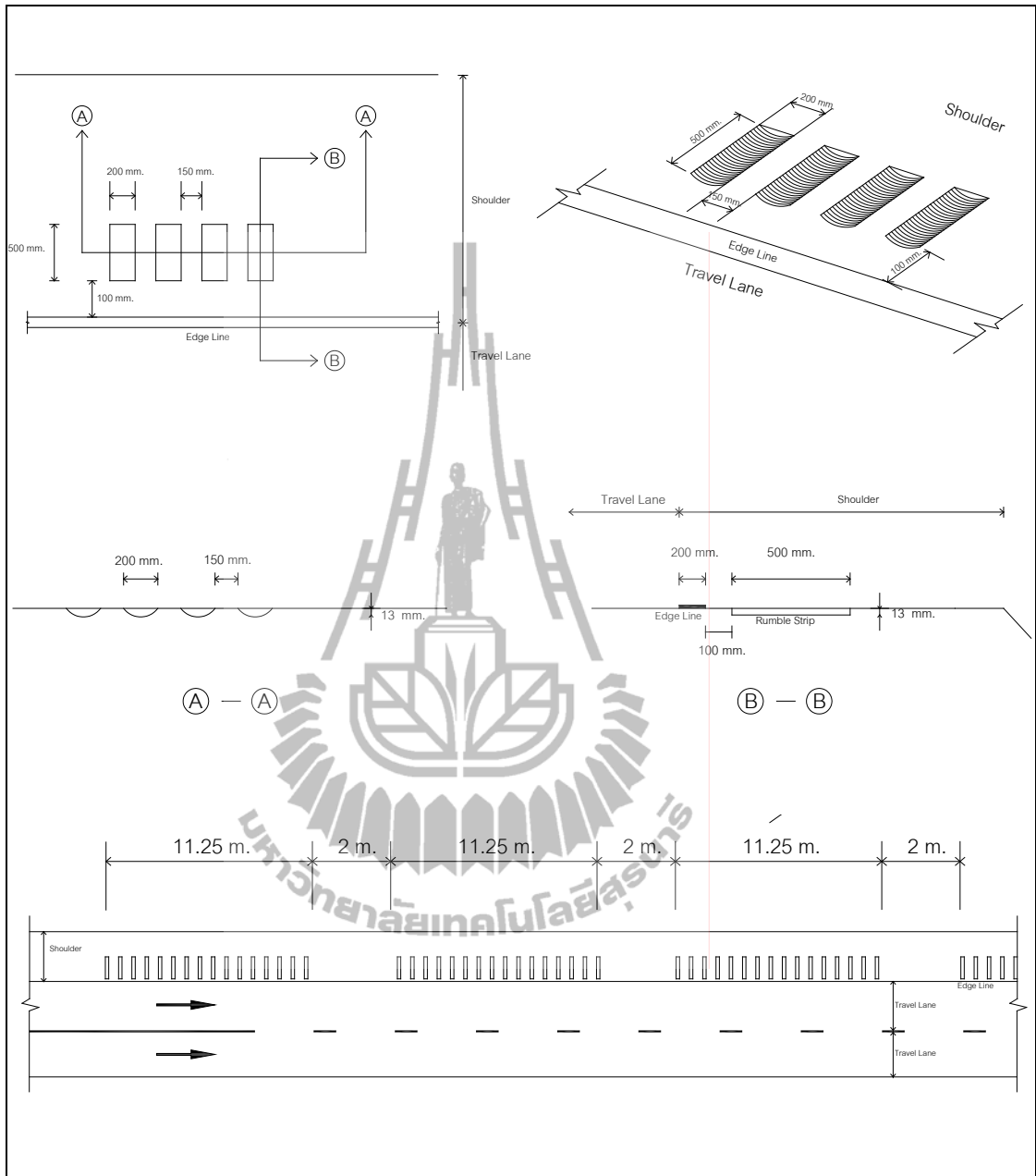
รูปที่ 3.8 ลักษณะ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips หลังติดตั้งแล้วเสร็จ
ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.

3.4.3 ลักษณะของ Milled in Shoulder Rumble Strips และวิธีการติดตั้ง

Milled in Shoulder Rumble Strips เป็นแถบสันขนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง โดยใช้เครื่องขุดเฉพาะ ซึ่งแถบสันขนาดบนไหล่ทางชนิดนี้จะมีลักษณะการติดตั้งขนานไปกับเส้นทาง โดยจะตั้งฉากกับเส้นขอบทาง และวางกับทิศทางจราจร

ลักษณะของ Milled in Shoulder Rumble Strips มีขนาดความกว้างของร่อง 200 มิลลิเมตร มีความยาว 500 มิลลิเมตร มีความลึกของร่อง 13 มิลลิเมตร แต่ละร่องของ Rumble Strips จะห่างกัน 150 มิลลิเมตร และตัวของแถบสันขนาดห่างจากเส้นขอบทาง 100 มิลลิเมตร การติดตั้ง Milled in Shoulder Rumble Strips จะติดตั้งเป็นกลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีความยาว 11.25 เมตร และแต่ละกลุ่มจะมีระยะห่างกัน 2 เมตร

ตำแหน่งของจุดติดตั้ง Milled in Shoulder Rumble Strips บนผิวไหล่ทาง บนทางหลวงหมายเลข 7 อยู่ในช่วงทางเชื่อมระหว่างทางหลวงหมายเลข 7 กับทางหลวงหมายเลข 34 รูปแบบการติดตั้งแสดงในรูปที่ 3.9 สำหรับวิธีการติดตั้งแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งกรมทางหลวงได้ดำเนินการติดตั้งในปี 2551 และลักษณะของ Milled in Shoulder Rumble Strips ที่ใช้งานในปัจจุบันแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.9 รูปแบบการติดตั้ง Milled in Shoulder Rumble Strips
ที่มา : กรมทางหลวง, 2553.



รูปที่ 3.10 การติดตั้ง Milled in Shoulder Rumble Strips

ที่มา : เอื้อเฟื้อภาพโดย บริษัท เทพยนต์ แอโรโมทีฟ
อินดัสตรีส์ จำกัด, 2551.

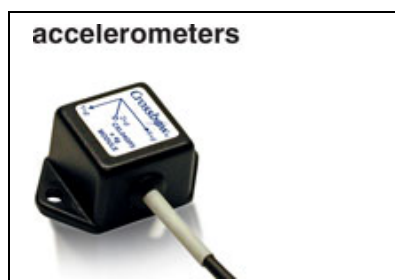


รูปที่ 3.11 ลักษณะ Milled in Shoulder Rumble Strips หลังติดตั้งแล้วเสร็จ

3.5 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ตัวรับแรงสั่นสะเทือนสามแกน (Accelerometers : General Purpose, M Series) ยี่ห้อ Crossbow รุ่น CXL04M3 Tri Axial สำหรับวัดความสั่นสะเทือนภายในห้องโดยสาร ดังแสดงในรูป 3.12 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

Span	± 4
Sensitivity	500
Bandwidth	DC-100
Noise	5
Noise Density	500
Zero g Output	$+2.5 \pm 0.1$
Zero g Drift	$\pm 60 \pm 0.12$ $\pm 100 \pm 0.2$
Span Output	$\pm 2.0 \pm 0.1$
Nonlinearity	± 0.2
Alignment	± 2
Transverse Sensitivity	± 3.5
Temperature Range	-40 to +85
Shock	1000
Out Loading	$> 10 \text{ k}\Omega, < 1 \text{ nF}$
Supply Voltage	$+ 5 \pm 0.25$
Supply Voltage -R option	+8 – 30
Supply Current	24



รูปที่ 3.12 ตัววัดแรงสั่นสะเทือนยี่ห้อ Crossbow รุ่น CXL04M3 Tri Axial

สำหรับการเลือกทดสอบภาคสนาม ได้ดำเนินการเลือกทดสอบภาคสนามจำนวน 1 คัน โดยเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เป็นตัวแทนรถยนต์ที่มีจำนวนมากที่สุดที่เข้ามาใช้ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ซึ่งจะต้องทำการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานปกติให้มากที่สุด รายละเอียดของรถทดสอบแสดงในตารางที่ 3.2 และแสดงรูปรถทดสอบไว้ในรูปที่ 3.13

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับรถทดสอบ

ตัวแปร	ยานพาหนะทดสอบ (Test Vehicle)
ยี่ห้อ	Honda
รุ่น	Honda Accord 2.3 VTi
ปี	2001
ความยาว (ม.)	4,795
ความกว้าง (ม.)	1,785+
ความสูง (ม.)	1,445
ฐานล้อ (ม.)	2,715
จำนวนเพลา	2
ระยะห่างใต้ท้องรถ (มม.)	146
ยาง	195/65R15 91V
เส้นผ่าน ศก. ภายใน (มม.)	432
เส้นผ่าน ศก. ภายนอก (มม.)	633
ความกว้างหน้ายาง (มม.)	198
แรงดันล้อหน้า (psi)	32
แรงดันล้อหลัง (psi)	32
จำนวนยาง	4
น้ำหนักตัวรถ (kg)	1,314
การขับเคลื่อน	ขับเคลื่อนล้อหน้า
เสียงภายในห้องโดยสารที่ระดับความเร็วคงที่ 80 กม./ชม.	66 dB(A)
ระบบการสิ้นสะท้อน	มีระบบกันสะท้อนล้อหน้าเป็นอิสระปีกนก 2 ชั้น และล้อหลังเป็นปีกนก 2 ชั้นแบบ 5 จุดยึด



รูปที่ 3.13 รถยนต์นั่งส่วนบุคคล Honda Accord 2.3 VTi ที่ใช้ในการทดสอบ

3.6 ขั้นตอนการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

3.6.1 ตำรวจข้อมูลวัดค่าการสั่นสะเทือน

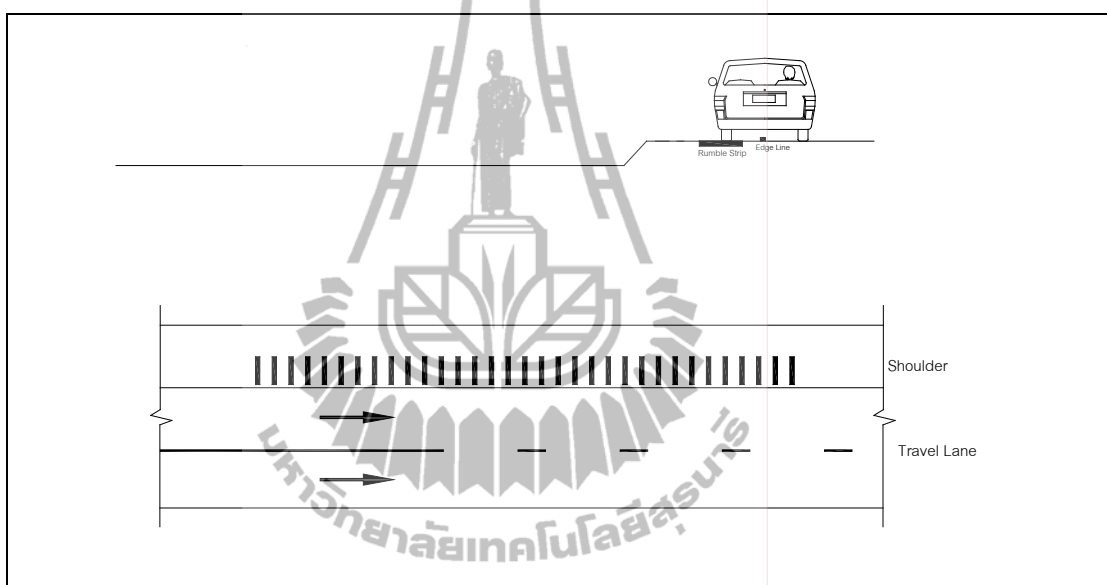
การสำรวจข้อมูลวัดระดับค่าการสั่นสะเทือนภายในตัวรถ ดำเนินการจัดเก็บในช่วงเวลากลางวัน (Daytime) และสภาพถนนแห้ง (Dry Condition) ปิดกระจกและเปิดแอร์ โดยแบ่งข้อมูลเป็น 6 ชุด ดังนี้

(1) ค่าการสั่นสะเทือนวัดบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่เมื่อขับผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking และกรณีของการขับรถทดสอบในสภาพปกติ (Ambient Condition) หรือไม่ผ่านแถบ SRS

(2) ค่าการสั่นสะเทือนวัดบริเวณพื้นรถข้างคนขับเมื่อขับผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking และกรณีของการขับรถทดสอบในสภาพปกติ (Ambient Condition) หรือไม่ผ่านแถบ SRS

(3) ค่าการสั่นสะเทือนวัดบริเวณพวงมาลัยเมื่อขับผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking และกรณีของการขับรถทดสอบในสภาพปกติ (Ambient Condition) หรือไม่ผ่านแถบ SRS

ยานพาหนะที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยทำการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานปกติให้มากที่สุด โดยทำการศึกษาสภาพปกติของถนนที่ไม่มีการติดตั้ง SRS (Ambient Condition) สำหรับการทดสอบจะทดสอบแถบสันขนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking โดยใช้ความเร็วของรถทดสอบที่ความเร็ว 40, 60, 80, 100 และ 120 กม./ชม. เพื่อวัดแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบ (Interior Measuring Method) โดยที่แรงสั่นสะเทือนวัดในตำแหน่งพวงมาลัย เบาะที่นั่งคนขับ และพื้นรถข้างคนขับ



รูปที่ 3.14 รูปแบบของการทดสอบให้รถยนต์วิ่งผ่านแถบ SRS

3.6.2 ขั้นตอนการทดสอบ

รายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของ SRS มีรายละเอียดดังนี้

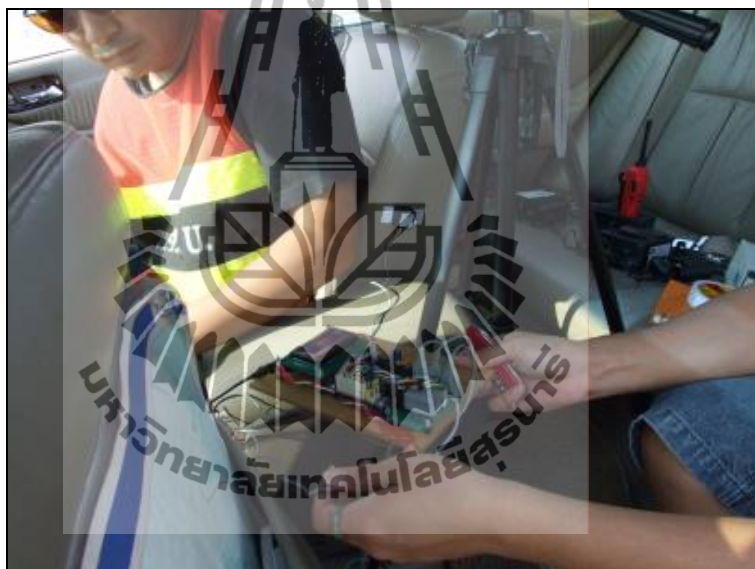
(1) ติดตั้งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนภายในห้องโดยสารโดยการติดตั้งที่เบาะที่นั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ

(2) ทดสอบขับรถผ่านแถบสันขนาดบนไหล่ทาง แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking ด้วยความเร็ว 40, 60, 80, 100 และ 120 กม./ชม. กรณีที่รถทดสอบไม่ผ่าน SRS ทั้ง 3 แบบ (Ambient Condition) และกรณีที่รถทดสอบขับผ่าน SRS ทั้ง 3 แบบในระดับความเร็วของรถที่เท่ากัน

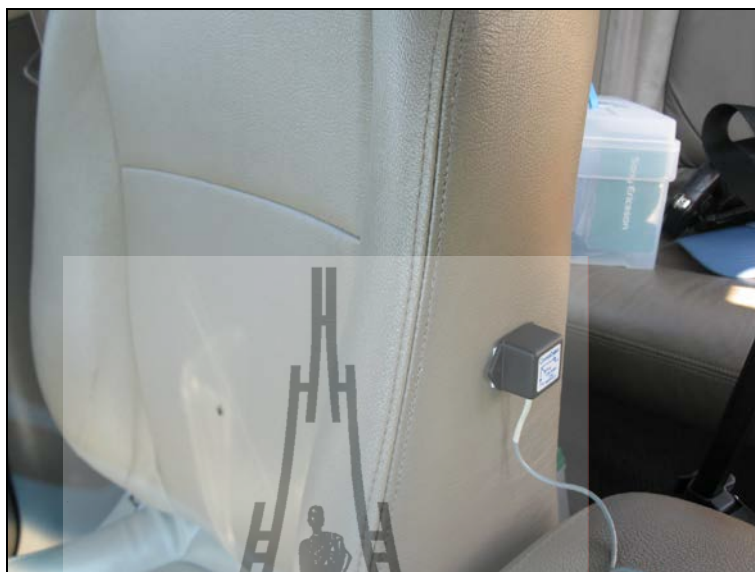
(3) ทำการวัดการสั่นสะเทือนภายในห้องโดยสาร ทั้งแบบผ่านและไม่ผ่านแถบสั่น
ขนาดบุนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ ตามระดับความเร็วที่ทดสอบ

(4) วิเคราะห์และประเมินผล และเปรียบเทียบข้อมูล เพื่อสรุปผลของการทดสอบ
แถบสั่นขนาดบุนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ

การติดตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนแสดงดังรูปที่ 3.15 และการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่า
แรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัยรถ และพื้นรถข้างคนขับแสดงในรูปที่ 3.16 ถึง 3.18
ตามลำดับ สำหรับการขับรถทดสอบขับผ่านแถบ SRS ทั้ง 3 รูปแบบแสดงในรูป 3.19 ถึง 3.21



รูปที่ 3.15 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่



รูปที่ 3.16 ลักษณะของเซ็นเซอร์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่หลังติดตั้งแล้วเสร็จ



รูปที่ 3.17 ลักษณะของเซ็นเซอร์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์
หลังติดตั้งแล้วเสร็จ



รูปที่ 3.18 ลักษณะของเซ็นเซอร์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถยนต์หลังติดตั้งแล้วเสร็จ



รูปที่ 3.19 การทดสอบภาคสนามกรณีขับผ่าน Milled in Shoulder Rumble Strips
โดยใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล



รูปที่ 3.20 การทดสอบภาคสนามกรณีขับผ่าน Thermoplastic Profile Marking
โดยใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล



รูปที่ 3.21 การทดสอบภาคสนามกรณีขับผ่าน Transverse Raised Shoulder Rumble Strips
โดยใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล จะเก็บข้อมูลทั้งแบบผ่านและไม่ผ่านแถบสนระนาคบนไหล่ทางเพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพในการสร้างแรงสั้นสะเทือนของ SRS ในประเด็นด้านความสั้นสะเทือนภายในตัวรถยนต์ที่มีผลต่อผู้ขับที่ตำแหน่งเบาะที่นั่งคนขับ คอพวงมาลัย และพื้นผิวรถข้างคนขับ

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยแยกประเด็นการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

(1) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงสั้นสะเทือนเบาะที่นั่งคนขับ ระหว่างกรณีที่รถทดสอบผ่าน และไม่ผ่านแถบสนระนาคบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ ในระดับความเร็วที่แตกต่างกันที่ดำเนินการทดสอบ

(2) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงสั้นสะเทือนที่คอพวงมาลัย ระหว่างกรณีที่รถทดสอบผ่าน และไม่ผ่านแถบสนระนาคบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ ในระดับความเร็วที่แตกต่างกันที่ดำเนินการทดสอบ

(3) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงสั้นสะเทือนพื้นรถทดสอบข้างคนขับ ระหว่างกรณีที่รถทดสอบผ่าน และไม่ผ่านแถบสนระนาคบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง ในระดับความเร็วที่แตกต่างกันที่ดำเนินการทดสอบ

(4) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของแรงสั้นสะเทือนระหว่าง เบาะที่นั่งคนขับ คอพวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ ในระดับความเร็วที่แตกต่างกัน

3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

ในงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลความเร็วและและการสั้นสะเทือนจากแถบสนระนาคบนไหล่ทาง พบว่า ข้อมูลจากที่ได้การเก็บข้อมูลประกอบด้วยข้อมูล 3 ชุด ในแต่ละรูปแบบของแถบสนระนาคบนไหล่ทาง ดังนั้นเพื่อตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลทั้ง 3 ของแต่ละรูปแบบแถบสนระนาคบนไหล่ทาง ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคที่เรียกว่า “การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)” มาช่วยในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของข้อมูล โดยที่ข้อมูลแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ รวมทั้งชุดข้อมูลจะต้องเกิดจากการสุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน โดยเลือกการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) มีรายละเอียดดังนี้

ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว หรือ One-way ANOVA เป็นวิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวเดียวกับตัวแปรตามเพียงตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) ที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่าง ๆ ส่วนตัวแปรตามอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

กับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้ สรุปคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ย (mean) ของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป อันเกิดจากการจัดกระทำที่ต่างกัน

สำหรับประเด็นสำคัญของวิธี ANOVA นั้น คือ ANOVA สามารถใช้ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไปได้ และ ANOVA สามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยที่ออกแบบซับซ้อนหรือมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวได้ และสุดท้าย ANOVA สามารถที่จะทดสอบได้ว่าตัวแปรอิสระสองตัวหรือมากกว่ามีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันหรือไม่

รายละเอียดที่จะต้องคำนึงถึงของวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน นั้นคือ (1) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ (ตัวแปรตาม) ต้องมีระดับการวัดตั้งแต่มาตราอันตรภาค (Interval scale) ขึ้นไป (2) กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ (3) กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องเป็นอิสระจากกัน และ (4) กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาจากประชากรที่มีความแปรปรวนเท่ากัน

สำหรับในงานวิจัยครั้ง ได้วางสมมติฐานในการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยที่สมมติฐานที่ไร้นัยสำคัญ (Null hypothesis) จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่ม มีค่าเท่ากัน และการสอบสมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis) กำหนดให้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกัน เขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$$H_1: \text{มี } \mu \text{ อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน}$$

$$\text{(หรือ } H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ เมื่อ } i \neq j)$$

สำหรับทฤษฎีของการหาค่าผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The sum of square) ซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปหาค่าความแปรปรวนในงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1) Total sum of squares (SS_T) หาได้จาก

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

2) Between – groups sum of squares (SS_B)

$$\sum_{j=1}^K \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad \sum_{j=1}^K n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

3) Within – group sum of squares (SS_W)

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^K \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) \quad \text{หรือ} \quad \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

ค่า SS_T หรือ SS_B และ SS_W เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึงความแปรปรวน (Mean of squares : MS) โดยมี $df_T = N - 1$, $df_B = K - 1$ และ $df_W = N - K$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดและ K คือจำนวนกลุ่ม

การคำนวณค่าสถิติ F-test สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ค่า F หาได้จากอัตราส่วนความแปรปรวนโดยหาจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (SS_B) หารด้วยความแปรปรวนภายในกลุ่ม (SS_W) ซึ่งมีค่า $df = K - 1$ (degree of freedom for the numerator) และ $df_L = N - K$ (degree of freedom for the denominator) การหาค่า F-test สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงการหาค่า F-test

Source of variation	SS	df	MS	F
Between groups	SS_B	$K - 1$	$SS_B / K - 1$	MS_B / MS_W
Within groups	SS_W	$N - K$	$SS_W / N - K$	
Total	$SS_B + SS_W$	$N - 1$		

ความหมายของสัญลักษณ์

T_i	คือ	ผลรวมของคะแนน n ค่าในแต่ละกลุ่ม
T	คือ	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
n_i	คือ	จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม
K	คือ	จำนวนกลุ่ม
X_{ij}	คือ	ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

\bar{X}_j คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม j

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยรวม

$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$ คือ ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่ม

จากสมการในการวิเคราะห์โดยวิธี ANOVA ข้างต้น ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สรุปแนวทางการวิเคราะห์ของวิจัยเพื่อทดสอบหาเป้าหมาย โดยตั้งสมมติฐานว่า “ความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลต่างค่าแรงสิ้นสะท้อนเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่”

ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้ คือ

H_0 : ค่าผลต่างของแรงสิ้นสะท้อนของแต่ละความเร็วที่ใช้ไม่มีความแตกต่างกัน

H_a : ค่าผลต่างของแรงสิ้นสะท้อนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่
หรือ

$H_0 : \mu(40) = \mu(60) = \mu(80) = \mu(100) = \mu(120)$

$H_a : \mu(\text{ความเร็ว } i) \neq \mu(\text{ความเร็ว } j) \text{ อย่างน้อย 1 คู่; } i \neq j$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากรายละเอียดที่กล่าวมาตั้งแต่เริ่มต้นบทที่ 1 ถึง บทที่ 3 ตั้งแต่การตั้งจุดประสงค์ของการวิจัยไว้ในบทที่ 1 ที่ตั้งเป้าหมายในเรื่องการประเมินประสิทธิภาพของแถบสั้นระนาดบนไหล่ทางด้วยการพิจารณาเรื่องการสันสะเทือนภายในตัวรถทดสอบ จากจุดประสงค์ดังกล่าวนำมาซึ่งการทบทวนเนื้อหารายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยแถบสั้นระนาดบนไหล่ทางในต่างประเทศและในประเทศไทยกล่าวไว้ในบทที่ 2 และในบทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงรูปแบบของการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย สำหรับบทที่จะกล่าวต่อไปเป็นบทที่ 4 ที่ได้รวบรวมและสรุปผลการศึกษาอย่างละเอียดในการทดสอบประสิทธิภาพของแถบสั้นระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ และนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ทางด้านสถิติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 บทนำ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ทางสถิติของชุดข้อมูลและการนำชุดข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับการสันสะเทือนและหาค่าความแตกต่างของระดับการสันสะเทือน และทำการตรวจสอบว่าชุดข้อมูลที่ได้มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันมากน้อยเพียงใด งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบชุดข้อมูล 2 ชุด ได้แก่ กรณีที่ต้องการเปรียบเทียบระดับความสันสะเทือนภายในตัวรถเมื่อขับจีพ่าน และไม่ผ่านแถบเสียงสันระนาดบนไหล่ทางโดยทำการวัดระดับความสันสะเทือนภายในห้องโดยสาร ซึ่งจะแยกการเปรียบเทียบตำแหน่งของการรับแรงสันสะเทือนที่ต่างกันจำนวน 3 ตำแหน่งเพื่อนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ระดับความสันสะเทือนที่พวงมาลัยรถ ระดับความสันสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ และระดับความสันสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับ โดยที่จะขับจีพ่ด้วยรถทดสอบที่ความเร็วต่าง ๆ กัน ซึ่งจะทำให้การประมวลผลทั้งหมดด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS (Statistic Package for Social Science)

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่าชุดข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่น เมื่อต้องการเปรียบเทียบระดับความสันสะเทือนที่ตรวจวัดภายในห้องโดยสารที่ขับจีพ่านและไม่ผ่านแถบเสียง

สันระนาบบนไหล่ทาง ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยชุดข้อมูลจะต้องเป็นการสุ่มแบบอิสระ ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องตัดข้อมูลที่เกิดความผิดพลาดออก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรอิสระอื่น ๆ ในการทดสอบได้ เช่น กรณีมีแรงสั่นสะเทือนมากกว่าสภาพการจราจรปกติโดยที่รถบรรทุกขนาดใหญ่ขับผ่านขณะทำการวัดค่าแรงสั่นสะเทือนทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง หรือกรณีเกิดความผิดพลาดจากการบังคับความเร็วของรถทดสอบไม่คงที่ขณะทำการทดสอบขับผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางทำให้ค่าความเร็วที่ออกมามีค่าคลาดเคลื่อนจากที่ตั้งไว้ ปัญหาจากการระมัดระวังในเรื่องอุบัติเหตุจากรถอื่นขณะทำการทดสอบทำให้เกิดการชะลอความเร็วของรถทดสอบ หรือปัญหาจากการขับรถทดสอบขับผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบไม่สม่ำเสมอหรือขับเหยียบไม่เต็มล้อรถ เป็นต้น โดยตั้งสมมติฐานในการทดสอบดังนี้

$$H_0 : \mu(40) = \mu(60) = \mu(80) = \mu(100) = \mu(120)$$

$$H_a : \mu(\text{ความเร็ว } i) \neq \mu(\text{ความเร็ว } j) \text{ อย่างน้อย 1 คู่ ; } i \neq j$$

การทดสอบจะยอมรับว่า H_a เป็นจริงเมื่อค่า $significant < 0.05$ โดยทำการทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งหมายความว่า ถ้า $significant < 0.05$ ข้อมูลทั้งสองชุดที่ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวจะมีความแตกต่างของชุดข้อมูลอย่างน้อย 1 คู่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ

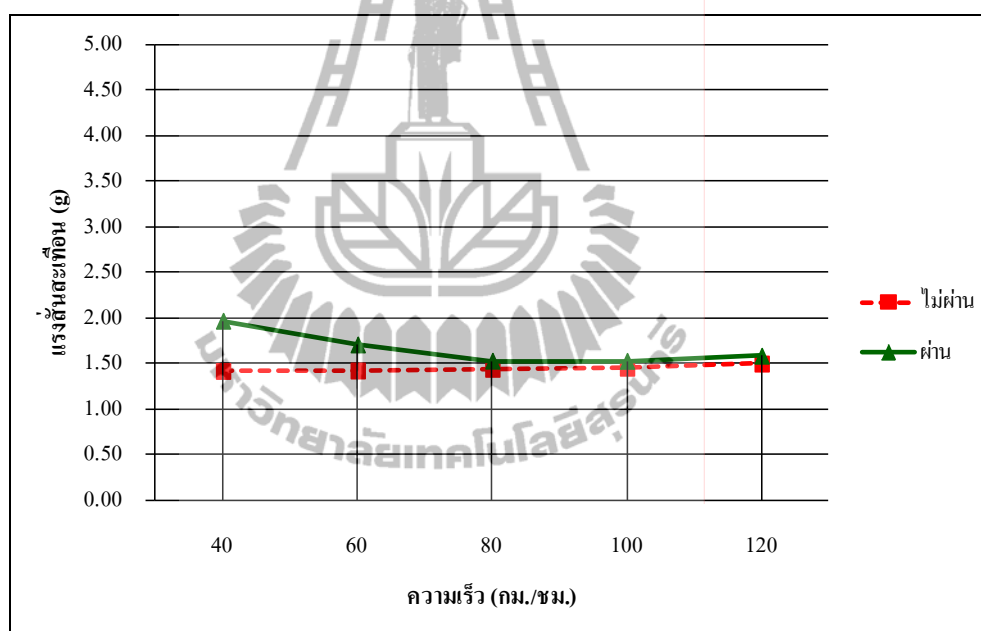
4.3 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนของ Milled in Shoulder Rumble Strips

4.3.1 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนเบาะนั่งผู้ขับขี่

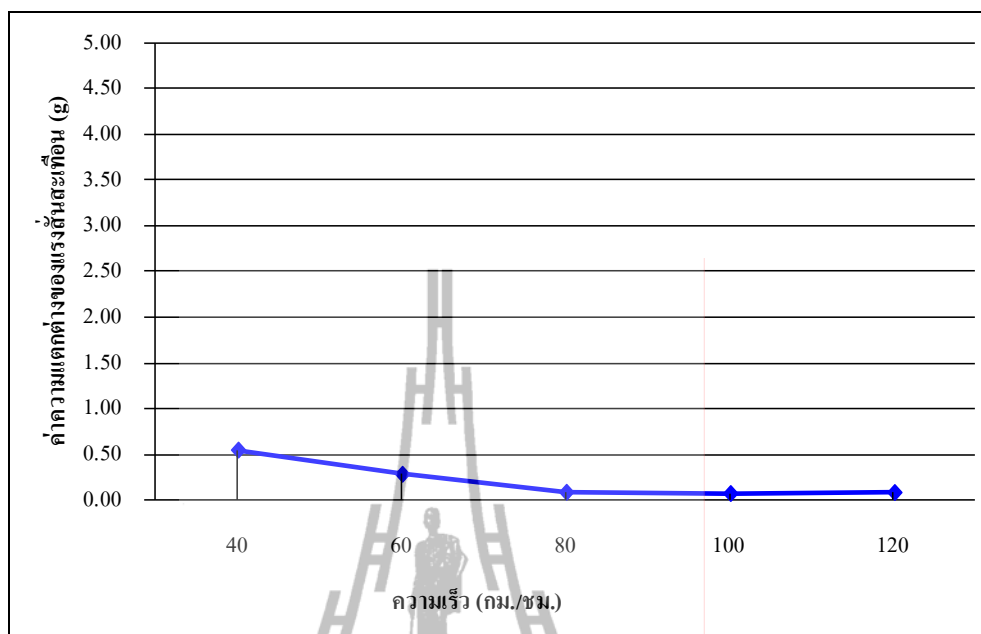
ผลการทดสอบแรงสั่นสะเทือนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล พบว่าค่าความแตกต่างของการสั่นสะเทือนที่บริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่เมื่อขับรถผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางกับแรงสั่นสะเทือนเมื่อไม่ผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips มีความแตกต่างลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น โดยค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแถบสันระนาบบนไหล่ทาง กรณีที่ขับรถผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางจะมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่ผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทาง และค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่จะมีค่ามากที่สุดกรณีที่ใช้ความเร็ว 40 กม./ชม. โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 1.97 g และจะมีค่าลดลงตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น และค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่จะมีแนวโน้มลดลงจนเกือบจะคงที่เมื่อรถมีความเร็วตั้งแต่ 80 กม./ชม. ขึ้นไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และสรุปผลการวัดการสั่นสะเทือนไว้ในรูปที่ 4.1 และค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทางในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

ความเร็ว (กม./ชม.)	แรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.42	1.97	0.55
60	1.42	1.71	0.29
80	1.44	1.53	0.09
100	1.45	1.53	0.08
120	1.50	1.58	0.09



รูปที่ 4.1 ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips



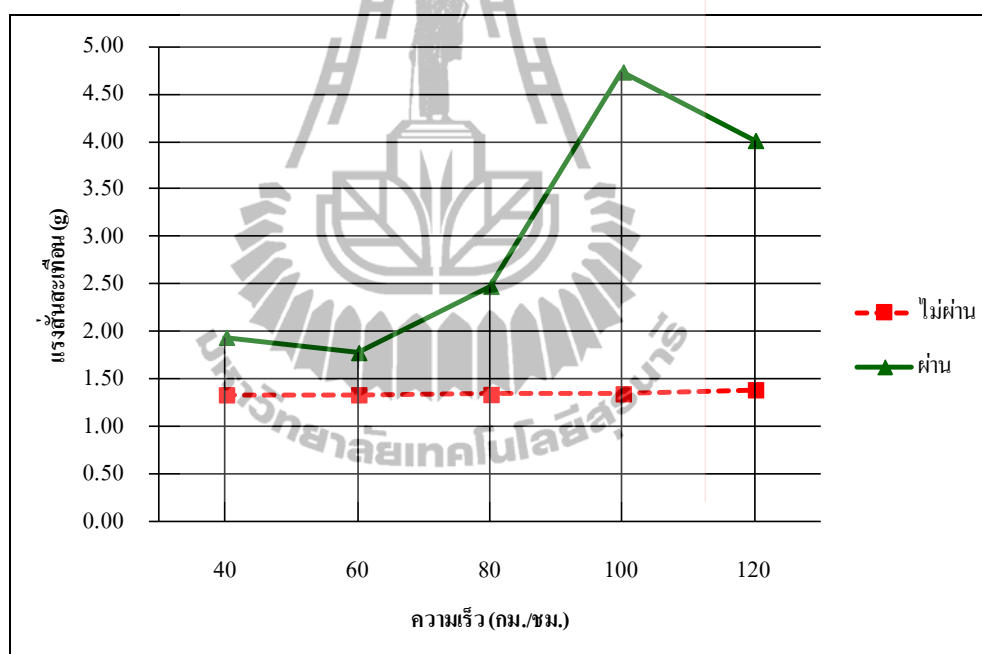
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ระหว่าง ขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

4.3.2 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์

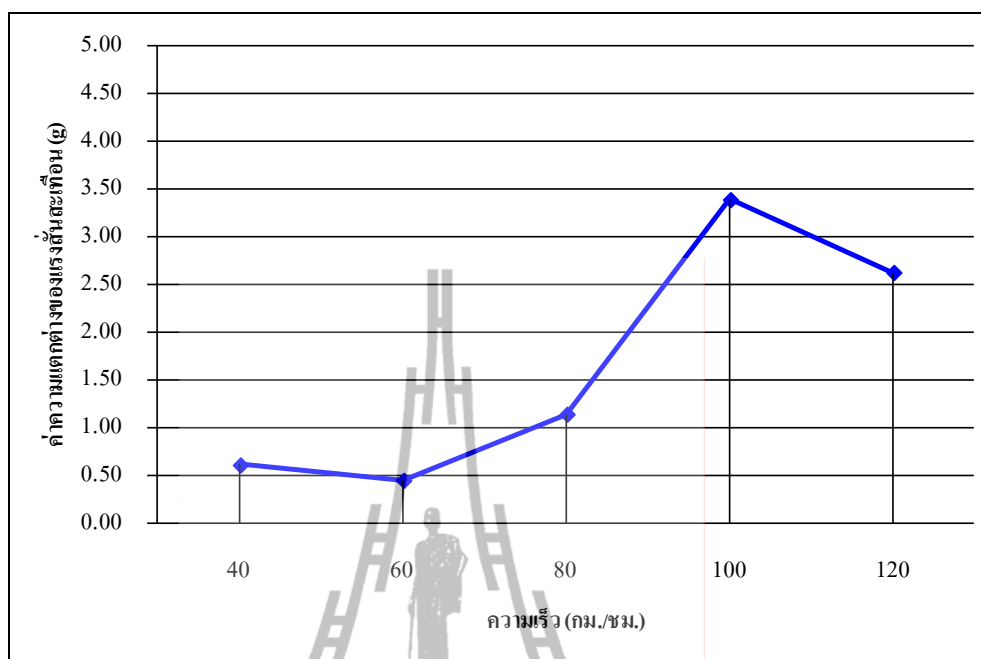
สำหรับการทดสอบแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถของรถทดสอบ พบว่า ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแถบสันระนาดบนไหล่ทาง แบบ Milled in SRS มีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง โดยมีค่ามากที่สุด 4.73 g เมื่อใช้ความเร็ว 100 กม./ชม. และค่าความแตกต่างของการสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์ระหว่างกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่าน SRS มีค่าความแตกต่างเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น โดยค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแบบคงที่เมื่อความเร็วเกินกว่า 100 กม./ชม. ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และสรุปผลการวัดค่าแรงสั่นสะเทือนไว้ในรูปที่ 4.3 และค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบ Milled in SRS แสดงดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

ความเร็ว (กม./ชม.)	ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.34	1.94	0.61
60	1.34	1.78	0.44
80	1.34	2.48	1.14
100	1.35	4.73	3.38
120	1.39	4.01	2.62



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips



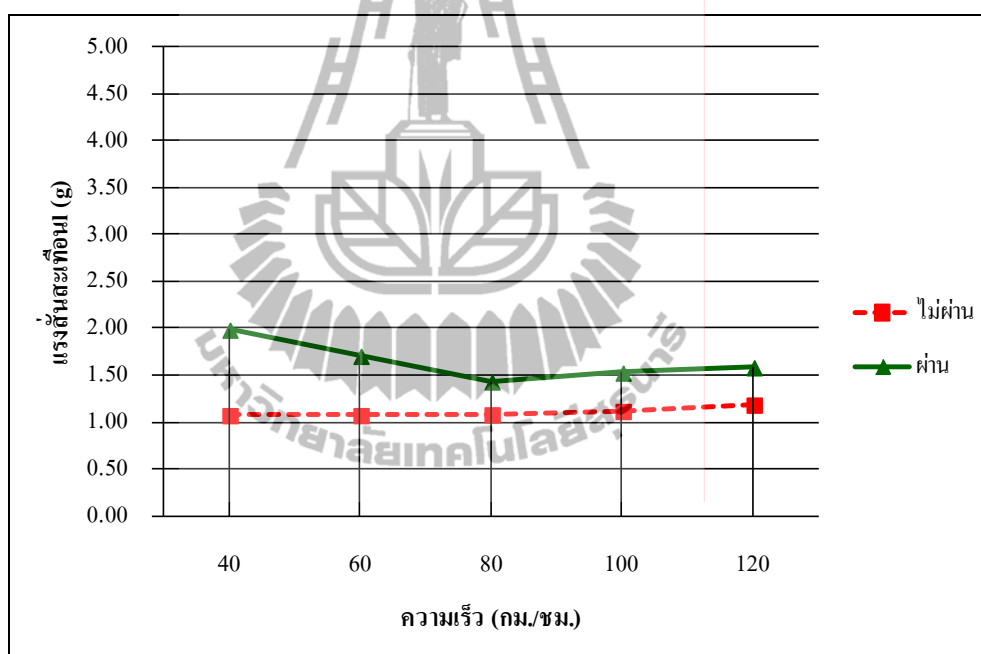
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์ระหว่างขับรุดผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

4.3.3 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนพื้นรุดด้านผู้ขับขี่

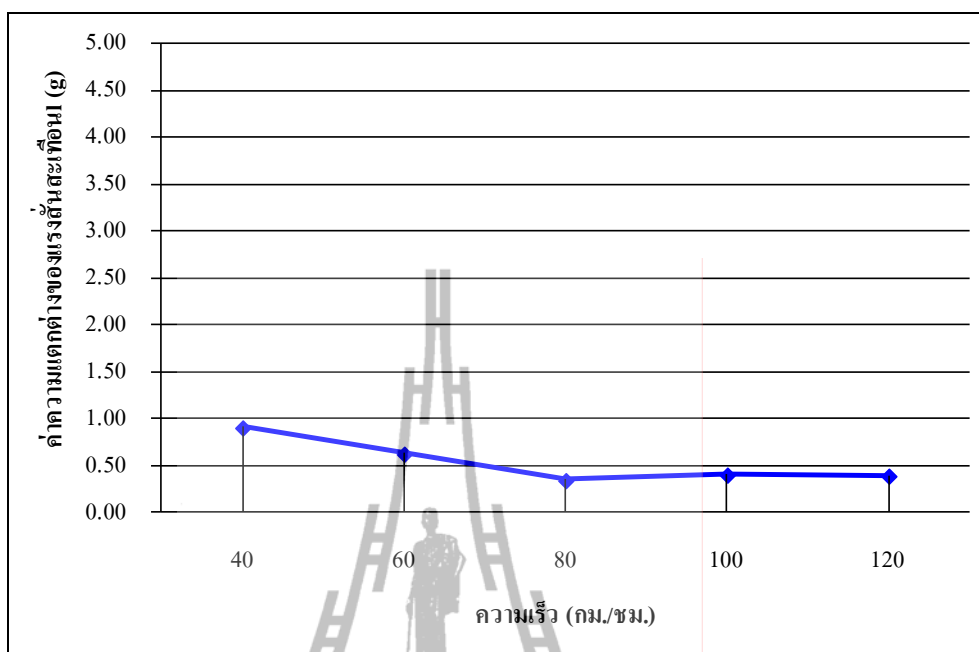
ในตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความแตกต่างของการสั่นสะเทือนที่บริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่เมื่อขับรุดผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบแบบ Milled in SRS เทียบกับสภาพปกติ (Ambient Condition) มีค่าความแตกต่างลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น และค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดจะมีค่ามากที่สุดถึง 1.99 g เมื่อรุดทดสอบใช้ความเร็ว 40 กม./ชม. และค่าแรงสั่นสะเทือนจะลดลงตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น และแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดจะมีแนวโน้มมีค่าคงที่เมื่อรุดมีความเร็วของรุดทดสอบตั้งแต่ 80 กม./ชม. ขึ้นไป และค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงจนเกือบจะคงที่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ดังแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงสั่นสะเทือนในรูปที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

ความเร็ว (กม./ชม.)	แรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.07	1.99	0.91
60	1.07	1.71	0.63
80	1.08	1.43	0.35
100	1.12	1.53	0.41
120	1.19	1.59	0.40



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถยนต์ด้านคนขับระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นขนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

สรุปผลการวัดค่าแรงสั่นสะเทือนในการทดสอบแถบสั่นขนาดแบบ Milled in SRS พบว่าระดับการสั่นสะเทือนเมื่อขับจี้ผ่าน Milled in SRS ในกรณีเหยียบ มีค่าการสั่นสะเทือนมากกว่ากรณีไม่เหยียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงผลการทดสอบ และรูปที่ 4.7 ถึง 4.9 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงในรูปภาพ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านแถบ Milled in Shoulder Rumble Strips

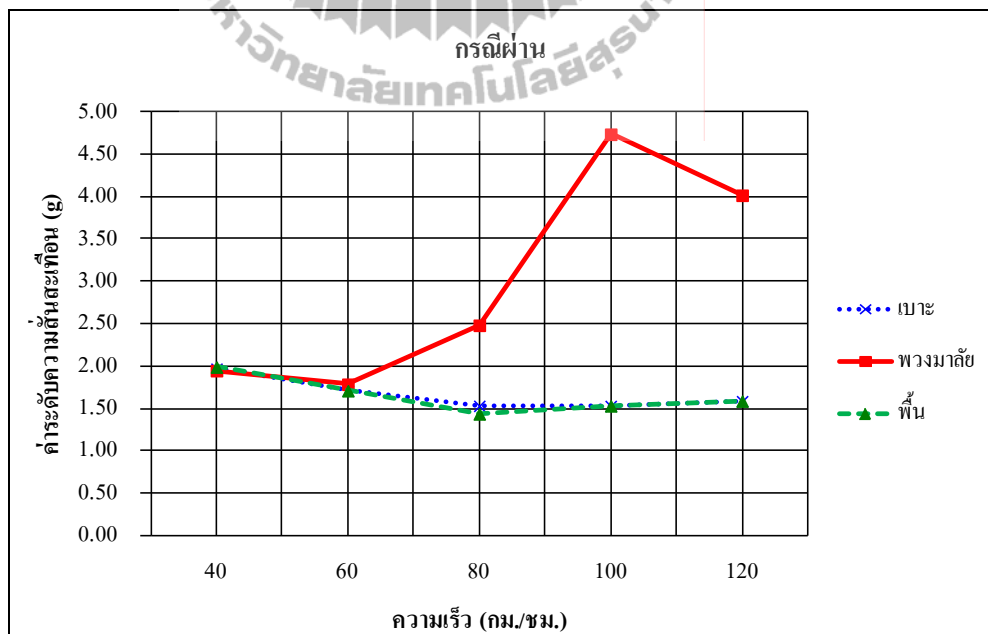
ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	1.97	1.71	1.53	1.53	1.58
	พวงมาลัย	1.94	1.78	2.48	4.73	4.01
	พื้น	1.99	1.71	1.43	1.53	1.59

ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบไม่ผ่านแถบ Milled in Shoulder Rumble Strips

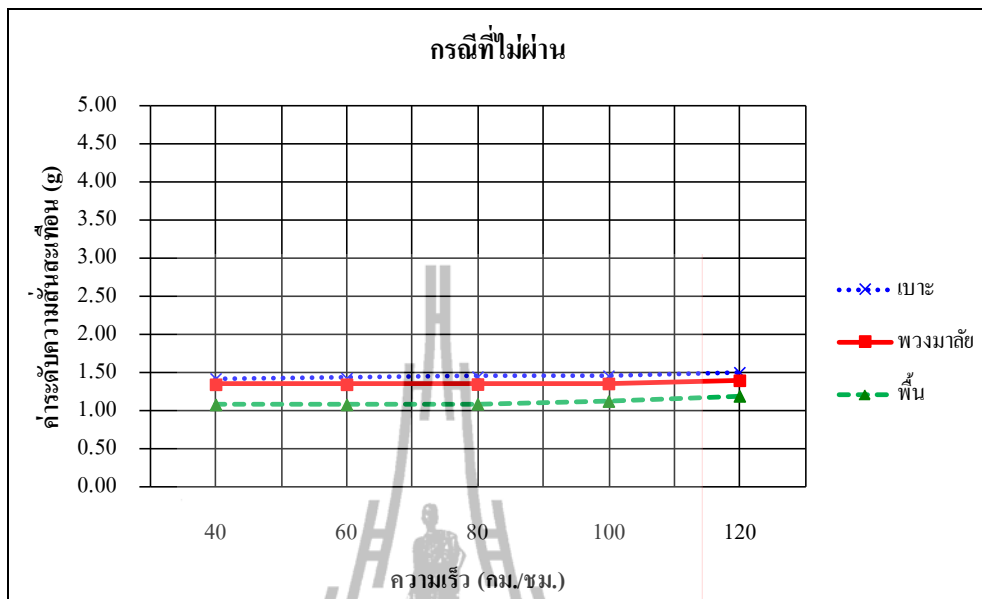
ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	1.42	1.42	1.44	1.45	1.50
	พวงมาลัย	1.34	1.34	1.34	1.35	1.39
	พื้น	1.07	1.07	1.08	1.12	1.19

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแตกต่างของระดับแรงสั่นสะเทือนระหว่างผ่านและไม่ผ่านแถบ Milled in Shoulder Rumble Strips

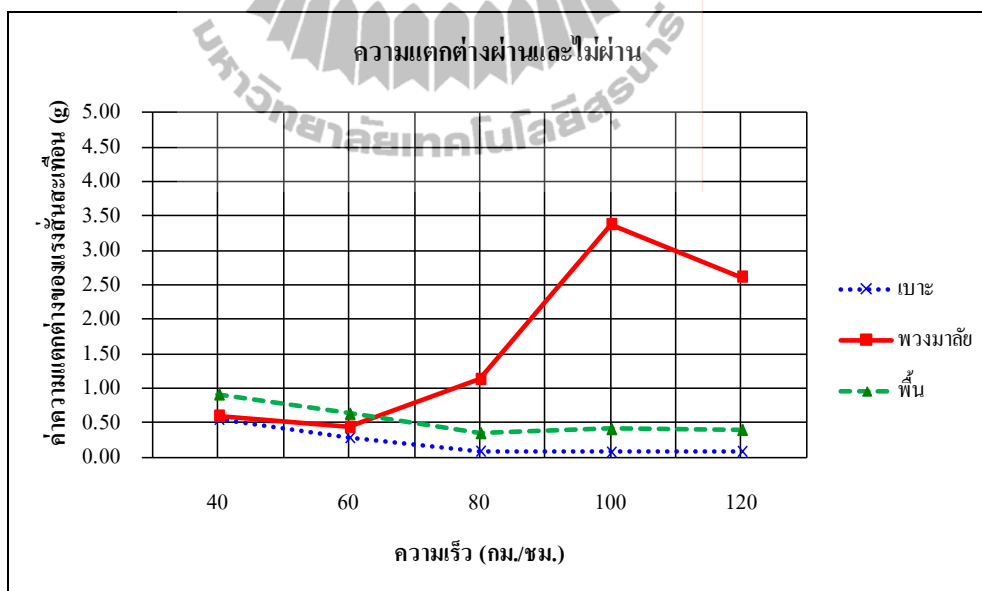
ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	0.55	0.29	0.09	0.08	0.09
	พวงมาลัย	0.61	0.44	1.14	3.38	2.62
	พื้น	0.91	0.63	0.35	0.41	0.40



รูปที่ 4.7 ค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถ ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips



รูปที่ 4.8 ค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถ ในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

จากผลการทดสอบ ต้องการทราบว่า ความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลต่างค่าแรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเลือกการใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากร โดยวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) มีขั้นตอนการทดสอบตั้งแต่การตรวจสอบตัวแปรของแต่ละกลุ่มย่อยมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากนั้นทำการตรวจสอบ ค่าแปรปรวนของตัวแปรตามของทุกกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ แล้วจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

(1) การตั้งสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความแปรปรวน

H_0 : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในทุกความเร็วไม่ต่างกัน

H_a : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในบางความเร็วต่างกัน

หรือ

H_0 : $\text{Var}(40) = \text{Var}(60) = \text{Var}(80) = \text{Var}(100) = \text{Var}(120)$

H_a : $\text{Var}(\text{ความเร็ว } i) \neq \text{Var}(\text{ความเร็ว } j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

(2) การตั้งสมมติฐานตรวจค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม

H_0 : ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้ไม่มีความแตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

หรือ

H_0 : $\mu(40) = \mu(60) = \mu(80) = \mu(100) = \mu(120)$

H_a : $\mu(\text{ความเร็ว } i) \neq \mu(\text{ความเร็ว } j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

(3) ทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม

โดยการทดสอบหาค่า Correlations ของค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับที่คอปวงมาลัย และที่พื้นรถข้างคนขับเปรียบเทียบกับความเร็วของรถ

ผลการตรวจสอบความแปรปรวน และค่าเฉลี่ยของผลต่างของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละตำแหน่งของการทดสอบ สรุปผลได้ดังนี้

(1) **กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ** ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.7 การทดสอบ Test of Homogeneity of Variances (แบบ Milled in SRS ที่เบาะนั่งคนขับ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.456	4	45	.004

จากตารางที่ 4.7 ค่า Sig = 0.004 น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.8 แสดงการทดสอบ Robust Tests of Equality of Means (แบบ Milled in ที่เบาะนั่งคนขับ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	30.721	4	21.044	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 30.721 และค่า p-value หรือ Sig. = 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

(2) **กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอพวงมาลัย** ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.9 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Milled in ที่พวงมาลัย)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.451	4	45	.060

จากตารางที่ 4.9 ได้ค่า Sig = 0.060 มากกว่า 0.05 จึงสรุปว่ายอมรับ H_0 (สมมติฐาน H_0 ที่ตั้งไว้เป็นจริง) หมายความว่า ความแปรปรวนของผลต่างแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยเท่ากัน

ตารางที่ 4.10 แสดงผล ANOVA (แบบ Milled in ที่พวงมาลัย)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	67.785	4	16.946	73.645	.000
Within Groups	10.355	45	.230		
Total	78.139	49			

ผลการวิเคราะห์ ค่าสถิติ $F = 73.645$ และค่า $Sig. = 0.000$ น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

(3) กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถข้างคนขับ ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.11 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Milled in ที่พื้นรถ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.611	4	45	.000

จากตารางที่ 4.11 ค่า $Sig. = .000$ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.12 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Milled in ที่พื้นรถ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	53.161	4	21.260	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 21.260 และค่า p-value หรือ $Sig. = 0.000$ มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สรุปผลการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips พบว่า ในแต่ละความเร็วของรถที่ใช้ทดสอบ ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เหยียบและไม่เหยียบแถบสันระนาบบนไหล่ทางมีค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ในทั้ง 3 ตำแหน่งของแรงสั่นสะเทือนที่ทำการวัดได้แก่บริเวณ เบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ

เมื่อได้ผลสรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นของการทดสอบแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบขณะรถวิ่งผ่านแถบสันระนาบบนไหล่ทาง Milled in Shoulder Rumble Strips จากนั้นจึงทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั่นสะเทือนในแต่ละจุดแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips

		ความเร็ว	เบาะนั่งคนขับ	พวงมาลัย	พื้นรถ
ความเร็ว	Pearson Correlation	1	-.764(**)	.791(**)	-.772(**)
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000
	N	50	50	50	50
เบาะนั่งคนขับ	Pearson Correlation	-.764(**)	1	-.572(**)	.799(**)
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000
	N	50	50	50	50
พวงมาลัย	Pearson Correlation	.791(**)	-.572(**)	1	-.532(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000
	N	50	50	50	50
พื้นรถ	Pearson Correlation	-.772(**)	.799(**)	-.532(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	
	N	50	50	50	50

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ถ้า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะ = -0.764 หมายความว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับมีแนวโน้มลดลง

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยมีค่าเป็นบวก แสดงว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สรุปค่า Pearson Correlation ระหว่าง ความเร็วกับผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถมีค่าเป็นลบ หมายความว่า ความเร็วสูงขึ้นจะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นข้างคนขับมีแนวโน้มลดลง

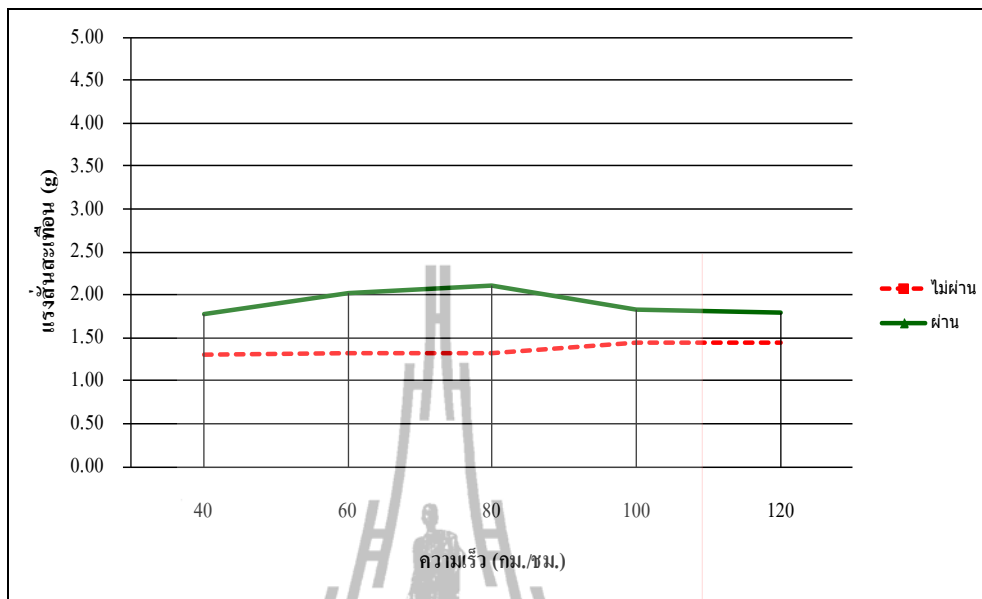
4.4 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนของ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

4.4.1 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนเบาะนั่งผู้ขับขี่

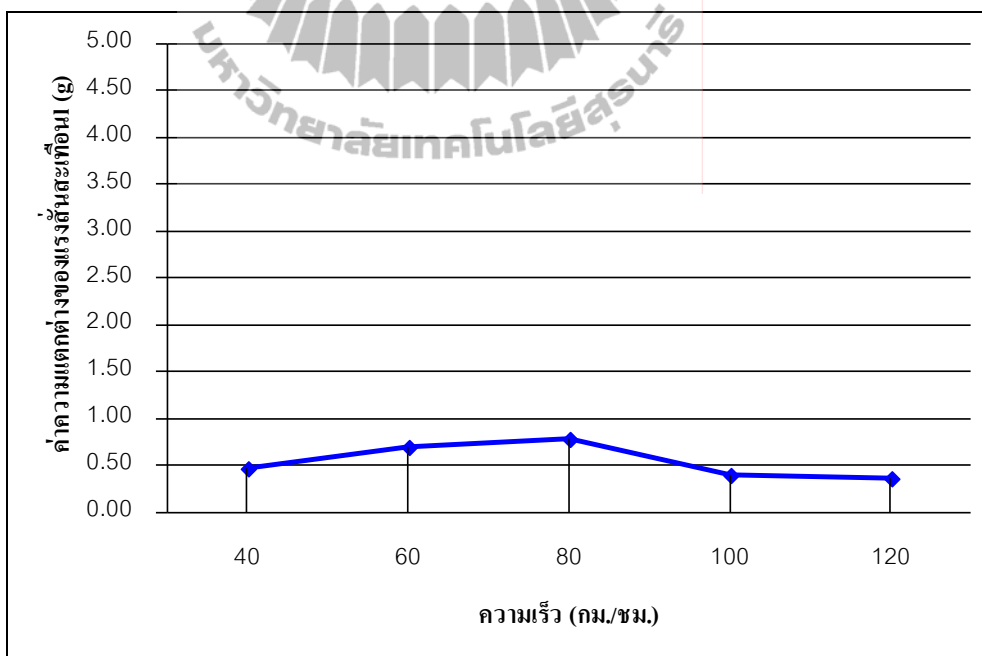
จากตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised SRS พบว่า ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะที่นั่งผู้ขับขี่จะมีค่ามากที่สุดกรณีที่ใช้ความเร็ว 80 กม./ชม. โดยมีค่าแรงสั่นสะเทือนที่ 2.11 g และค่าความแตกต่างของการสั่นสะเทือนที่บริเวณเบาะที่นั่งผู้ขับขี่มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าจะเริ่มลดลงเมื่อรถทดสอบใช้ความเร็วตั้งแต่ 100 กม./ชม. ขึ้นไป สรุปผลการวัดการสั่นสะเทือนไว้ในรูปที่ 4.10 และค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาบคนไหล่ทางในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

ความเร็ว (กม./ชม.)	แรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.31	1.78	0.47
60	1.32	2.02	0.69
80	1.33	2.11	0.78
100	1.44	1.83	0.39
120	1.44	1.80	0.36



รูปที่ 4.10 ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips



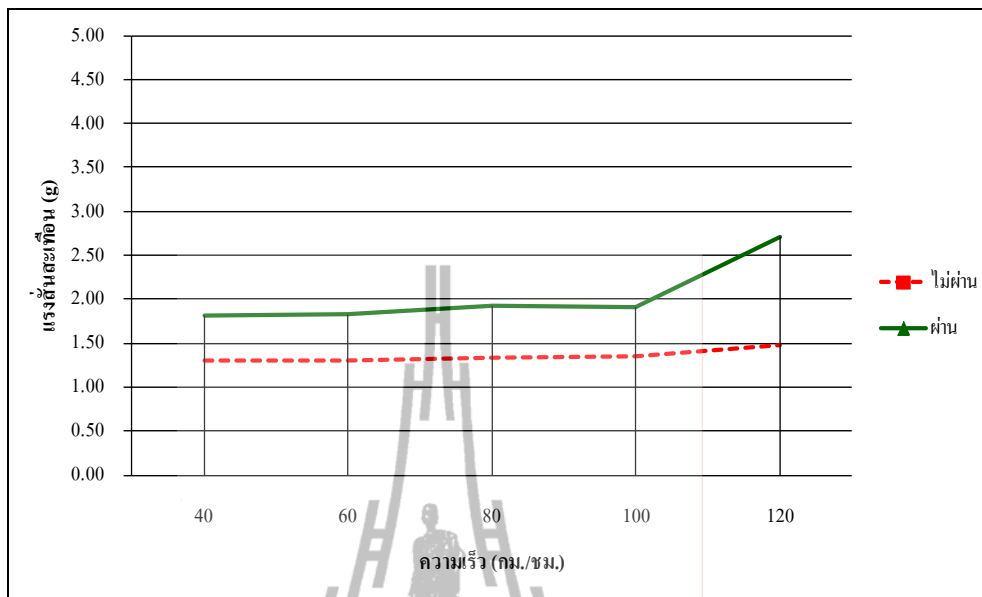
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ระหว่างขั้วรถผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

4.4.2 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์

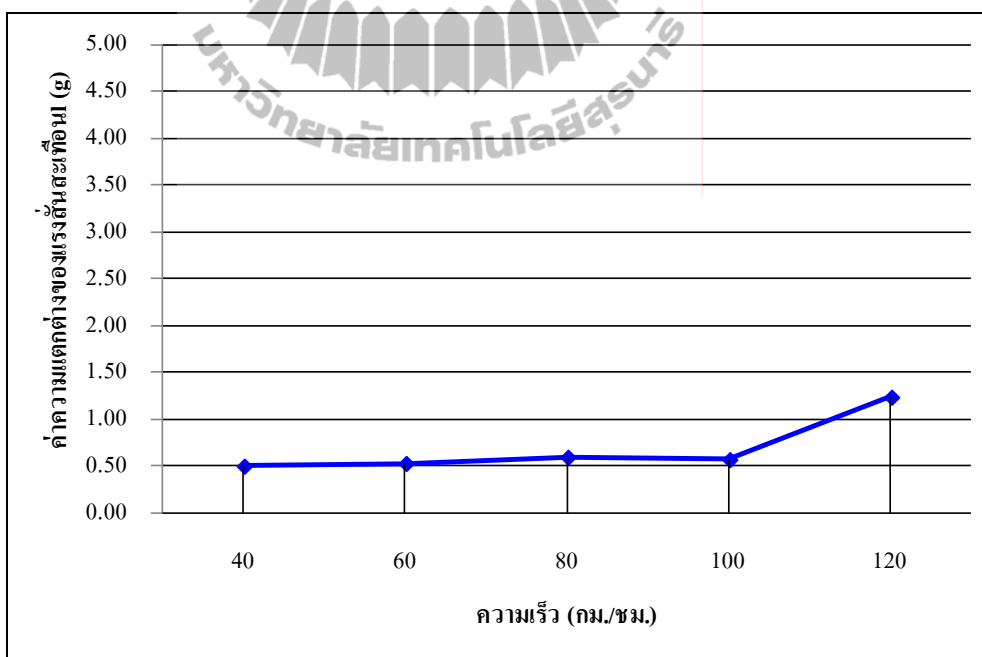
จากผลการวัดแรงสั่นสะเทือนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลพบว่า ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถทดสอบจะมีค่ามากที่สุด 2.72 g เมื่อรถทดสอบใช้ความเร็ว 120 กม./ชม. ขับผ่านแถบ SRS และผลการทดสอบแสดงค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของรถทดสอบเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเกินกว่า 100 กม./ชม. ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และผลการวัดการสั่นสะเทือนแสดงรูปที่ 4.12 รวมทั้งค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแสดงในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

ความเร็ว (กม./ชม.)	ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.31	1.81	0.50
60	1.31	1.84	0.53
80	1.33	1.93	0.60
100	1.34	1.92	0.57
120	1.48	2.72	1.24



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips



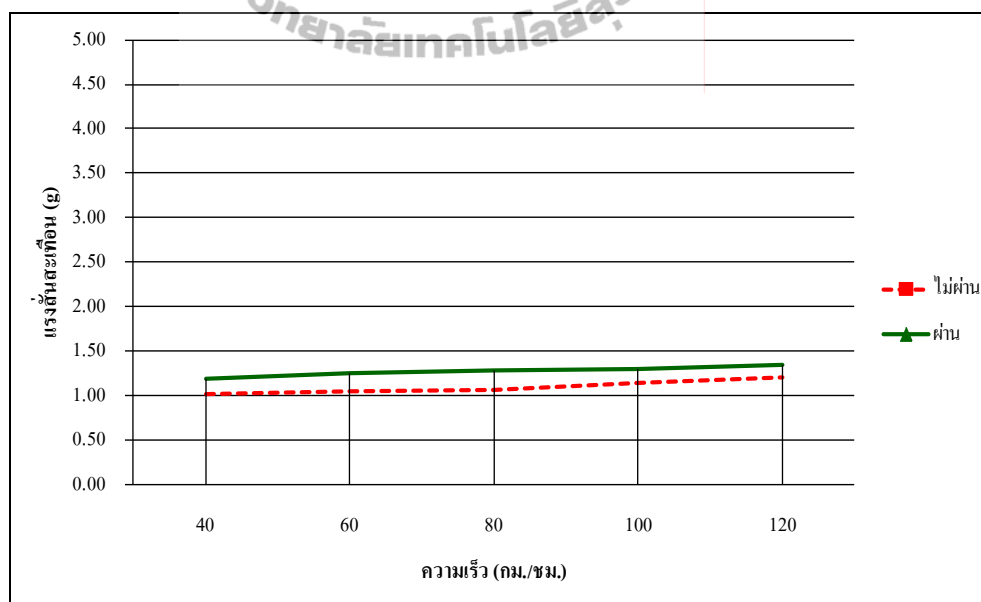
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์ระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นขนาดบับนใหญ่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

4.4.3 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนพื้นรุดด้านผู้ขับขี่

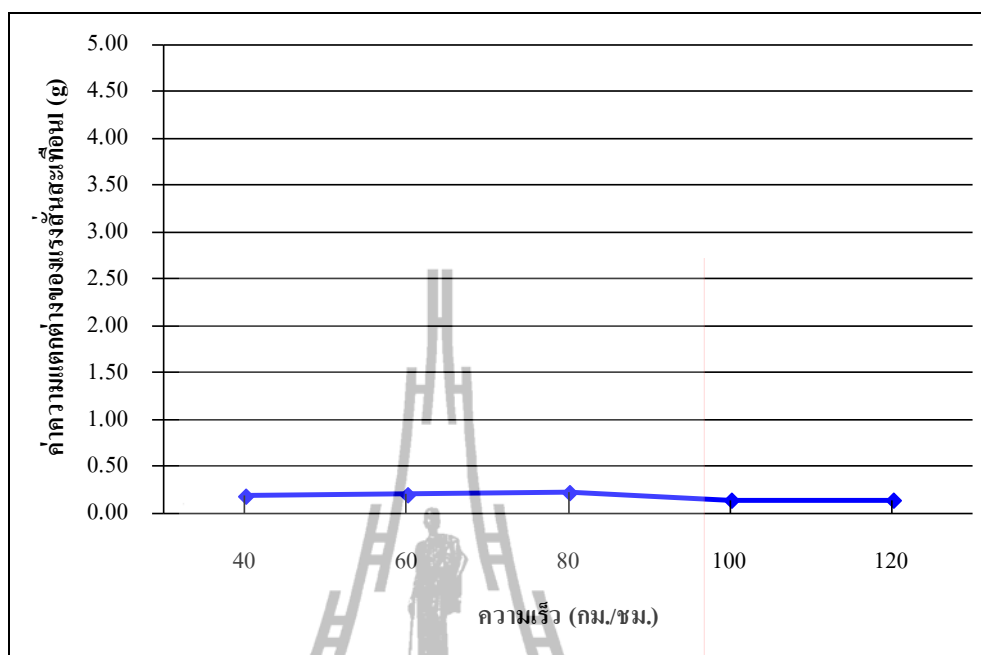
ในการวัดค่าแรงสั่นสะเทือนพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ของการทดสอบ Transverse Raised SRS พบว่า จากตารางที่ 4.16 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่มีค่ามากที่สุดมีค่า 1.35 g ในการใช้ความเร็วของรถทดสอบที่ 120 กม./ชม. และมีค่าความแตกต่างเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นด้วย สรุปผลการวัดการสั่นสะเทือนในรูปที่ 4.14 และค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนระหว่างขับรุดผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นขนาดบนไหล่ทางในรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

ความเร็ว (กม./ชม.)	แรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.01	1.20	0.19
60	1.05	1.25	0.20
80	1.06	1.29	0.22
100	1.15	1.29	0.14
120	1.21	1.35	0.14



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรุดด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรยยนต์ด้านคนขับระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

จากตารางที่ 4.17 ถึง 4.19 แสดงค่าการวัดผลของค่าแรงสั่นสะเทือนทั้ง 3 ตำแหน่งในกรณีที่ไม่ผ่าน กรณีที่ผ่าน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงสั่นสะเทือนในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และรูปที่ 4.16 ถึง 4.18 แสดงการเปรียบเทียบในรูปของกราฟเชิงเส้น

ตารางที่ 4.17 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านแถบ Transverse Raised SRS

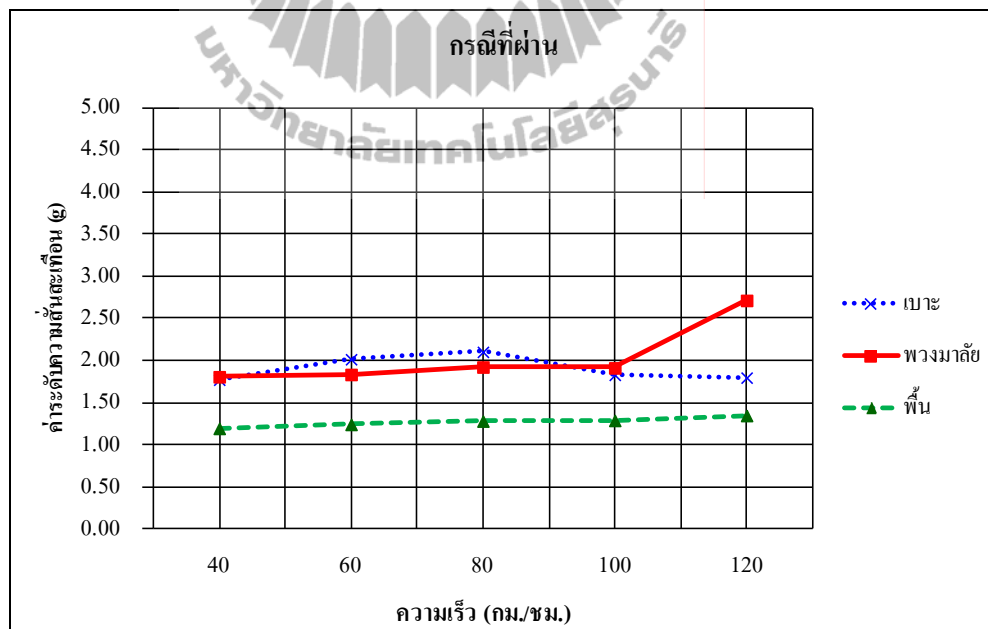
ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	1.78	2.02	2.11	1.83	1.80
	พวงมาลัย	1.81	1.84	1.93	1.92	2.72
	พื้น	1.20	1.25	1.29	1.29	1.35

ตารางที่ 4.18 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบไม่ผ่านแถบ Transverse Raised SRS

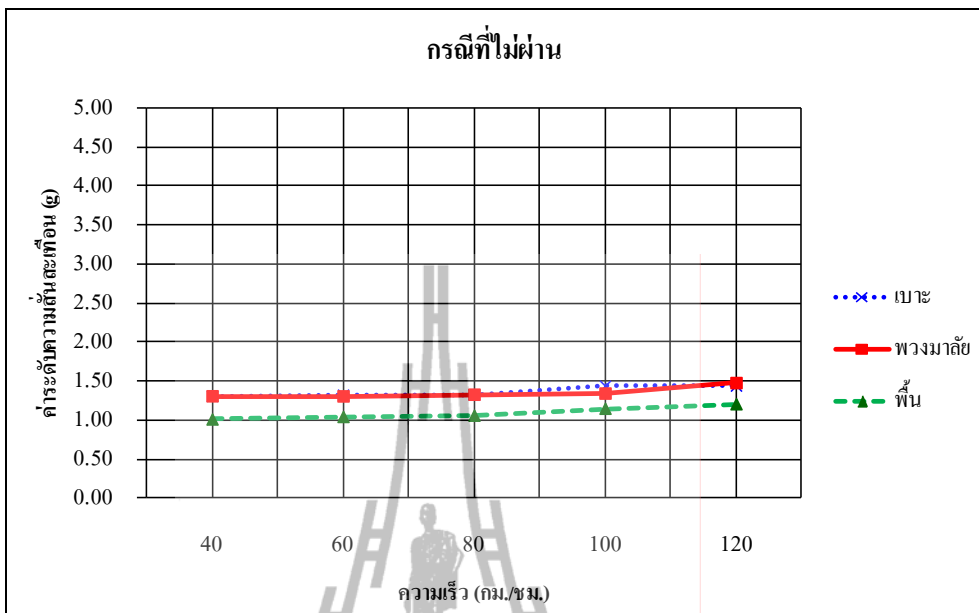
ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	1.31	1.32	1.33	1.44	1.44
	พวงมาลัย	1.31	1.31	1.33	1.34	1.48
	พื้น	1.01	1.05	1.06	1.15	1.21

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความแตกต่างของระดับแรงสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านและไม่ผ่านแถบ Transverse Raised SRS

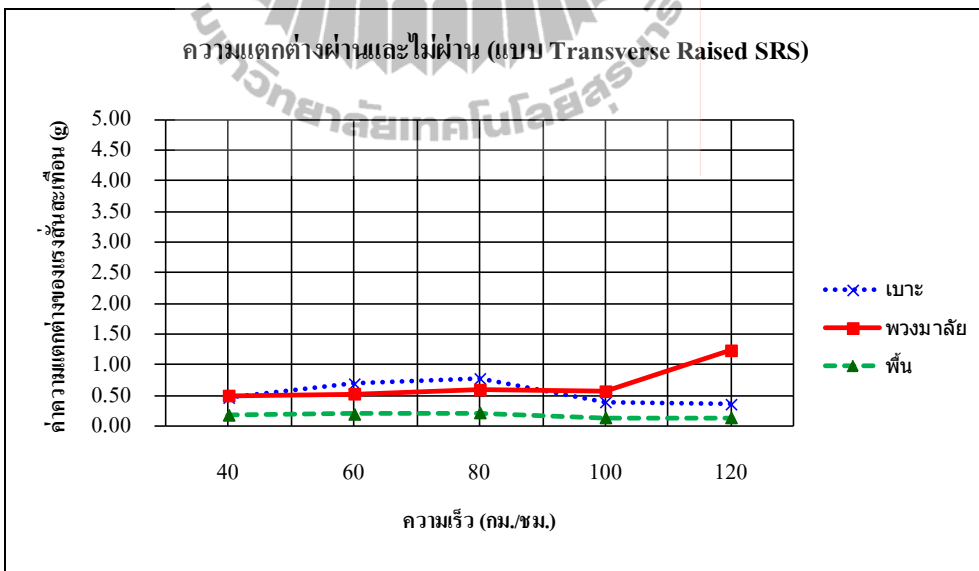
ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	0.47	0.69	0.78	0.39	0.36
	พวงมาลัย	0.50	0.53	0.60	0.57	1.24
	พื้น	0.19	0.20	0.22	0.14	0.14



รูปที่ 4.16 ค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเทียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips



รูปที่ 4.17 ค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

จากผลการทดสอบ ต้องการทราบว่า ความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลต่างค่าแรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเลือกการใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากร โดยวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) มีขั้นตอนการทดสอบตั้งแต่การตรวจสอบตัวแปรของแต่ละกลุ่มย่อยมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากนั้นทำการตรวจสอบ ค่าแปรปรวนของตัวแปรตามของทุกกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ แล้วจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

(1) การตั้งสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความแปรปรวน

H_0 : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในทุกความเร็วไม่ต่างกัน

H_a : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในบางความเร็วต่างกัน

หรือ

H_0 : $\text{Var}(40) = \text{Var}(60) = \text{Var}(80) = \text{Var}(100) = \text{Var}(120)$

H_a : $\text{Var}(\text{ความเร็ว } i) \neq \text{Var}(\text{ความเร็ว } j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

(2) การตั้งสมมติฐานตรวจค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม

H_0 : ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้ไม่มีความแตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

หรือ

H_0 : $\mu(40) = \mu(60) = \mu(80) = \mu(100) = \mu(120)$

H_a : $\mu(\text{ความเร็ว } i) \neq \mu(\text{ความเร็ว } j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

(3) ทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม

โดยการทดสอบหาค่า Correlations ของค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ ที่คอปวงมาลัย และที่พื้นรถข้างคนขับเปรียบเทียบกับความเร็วของรถ

ผลการตรวจสอบความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของผลต่างของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละตำแหน่งของการทดสอบ สรุปผลได้ดังนี้

(1) **กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ** ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.20 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Transverse Raised ที่เบาะนั่งคนขับ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
13.497	4	45	.000

จากตารางที่ 4.20 ค่า Sig = 0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.21 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Transverse Raised ที่เบาะนั่งคนขับ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	27.574	4	21.849	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 27.574 และค่า p-value หรือ Sig. = 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

(2) **กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัย** ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.22 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลัย)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.953	4	45	.443

จากตารางที่ 4.22 ได้ค่า Sig = 0.443 มากกว่า 0.05 จึงสรุปว่ายอมรับ H_0 (สมมติฐาน H_0 ที่ตั้งไว้เป็นจริง) หมายความว่า ความแปรปรวนของผลต่างแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยเท่ากัน ทำการทดสอบค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนด้วย ANOVA

ตารางที่ 4.23 แสดงผล ANOVA (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลัย)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.630	4	.907	17.701	.000
Within Groups	2.307	45	.051		
Total	5.937	49			

ผลการวิเคราะห์ ค่าสถิติ $F = 17.701$ และค่า Sig = 0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

(3) กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถข้างคนขับ ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.24 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลัย)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.679	4	45	.044

จากตารางที่ 4.24 ค่า Sig = 0.044 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.25 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Transverse Raised ที่พวงมาลัย)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	6.654	4	21.456	.001

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 21.456 และค่า p-value หรือ Sig = 0.001 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สรุปผลการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips พบว่า ในแต่ละความเร็วของรถที่ใช้ทดสอบผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เทียบและไม่เทียบแถบสันระนาดบนไหล่ทางมีค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ในทั้ง 3 ตำแหน่งของแรงสั่นสะเทือนที่ทำการวัด คือ เบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ

เมื่อได้ผลสรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นของการทดสอบแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบขณะรถวิ่งผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips จากนั้นจึงทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั่นสะเทือนในแต่ละจุดของแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips

		ความเร็ว	เบาะนั่งคนขับ	พวงมาลัย	พื้นรถ
ความเร็ว	Pearson Correlation	1	-.317(*)	.573(**)	-.270
	Sig. (2-tailed)		.025	.000	.058
	N	50	50	50	50
เบาะนั่งคนขับ	Pearson Correlation	-.317(*)	1	-.440(**)	.263
	Sig. (2-tailed)	.025		.001	.065
	N	50	50	50	50
พวงมาลัย	Pearson Correlation	.573(**)	-.440(**)	1	-.182
	Sig. (2-tailed)	.000	.001		.205
	N	50	50	50	50
พื้นรถ	Pearson Correlation	-.270	.263	-.182	1
	Sig. (2-tailed)	.058	.065	.205	
	N	50	50	50	50

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาขณะนั่งคนขับ มีค่า -0.317 หมายความว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาขณะนั่งคนขับมีแนวโน้มลดลง

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยมีค่าเป็นบวก แสดงว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สรุปค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถมีค่าเป็นลบ (-0.270) หมายความว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นข้างคนขับมีแนวโน้มลดลง

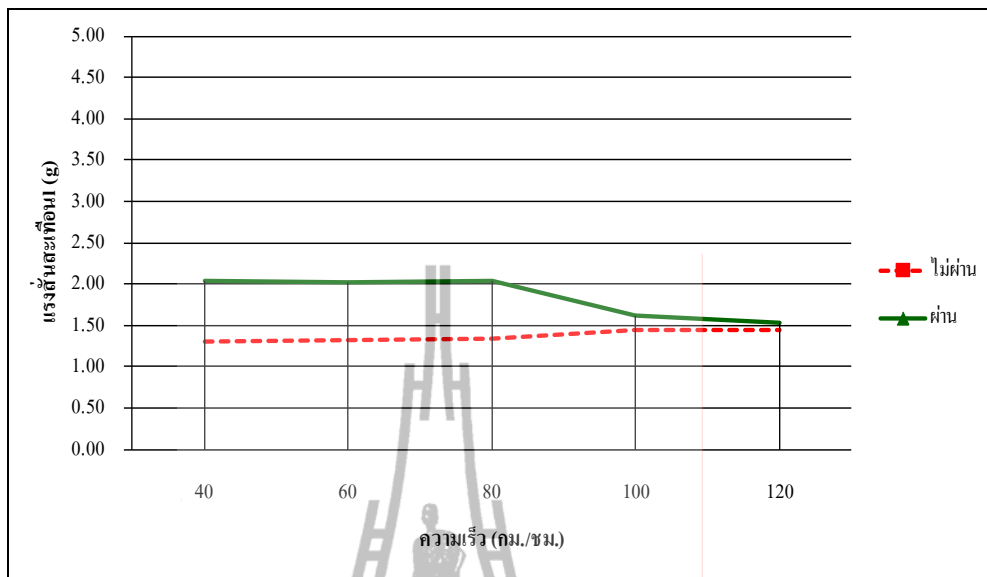
4.5 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนของ Thermoplastic Profile Marking

4.5.1 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนเบาขณะนั่งผู้ขับขี่

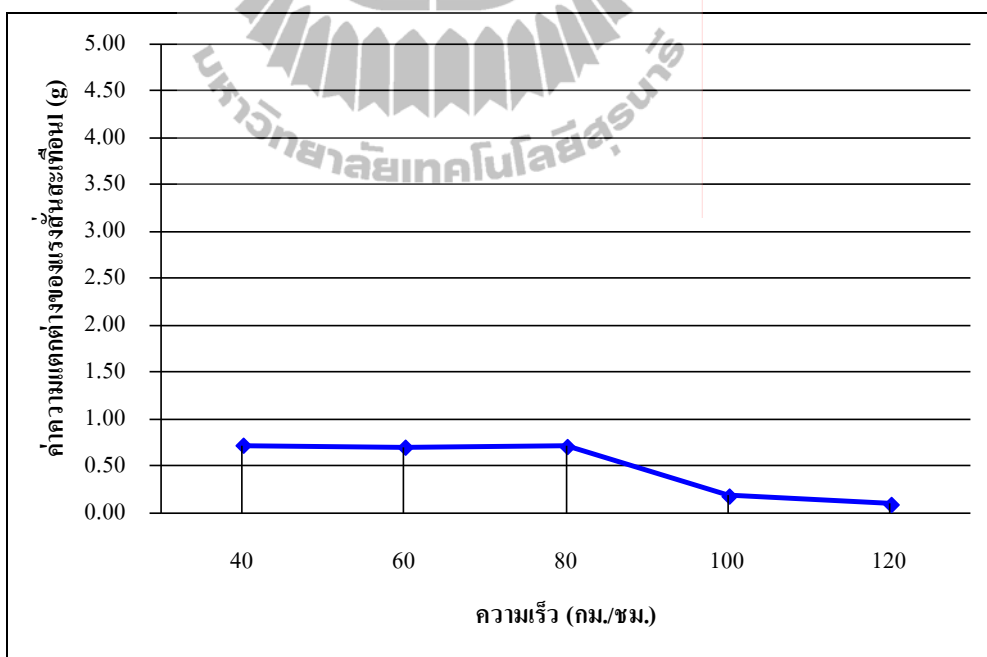
จากผลการทดสอบสามารถวัดค่าเฉลี่ยแรงสั่นสะเทือนสูงสุด 2.04 g บริเวณเบาขณะนั่งผู้ขับขี่ เมื่อใช้ความเร็วรถทดสอบ 80 กม./ชม. และค่าความแตกต่างของการสั่นสะเทือนที่บริเวณเบาที่หน้าผู้ขับขี่เมื่อขับรถผ่าน Thermoplastic Profile Marking เปรียบเทียบกับ Ambient Condition มีค่าความแตกต่างลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น และจะมีค่าความแตกต่างเกือบคงที่เมื่อรถมีความเร็วกว่า 80 กม./ชม. ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.27 และสรุปผลค่าแรงสั่นสะเทือนไว้ในรูปที่ 4.19 และค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking ในรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาขณะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking

ความเร็ว (กม./ชม.)	แรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาขณะนั่งผู้ขับขี่ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.31	2.03	0.72
60	1.33	2.03	0.70
80	1.33	2.04	0.71
100	1.44	1.62	0.18
120	1.44	1.54	0.09



รูปที่ 4.19 ค่าแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking



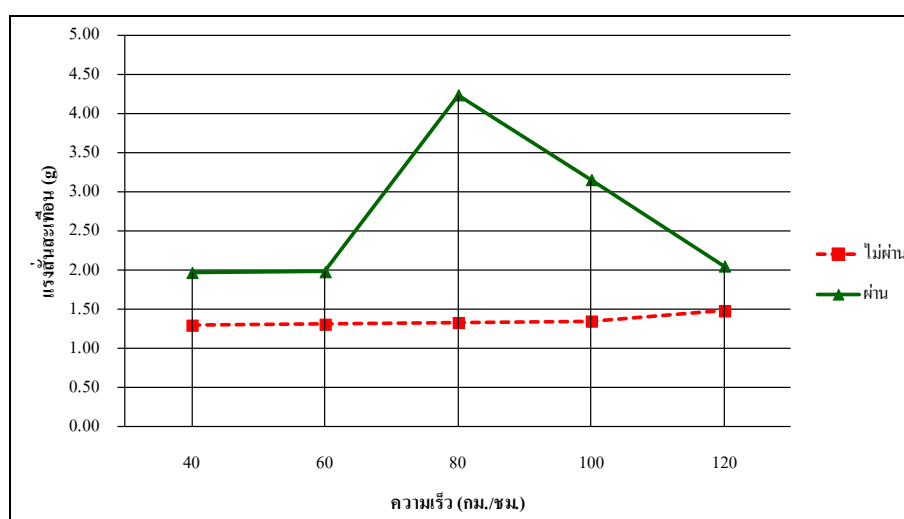
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking

4.5.2 ผลการทดสอบการสิ้นสะท้อนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์

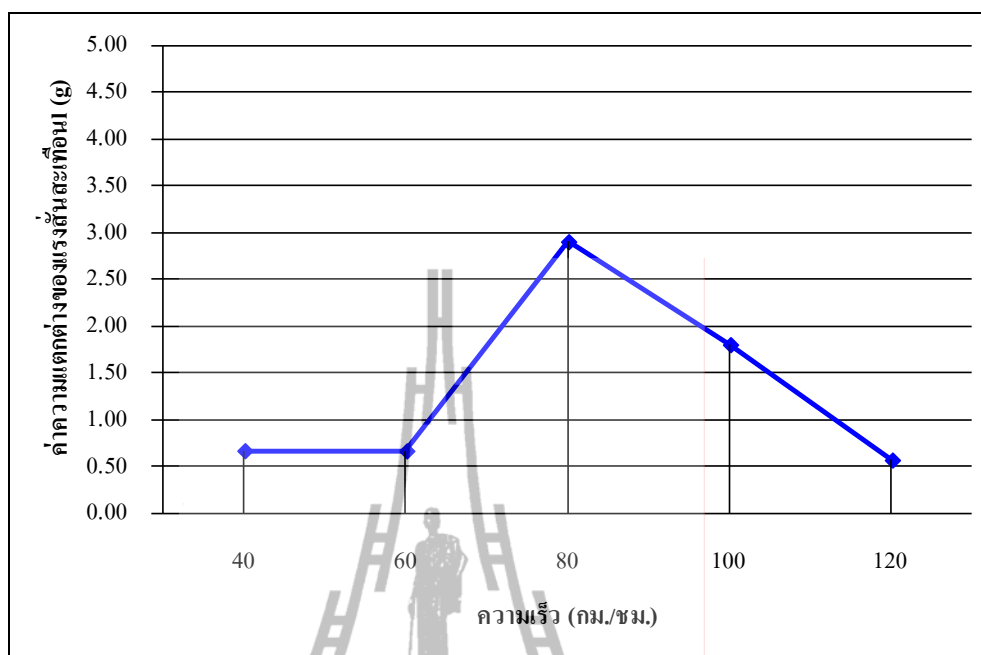
จากผลทดสอบแรงสิ้นสะท้อนบริเวณพวงมาลัยรถ พบว่า ค่าความแตกต่างของการสิ้นสะท้อนที่บริเวณพวงมาลัยรถยนต์ เปรียบเทียบกรณีที่ขับรุดผ่าน และกรณีสภาพปกติบน Thermoplastic Profile Marking มีค่าความแตกต่างเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเร็วระหว่าง 60-80 กม./ชม. โดยมีค่าสูงสุดที่ 4.28 g ที่ความเร็วของรถทดสอบ 80 กม./ชม. จากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วมากกว่า 80 กม./ชม. ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.28 และเปรียบเทียบผลการวัดการสิ้นสะท้อนระหว่างกรณีผ่านและไม่ผ่าน SRS ดังรูปที่ 4.21 สำหรับรูปที่ 4.22 เป็นการแสดงค่าความแตกต่างของแรงสิ้นสะท้อนระหว่างขับรุดผ่านและไม่ผ่านแถบ SRS

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าแรงสิ้นสะท้อนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking

ความเร็ว (กม./ชม.)	ค่าแรงสิ้นสะท้อนบริเวณพวงมาลัยรถยนต์ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.30	1.97	0.67
60	1.31	1.98	0.67
80	1.33	4.24	2.90
100	1.35	3.16	1.80
120	1.48	2.05	0.57



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าแรงสิ้นสะท้อนบริเวณพวงมาลัยรถในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking



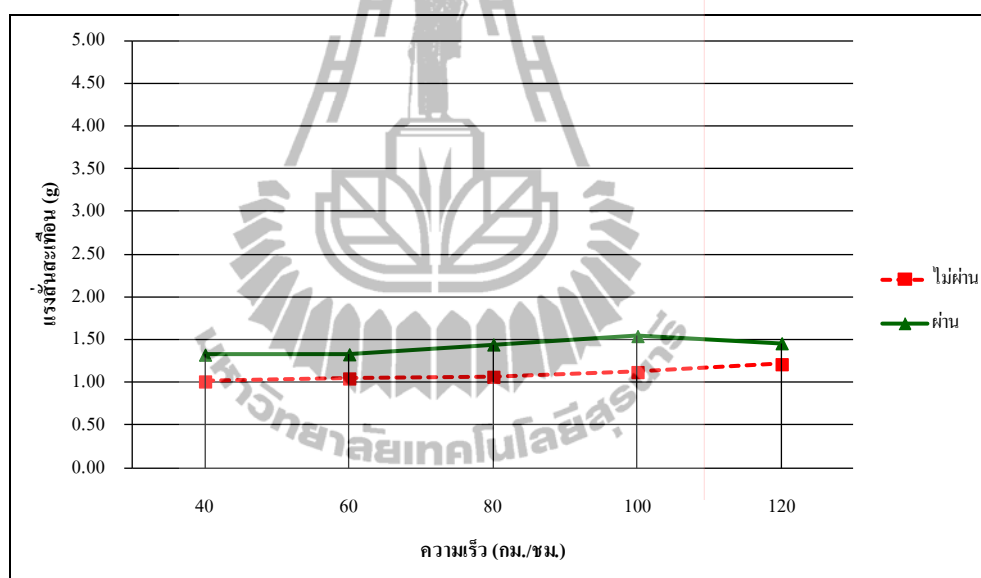
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงดึงเส้นสะท้อนบริเวณคอปวงมาลัยรถยนต์ระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบเส้นระนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking

4.5.3 ผลการทดสอบการลื่นสะเทือนพื้นรถด้านผู้ขับขี่

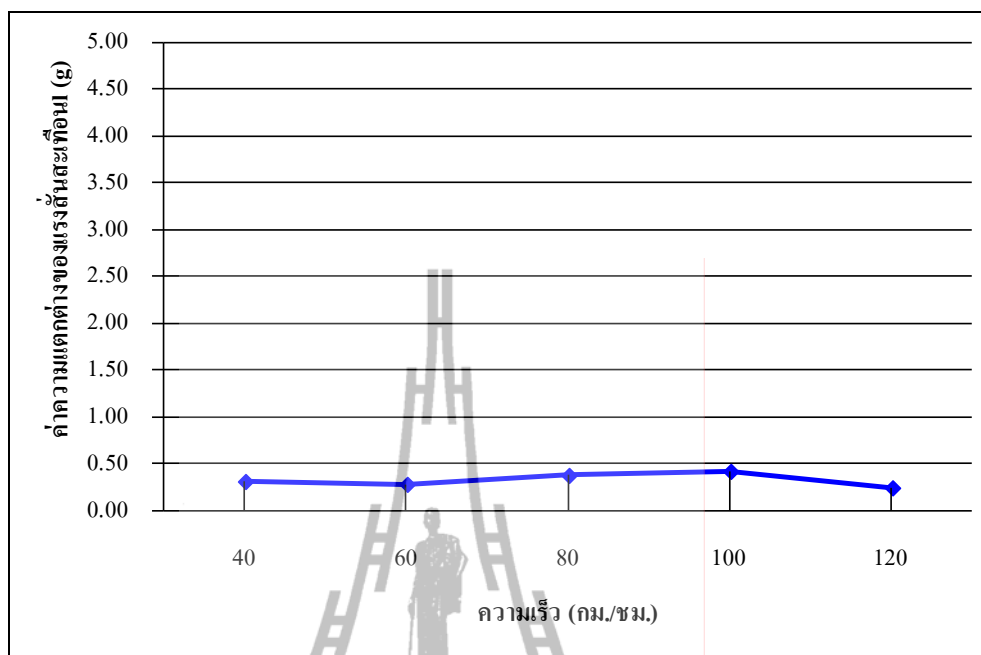
ค่าเฉลี่ยแรงลื่นสะเทือนสูงสุดบริเวณพื้นรถด้านคนขับมีค่า 1.54 g ที่ความเร็วของรถทดสอบ 100 กม./ชม. ในการทดสอบบน Thermoplastic Profile Marking และพบว่ามีความแตกต่างเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นไม่เกิน 100 กม./ชม. และเมื่อความเร็วมากกว่า 100 กม./ชม ค่าความแตกต่างของแรงลื่นสะเทือนมีแนวโน้มลดลง ผลของการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.29 และการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่าน SRS สามารถดูได้จากกราฟในรูปที่ 4.23 สำหรับตารางที่ 4.32 แสดงค่าความแตกต่างของแรงลื่นสะเทือนระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบเส้นระนาดบนไหล่ทาง

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าแรงสั้นสะท้อนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking

ความเร็ว (กม./ชม.)	แรงสั้นสะท้อนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ (g)		
	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ความแตกต่าง
40	1.01	1.32	0.31
60	1.05	1.33	0.28
80	1.07	1.44	0.38
100	1.12	1.54	0.42
120	1.21	1.46	0.25



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าแรงสั้นสะท้อนบริเวณพื้นรถด้านผู้ขับขี่ในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถยนต์ด้านคนขับระหว่างขับรถผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นขนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking

จากผลการทดสอบระดับการสั่นสะเทือนนั้นพบว่า ระดับการสั่นสะเทือนเมื่อขับที่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking มีค่าการสั่นสะเทือนมากกว่ากรณี Ambient Condition โดยที่ตารางที่ 4.30 แสดงผลค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีที่รถทดสอบผ่านและตารางที่ 4.31 แสดงผลในกรณีที่รถทดสอบไม่ผ่านแถบ SRS สำหรับตารางที่ 4.32 เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่าน SRS

ตารางที่ 4.30 แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนกรณีรถทดสอบผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking

ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสั่นสะเทือน (g)	เบาะ	2.03	2.03	2.04	1.62	1.54
	พวงมาลัย	1.97	1.98	4.24	3.16	2.05
	พื้น	1.32	1.33	1.44	1.54	1.46

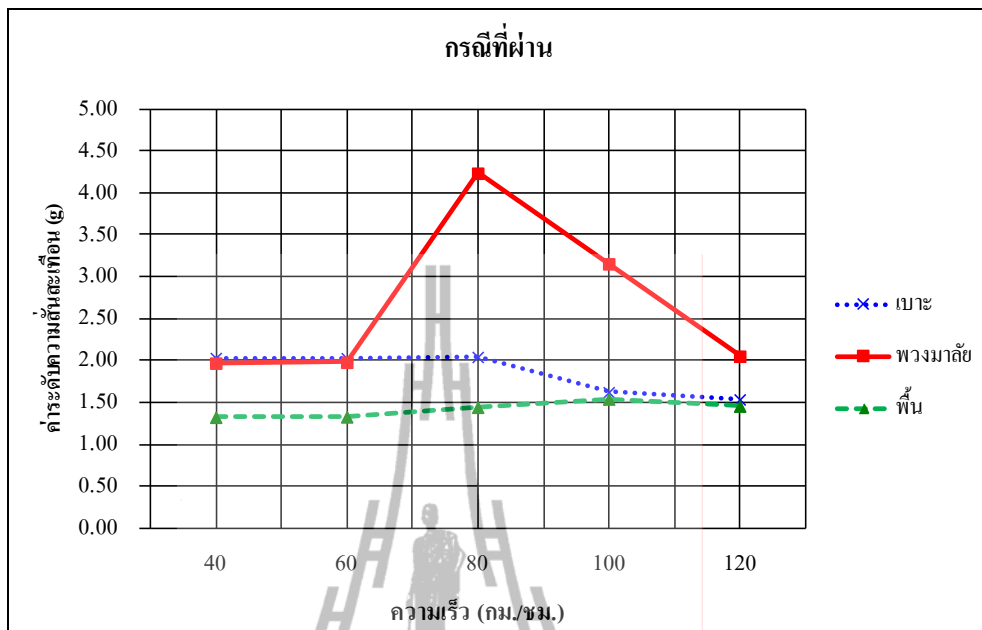
ตารางที่ 4.31 แสดงผลค่าการสิ้นสะท้อนกรณีรถทดสอบไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking

ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสิ้นสะท้อน (g)	เบาะ	1.31	1.33	1.33	1.44	1.44
	พวงมาลัย	1.30	1.31	1.33	1.35	1.48
	พื้น	1.01	1.05	1.07	1.12	1.21

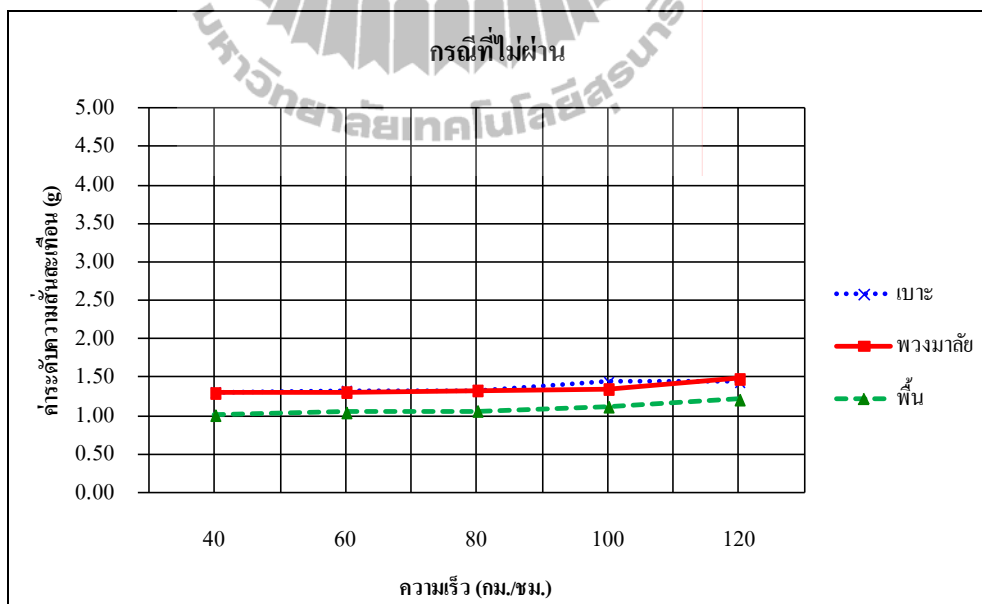
ตารางที่ 4.32 แสดงค่าความแตกต่างของระดับแรงสิ้นสะท้อนระหว่างกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่านแถบ Thermoplastic Profile Marking

ตำแหน่งที่วัด		ความเร็วรถทดสอบ (กม./ชม.)				
		40	60	80	100	120
ค่าแรงสิ้นสะท้อน (g)	เบาะ	0.72	0.70	0.71	0.18	0.09
	พวงมาลัย	0.67	0.67	2.90	1.80	0.57
	พื้น	0.31	0.28	0.38	0.42	0.25

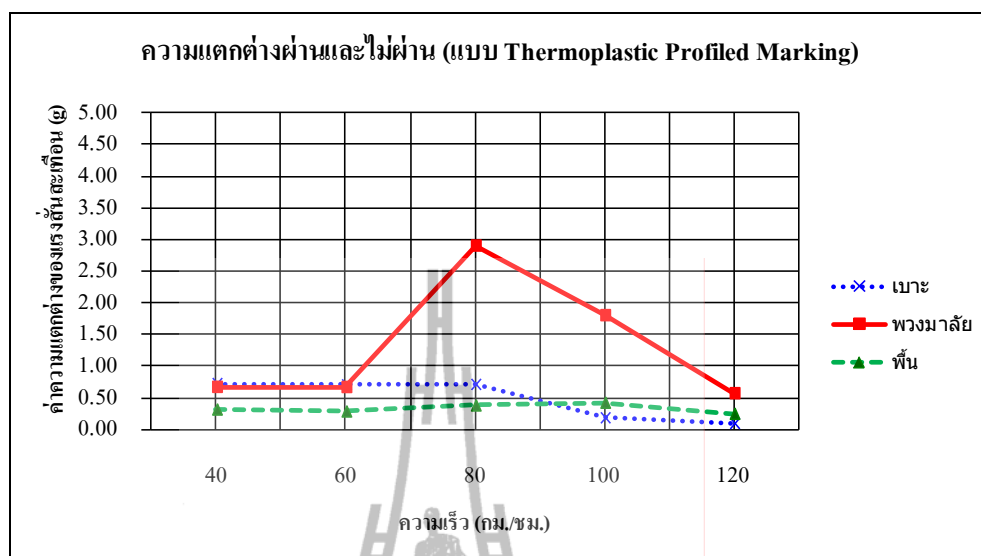
จากรูปที่ 4.25 ถึง 4.27 แสดงค่าความแตกต่างของแรงสิ้นสะท้อนระหว่างกรณีที่ผ่านมาและไม่ผ่านแถบ SRS โดยเปรียบเทียบผลของความต่างแรงสิ้นสะท้อนทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณเบาะนั่งคนขับ บริเวณพวงมาลัย และบริเวณพื้นรถด้านคนขับ พบว่า บริเวณพวงมาลัยมีค่าความแตกต่างสูงสุดของแรงสิ้นสะท้อนเมื่อรถทดสอบใช้ความเร็ว 80 กม./ชม. โดยมีค่าถึง 2.9 g



รูปที่ 4.25 ค่าแรงต้านสะเทือนกรณีเหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking



รูปที่ 4.26 ค่าแรงต้านสะเทือนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profile Marking

จากผลการทดสอบ ต้องการทราบว่า ความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลต่างค่าแรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเลือกการใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากร โดยวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) มีขั้นตอนการทดสอบตั้งแต่การตรวจสอบตัวแปรของแต่ละกลุ่มย่อยมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากนั้นทำการตรวจสอบ ค่าแปรปรวนของตัวแปรตามของทุกกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ แล้วจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

(1) การตั้งสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความแปรปรวน

H_0 : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในทุกความเร็วไม่ต่างกัน

H_a : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในบางความเร็วต่างกัน

หรือ

H_0 : $\text{Var}(40) = \text{Var}(60) = \text{Var}(80) = \text{Var}(100) = \text{Var}(120)$

H_a : $\text{Var}(\text{ความเร็ว } i) \neq \text{Var}(\text{ความเร็ว } j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

(2) การตั้งสมมติฐานตรวจค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม

Ho : ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้ไม่มีความแตกต่างกัน

Ha : ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่
หรือ

Ho : $\mu(40) = \mu(60) = \mu(80) = \mu(100) = \mu(120)$

Ha : $\mu(\text{ความเร็ว } i) \neq \mu(\text{ความเร็ว } j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

(3) ทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม

โดยการทดสอบหาค่า Correlations ของค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ ที่คอปวงมาลัย และที่พื้นรถข้างคนขับเปรียบเทียบกับความเร็วของรถ

ผลการตรวจสอบความแปรปรวน และค่าเฉลี่ยของผลต่างของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละตำแหน่งของการทดสอบ สรุปผลได้ดังนี้

(1) กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.33 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่เบาะนั่งคนขับ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.222	4	45	.005

จากตารางที่ 4.33 ค่า Sig = 0.005 น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ Ho ซึ่งหมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ Ha) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.34 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่เบาะนั่งคนขับ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	82.311	4	21.072	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 82.311 และค่า p-value หรือ Sig = 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

(2) กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัย ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.35 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พวงมาลัย)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.746	4	45	.001

จากตารางที่ 4.35 ค่า Sig = 0.001 น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.36 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พวงมาลัย)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	24.695	4	20.839	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 24.695 และค่า p-value หรือ Sig = 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

(3) กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณพนักพิงคนขับ ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 4.37 แสดงผล Test of Homogeneity of Variances (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พื้นรถ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.851	4	45	.002

จากตารางที่ 4.37 ค่า Sig = 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับแปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.38 แสดงผล Robust Tests of Equality of Means (แบบ Thermoplastic Profile Marking ที่พื้นรถ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	2.739	4	21.261	.056

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 2.739 และค่า p-value หรือ Sig = 0.056 มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับในการทดสอบแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking ของแต่ละความเร็วที่ใช้ไม่มีความแตกต่างกันเท่ากันในทุก ๆ ความเร็วที่ใช้ทดสอบ

สรุปผลการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking พบว่า ในแต่ละความเร็วของรถที่ใช้ทดสอบ ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เหยียบและไม่เหยียบแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางบริเวณเบาะนั่งคนขับ และพวงมาลัยรถ มีค่าเฉลี่ยของผลต่างแรงสั่นสะเทือนไม่เท่ากันในแต่ละความเร็ว แต่ค่าเฉลี่ยของผลต่างแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับมีค่าเท่ากันในทุก ๆ ความเร็วที่ทดสอบ

เมื่อได้ผลสรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังที่กล่าวมาข้างต้นของการทดสอบแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบขณะรถวิ่งผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking จากนั้นจึงทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั้นสะท้อนในแต่ละจุดของแบบ

Thermoplastic Profile Marking

		ความเร็ว	เบาะนั่งคนขับ	พวงมาลัย	พื้นรถ
ความเร็ว	Pearson Correlation	1	-.793(**)	.133	.025
	Sig. (2-tailed)		.000	.357	.865
	N	50	50	50	50
เบาะนั่งคนขับ	Pearson Correlation	-.793(**)	1	.202	.129
	Sig. (2-tailed)	.000		.159	.373
	N	50	50	50	50
พวงมาลัย	Pearson Correlation	.133	.202	1	.520(**)
	Sig. (2-tailed)	.357	.159		.000
	N	50	50	50	50
พื้นรถ	Pearson Correlation	.025	.129	.520(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.865	.373	.000	
	N	50	50	50	50

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั้นสะท้อนที่เบาะมีค่า -0.793 หมายความว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั้นสะท้อนที่เบาะนั่งคนขับมีแนวโน้มลดลง

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั้นสะท้อนที่พวงมาลัยมีค่าเป็นบวก (= 0.133) แสดงว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั้นสะท้อนที่พวงมาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สรุปค่า Pearson Correlation ระหว่างความเร็วกับผลต่างของแรงสั้นสะท้อนที่พื้นรถมีค่าเป็นบวก (=0.025) หมายความว่าความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั้นสะท้อนที่พื้นข้างคนขับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

4.6 สรุปผลการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนในการทดสอบแถบสันระนาดบนไหล่ทาง

จากผลการทดสอบการขับรถทดสอบขับผ่านบนแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Milled in Shoulder Rumble Strips พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และเมื่อความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับและพื้นรถข้างคนขับลดลง แต่ความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยเพิ่มขึ้นตาม

สรุปผลการทดสอบการขับรถทดสอบขับผ่านบนแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และเมื่อความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับและพื้นรถข้างคนขับลดลง แต่ความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยเพิ่มขึ้นตาม

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติด้วยข้อมูลจากการทดสอบการขับรถทดสอบขับผ่านบนแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking พบว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับและพวงมาลัยรถในแต่ละความเร็วที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ยกเว้นบริเวณพื้นรถข้างคนขับมีค่าเฉลี่ยของผลต่างแรงสั่นสะเทือนไม่แตกต่างกันในแต่ละความเร็ว และเมื่อความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับลดลง แต่ความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยและพื้นรถข้างคนขับมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตาม

สำหรับค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและให้ค่าสูงสุดจากการทดสอบแถบสันระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยมีค่าสูงสุดกว่าค่าที่วัดได้ในตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ และบริเวณพื้นรถข้างคนขับ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระดับการสิ้นเสทือนภายในห้องโดยสารของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถ Honda รุ่น Accord 2.3 VTi ปี 2001 บริเวณเบาะที่นั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่รถทดสอบขับผ่านและไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทางจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแตกต่างของแรงสิ้นเสทือนกรณี Ambient Condition และกรณีขับผ่านแถบ SRS โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวสรุปเนื้อหาทั้งหมดที่ได้ทำในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล โดยจะกล่าวถึงภาพรวมและผลสรุปเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งแนะนำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับรูปแบบของแถบสันระนาดบนไหล่ทางที่ทางผู้วิจัยคาดว่าน่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับทางหลวงของประเทศไทย ตามความเหมาะสมประเภทการใช้งาน และคุณสมบัติของแต่ละชนิดของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง

สรุปผลการศึกษาด้านการสิ้นเสทือนของการทดสอบแถบสันระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips แบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strips และแบบ Thermoplastic Profile Marking ในการวัดค่าการสิ้นเสทือนภายในรถทดสอบที่ตำแหน่งการสิ้นเสทือนบริเวณนั่งคนขับ บริเวณพวงมาลัยรถ และบริเวณพื้นรถข้างคนขับ โดยการเปรียบเทียบกับกรณีรถทดสอบวิ่งในสภาพปกติ (Ambient Condition) ที่ไม่ผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง และกรณีที่วิ่งผ่านแถบ SRS ซึ่งได้ผลสรุปของการวิจัยดังนี้

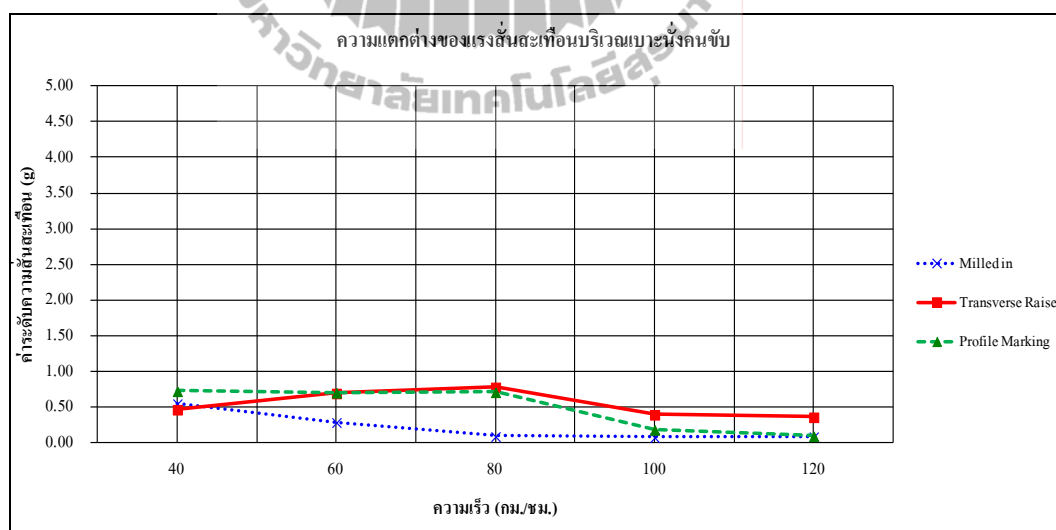
(1) จากผลการวิจัยขับรถทดสอบวิ่งในสภาพปกติ (Ambient Condition) พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของรถทดสอบขึ้น มีผลทำให้ค่าแรงสิ้นเสทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับ บริเวณพวงมาลัยรถ และบริเวณพื้นรถข้างคนขับเพิ่มขึ้นตามความเร็ว

(2) จากผลการทดสอบในกรณีที่รถทดสอบขับผ่านแถบ SRS ทั้ง 3 แบบ เมื่อมีการใช้ความเร็วของรถทดสอบเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าแรงสิ้นเสทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับ บริเวณพวงมาลัยรถ และบริเวณพื้นรถข้างคนขับ ไม่ได้มีแนวโน้มของแรงสิ้นเสทือนที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วเช่นเดียวกับกรณี Ambient Condition เสมอไป

(3) ผลการวิเคราะห์ระดับการสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่ที่ได้จากการวิจัย โดยทำการเปรียบเทียบกับแถบสั่นขนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของระดับการสั่นสะเทือนระหว่างขับรถทดสอบผ่านและไม่ผ่านแถบสั่นขนาดบนไหล่ทางพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วของรถทดสอบ จะทำให้ค่าเฉลี่ยความแตกต่างการสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับมีแนวโน้มลดลงในทั้ง 3 รูปแบบ โดยที่ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับของการทดสอบบน Transverse Raised Shoulder Rumble Strips มีค่าสูงสุดที่เมื่อใช้ความเร็ว 80 กม. รายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.1 และแสดงในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่

ชนิดของแถบสั่นขนาดบนไหล่ทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)				
	40	60	80	100	120
	ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของการสั่นสะเทือน (g)				
Milled in	0.55	0.29	0.09	0.08	0.09
Transverse Raised	0.47	0.69	0.78	0.39	0.36
Profile Marking	0.72	0.70	0.71	0.18	0.09

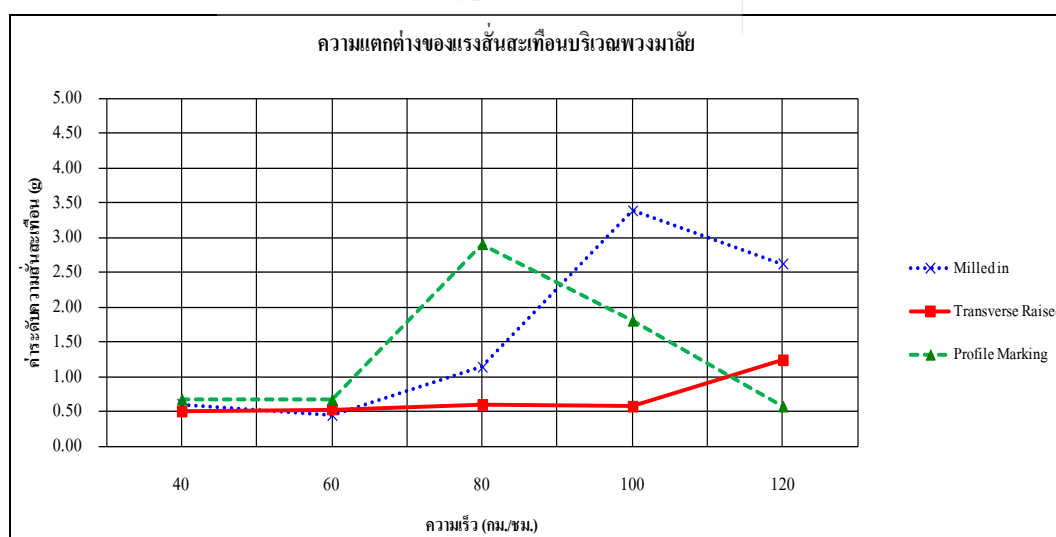


รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่แต่ละรูปแบบ

(4) สำหรับการทดสอบระดับการการสันสะเทือนบริเวณพวงมาลัย ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบแถบสันระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ ได้ข้อสรุปว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสันสะเทือนที่พวงมาลัยของการทดสอบบน Milled in Shoulder Rumble Strips มีค่าสูงสุดที่เมื่อใช้ความเร็ว 100 กม./ชม. และค่าเฉลี่ยความแตกต่างของระดับการสันสะเทือนระหว่างขับรถทดสอบในสภาพปกติ (Ambient Condition) กับกรณีที่ขับผ่านแถบสันระนาดบนไหล่ทาง พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของรถทดสอบมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสันสะเทือนบริเวณพวงมาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วของรถทดสอบวิ่งไม่เกิน 100 กม./ชม. แต่เมื่อความเร็วเกินกว่า 100 กม./ชม. จะได้ผลของค่าเฉลี่ยแรงสันสะเทือนที่พวงมาลัยมีแนวโน้มลดลงในทั้ง 3 แบบของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง รายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.2 และแสดงในรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสันสะเทือนบริเวณพวงมาลัย

ชนิดของแถบสันระนาดบนไหล่ทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)				
	40	60	80	100	120
	ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของการสันสะเทือน (g)				
Milled in	0.61	0.44	1.14	3.38	2.62
Transverse Raised	0.50	0.53	0.60	0.57	1.24
Profile Marking	0.67	0.67	2.90	1.80	0.57

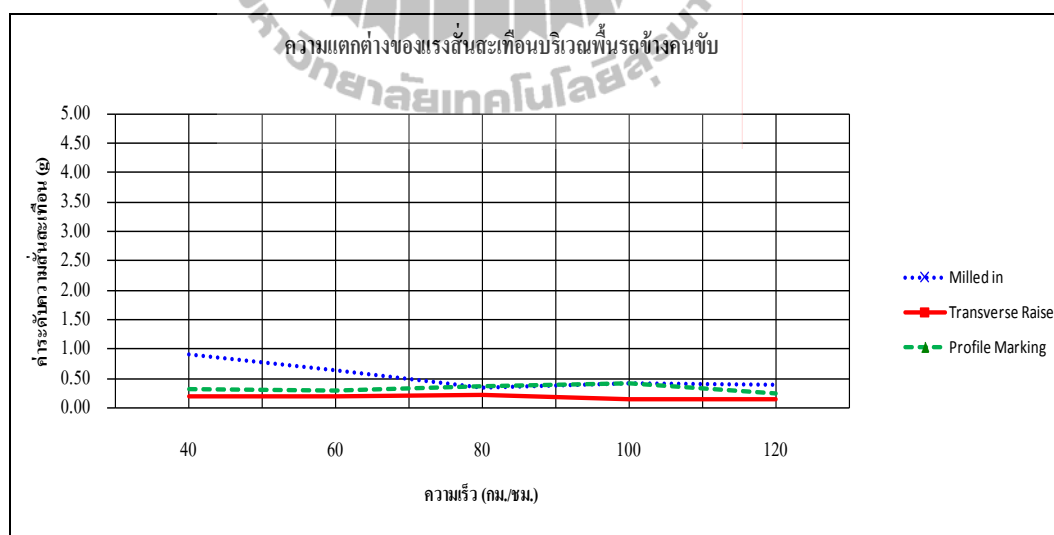


รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสันสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่แต่ละรูปแบบ

(5) กรณีการเปรียบเทียบระหว่างรถทดสอบวิ่งในสภาพปกติ (Ambient Condition) กับวิ่งผ่านแถบ SRS พบว่า ผลการวัดค่าระดับการสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถข้างคนขับที่ได้จากการเปรียบเทียบกับแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 แบบ เมื่อเพิ่มความเร็วของรถทดสอบทำให้ค่าเฉลี่ยความแตกต่างการสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยมีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 แบบของแถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง โดยที่การทดสอบรถวิ่งผ่าน SRS แบบ Milled in Shoulder Rumble Strips มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับ ได้ค่าสูงสุดที่เมื่อใช้ความเร็ว 40 กม./ชม. ดังรายละเอียด ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.3 และแสดงในรูปที่ 5.3

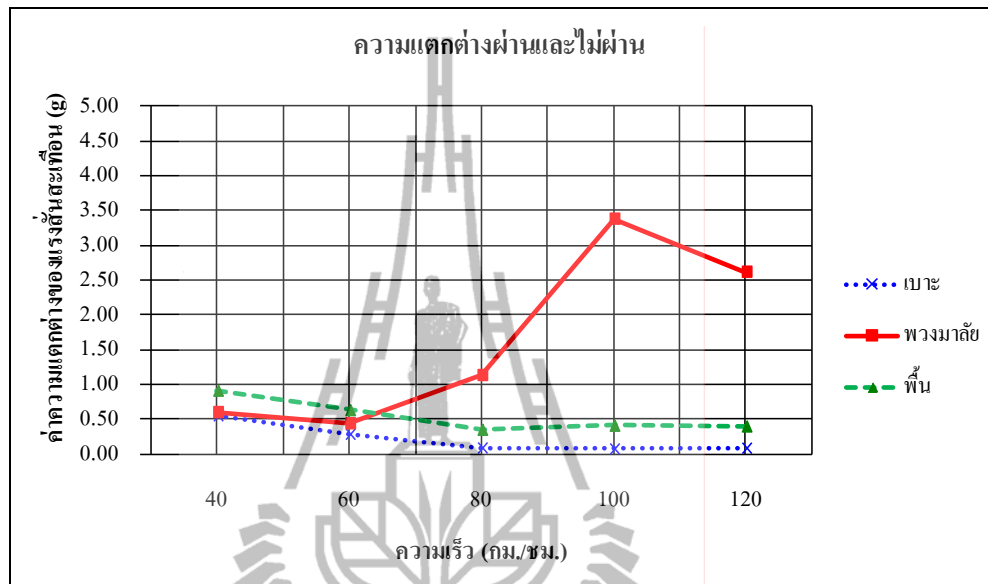
ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถข้างคนขับ

ชนิดของแถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง	ความเร็ว (กม./ชม.)				
	40	60	80	100	120
	ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของการสั่นสะเทือน (g)				
Milled in	0.91	0.63	0.35	0.41	0.40
Transverse Raised	0.19	0.20	0.22	0.14	0.14
Profile Marking	0.31	0.28	0.38	0.42	0.25

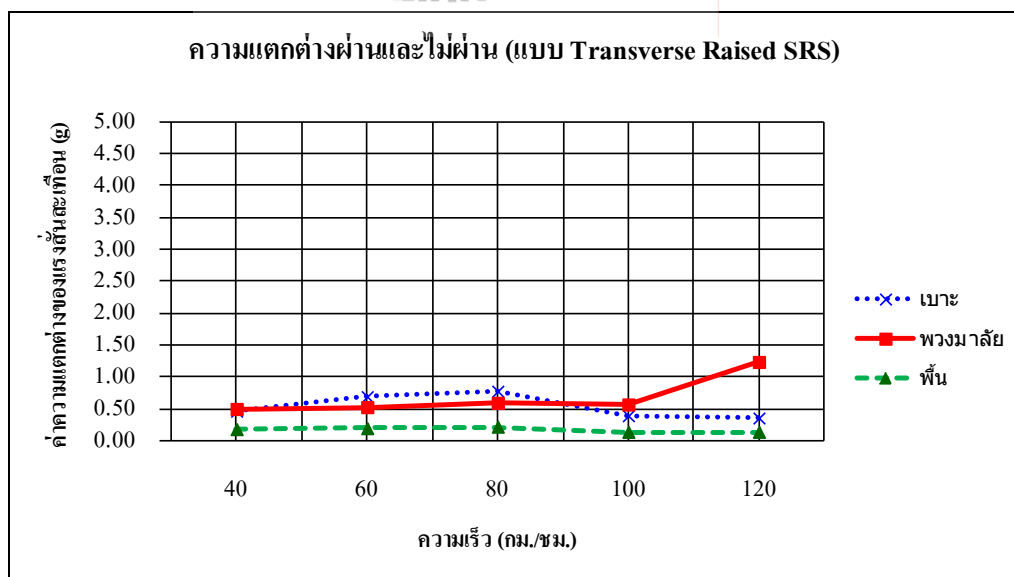


รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งผู้ขับขี่แต่ละรูปแบบ

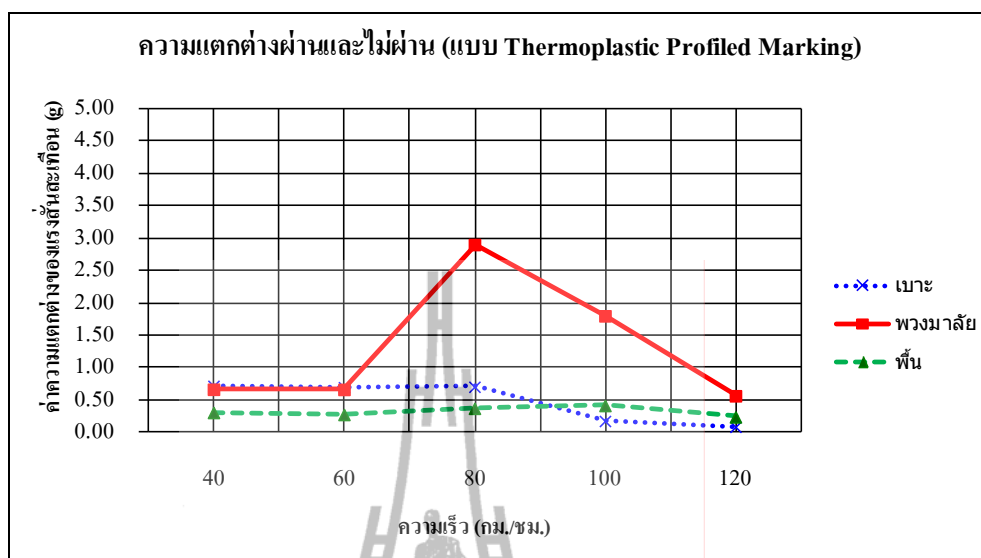
(6) ในการทดสอบแบบ SRS ทั้ง 3 แบบ พบว่า ค่าแรงความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยรถมีแนวโน้มที่สูงขึ้นกว่าค่าความแตกต่างแรงสั่นสะเทือนที่พื่นรถและเบาะนั่งคนขับ ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ถึง 5.6



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั่นสะเทือนในการทดสอบแบบ Milled in SRS



รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั่นสะเทือนในการทดสอบแบบ Transverse Raised SRS



รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของแรงสั่นสะเทือนในการทดสอบแบบ Thermoplastic Profiled Marking

(7) สำหรับค่าเฉลี่ยความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่ให้ค่ามากที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การทดสอบบน Milled in SRS ในการวัดแรงสั่นสะเทือนบริเวณพวงมาลัยได้ค่าสูงสุดที่ 3.38 g ที่ความเร็วของรถทดสอบขับผ่าน 100 กม./ชม. รองลงมา คือ ที่ค่าเฉลี่ยความแตกต่างแรงสั่นสะเทือน 2.90 g ที่การวัดบริเวณพวงมาลัยเช่นเดียวกัน แต่เป็นการทดสอบบน Thermoplastic Profiled Marking โดยใช้ความเร็ว 80 กม./ชม.

(8) จากผลการศึกษางานวิจัยเรื่องระดับแรงสั่นสะเทือนภายในตัวรถทดสอบของรถยนต์ Honda Accord 2.3 VTi ในครั้งนี้ พบว่า ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่สามารถทำให้ผู้ขับขี่รับรู้ถึงความแตกต่างได้มากที่สุด ได้แก่ ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบริเวณพวงมาลัยของรถ ซึ่งโดยปกติผู้ขับขี่ที่อยู่ในสถานะเหม่อลอยหรือหลับในยังคงจับหรือสัมผัสพวงมาลัยขณะอยู่ในสถานะดังกล่าว ดังนั้น แรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบริเวณพวงมาลัยจะส่งผลโดยตรงต่อผู้ขับขี่จึงทำให้ผู้ขับขี่สามารถที่จะรับรู้ถึงความแตกต่างของการสั่นสะเทือนได้ดีกว่าตำแหน่งอื่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเสนอแนะเกี่ยวกับแถบสันระนาดบนไหล่ทาง ดังนี้

(1) สำหรับในการศึกษาครั้งต่อไป ควรจะพิจารณาเรื่องระดับความดังของเสียงที่เกิดขึ้นภายในตัวรถควบคู่ไปกับระดับของการสั่นสะเทือนภายในตัวรถ เนื่องจากระดับความดังของเสียงภายในตัวรถมีเกณฑ์การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับเสียงที่มีผลต่อการรับรู้ของผู้ขับขี่ ซึ่งแตกต่างจากระดับของแรงสั่นสะเทือนที่ยังไม่มีเกณฑ์การเปรียบเทียบที่แน่นอนที่ส่งผลต่อการรับรู้ของผู้ขับขี่

(2) ในการวิจัยในครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาประเด็นเพิ่มเติมของค่าระดับของแรงสั่นสะเทือนที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นเดือนโตประสาทของผู้ขับขี่ในสภาวะหลับใน หรือในสภาวะเหม่อลอย

(3) จากรายงานการวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน Rumble Strips เพื่อลดความเร็วจราจร ของกรมทางหลวง, 2553 ได้มีการสรุปราคาค่าดำเนินการติดตั้งต่อเมตรของแถบสันระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า แบบ Transverse Raised SRS มีราคาค่าดำเนินการติดตั้งถูกที่สุดคือ 81 บาทต่อเมตร รองลงมาได้แก่ แบบ Thermoplastic Profiled Marking มีราคาค่าดำเนินการติดตั้ง 140 บาทต่อเมตร และสุดท้ายได้แก่แบบ Milled in SRS มีค่าดำเนินการติดตั้งมากที่สุด 247.50 บาทต่อเมตร โดยให้เหตุผลว่าแบบ Milled in SRS มีต้นทุนของการดำเนินการติดตั้งส่วนใหญ่จะอยู่ที่เครื่องจักรและค่าดำเนินการ ซึ่งยังไม่เคยมีการติดตั้งในประเทศไทย ผู้รับจ้างยังไม่มีเครื่องจักรนำมาใช้งาน จึงต้องจัดหาเครื่องจักรจากต่างประเทศ และสำหรับราคาของ Transverse Raised SRS และ Thermoplastic Profiled Marking ต้นทุนอยู่ที่วัสดุ ซึ่งเป็นวัสดุแบบเดียวกันกับงานทาสีดีเส้นจราจร สำหรับเครื่องจักรและค่าดำเนินการก็เช่นเดียวกันสามารถที่จะประยุกต์การใช้งานมาจากงานทาสีดีเส้นจราจรได้ ทำให้มีผู้รับจ้างหลายรายมีการแข่งขันสูง ทำให้ราคาต่อหน่วยถูก สำหรับการเลือกใช้งานของ SRS บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองนั้น ควรเลือกรูปแบบของ SRS ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และเหมาะสมกับงบประมาณในการดำเนินการ

(4) ในการบำรุงรักษาแถบสันระนาดบนไหล่ทางทั้ง 3 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบจะมีวิธีการการบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน ซึ่งแบบ Milled in Shoulder Rumble Strip เมื่อการเสื่อมสภาพจากการใช้งาน เช่น ร่องขาดรูปทรงบิดเบี้ยวหรือแตกออกจากกัน ร่องมีขนาดตื้นเขินลง หรือเป็นร่องมีเป็นหลุมขนาดใหญ่ การซ่อมบำรุงจะต้องดำเนินการปรับพื้นผิวทางใหม่ก่อน โดยการปูพื้นผิวทางใหม่ และค่อยดำเนินการซุดร่องใหม่บนผิวไหล่ทาง สำหรับแถบสันระนาดบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profile Marking ในการซ่อมบำรุงรักษา เมื่อมีการชำรุด เสื่อมสภาพ หรือความหนาของ Profiled Marking ลดลง สามารถซ่อมบำรุงโดยวิธีชุบพื้นผิวของสีเทอร์โมพลาสติกออก และ

ดำเนินการติดตั้ง Profiled Marking ใหม่ได้ทันที เช่นเดียวกันกับแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Transverse Raised Shoulder Rumble Strip เมื่อมีสภาพชำรุด หรือเสื่อมสภาพการใช้งาน สามารถดำเนินการติดตั้งใหม่เช่นเดียวกันกับแบบ Profile Marking

(5) แถบสันระนาบบนไหล่ทางทั้ง 3 รูปแบบสามารถใช้เดือนผู้ขับขี่ที่หลับใน (กรมทางหลวง, 2553) โดยการเลือกรูปแบบของแถบสันระนาบบนไหล่ทางแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับประเภทของเส้นทาง และลักษณะของการใช้งานจริง โดยเลือกตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุจากการหลับในหรือหลุดออกนอกเส้นทางบ่อยครั้งบนถนนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง โดยที่แถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in และแบบ Transverse Raise เหมาะสมสำหรับถนนที่มีไหล่ทางกว้าง เนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งค่อนข้างมาก เช่น ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) เป็นต้น และแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Thermoplastic Profiled Marking เหมาะสมสำหรับถนนที่มีไหล่ทางจำกัด

(6) สำหรับการติดตั้งแถบสันระนาบบนไหล่ทางบนถนนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสามารถใช้ได้ทั้ง 3 รูปแบบ ซึ่งในการดำเนินการติดตั้งก็ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ของแต่ละช่วงถนน ผู้วิจัยขอเสนอว่าถ้าเป็นช่วงถนนที่ไม่มีการซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง ควรเลือกใช้แถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบ Milled in SRS และสำหรับช่วงถนนที่มีการซ่อมแซมไหล่ทางบ่อยครั้งควรเลือกใช้แบบ Transverse Raised SRS และสำหรับช่วงถนนที่ไหล่ทางแคบในบางช่วงควรเลือกใช้แบบ Thermoplastic Profiled Marking

(7) สำหรับผลการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ เป็นผลการศึกษาเฉพาะของรถยนต์ Honda Accord 2.3 VTi ปี 2001 ซึ่งมีคุณสมบัติในการรับแรงสั่นสะเทือนเฉพาะรุ่นเท่านั้น ไม่สามารถนำผลการศึกษาเป็นตัวแทนของรุ่นอื่นหรือยี่ห้ออื่นได้ ดังนั้นในการศึกษารั้งต่อไปควรมีการพิจารณาเปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนกับรุ่นอื่น อาทิเช่น รถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์ต่ำกว่า 2,000 ซีซี รถประเภทอเนกประสงค์ หรือรถกระบะ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- กัมปนาท รัตวัฒน์. (2552), วิทยานิพนธ์การประยุกต์ใช้แถบเสียงสะท้อนไหล่ทางเพื่อเตือนผู้ขับขี่ที่หลับใหล, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- กรมทางหลวง (2553), โครงการวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน **Rumble Strips** เพื่อลดความเร็วจราจร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา (2549), การใช้ SPSS for windows, ครั้งที่ 9, บริษัท ธรรมสาร จำกัด กรุงเทพฯ
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา (2553), การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย, ครั้งที่ 12, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
- California Department of Transportation, **Evaluation of Milled-In Rumble Strips, Rolled-In Rumble Strips and Proprietary Applications**. California State. Draft Report. February 2001.
- Chen, C.S. (1994), **A Study of Effectiveness of Various Shoulder Rumble Strips on Highway Safety**. Virginia Department of Transportation.
- Chen, C. S. and Cottrell, B. H. **Guidelines for Using Centerline Rumble Strips in Virginia**. Virginia Department of Transportation. 2005.
- Cheng, E., Gonzalez, E. and Mack, O. **Application and Evaluation of Rumble Strips on Highways**. Utah Department of Transportation. 1993.
- Elefteriadiou, L. et al. **Bicycle Tolerable Shoulder Rumble Strips**. Pennsylvania Department of Transportation, 2000.
- Eric Meyer and Scott Walton. (2002), **Preformed Rumble Strips**. Kansas Department of Transportation.
- Evaluation of Milled-In Rumble Strips, Rolled-In Rumble Strips and Audible Edge Stripe. California Department of Transportation, Sacramento, California, May 2001.
- Federal Highway Administration, Wyoming Division Office. **Shoulder Rumble Strips B Effectiveness and Current Practice**. April 1998. Online Posting.
<http://safety.fhwa.dot.gov/rumblestrips/effectiveness/wy.htm>. July 2000.

- Griffith, Michael. **Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways.** Transportation Research Record. No. 1665, 1999, 28-34.
- Harwood, D.W. **Use of Rumble Strips to Enhance Safety.** National Cooperative Highway Research Program Synthesis 191, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1993.
- Hickey Jr., John. **Shoulder Rumble Strips Effectiveness; Drift-Off-Road Accident Reductions on the Pennsylvania Turnpike.** Transportation Research Record. No. 1573, 1997, 105-109.
- Higgins, J. and Barbel, W. (1984), **Rumble Strip Noise.** Transportation Research Record. No. 983,27-36.
- Khan, A. and A. Bacchus. **Economic Feasibility and Related Issues of Highway Shoulder Rumble Strips.** Transportation Research Record. No. 1498, 1995, 92-101.
- Ligon, Claude, et al. **Effects of Shoulder Textured Treatments on Safety.** Federal Highway Administration, FHWA/RD-85/027, 1985.
- Melisa D. Finley, Jeffrey D. Miles and Paul J. Carlson, **An Assessment of various rumble strip designs and pavement marking applications for crosswalks and work zones.** Report No.0-4728-2, Texas Transportation Institute. 2005.
- Outcalt, William. **Bicycle-Friendly Rumble Strips.** Report No. CDOT-DTD-R-2001-4. Colorado Department of Transportation, 2001.
- Perrillo, Kerry. **The Effectiveness and Use of Continuous Rumble Strips.** August 1998. Online Posting. <http://safety.fhwa.dot.gov/rumblestrips/resources.rumblekp.htm>. August 2000.
- Rumble Strip Website. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
<http://safety.fhwa.dot.gov/programs/rumble.htm>. Accessed June 2005.
- Wood, Neal E. **Shoulder Rumble Strips: A Method to Alert Drifting Drivers.** Pennsylvania Turnpike Commission. January 1994.
- <http://www.sabre-roads.org.uk/>
- http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/rumble/

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ประมุข ปราบจะบก รศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห และ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์ (2555). การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แถบสันขนาดบ้นใหญ่ทางบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง, การประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 8 (NTC8), Page 140-146., ระหว่างวันที่ 15-16 มีนาคม 2555 จังหวัดชลบุรี

Pramuk PRABJABOK, Ponlathep LERTWORAWANICH, and Vatanavong RATANAVARAHA, (2010). **Increment of Noise from the Truck while Running through Profile Marking Shoulder Rumble Strips.** Proceedings of the 15th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS), Page 749-755., 11-14 December 2010, Hong Kong. ISBN 978-988-98847-8-9

Vatanavong RATANAVARAHA, Ponlathep LERTWORAWANICH, Pramuk PRABJABOK and Yongyuth TAESIRI, (2010). **The Study on the Effectiveness of Profile Marking Shoulder Rumble Strip to Prevent the Truck Driver Falls Asleep.** Proceedings of the 7th Asia Pacific Conference On Transportation and the Environment (7th APTE), Page 227-232., 3-5 June 2010, Semarang, Indonesia. ISBN 978-979-97161-5-6



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



(NTC8-091)

การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แถบสั่นระนาดบนไหล่ทางบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

The Study of the Effectiveness of Shoulder Rumble Strip on Motorway

ประมุข ปราบจะบก (Pramuk Prabjabok)¹

รศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห์ (Assoc. Prof. Dr. Vatanavongs Ratanavaraha)²

ดร.รัฐพล ภูบุบผาพันธ์ (Dr. Rattaphol Pueboobpaphan)³

¹นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, pramuk.sut@gmail.com

²อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Vatanavongs@sut.ac.th

³อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, rattapol@sut.ac.th

บทคัดย่อ:

แถบสั่นระนาดบนไหล่ทางสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถใช้ถนนบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง เพื่อป้องกันและเตือนผู้ขับขี่ไม่ให้ขับรถออกนอกเส้นทาง โดยเฉพาะผู้ขับขี่ที่อยู่ในสภาวะหลับใหล จากผลการศึกษาในต่างประเทศ พบว่าการนำแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางมาใช้เพื่อช่วยให้จำนวนสถิติอุบัติเหตุจากการจราจรลดลง ดังนั้นก่อนมีการนำแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางมาใช้จริงในสภาพการจราจรของประเทศไทย โดยเฉพาะบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จึงควรมีการศึกษาวิจัยผลกระทบต่าง ๆ ของการใช้แถบสั่นระนาดบนไหล่ทาง ทั้งด้านประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพ ที่มีต่อผู้ขับขี่โดยตรง ในการวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบเขาระ่องบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง โดยการวัดความสั่นสะเทือนในห้องโดยสารภายในรถในตำแหน่งเบาะนั่งผู้ขับขี่ คอพวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ ขณะขับรถทดสอบผ่านแถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบเขาระ่อง จากผลการวิจัยพบว่าความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พวงมาลัยเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: แถบสั่นระนาดบนไหล่ทางแบบเขาระ่อง, ความเร็ว, ระดับค่าแรงสั่นสะเทือน, อุบัติเหตุจากการตกข้างทาง



ABSTRACT:

The purposes of using Shoulder Rumble Strips on motorway are to protect and taking awareness of road user from runing-off roadway accident, especially for the driver who feel asleep while driving. The result in many country shows that shoulder rumble strip can reduce a number of traffic accidents. Therefore, shoulder rumble strip is applied in the real traffic situation of Thailand, especially on motorway. There is no study of the effectiveness of shoulder rumble strip in Thailand. The effectiveness of milled in shoulder rumble strip is analyzed by measuring the level of vibration inside the vehicle at the position of driver seat, steering wheel and car's floor, while the testing car drive through shoulder ruble strips. The result of this study is the increasing of car speed can also increase the vibration in steering wheel.

KEYWORDS:

Milled in Shoulder Rumble Strips, Speed, Vibration Level, Run-Off Roadway Accident

1. บทนำ

การใช้แถบสันระนาบบนไหล่ทาง (Shoulder Rumble Strips) เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุกรณี que ผู้ขับขี่ที่ขับรถออกนอกเส้นทางขณะหลับในได้ ซึ่งจะดำเนินการติดตั้งลงบนผิวจราจรบริเวณไหล่ทาง โดยให้มีความกว้าง ความยาว ความหนาหรือความลึก ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของการใช้งานสันระนาบบนไหล่ทาง สำหรับสันระนาบบนไหล่ทางสามารถติดตั้งได้ทั้งในแนวตั้งฉากหรือแนวเดียวกับทิศทางของจราจร เพื่อกระตุ้นเตือนผู้ขับขี่ในขณะที่ขับรถผ่านชุดของสันระนาบบนไหล่ทางให้รู้สึกตัวและลดความเร็วลง หรือให้ผู้ขับขี่สามารถหักรถกลับเข้ามาสู่ช่องทางจราจรปกติได้

จาก “โครงการวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน Rumble Strips เพื่อลดความเร็วจราจร” ของกรมทางหลวง (2553) ได้กล่าวว่า แถบสันระนาบโดยทั่วไปจะก่อให้เกิดเสียงต่อผู้ขับขี่และเกิดการสั่นสะเทือนภายในตัวรถเมื่อมีการใช้ความเร็วตั้งแต่ 40 กม./ชม. และจะมีเสียงดังเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อผู้ขับขี่ใช้ความเร็วสูงขึ้น ในการวัดความดังของเสียงภายในตัวรถจะทำการวัดที่บริเวณพนักพิงศีรษะระดับเดียวกับหูของผู้ขับขี่หรือที่พวงมาลัยรถ ซึ่งในความเร็วที่ 40 กม./ชม. จะมีความดังของเสียงมีค่ามากขึ้น 15 เดซิเบล ในกรณีวัดระดับความดังของเสียงภายในรถที่พนักพิงศีรษะของผู้ขับขี่ และจะมีความดังของเสียงมีค่ามาก

ขึ้น 10 เดซิเบล ในกรณีที่วัดความดังเสียงที่พวงมาลัย นอกจากนี้แล้ว ความหนาของแถบสันระนาบยังมีผลต่อความดังที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ถ้าความหนามีค่ามากขึ้น ความดังของเสียงก็จะมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน

กับปนาท รติวัฒน์. (2552) “วิทยานิพนธ์การประยุกต์ใช้แถบเสียงสะเทือนไหล่ทางเพื่อเตือนผู้ขับขี่ที่หลับใน” ได้กล่าวถึงจากการประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานแถบสันระนาบบนไหล่ทางแบบเขาระรองโดยเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงรัฐ California พบว่าแถบสันระนาบบนไหล่ทางที่มีความลึก 0.6 ซม. มีค่าระดับแรงสั่นสะเทือนที่ไม่เพียงพอสำหรับการเตือนผู้ขับขี่ แต่แถบสันระนาบบนไหล่ทางที่มีความลึก 1.3 ซม. สามารถสร้างระดับแรงสั่นสะเทือนได้อย่างเพียงพอสำหรับการเตือนผู้ขับขี่ และถ้าแถบเสียงสะเทือนที่มีความลึก 1.9 ซม. นั้นสามารถสร้างการสั่นสะเทือนได้ดีมาก แต่ผลจากการสอบถามผู้ขับขี่ส่วนใหญ่พบว่าแถบสันระนาบแบบบนไหล่ทางแบบเขาระรองที่มีความลึก 1.9 ซม. จะทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึงการสูญเสียการควบคุมรถยนต์

Higgins, J. S. and Barbel, W. (1984) ได้ทำการศึกษาความถี่ที่เกิดจากแถบสันระนาบบนไหล่ทางพบว่า ในการทดสอบเกิดความถี่ต่ำที่สุดเท่ากับ 80-315 Hz ส่วนความถี่สูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 1,000 Hz ซึ่งแสดงให้เห็น



ว่า ความเร็วมีผลต่อความถี่ แต่ไม่มีผลการวิจัยใดที่ระบุว่าขนาดของแถบเสียงสะท้อนไหล่ทางมีผลต่อความถี่

Franke, K. A. (1974) ได้ทำการศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมของแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรองที่สัมพันธ์กับความถี่บนถนนระหว่างรัฐ ซึ่งระยะห่างที่เหมาะสมคำนวณจากค่าระดับการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากรถยนต์นั่งส่วนบุคคล พบว่า ระยะห่างที่น้อยกว่า 5.1 ซม. จะทำให้เกิดการกระโดดของล้ออย่างมากโดยจะทำให้ล้อรถไม่แตะพื้นอย่างสม่ำเสมอ และพบว่าระดับการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลดลง จากการทดสอบยังสรุปได้ว่าระยะห่างที่ 12.7 ซม. เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง และแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรองไม่ควรมีความหนาหรือมีความลึกมากกว่า 1.3 ซม.

จากผลการวิจัยข้างต้น นำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อการศึกษาประสิทธิภาพของแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรองในกรณีการศึกษาถึงแรงสั่นสะเทือนตำแหน่งต่างๆ ภายในตัวรถทดสอบที่ส่งผลต่อผู้ขับขี่ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีและไม่ผ่านแถบสันระนาคบนไหล่ทางในระดับความเร็วที่แตกต่างกัน

2. ขั้นตอนการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง (Milled in Shoulder Rumble Strip) นั้น ดำเนินการทดสอบบนพื้นผิวจราจรจริงบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ซึ่งทางกรมทางหลวงได้ดำเนินการติดตั้งไว้แล้ว โดยผู้วิจัยได้ขออนุญาตกับกรมทางหลวงเพื่อดำเนินการทดสอบ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของชุดแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง (Milled in Shoulder Rumble Strip) ขณะรถทดสอบขับบนชุดแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง โดยการเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีที่มีและไม่ผ่านแถบสันระนาคบนไหล่ทาง ที่ส่งผลกระทบต่อผู้ขับขี่โดยตรงในเรื่องค่าระดับ

แรงสั่นสะเทือนในตำแหน่งพวงมาลัยรถ เบาะคนขับ และพื้นรถข้างคนขับ ที่ใช้ความเร็วทดสอบที่แตกต่างกัน โดยมีขั้นตอนของการศึกษามีรายละเอียด ดังนี้

- (1) คัดเลือกตำแหน่งทดสอบ โดยใช้เส้นทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองช่วงสายทางเชื่อมระหว่าง มอเคอร์เวย์ กรุงเทพมหานคร (ทล.7) กับทางหลวงสายบางนา-บางปะกง (ทล.34) ซึ่งทางกรมทางหลวงได้มีการติดตั้งชุดแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรองไว้แล้ว
- (2) ติดตั้งเครื่องมือวัดการ สั่นสะเทือนภายในห้องโดยสาร โดยการติดตั้งที่เบาะที่นั่งคนขับ คอพวงมาลัย และพื้นรถข้างคนขับ
- (3) ทดสอบขับรถผ่านแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง ด้วยความเร็ว 40, 60, 80 100 และ 120 กม./ชม. รวมทั้งวัดค่าการฉีกที่ไม่ได้ขับผ่านแถบสันระนาคบนไหล่ทางในระดับความเร็วของรถที่เท่ากัน
- (4) ทำการวัดค่าระดับการ สั่นสะเทือนภายในห้องโดยสาร ทั้งแบบขับผ่าน (เหยียบ) และไม่ผ่าน (ไม่เหยียบ) บนแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง ตามระดับความเร็วที่ทดสอบ
- (5) วิเคราะห์และประเมินผล เพื่อสรุปผลของการทดสอบแถบสันระนาคบนไหล่ทางแบบเขาระรอง



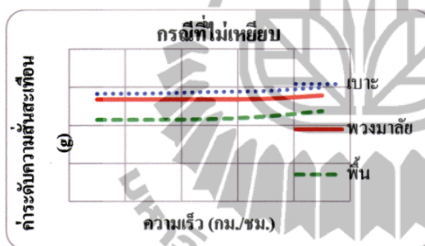
ภาพที่ 1 ลักษณะของ Milled in Shoulder Rumble Strip บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองที่ใช้ในการทดสอบ



3. ผลการศึกษา

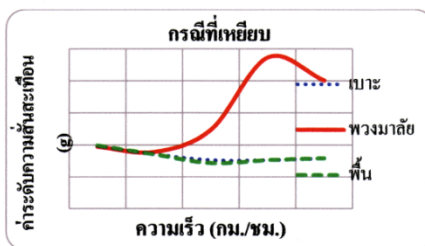
จากผลการทดสอบโดยใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล ขับผ่านแถบสัญญาณคนไหลทางแบบเซาะร่อง ทั้งแบบก่อนการติดตั้ง (ไม่เหยียบ) และหลังการติดตั้ง (เหยียบ) พบว่าระดับการสั่นสะเทือนเมื่อขับขึ้นผ่าน แถบสัญญาณคนไหลทางแบบเซาะร่องในกรณีเหยียบ มีค่าการสั่นสะเทือนมากกว่ากรณีไม่เหยียบ

ผลการทดสอบในภาพที่ 2 แสดงผลลัพธ์ของการทดสอบในกรณีที่ไม่ได้เหยียบแถบสัญญาณคนไหลทาง พบว่า ความเร็วของรถเพิ่มขึ้นทำให้แรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ คอพวงมาลัยและพื้นรถมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความเร็ว



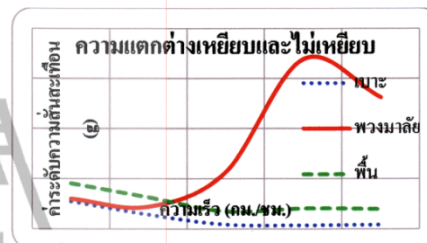
ภาพที่ 2 ค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถ

สำหรับภาพที่ 3 แสดงผลลัพธ์กรณีที่รถทดสอบขับผ่านแถบสัญญาณคนไหลทาง พบว่า เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงสั่นสะเทือนที่พวงมาลัยเพิ่มขึ้น แต่ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เบาะและพื้นรถมีค่าลดลง



ภาพที่ 3 ค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถ

ในภาพที่ 4 แสดงผลต่างของค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบแถบสัญญาณคนไหลทาง พบว่าเมื่อความเร็วของรถทดสอบเพิ่มขึ้นทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะและพื้นรถกลับมีค่าตรงกันข้าม คือลดลง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนกรณีเหยียบและไม่เหยียบที่ตำแหน่งเบาะนั่งคนขับ พวงมาลัย และพื้นรถ

จากผลการทดสอบ ต้องการทราบว่า ความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลต่างค่าแรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเลือกการใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากร โดยวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) มีขั้นตอนการทดสอบตั้งแต่การตรวจสอบตัวแปรของแต่ละกลุ่มย่อยมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากนั้นทำการตรวจสอบ ค่าแปรปรวนของตัวแปรตามของทุกกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ แล้วจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

(1) การตั้งสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความแปรปรวน

Ho : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในทุกความเร็วไม่ต่างกัน

Ha : ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนแปรปรวนในบางความเร็วต่างกัน

หรือ

Ho : $Var(40) = Var(60) = Var(80) = Var(100) = Var(120)$

Ha : $Var(ความเร็ว i) \neq Var(ความเร็ว j)$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$



(2) การตั้งสมมติฐานตรวจค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม

Ho: ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้
ไม่มีความแตกต่างกัน

Ha: ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วที่ใช้
มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่
หรือ

$$H_0: \mu(40) = \mu(60) = \mu(80) = \mu(100) = \mu(120)$$

$$H_a: \mu(\text{ความเร็ว } i) \neq \mu(\text{ความเร็ว } j) \text{ อย่างน้อย 1 คู่; } i \neq j$$

(3) ทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม

โดยการทดสอบหาค่า Correlations ของค่าผลต่างของ
แรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ ที่คอปวงมาลัย และที่พื้น
รถข้างคนขับเปรียบเทียบกับความเร็วของรถ

ผลการตรวจสอบความแปรปรวน และค่าเฉลี่ยของ
ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละตำแหน่งของการ
ทดสอบ สรุปผลได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับ

ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่าง
แรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 1 Test of Homogeneity of Variances (เบาะนั่ง
คนขับ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.456	4	45	.004

จากตารางที่ 1 ค่า Sig = 0.004 น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปว่า
ปฏิเสธ Ho ซึ่งหมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่าผลต่าง
ของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะแปรปรวนต่างกัน (Ha จริง) จึง
ต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 2 Robust Tests of Equality of Means (เบาะนั่ง
คนขับ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	30.721	4	21.044	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 30.721 และค่า p-value หรือ
Sig. = 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ Ho นั่นคือ

ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะไม่ได้เท่ากันใน
ทุกๆ ความเร็วที่ทดสอบ

2. กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณคอปวงมาลัย

ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่าง
แรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 3 Test of Homogeneity of Variances (ค
พวงมาลัย)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.451	4	45	.060

จากตารางที่ 3 ได้ค่า Sig = 0.060 มากกว่า 0.05 จึง
สรุปว่ายอมรับ Ho หมายความว่า ความแปรปรวนของ
ผลต่างแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยเท่ากัน

ตารางที่ 4 ANOVA Test (คอปวงมาลัย)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	67.785	4	16.946	73.645	.000
Within Groups	10.355	45	.230		
Total	78.139	49			

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติ F = 73.645 และค่า Sig. =
.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ Ho สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยผลต่าง
ของแรงสั่นสะเทือนที่คอปวงมาลัยไม่ได้เท่ากันในทุกๆ
ความเร็วที่ใช้ทดสอบ

3. กรณีศึกษาแรงสั่นสะเทือนบริเวณพื้นรถข้างคนขับ

ตรวจสอบค่าแปรปรวนของค่าความแตกต่าง
แรงสั่นสะเทือนของแต่ละความเร็วแตกต่างกันหรือไม่

ตารางที่ 5 Test of Homogeneity of Variances
(พื้นรถข้างคนขับ)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.611	4	45	.000

จากตารางที่ 5 ค่า Sig = .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึง
สรุปว่า ปฏิเสธ Ho หมายความว่า มีบางความเร็วที่มีค่า
ความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับ



แปรปรวนต่างกัน (ยอมรับ H_a) จึงต้องใช้สถิติทดสอบ Welch Test ในการทดสอบค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 6 Robust Tests of Equality of Means (พื้นที่ข้างคนขับ)

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	53.161	4	21.260	.000

a Asymptotically F distributed.

สถิติทดสอบ Welch = 53.161 และค่า p-value หรือ Sig. = 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถข้างคนขับไม่ได้เท่ากันในทุกๆ ความเร็วที่ใช้ทดสอบ สรุปผลการทดสอบ สมมติฐาน พบว่า ในแต่ละความเร็วของรถที่ใช้ทดสอบ ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เหยียบและไม่เหยียบแถบส้นระนาดบนไหล่ทางมีค่าเฉลี่ยของผลต่างแรงสั่นสะเทือนไม่เท่ากันในแต่ละความเร็ว

เมื่อได้ผลสรุปดังกล่าวมาข้างต้น จึงทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วและผลต่างแรงสั่นสะเทือนในแต่ละจุด

		ความเร็ว	เบาะ	พวงมาลัย	พื้น
ความเร็ว	Pearson Cor.	1	-.764(**)	.791(**)	-.772(**)
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000
	N	50	50	50	50
เบาะ	Pearson Cor.	-.764(**)	1	-.572(**)	.799(**)
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000
	N	50	50	50	50
พวงมาลัย	Pearson Cor.	.791(**)	-.572(**)	1	-.532(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000
	N	50	50	50	50
พื้น	Pearson Cor.	-.772(**)	.799(**)	-.532(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	
	N	50	50	50	50

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่า Pearson Correlation ระหว่าง ความเร็ว กับ ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะ = -.764 หมายความว่า

ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่เบาะนั่งคนขับมีแนวโน้มลดลง

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่า Pearson Correlation ระหว่าง ความเร็ว กับ ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยมีค่าเป็นบวก แสดงว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สรุปค่า Pearson Correlation ระหว่าง ความเร็ว กับ ผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นรถมีค่าเป็นลบ หมายความว่า ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงสั่นสะเทือนที่พื้นข้างคนขับมีแนวโน้มลดลง

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบการขับรถทดสอบขับผ่านบนแถบส้นระนาดบนไหล่ทางแบบเซาะร่อง (Milled in Shoulder Rumble Strips) พบว่า ค่าเฉลี่ยของผลต่างของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละความเร็วมีค่าแตกต่างกัน และเมื่อความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนบริเวณเบาะนั่งคนขับและพื้นรถข้างคนขับลดลง แต่ความเร็วของรถทดสอบที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลทำให้ค่าผลต่างของแรงสั่นสะเทือนที่คอพวงมาลัยเพิ่มขึ้นตาม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาตลอดงานวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. รัฐพล กุ๋นบุผาพันธ์ เป็นที่ปรึกษา ร่วมในการวิเคราะห์งานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สมประสงค์ สัตยมัลลี เป็นผู้เริ่มให้ผู้วิจัยศึกษางานวิจัยในเรื่องนี้ และสุดท้ายทางผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ ดร. พลเทพ เลิศสุวรรณิช ที่คอยให้คำปรึกษาในการเริ่มงานวิจัย ขอขอบคุณครับ





เอกสารอ้างอิง

- 1) กำปนาท รติวัฒน์. (2552), วิทยานิพนธ์การประยุกต์ใช้แถบเสียงสะท้อนไหล่ทางเพื่อเตือนผู้ขับขี่ที่หลับใหล, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2) กรมทางหลวง (2553), โครงการวิจัยเพื่อกำหนดมาตรฐานในการใช้งาน Rumble Strips เพื่อลดความเร็วจราจร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- 3) รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา (2549), การใช้ SPSS for windows, ครั้งที่ 9, บริษัท ธรรมสาร จำกัด กรุงเทพฯ
- 4) รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา (2553), การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย, ครั้งที่ 12, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
- 5) วิวัฒน์ สุทธิวิภากร, ข้อเสนอโครงการวิจัย: การใช้แถบสันสะท้อนไหล่ทาง (ออสล) บนทางหลวงเพื่อเตือนผู้ขับขี่ที่หลับใหล. กรุงเทพฯ: คณะกรรมการกองทุนเพื่อความปลอดภัยในการใช้
- 6) Chen, C.S. (1994), A Study of Effectiveness of Various Shoulder Rumble Strips on Highway Safety. Virginia Department of Transportation.
- 7) Daniel M. Dulaski and David A. Noyce. Washington D.C. (2006), Development and Evaluation of An Unique Centerline Rumble Strip Pattern to Improve Driver Comprehension. Transportation Research Board.
- 8) Eric Meyer and Scott Walton. (2002), Preformed Rumble Strips. Kansas Department of Transportation.
- 9) Eric Yuan-Chin Cheng, P.E.(A), Ezequiel Gonzalez, Mack O. Christensen, P.E.(M), Application and Evaluation of Rumble Strips on Highways.
- 10) Franke, K. A. (1974), Evaluation of Rumble Strips. Virginia Highway & Transportation Research Council.
- 11) Higgins, J. and Barbel, W. (1984), Rumble Strip Noise. Transportation Research Record. No. 983, 12) 27-36.
- 13) Isackson, C. (2000), Continuous Milled Shoulder Rumble Strips; Nationwide Survey. Minnesota Department of Transportation.

เกี่ยวกับผู้เขียน



นายประมุข ปราบจะบก

จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายประมุข ปราบจะบก เกิดเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2517 เริ่มศึกษาชั้นประถมที่ โรงเรียนบ้านหลักร้อย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-4 ที่โรงเรียนบ้านต่างตา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5-6 ที่ โรงเรียน โคราชพิทยาคม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมขนส่ง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2540 โดยหลังจากสำเร็จการศึกษาได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมระดับภาคีวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา และเริ่มทำงานในปี 2540 ที่ห้างหุ้นส่วนจำกัดราชสีมา คอนสัต์ ตำแหน่งวิศวกรสนามในโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยขุนแก้ว จังหวัดอุทัยธานี และจากนั้นในปี 2541 เข้ารับการเป็นทหารเกณฑ์ในสังกัดกรมการทหารราบที่ 121 พัน 2 ค่ายสุรธรรมพิทักษ์ ในปี 2542 เข้าทำงานในตำแหน่งนักวิจัยจราจร ที่สำนักงานจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ในปี 2543 ย้ายเข้ามาทำงานที่ System Planning Group เป็นกลุ่มวิศวกรที่ปรึกษาอิสระ ในตำแหน่งวิศวกรจราจรและขนส่ง และในปี 2545-ปัจจุบัน ได้ย้ายเข้ามาทำงานในตำแหน่งวิศวกรขนส่งอาวุโส ที่ศูนย์ศึกษาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการขนส่ง (CT³) สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนเป็นศูนย์เทคโนโลยีประยุกต์ด้านการขนส่งและโลจิสติกส์

ซึ่งในปี พ.ศ.2550 ได้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ Asia Pacific Conference On Transportation and the Environment (APTE) ครั้งที่ 7 หัวข้อเรื่อง The Study on the Effectiveness of Profile Marking Shoulder Rumble Strip to Prevent the Truck Driver Falls Asleep ระหว่างวันที่ 3-5 มิถุนายน 2510 ณ เมือง Semarang ประเทศอินโดนีเซีย

บทความการประชุมวิชาการในงาน International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS) ครั้งที่ 15 หัวข้อเรื่อง Increment of Noise from the Truck while Running through Profile Marking Shoulder Rumble Strips ระหว่างวันที่ 11-14 ธันวาคม 2010 ณ ประเทศฮ่องกง

บทความการประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 8 เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แถบสันขนาดบนไหล่ทางบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ระหว่างวันที่ 15-16 มีนาคม 2555 ณ โรงแรม เดอะไทด์รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี