

การปรับปรุงค่าความแข็งของเบาะรถยนต์เพื่อลดแรงกดที่ก้นของผู้ขับขี่



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Car seat hardness improvement for reducing pressure on bottoms of driver



Mr. Nattaphong Leewuttiwichai

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

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงค่าความแข็งของเบาะรถยนต์เพื่อลดแรงกดที่ ก้นของผู้ขับขี่
โดย	นายณัฐพงศ์ ลีวุฒิมิชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูตีมา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)	

ณัฐพงศ์ ลีวุฒิวิรัชย์ : การปรับปรุงค่าความแข็งของเบาะรถยนต์เพื่อลดแรงกดที่ก้นของผู้
 ขับขี่. (Car seat hardness improvement for reducing pressure on bottoms
 of driver) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

การใช้เบาะนั่งรถยนต์ที่เหมาะสมสามารถช่วยแก้ปัญหาความล้าจากการขับ
 รถยนต์เป็นเวลานาน โดยการปรับปรุงค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งรถยนต์ที่สามารถลดแรงกด
 ทับซึ่งเกิดขึ้นจากการนั่งขับรถยนต์เป็นเวลานาน จากการทดลองนั่งเบาะรองนั่งรถยนต์ที่มี 3 ค่า
 ความแข็ง ได้แก่ 235.4 N , 276.4 N และ 313.9 N ที่มีรูปร่างเหมือนกันกับผู้เข้าร่วมการทดลอง
 15 คน ตลอด 3 ช่วงระยะเวลา ได้แก่ 10 นาที , 20 นาที และ 30 นาที โดยเก็บข้อมูล 4 ตัวชี้วัด
 ได้แก่ แรงดันสูงสุด พื้นที่แรงดันในช่วงสูง พื้นที่ผิวสัมผัส และแรงดันเฉลี่ย ทุก ๆ 1 นาที ด้วย
 เครื่องมือวัด Pressure Mapping System ผลการศึกษาพบว่าค่าความแข็งของโฟมและระยะเวลา
 ในการนั่งขับรถยนต์ 30 นาทีมีผลต่อการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยพบว่าค่าแรงดันสูงสุด
 พื้นที่แรงดันในช่วงสูง และแรงดันเฉลี่ย มีค่าลดลงตามค่าความแข็งที่ลดลง แต่พื้นที่ผิวสัมผัสมีค่า
 เพิ่มขึ้นตามค่าความแข็งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงทำให้พื้นที่แรงดันในช่วงสูง
 พื้นที่ผิวสัมผัส และแรงดันเฉลี่ย มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลา 30 นาที แต่ค่าแรงดัน
 สูงสุดไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา สรุปผลการทดลองโฟมหมายเลขที่1 ที่มีค่าความแข็ง 235.4N
 จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก และค่าแรงดันสูงสุด พื้นที่แรงดันในช่วงสูง แรงดันเฉลี่ยน้อยตามไป
 ด้วย เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะเพิ่มประสิทธิภาพของเบาะรองนั่งในการกระจายน้ำหนักของผู้
 นั่งได้ดีซึ่งจะช่วยลดพื้นที่แรงดันในช่วงสูง แรงดันเฉลี่ยและแรงดันสูงสุดบริเวณปุ่มกระดูกสันหลังได้มาก
 จะได้ผลดีกับเพศหญิงมากกว่าเพศชาย

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยคำปรึกษาด้านงานวิจัยและการสนับสนุนตลอดมาจากแผนกทดสอบของบริษัทเอ็น เอช เค สปริง จำกัด และขอขอบคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความร่วมมือและให้การสนับสนุนตลอดมา ข้าพเจ้าขอถือโอกาสขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ รวมถึงผู้ที่มีส่วนร่วมสนับสนุนให้วิทยานิพนธ์นี้ เสร็จสมบูรณ์ทุกท่าน ทั้งที่ได้กล่าวถึงไปแล้วข้างต้นและไม่ได้กล่าวถึงไว้เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ณัฐพงศ์ ลีวุฒิวิชัย



สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.1.1. ที่มาของงานวิจัย.....	7
1.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด.....	10
1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	10
1.4. ขอบเขตของงานวิจัย.....	10
1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานเบื้องต้น.....	11
1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1. หลักการในการออกแบบผลิตภัณฑ์.....	12
2.1.1. องค์ความรู้เกี่ยวกับโคมเบาะรถยนต์.....	12
2.1.2. การวัดประสิทธิภาพของเบาะรถยนต์.....	13
2.1.3. เป้าหมายของที่นั่งและท่าทาง.....	14

2.1.4. ท่าที่นั่งที่เหมาะสมในการขับรถตามหลักการยศาสตร์	14
2.2. ส่วนประกอบของเบาะรถยนต์	19
2.3. องค์ความรู้เกี่ยวกับการบาดเจ็บไขสันหลังและก้นกบ	20
2.3.1. บาดเจ็บไขสันหลัง (Spinal cord injury).....	20
2.3.2. ระดับการบาดเจ็บของไขสันหลัง	20
2.3.3. คำจำกัดความก้นกบ.....	21
2.3.4. สาเหตุการเกิดการบาดเจ็บที่ก้นกบ	23
2.3.5. ความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ก้นกบ	24
2.3.6. แนวทางการรักษาอาการปวดก้นกบ.....	24
2.4. ขนาดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์ที่สัมพันธ์กับการนั่งเบาะรถยนต์	25
2.4.1. สัดส่วนร่างกายวัดในขณะอยู่นิ่ง (Static characteristic).....	25
2.4.2. มิติส่วนของร่างกายอายุ 20-45 ปี	25
2.4.3. สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบที่นั่ง.....	26
2.4.4. การออกแบบเบาะรถยนต์หรือเก้าอี้โดยทั่วไปควรคำนึง 4 ประการดังนี้	27
2.5. เครื่องมือการวัด.....	38
2.5.1. 3-D H-machine	38
2.5.2. Load Test Machine.....	39
2.5.3. Vibration Test Machine (Vibration loading characteristic).....	40
2.5.4. Damping Test Machine	41
2.5.5. เครื่อง Pressure Mapping System (PMS)	41
2.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
2.7. นิยามความสบายของการนั่งเบาะรถยนต์ในงานวิจัยนี้	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการงานวิจัย.....	47
3.1. การคัดกรองผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	47

3.2. ขั้นตอนการผลิตโฟมเบาะรองนั่ง.....	47
3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	49
3.4. วิธีการเก็บข้อมูล.....	53
3.5. ขั้นตอนการคำนวณหาตัวชี้วัดทั้ง 4.....	57
3.6. การพิสูจน์ปัจจัยเวลาที่มีผลต่อการทดลอง.....	58
3.7. การวิเคราะห์ข้อมูล	60
3.8. การออกแบบการทดลอง	62
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	64
4.1. การประเมินแรงดันสูงสุด (Peak Pressure : PP)	65
4.1.1. ผลการทดลอง	65
4.1.2. การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล	66
4.1.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าแรงดันสูงสุดกับเพศของผู้ทดลอง.....	71
4.2. การประเมินแรงดันเฉลี่ย (Average Pressure: AP).....	72
4.2.1. ผลการทดลอง.....	72
4.2.2. การตรวจสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล.....	72
4.2.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติแรงดันเฉลี่ยกับเพศของผู้ทดลอง.....	79
4.3. การประเมินพื้นที่ผิวสัมผัส (Total Contact Area: TCA).....	80
4.3.1. ผลการทดลอง.....	80
4.3.2. การตรวจสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล.....	80
4.3.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ผิวสัมผัสกับเพศของผู้ทดลอง	86
4.4. การประเมินพื้นที่แรงดันในช่วงสูง (High Pressure Area: HPA).....	87
4.4.1. ผลการทดลอง	87
4.4.2. การตรวจสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล.....	87
4.4.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงรายบุคคล	92

4.4.4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่แรงดันในช่วงสูงกับเพศของผู้ทดลอง.....	94
4.5. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของตัวชี้วัดทั้ง 4.....	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	96
5.1. สรุปผลการวิจัย.....	96
5.2. ข้อจำกัด	97
5.3. องค์ความรู้ที่ได้เพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้.....	98
5.4. ข้อเสนอแนะ.....	99
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน	103
ภาคผนวก ข Specification PMS program	119
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม MINITAB.....	121
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณหาตัวชี้วัดทั้ง 4	126
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ผลทางสถิติรายบุคคล.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	133

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	11
ตารางที่ 2.1 แสดงรายการส่วนประกอบหลักของเบาะรถยนต์ตอนหน้า.....	20
ตารางที่ 2.2 แสดงมิติส่วนของร่างกาย.....	25
ตารางที่ 2.3 ตัวเลขความสูง-ต่ำ และค่าเฉลี่ยของคนไทยอายุระหว่าง 17-60 ปี.....	31
ตารางที่ 2.4 ตัวเลขความสูง-ต่ำ และค่าเฉลี่ยของคนไทยอายุระหว่าง 17-60 ปี (ต่อ).....	32
ตารางที่ 2.5 ตำแหน่งจุดค้ำ.....	34
ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบวิธีการวัดเบาะรองนั่งประเภทต่าง ๆ.....	43
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของโฟมเบาะรองนั่งรถยนต์.....	48
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	64
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของแรงดันสูงสุดของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน.....	65
ตารางที่ 4.3 แรงดันเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน.....	72
ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิวสัมผัสของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน.....	80
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลพื้นที่แรงดันในช่วงสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน.....	87
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงรายบุคคล.....	92
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของเพียร์สัน.....	95
ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง.....	96

สารบัญรูปรภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 สถิติรถติดของประเทศไทย.....	1
รูปที่ 1.2 สถิติยอดขายรถยนต์ภายในประเทศ 2559-2561.....	2
รูปที่ 1.3 สถิติมูลค่าธุรกิจ E-Commerce ปี 2558-2561.....	2
รูปที่ 1.4 การตัดหนัง / ผ้า เย็บที่หุ้มเบาะ.....	5
รูปที่ 1.5 การขึ้นชิ้นงานโฟม.....	5
รูปที่ 1.6 การประกอบชิ้นงานเหล็ก.....	6
รูปที่ 1.7 การประกอบชิ้นงานเป็นเบาะ.....	6
รูปที่ 1.8 ประเภทของเบาะโมเดล A ถึง C เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ.....	7
รูปที่ 1.9 ข้อมูลจากเครื่องทดสอบของเบาะโมเดล A ถึง C เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ.....	7
รูปที่ 1.10 แรงดันสูงสุดตลอดระยะเวลา 30 นาที.....	8
รูปที่ 1.11 พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูงตลอดระยะเวลา 30 นาที.....	8
รูปที่ 1.12 พื้นที่ผิวสัมผัสตลอดระยะเวลา 30 นาที.....	9
รูปที่ 1.13 แรงดันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 30 นาที.....	9
รูปที่ 2.1 โพลียูรีเทนโฟม.....	13
รูปที่ 2.2 การปรับเบาะรถ.....	15
รูปที่ 2.3 การปรับพนักพิง.....	16
รูปที่ 2.4 การปรับหมอนรองศีรษะ.....	16
รูปที่ 2.5 การปรับระดับของพวงมาลัย.....	17
รูปที่ 2.6 การบริหารคอและไหล่.....	18
รูปที่ 2.7 การบริหารลำตัว โดยการเอียงตัวไปด้านหลัง.....	18
รูปที่ 2.8 การบริหารลำตัว โดยการโน้มตัวไปด้านหน้า.....	19

รูปที่ 2.9 ลักษณะและส่วนประกอบของเบาะสำหรับรถยนต์โดยทั่วไป	19
รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างของกระดูกสันหลัง	21
รูปที่ 2.11 สัดส่วนร่างกาย แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ,10, 90 และ 95	25
รูปที่ 2.12 ระดับการนั่งและการกระจายน้ำหนักการนั่งที่เหมาะสม	26
รูปที่ 2.13 ลักษณะการนั่ง	26
รูปที่ 2.14 ลักษณะการนั่งแต่ละอิริยาบถ	27
รูปที่ 2.15 การรับน้ำหนักร่างกายที่กระดูกเชิงกราน	27
รูปที่ 2.16 การรับน้ำหนักร่างกายที่กระดูกเชิงกรานและจุดศูนย์ถ่วงในการนั่ง	28
รูปที่ 2.17 การนั่งสั้นเกินไปและการนั่งยาวเกินไป	29
รูปที่ 2.18 ความกว้างของเก้าอี้	29
รูปที่ 2.19 ตำแหน่งแรงรวมที่ก้นของการนั่งเก้าอี้สูงและต่ำเกินไป	30
รูปที่ 2.20 ภาพการนั่งแบบต่าง ๆ	30
รูปที่ 2.21 ระดับความสูงของที่นั่ง	33
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์มนุษย์กับความลึก และความสูงของที่นั่ง	33
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างสรีระของมนุษย์ กับความลาดเอียงของพนักพิง	34
รูปที่ 2.24 กระดูกสันหลังช่วงเอวขณะนั่ง	35
รูปที่ 2.25 ลักษณะกระดูกสันหลังช่วงลัมบาร์	36
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างผลกระทบจากมุมต่าง ๆ ที่มีต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง โดยวัดค่า EMG ที่ กระดูกสันหลังช่วงหน้าอกชิ้นที่ 8	36
รูปที่ 2.27 ความสูงต่ำของพนักพิงที่มีผลต่อการนั่ง	37
รูปที่ 2.28 การกระจายน้ำหนักของที่นั่ง	38
รูปที่ 2.29 3-D H-machine	39
รูปที่ 2.30 เครื่อง Load test และ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองชิ้นงาน	39
รูปที่ 2.31 แผ่นรองนั่งและแผ่นรองพนักพิง	39

รูปที่ 2.32 ตำแหน่งการทดลอง Load test.....	40
รูปที่ 2.33 การสั่นสะเทือนขณะขับซีรถยนต์.....	40
รูปที่ 2.34 เครื่อง Vibration Test.....	41
รูปที่ 2.35 เครื่อง Damping Test และค่าที่วัดได้จากเครื่อง.....	41
รูปที่ 2.36 เครื่อง Pressure Mapping System (PMS)	42
รูปที่ 2.37 การทดลองประสิทธิภาพเบาะนั่งรถยนต์ด้วยเครื่อง Pressure Mapping System (PMS) และ แสดงการกระจายน้ำหนักและแรงกดทับในขณะนั่งบนเซ็นเซอร์.....	42
รูปที่ 2.38 เปรียบเทียบการกระจายแรงระหว่างเบาะแข็งและนุ่ม	44
รูปที่ 3.1 เครื่องทดลองความแข็งกับโฟมเบาะรถยนต์.....	49
รูปที่ 3.2 เครื่อง Pressure Mapping System และโปรแกรมซอฟต์แวร์.....	50
รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล.....	50
รูปที่ 3.4 ไม้บรรทัดขนาด 60 นิ้ว	50
รูปที่ 3.5 เบาะรถยนต์ที่ใช้สำหรับการทดลอง.....	51
รูปที่ 3.6 ที่พักเท้า.....	51
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดระยะ.....	51
รูปที่ 3.8 เครื่องทดลองความแข็ง.....	52
รูปที่ 3.9 โฟมของเบาะรองนั่งรถยนต์ทั้ง 3 หมายเลข.....	52
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดองศา.....	52
รูปที่ 3.11 ติดตั้งอุปกรณ์ Pressure Mapping System.....	53
รูปที่ 3.12 การสอบเทียบน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองกับเครื่อง PMS.....	54
รูปที่ 3.13 ผู้ทดลองนั่งตามหลักการยศาสตร์.....	54
รูปที่ 3.14 ผู้เข้าร่วมการทดลองนั่ง.....	55
รูปที่ 3.15 ค่าแรงกดทับต่ออนาที่ แสดงผลโดยตาราง.....	55
รูปที่ 3.16 การขจัดข้อมูลที่ไม่มีผลต่อการทดลอง.....	56

รูปที่ 3.17 การจำแนกสีตามค่าแรงดัน	56
รูปที่ 3.18 ข้อมูลการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่1 กับโพมทั้ง 3 หมายเลข	56
รูปที่ 3.19 ข้อมูลจากการทดลองของโมเดล A ถึง C โดยใช้หุ่นจำลอง Hybrid III 50th Male	58
รูปที่ 3.20 แรงดันสูงสุดกับหุ่นจำลอง	59
รูปที่ 3.21 แรงดันเฉลี่ยกับหุ่นจำลอง	59
รูปที่ 3.22 พื้นที่ผิวสัมผัสกับหุ่นจำลอง	59
รูปที่ 3.23 พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูงกับหุ่นจำลอง	60
รูปที่ 3.24 ข้อมูลการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่1 กับโพมทั้ง 3 หมายเลข	60
รูปที่ 3.25 พื้นที่ค่าแรงดันมากกว่า 0.074 kg/cm^2	61
รูปที่ 3.26 ข้อมูลแรงดันสูงสุดของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่1 กับโพมทั้ง 3 หมายเลข	61
รูปที่ 3.27 ข้อมูลพื้นที่ผิวสัมผัสของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่1 กับโพมทั้ง 3 หมายเลข	62
รูปที่ 4.1 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความดันสูงสุด	66
รูปที่ 4.2 ผลการแปลงข้อมูลค่าแรงดันสูงสุดจาก Johnson Transformation	67
รูปที่ 4.3 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้านฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน ของความดันสูงสุด	67
รูปที่ 4.4 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของแรงดันสูงสุด... ..	67
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการลดแรงกดทับด้านไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดัน สูงสุด	69
รูปที่ 4.6 แนวโน้มของปัจจัยค่าความแข็งต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด	69
รูปที่ 4.7 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยค่าความแข็งต่อไฮเพอร์โบลิก ไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุดโดยใช้วิธีการของ Tukey	70
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ของปัจจัยค่าความแข็งต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ ผกผันของค่าแรงดันสูงสุดโดยใช้วิธีการของ Tukey	70
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันสูงสุด One Factor ANOVA ของเพศ	71
รูปที่ 4.10 แผนภาพกล่องของค่าแรงดันสูงสุดของเพศ	71

รูปที่ 4.11 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของแรงดันเฉลี่ย.....	73
รูปที่ 4.12 ผลการแปลงข้อมูลแรงดันเฉลี่ยจาก Johnson Transformation	73
รูปที่ 4.13 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้านฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน ของแรงดันเฉลี่ย	74
รูปที่ 4.14 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของแรงดันเฉลี่ย .	74
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการลดแรงกดทับของแรงดันเฉลี่ย	75
รูปที่ 4.16 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อแรงดันเฉลี่ย	76
รูปที่ 4.17 ข้อมูลการจัดกลุ่มเวลาของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	76
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาในระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดย ใช้วิธีการของ Tukey.....	76
รูปที่ 4.19 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้ วิธีการของ Tukey.....	77
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	77
รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์แรงดันเฉลี่ย One Factor ANOVA ของเพศ	79
รูปที่ 4.22 แผนภาพกล่องของแรงดันเฉลี่ยต่อเพศ.....	79
รูปที่ 4.23 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของพื้นที่ผิวสัมผัส	81
รูปที่ 4.24 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของพื้นที่ผิวสัมผัส	81
รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัส	82
รูปที่ 4.26 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อพื้นที่ผิวสัมผัส.....	83
รูปที่ 4.27 ข้อมูลการจัดกลุ่มเวลาของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	83
รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาในระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	83

รูปที่ 4.29 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	84
รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	84
รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัส One Factor ANOVA ของเพศ.....	86
รูปที่ 4.32 แผนภาพกล่องของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อเพศ	86
รูปที่ 4.33 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของพื้นที่แรงดันในช่วงสูง.....	88
รูปที่ 4.34 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของพื้นที่แรงดันในช่วงสูง.....	88
รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง.....	89
รูปที่ 4.36 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง	90
รูปที่ 4.37 ข้อมูลการจัดกลุ่มเวลาของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	90
รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาในระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey	90
รูปที่ 4.39 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	91
รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey	91
รูปที่ 4.41 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูงตัดผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อย 20.5 kg/cm ²	93
รูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูงตัดผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อย 20.5 kg/cm ²	93
รูปที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันในช่วงสูง One Factor ANOVA ของเพศ.....	94
รูปที่ 4.44 แผนภาพกล่องของค่าแรงดันในช่วงสูงต่อเพศ	94
รูปที่ 4.45 แผนภาพสหสัมพันธ์ของตัวชี้วัดทั้ง 4.....	95

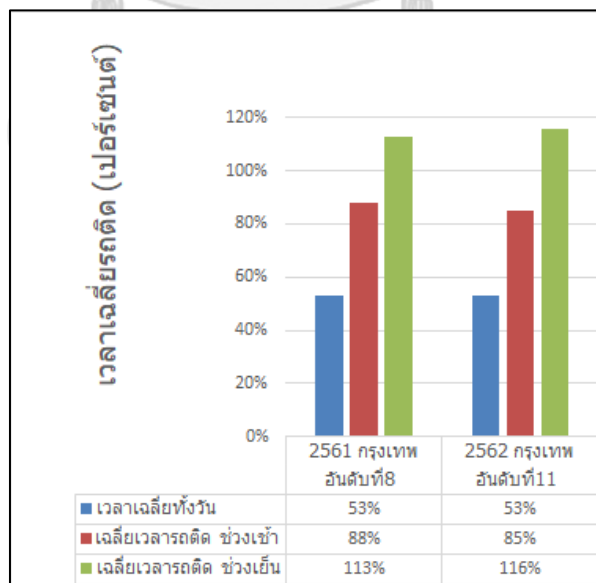
บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

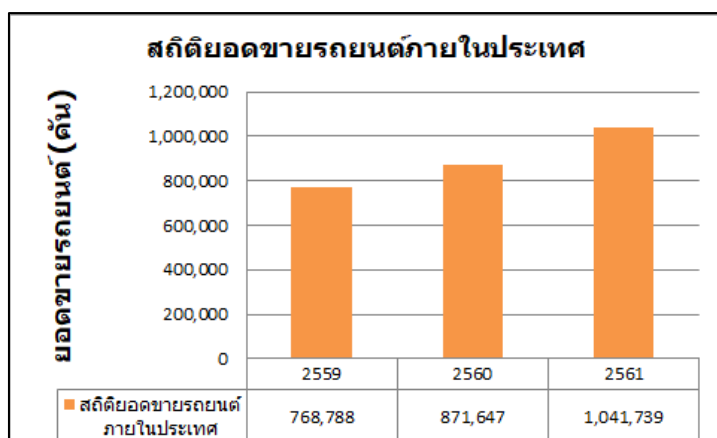
สำหรับผู้ที่ขับรถยนต์ ขับรถขนส่งสินค้าหรือผู้ประกอบการอาชีพขับรถบริการสาธารณะการนั่งรถโดยสารประจำทาง รถแท็กซี่ การนั่งเครื่องบิน รวมถึงการนั่งทำงานเป็นระยะเวลาอันยาวนานอาจนำมาสู่ผลเสียต่อร่างกายทั้งผลในระยะสั้น เช่น อาการปวดเมื่อย หรือการอักเสบของกล้ามเนื้อ จนกระทั่งนำไปสู่ผลเสียระยะยาว เช่น ท่าทางที่ผิดปกติ การเสื่อมของกระดูกสันหลัง และการปวดก้นกบ

ปัญหาที่คนเมืองต้องเผชิญ คงหนีไม่พ้นปัญหาการจราจรติดขัด จากการวิเคราะห์ข้อมูลการจราจร ในปี 2562 ของบริษัท INRIX ได้ทำการประเมินและรายงานสภาพการณ์การจราจรในประเทศต่าง ๆ พบว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีรถติดมากเป็นอันดับ 11 ของโลก โดยคนไทยในแต่ละเมืองทั่วประเทศเสียเวลากับรถติดบนถนน เฉลี่ยราว 56 ชั่วโมงต่อปี ยกตัวอย่างในช่วงเย็น 18.00 ของวันศุกร์ถนนลาดพร้าวระยะทาง 11.1 กม ปกติเดินทางใช้เวลา 26 นาที รถติดเพิ่ม 116% เป็น $1.16 \times 26 \text{ นาที} = 30 \text{ นาที}$ เวลาที่เพิ่มจากการเดินทางเป็น $26 \text{ นาที} + 30 \text{ นาที} = 56 \text{ นาที}$ เวลาเดินทางทั้งหมด ดังรูปที่ 1.1 (Cookson & Pishue, 2017)



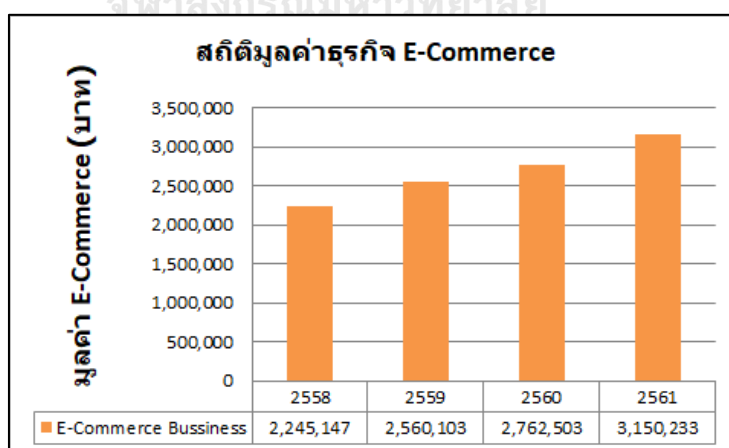
รูปที่ 1.1 สถิติรถติดของประเทศไทย

ซึ่งสอดคล้องกับสถิติยอดขายรถยนต์ภายในประเทศตั้งแต่ปี 2559 และเมื่อช่วงต้นปี 2561 เฉพาะใน กรุงเทพฯ มีมากกว่า 9.8 ล้านคัน ซึ่งเกินพื้นที่ถนนที่รองรับได้ไปกว่า 4.4 เท่า ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 สถิติยอดขายรถยนต์ภายในประเทศ 2559-2561

อีกทั้งในปัจจุบันการซื้อขายสินค้าและบริการได้เปลี่ยนรูปแบบจากเดิม ที่เป็นการซื้อขายแบบหน้าร้าน สู่ยุคการตลาดแบบออนไลน์ ซึ่งจะเห็นได้จากตัวเลขมูลค่า E-Commerce ในประเทศ ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ปี 2558 - 2560 (สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์, 2561) และสอดคล้องกับที่คาดการณ์มูลค่า E-Commerce ของประเทศตั้งแต่ปี 2558 จะเติบโต อย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 สถิติมูลค่าธุรกิจ E-Commerce ปี 2558-2561

ซึ่งส่งผลต่อธุรกิจที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน คือการจัดตั้งธุรกิจรับส่งเอกสารและสิ่งของ (Logistic) ในปี 2561 มีจำนวน 70 ราย เพิ่มขึ้น 56% เมื่อเทียบกับปี 2560 และในปี 2562 (ม.ค.-เม.ย.) มีจำนวน 44 ราย เพิ่มขึ้น 1.32 เท่า เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2561 และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับและตอบสนองลูกค้า ด้านการจัดส่งสินค้าที่เกิดขึ้นได้ทันที โดยให้ถึงมือลูกค้าอย่างรวดเร็ว ถูกต้อง ซึ่งส่งผลให้ธุรกิจดังกล่าวขยายตัวไป ในทิศทางเดียวกัน (<http://www.dbd.go.th>) จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นว่าการถือครองรถยนต์ในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการจราจรที่ติดขัด ปัญหาดังกล่าวทำให้หลายคนต้องใช้เวลาอยู่ในรถยนต์เป็นเวลานานหลายชั่วโมงต่อวัน อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ขับขี่ได้

การศึกษาความชุกและปัจจัยที่มีความเสี่ยงต่ออาการปวดหลังในกลุ่มพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง จำนวน 96 คน พบว่า ร้อยละ 74 ของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง มีอาการปวดหลังส่วนล่าง และปัจจัยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการปวดหลัง คือ ระยะเวลาในการขับรถมากกว่า 30 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ทำนั่งขับรถ เช่น การนั่งรอตัวขณะขับรถ การนั่งในอิริยาบถเดิมเป็นเวลานาน (Prolonged static posture) สำหรับประเทศไทยในปี 2548 ได้มีการศึกษาภาวะระดับอาการปวดหลังบริเวณกระเบนเหน็บโดยใช้แบบสอบถาม Oswestry (OSW) ในกลุ่มอาชีพพนักงานผู้ให้บริการ 12 ประเภท ประเภทละ 100 คน รวม 1,200 คน พบว่า พนักงานผู้ให้บริการมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ OSW สูงสุด 3 อันดับแรก คือ (1) พนักงานนวดแผนโบราณ ร้อยละ 15.8 (2) แม่บ้าน ร้อยละ 15.1 และ (3) พนักงานขับรถ ร้อยละ 13.3 (นภาพร รักบ้านเกิด, 2548) กลุ่มพนักงานขับรถผู้โดยสารประจำทาง สถานีขนส่งอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 164 คน พบความชุกของอาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ โดยแบ่งเป็น อาการปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 62.19 ปวดคอ ร้อยละ 23.78 และ ปวดไหล่ ร้อยละ 23.78 (Sea-jern, Pochana, & Sungkhapong, 2014)

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่าการนั่งขับรถติดต่อกันเป็นเวลานานมีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างแน่นอน ซึ่งอาการที่มักพบบ่อย ๆ คือ อาการปวดหลัง หลายคนอาจเข้าใจผิดคิดว่า อาการปวดหลังเพียงเล็กน้อย เป็นแล้วเดี๋ยวก็หาย ในความเป็นจริงแล้วคิดผิดอย่างมาก เพราะหากยังคงขับรถด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสมทุก ๆ วัน อาการปวดจะสะสมและทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น จนกลายเป็นอาการปวดหลังแบบเรื้อรัง หนึ่งในอาการปวดหลังส่วนล่างคือ อาการปวดก้นกบ หรือบริเวณกระดูกสันหลังส่วนปลายสุดขณะขับขีรถยนต์นั้นพบได้ไม่บ่อย แต่มีผลทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวด เกิดความทุกข์ทรมาน และทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยแย่ลง ซึ่งส่วนใหญ่มักจะไม่ทราบสาเหตุ เพราะสาเหตุที่เกิดขึ้นสามารถ

เกิดได้มาจากหลายปัจจัย เช่น การถูกกระแทกอย่างรุนแรง การนั่งท่าเดิม เป็นเวลานาน ๆ เกิดจาก ก้อนเนื้องอกที่เกิดในบริเวณของตำแหน่งนี้ อาการผู้ป่วยบางรายอาจจะหายไปตัวเอง แต่ในผู้ป่วยบาง รายจะมีอาการปวดก้นกบเรื้อรังซึ่งมีอาการปวดนานมากกว่า 3 เดือน

วิธีการป้องกันการเกิดบาดเจ็บที่ก้นสามารถทำได้หลายวิธี

1. หลีกเลี่ยงการนั่งเป็นเวลานาน ๆ โดยการเปลี่ยนท่าทางการนั่งทุก ๆ 20 นาที และโน้มตัว ไปด้านหน้าเพื่อหลีกเลี่ยงแรงกระแทกและน้ำหนักที่ลงบนกระดูกก้น
2. การรับประทานอาหารที่มีกากใยให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย
3. ปรับที่นั่งให้เข้ากับตัวผู้ขับขี่ แต่การปรับต้องคำนึงถึงการมองเห็นของผู้ขับขี่ด้วย ไม่ใช่ นั่ง ถูกตามหลักการยศาสตร์แต่มองไม่เห็น
4. การเลือกใช้เบาะรถยนต์ที่เหมาะสมกับผู้ขับขี่

วิธีการป้องกันทั้ง 4 ข้อ ล้วนเป็นการกระทำที่เกิดจากตัวบุคคลทั้งนั้น ซึ่งในทางการออกแบบ ผลิตภัณฑ์ผู้วิจัยจะนำมาป้องกันได้คือ การออกแบบเบาะรถยนต์ ซึ่งจะช่วยป้องกันการเลือกใช้เบาะ รถยนต์ให้กับผู้ขับขี่ เนื่องจากผู้ขับขี่คงจะไม่สามารถเลือกเบาะรถยนต์ให้กับรถตนเองได้ ฉะนั้นการ เลือกเบาะรถยนต์มีหน้าที่หลัก ๆ อยู่ 2 ประการ คือ ช่วยในการกระจายแรงกดทับของก้น ไปทั่ว บริเวณกระดูกนั่ง (Sitting Bone) และช่วยให้ผู้นั่งได้อยู่ในท่าที่ดีและเหมาะสมได้เป็นเวลานาน ๆ ส่วนวัสดุที่ใช้รองนั่งอาจรวมถึง ไม้ เหล็ก โฟม ฝ้าย นุ่น ฟองน้ำ สปริง และอื่น ๆ โดยเหล่านี้จะมีความ หนาแน่น ความหนา ความยืดทาน ความพูน และความแข็งแรงแตกต่างกันไป เบาะนั่งรถยนต์ที่ดี ควรมีความหนาประมาณ 4-5 เซนติเมตร และผ้าหุ้มเบาะ (Covering) ควรมีรูพูนเพื่อการระบาย อากาศที่ดี สำหรับการนั่งเป็นเวลานาน ๆ (Medical, 2002)

องค์ประกอบเบาะรถยนต์ เป็นชิ้นส่วนซึ่งอยู่ภายในรถ ซึ่งการออกแบบและการผลิตเบาะ ล้วนมีความสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อความปลอดภัยต่อการขับขี่โดยเฉพาะเมื่อเกิดอุบัติเหตุ โดยมี องค์ประกอบของชิ้นส่วนดังนี้

1. โครงสร้างหลักของเบาะ (โครงสร้างโลหะ)
2. โครงวัสดุดูดกลืนแรงกระแทก (โฟม)
3. ตัวปรับเลื่อนเบาะ (พลาสติก)
4. ผ้าหรือหนังหุ้มเบาะ (ผ้าหรือหนัง)

โดยมีกระบวนการผลิตหลัก ดังนี้

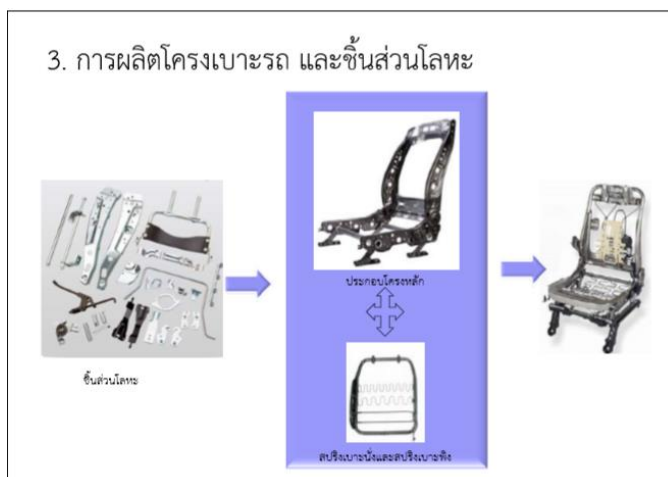
1. การผลิตโครงเบาะ และชิ้นส่วน (Bending, Welding)
2. การขึ้นรูปชิ้นงาน (Plastic injection, Foam injection)
3. การตัดหนัง/ผ้า เย็บที่หุ้มเบาะ (Cutting, Sewing)
4. การประกอบเบาะ (Assembly)
5. การตรวจสอบ (Inspection)



รูปที่ 1.4 การตัดหนัง / ผ้า เย็บที่หุ้มเบาะ



รูปที่ 1.5 การขึ้นชิ้นงานโฟม



รูปที่ 1.6 การประกอบชิ้นงานเหล็ก



รูปที่ 1.7 การประกอบชิ้นงานเป็นเบาะ

จากส่วนประกอบของเบาะรถยนต์พบว่า วัสดุของโฟมหรือเบาะรองนั่งที่มีส่วนประกอบสำคัญช่วยเพิ่มหรือลดแรงกดที่กั้นตลอดการขับขี่รถยนต์เป็นเวลานาน ฉะนั้นต้องปรับค่าความแข็งของโฟมหรือเบาะรองนั่งเพื่อทดลองหาค่าแรงกดที่กั้นที่ดีที่สุด

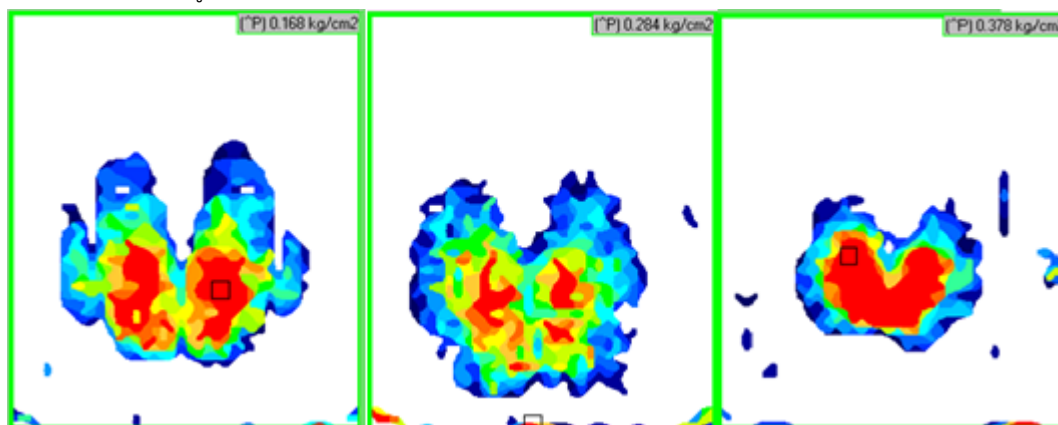
1.1.1. ที่มาของงานวิจัย

บริษัท ทรนศึกษา ผู้ผลิตเบาะรถยนต์แห่งหนึ่งต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของเบาะรถยนต์โดยการปรับปรุงค่าวัดต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่อง Pressure Mapping system ประกอบไปด้วย แรงดันสูงสุด พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูง พื้นที่ผิวสัมผัส แรงดันเฉลี่ย ทำการทดลองเบาะโมเดล A เพื่อเก็บข้อมูลเปรียบเทียบกับเบาะโมเดล B และ C โดยเบื้องต้นทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเพศหญิง อายุ 31 ปี ค่าดัชนีมวลกายสมดุล

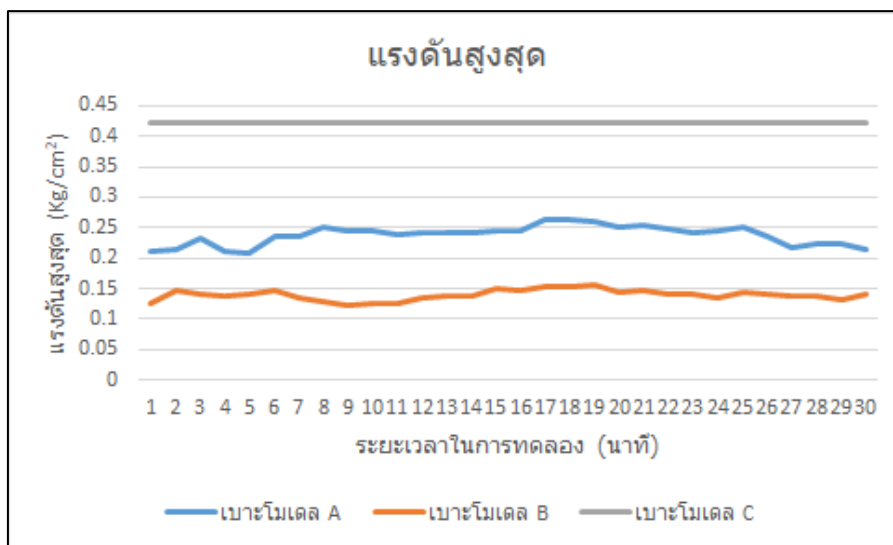
- เบาะโมเดล A คือ เบาะรถยนต์ที่ต้องการพัฒนา มีความแข็งแรงปานกลาง
- เบาะโมเดล B คือ เบาะรถยนต์ที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด
- เบาะโมเดล C คือ เก้าอี้ที่มีความแข็งแรงมากที่สุด เพราะมีความหนาของโฟมประมาณ 5 มม.



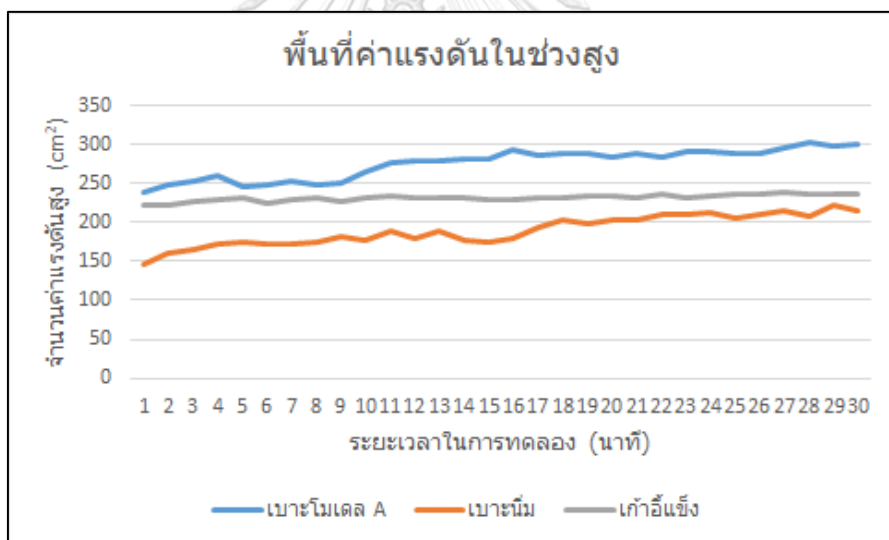
รูปที่ 1.8 ประเภทของเบาะโมเดล A ถึง C เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ



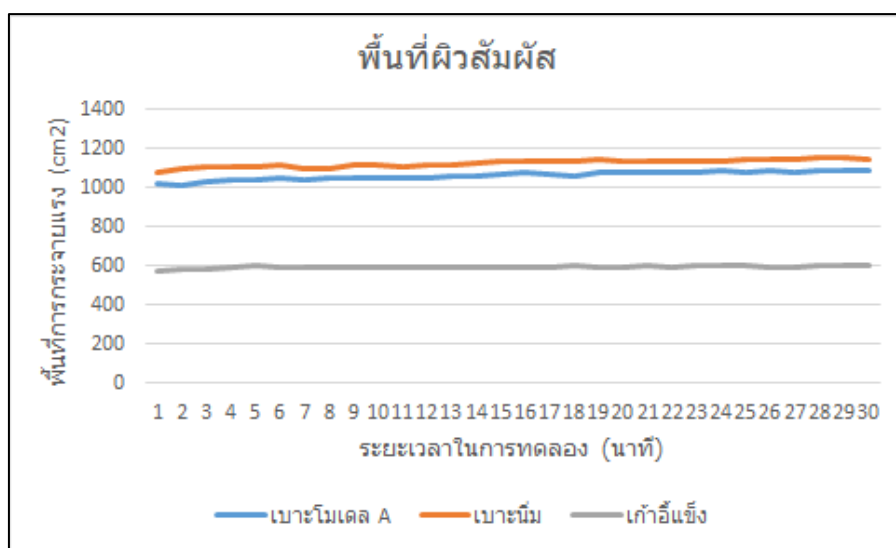
รูปที่ 1.9 ข้อมูลจากเครื่องทดสอบของเบาะโมเดล A ถึง C เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ



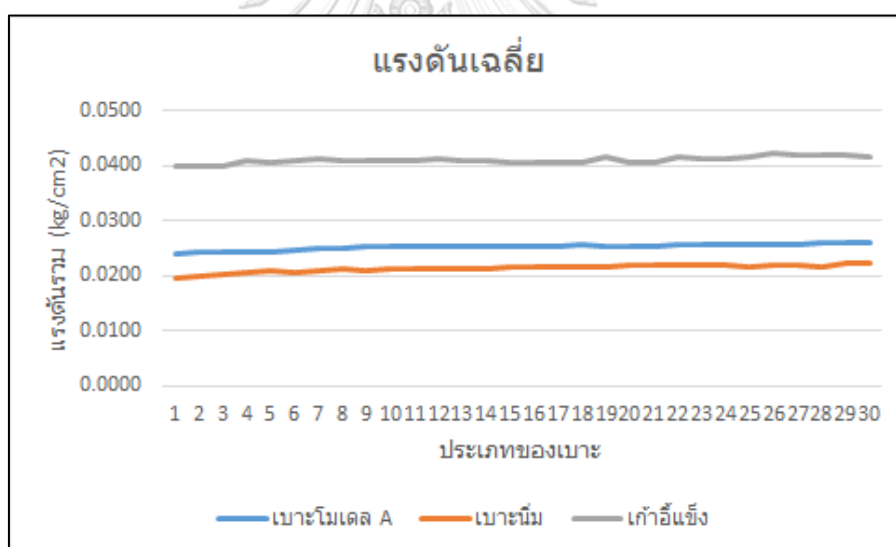
รูปที่ 1.10 แรงดันสูงสุดตลอดระยะเวลา 30 นาที



รูปที่ 1.11 พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูงตลอดระยะเวลา 30 นาที



รูปที่ 1.12 พื้นที่ผิวสัมผัสตลอดระยะเวลา 30 นาที



รูปที่ 1.13 แรงดันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 30 นาที

จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าถ้าต้องการพัฒนาเบาะโมเดล A ให้มีค่าแรงดันต่าง ๆ ลดลงควรปรับปรุงความแข็งของโฟมเบาะรองนั่ง ซึ่งเบาะที่ดีควรมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่ดีที่สุดและแรงดันต่าง ๆ น้อยที่สุด

1.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

มีทั้งหมด 5 เครื่อง ที่ใช้อุตสาหกรรมเบาेरถยนต์ คือ 3D-Machine , Static load Test , Vibration Test , Damping Test , Pressure Mapping System (PMS) โดยเครื่องมือที่เน้นและจะใช้งานวิจัยนี้ เพราะช่วยในการตรวจสอบลดแรงกดทับที่ก้นได้คือ PMS (Bain & Ferguson-Pell, 2002)

การศึกษาลักษณะของเบาेरถยนต์ที่มีผลต่อแรงกดทับในขณะที่ขับรถยนต์ รวมถึงคิดค้นวิธีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา ที่สามารถลดแรงกดทับที่ก้นจากการขับรถยนต์เป็นเวลานาน โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเบาेरถยนต์ ได้แก่ แรงดันสูงสุด , แรงดันเฉลี่ย , พื้นที่ผิวสัมผัส และ พื้นที่แรงดันในช่วงสูง

1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดแรงกระทำที่ก้นโดยการปรับค่าความแข็งของโฟมเบาेरถยนต์ตลอดการขับรถยนต์เป็นเวลานาน

1.4. ขอบเขตของงานวิจัย

การปรับปรุงเบาेरถยนต์กระเปาะตอนหน้าเพื่อลดแรงกดที่ก้นของผู้ขับขี่ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการศึกษาวิจัยไว้ดังต่อไปนี้

- เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง
- เป็นการปรับปรุงเบาेरถยนต์กระเปาะตอนหน้าชนิดหนึ่ง
- การทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลอง อายุระหว่าง 22-55 ปี ทั้งเพศชายและหญิง 15 คน
- ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องมีประสบการณ์ในการขับรถยนต์มาไม่ต่ำกว่า 1 ปี
- เป็นการทดลองหาค่าแรงรวมที่ก้นเฉลี่ยและจำนวนพื้นที่ของค่าแรงที่มีค่ามากกว่า 0.074 kg/cm^2 ของค่าความแข็งของโฟมทั้ง 3 หมายเลข
- โฟมทั้ง 3 หมายเลขที่ใช้ทดลองมีรูปร่างเหมือนกันแตกต่างกันเพียงค่าความแข็ง
- การทดลองใช้ระยะเวลา 30 นาทีต่อคนต่อเบาेरถยนต์

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานเบื้องต้น

1. คัดกรองคนเข้าร่วมการทดลองโดยที่ผู้เข้าร่วมต้องมีประสบการณ์ในการขับชี่รยนต์อย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้ทราบถึงปัญหาในการขับรถยนต์เป็นเวลานาน
2. การคำนวณหาค่าความแข็งของโพนหมายเลขต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการทดลอง
3. ออกแบบจำลองการทดลองของค่าความแข็งประเภทต่าง ๆ
4. ประเมินผลแรงรวมทั้งกันและจำนวนค่าแรงเจาะจง โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองนั่งทดลองเพื่อการเก็บข้อมูล เปรียบเทียบระหว่างโพนทั้ง 3 หมายเลข
5. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

No.	Description	2019					2020									
		Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	
1	ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง															
2	กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์															
3	จัดทำโครงร่างงานวิจัย															
4	เสนอโครงการวิจัย															
5	ดำเนินการทดลอง															
6	ประมวลผลและวิเคราะห์															
7	สรุปผลและนำเสนอข้อเสนอนะ															
8	จัดทำรูปเล่มของวิทยานิพนธ์															

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ค่าความแข็งของโพนเบาหรือนั่งรถกระบะตอนหน้าเพื่อลดแรงกดทับจากการขับรถยนต์เป็นเวลานาน
2. ผู้ออกแบบสามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาเบาะรถยนต์ในรุ่นต่อไป เพื่อช่วยลดแรงกดทับจากการขับรถยนต์เป็นเวลานาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยและพัฒนาเบาะรถยนต์ตอนหน้านี้ได้มีการศึกษาร่วมกับบริษัทผลิตเบาะรถยนต์แห่งหนึ่งซึ่งมีการออกแบบและพัฒนาเบาะรถยนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานและมีประสิทธิภาพมากขึ้นอยู่เสมอตัวอย่างเช่น ด้านความสะดวกสบายในการขับขี่เพิ่มประสิทธิภาพในการขับขี่รถยนต์ทางไกลได้นานขึ้น ดังนั้นการพัฒนาเบาะรถยนต์เพื่อลดแรงดันที่ก้นจึงมุ่งเน้นให้มีการใช้งานที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการและข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รวบรวมไว้ ประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

2.1. หลักการในการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.1.1. องค์ความรู้เกี่ยวกับโฟมเบาะรถยนต์

พอลิยูรีเทน (Polyurethane) หรือ PU คือ สารพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยชีวเคมีระหว่างการเชื่อมต่อของยูรีเทนและพอลิเมอร์ของโพลียูรีเทน โครงสร้างของโพลียูรีเทนประกอบไปด้วยพอลิโออล (Polyol) และ ไอโซไซยานेट (Isocyanates) โดยพอลิโออล คือโครงสร้างหลัก และไอโซไซยานेट คือ ตัวที่ใช้ในการยึดติด ซึ่งโพลียูรีเทน มีคุณสมบัติ คือ ความเหนียว ความแข็งและความหนาแน่น จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถแบ่งโพลียูรีเทน ตามลักษณะการใช้งานเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. โพลียูรีเทนที่มีความยืดหยุ่นหรือโฟมอ่อน ความหนาแน่นต่ำ มักจะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเตียง เฟอร์นิเจอร์ และเบาะรถยนต์
2. โพลียูรีเทนชนิดแข็งหรือโฟมแข็ง ความหนาแน่นต่ำ มักจะนำมาใช้ทำเป็นฉนวนสำหรับรถยนต์ ภาชนะเก็บของร้อนและเย็น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดี เสริมความแข็งแรง
3. โพลียูรีเทนอีลาสโตเมอร์ มักจะนำมาใช้ในพวกแผ่นยางเป็นหลัก เช่นยางรถยนต์ พื้นรองเท้า เนื่องจากสามารถทนต่อแรงเสียดทานได้ดี
4. พลาสติกแข็ง มักจะนำมาใช้ในการทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จะเห็นได้ว่าโพลียูรีเทน สามารถนำมาใช้กับงานหรือผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเด่นของโพลียูรีเทนนั้น ๆ



รูปที่ 2.1 โพลียูรีเทนโฟม

(ที่มา : <https://www.chi.co.th/article/article-835/>)

สูตรการคำนวณส่วนผสมของโฟมเบาะรองนั่งรถยนต์

$$Weight(g) = Pol(g) + Iso(g)$$

2.1.2. การวัดประสิทธิภาพของเบาะรถยนต์

- แรงดันเฉลี่ย (Average Pressure : AP) โดยค่าเฉลี่ยของแรงดันที่มีค่าน้อยแสดงถึงประสิทธิภาพของเบาะรถยนต์ในการกระจายน้ำหนักของผู้นั่งได้ดี ซึ่งค่าแรงกดทับที่กระทำต่อเนื้อ นาน 1-2 ชั่วโมงกับผิวสัมผัสไม่ควรเกิน 60-70 มิลลิเมตรปรอท (Nipaporn, นิภาพร, & Prawit, 2015)
- จำนวนพื้นที่ของค่าแรงดันสูง (High Pressure Area : HPA) ที่มีค่ามากกว่า 0.074 kg/cm² โดยจำนวนพื้นที่ที่มีค่าน้อยแสดงถึงประสิทธิภาพของเบาะรถยนต์ในการลดแรงกดที่มีค่าเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ โดยพบว่าแรงกดที่ทำให้หลอดเลือดฝอยปิดและไม่สามารถนำเลือดมาเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ คือ 32 มิลลิเมตรปรอท (Landis, 1930) ถ้ามีแรงกดทับบนเนื้อเยื่อมากกว่า 64 มิลลิเมตรปรอท (2 เท่าของแรงกดที่ทำให้ หลอดเลือดฝอยปิด) นาน 2 ชั่วโมง จะทำให้เนื้อเยื่อส่วนที่ถูกกดทับถูกทำลายอย่างถาวร (Dinsdale, 1974)
- แรงดันสูงสุด (Peak Pressure : PP) โดยค่าแรงดันสูงสุดที่มีค่าน้อยแสดงถึงประสิทธิภาพของเบาะรถยนต์ในการลดแรงกดบริเวณปุ่มกระดูกสันหลัง (Ischial Tuberosities) ได้มาก ซึ่ง

แรงกดตรงส่วนปุ่มกระดูกจะมีผลต่อเนื้อเยื่อและขยายออกมาเป็นพื้นผิวด้านนอกมีค่าประมาณ 32 มิลลิเมตรปรอท (Nipaporn et al., 2015)

- พื้นที่ผิวสัมผัสโดยรวม (Total Contact Area : TCA) โดยพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรวมที่มี คามากแสดงถึงประสิทธิภาพของเบาะรองนั่งในการรองรับสรีระของผู้นั่งได้ดี ทำให้ช่วยในการกระจายน้ำหนักของผู้นั่งได้มาก ซึ่งเบาะรองนั่งที่มีพื้นที่ของเบาะผิวสัมผัสกับสรีระในการนั่งได้มาก ย่อมส่งผลต่อแรงกดทับที่น้อยลง ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{แรงกดทับ} = \frac{\text{แรงกด(น้ำหนักของผู้ขับขี่)}}{\text{พื้นที่(น้ำหนักที่แผ่ไปยังพื้นที่รองรับ)}}$$

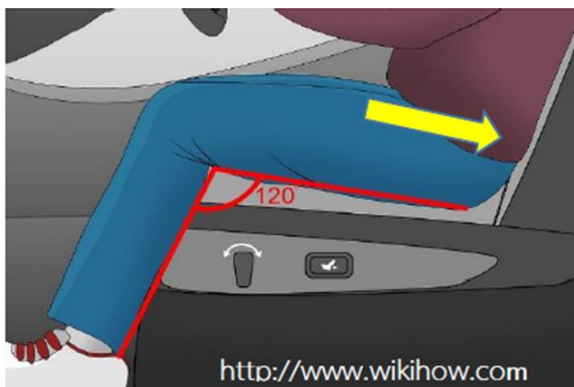
2.1.3. เป้าหมายของที่นั่งและท่าทาง

ควรนั่งให้มีความสุข มีฐานในการรองรับอย่างเพียงพอ เพื่อลดปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการผิดรูปของร่างกาย ซึ่งส่งผลต่อท่าทางและความสามารถในการใช้งาน และช่วยควบคุมความตึงตัวของกล้ามเนื้อได้ (ช่วยเพิ่มและลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อได้อย่างเหมาะสม) รวมทั้งส่งเสริมการทำหน้าที่ของร่างกาย ได้แก่ การเคลื่อนไหวทั้งในส่วนของเก้าอี้ล้อที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องกลหรือด้วยมือ การทำกิจวัตรประจำวัน ระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ระบบการหายใจ ระบบการย่อยอาหาร ระบบหลอดเลือดหัวใจ ระบบการสื่อสาร นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสะดวกสบาย โดยสามารถเพิ่มความหนานในการนั่ง และมีความสะดวกสบายเมื่อใช้ควบคู่กับอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ

2.1.4. ทำนั่งที่เหมาะสมในการขับรถตามหลักการยศาสตร์

2.1.4.1. การปรับเบาะรถ

การนั่งขับรถในท่าทางที่ไม่เหมาะสม เช่น การนั่งงอตัวขณะขับรถ การนั่งในอิริยาบถเดิมเป็นเวลานาน ทำให้โครงสร้างของกระดูกสันหลังต้องรับน้ำหนักมากขึ้น ก่อให้เกิดแรงกดต่อกระดูกสันหลังมากกว่าทำยืนและทำนอน ทำให้กล้ามเนื้อหลังอยู่ในภาวะไม่สมดุลจึงเกิดอาการปวดหลังตามมา ซึ่งอาการดังกล่าวสามารถรักษาให้หายได้ แต่หลายคนคิดว่าเป็นปัญหาเล็กน้อย จึงละเลยไม่ทำการรักษา และยังมีพฤติกรรมในการนั่งขับรถแบบเดิมต่อไปเรื่อย ๆ จนนำไปสู่อาการปวดหลังเรื้อรังเป็นเวลานานหลายเดือน



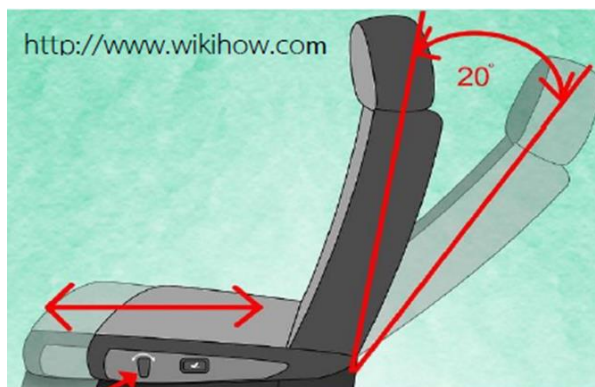
รูปที่ 2.2 การปรับเบาะรถ

ที่มา : (<http://www.wikihow.com>)

การปรับความสูงต่ำของเบาะรถ เพื่อการมองเห็นที่ชัดเจนขณะขับขี่ ควรปรับระดับความสูงของเบาะนั่งให้เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้ขับขี่ และมีความพอดีกับระดับของพวงมาลัยและระยะในการเหยียบแป้นเบรค ทั้งนี้แนะนำให้ปรับระดับความสูงของเบาะให้เหลือระยะห่างระหว่างศีรษะกับเพดานรถเท่ากับความกว้าง 1 ฝ่ามือ พร้อมกับยกปลายเบาะให้เงยขึ้นเล็กน้อยการปรับเบาะต่ำหรือสูงเกินไป จะทำให้ทัศนวิสัยในการขับขี่แย่ง และการควบคุมรถเกิดความลำบากได้

2.1.4.2. การปรับพนักพิง

ขณะนั่งขับรถแผ่นหลังของผู้ขับขี่ควรติดพนักพิงเสมอ ควรปรับพนักพิงให้เอียงประมาณ 20-30 องศา ดังรูปที่ 2.2 ทดลองวางมือลงบนพวงมาลัยรถ หากปรับพนักพิงในระดับที่เหมาะสม ข้อมือจะสามารถแตะกับพวงมาลัยได้พอดี แต่หากวางแล้วเลยตำแหน่งของข้อมือเข้ามา แสดงว่าปรับความเอียงของพนักพิงน้อยเกินไป ทำให้ผู้ขับขี่นั่งชิดจนเกินไป อาจทำให้ต้องงอเข่ามากขึ้นในขณะเหยียบเบรค ดังนั้นควรปรับความเอียงของพนักพิงเพิ่ม ถ้าวางมือบนพวงมาลัยแล้วพบว่ามืออยู่เลยไปถึงกลางฝ่ามือหรือโคนนิ้ว แสดงว่าปรับพนักพิงมากเกินไป ทำให้ในขณะเหยียบเบรคจะต้องออกแรงเหยียบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เขาต้องรับแรงกดมากขึ้น อาจทำให้ผู้ขับขี่มีอาการปวดเข่าตามมาได้

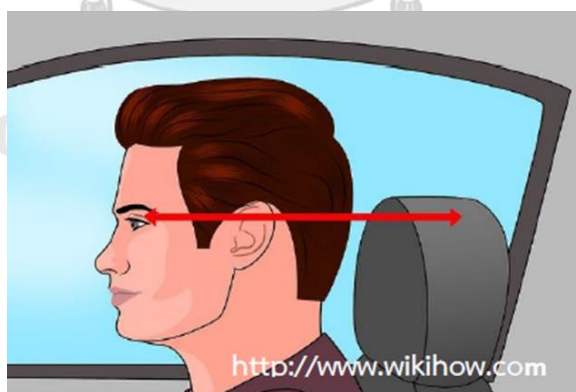


รูปที่ 2.3 การปรับพนักพิง

ที่มา : (<http://www.wikihow.com>)

2.1.4.3. การปรับหมอนรองศีรษะ

บางคนอาจเข้าใจผิดคิดว่าหมอนรองศีรษะมีไว้สำหรับพิงคอเพื่อจะนอนได้สะดวก แต่ในความเป็นจริงแล้วหมอนรองศีรษะมีหน้าที่รองรับการกระแทกบริเวณศีรษะขณะเกิดอุบัติเหตุ เพื่อให้ศีรษะสะบัดไปทางด้านหลังอย่างรุนแรง ซึ่งอาจทำให้กระดูกคอเป็นอันตรายได้ การปรับหมอนรองศีรษะควรปรับให้อยู่กลางตำแหน่งศีรษะพอดี ส่วนบนสุดของหมอนรองศีรษะควรอยู่ระดับเปลือกตาของผู้ขับขี่ และใกล้กับศีรษะประมาณ 2-3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.4 ถ้าห่างจากศีรษะมากกว่า 7 เซนติเมตร จะทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกระดูกคอได้



รูปที่ 2.4 การปรับหมอนรองศีรษะ

ที่มา : (<http://www.wikihow.com>)

2.1.4.4. การปรับระดับพวงมาลัย

ผู้ขับขี่ควรปรับระดับความสูงของพวงมาลัยให้ขนานกับหลัง ไม่ควรปรับให้สูงหรือต่ำเกินไป เพราะจะทำให้เกิดความเมื่อยล้าในการขับระยะทางไกล ขณะจับพวงมาลัยข้อศอกควรงอทำมุมประมาณ 120 องศา และจากจุดศูนย์กลางของพวงมาลัยถึงบริเวณหน้าอกของผู้ขับขี่ควรมีระยะห่างประมาณ 10 นิ้ว หรือ 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.5 และไม่ควรห่างเกิน 17.7 นิ้ว หรือ 45 เซนติเมตร ข้อมือต้องวางบนพวงมาลัยได้พอดีจับพวงมาลัยสองมือ ในท่า 3 และ 9 นาฬิกา

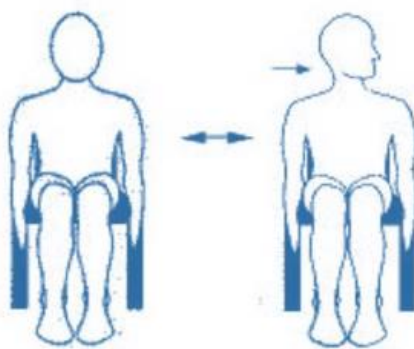


รูปที่ 2.5 การปรับระดับของพวงมาลัย
ที่มา : (<http://www.wikihow.com>)

2.1.4.5. การปรับที่วางแขน

หากในรถยนต์ มีการติดตั้งที่วางแขน หรือที่พักแขน ผู้ขับขี่ควรปรับที่วางแขน ให้อยู่ในระดับความสูงที่เหมาะสม สามารถวางข้อศอกได้พอดี ไม่ควรปรับให้สูงจนเกินไป เพราะจะทำให้ต้องยกไหล่ขึ้นตลอดเวลา อาจทำให้เกิดอาการปวดกล้ามเนื้อบริเวณไหล่และคอตามมาได้และก่อนขับรถควรปรับระดับสายเข็มขัดนิรภัยให้เหมาะสม โดยสายต้องพาดจากบริเวณไหล่ปลาร้าเฉียงลงมาที่บริเวณสะโพก แล้วให้ส่วนต่ำสุดของสายพาดอยู่แถวกระดูกเชิงกราน อย่าให้พาดที่บริเวณหน้าท้อง คอ หรือ ห้อยไปทางหัวไหล่มากเกินไป เพราะเมื่อเกิดการกระแทกจากอุบัติเหตุสายเข็มขัดนิรภัยจะดึงรั้งบริเวณคอทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ขับขี่ได้ นอกจากการปรับทำนั่งให้เหมาะสมแล้ว การบริหารร่างกายด้วยท่าต่าง ๆ ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยลดอาการปวดหลังและอาการปวดเมื่อยตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ เช่น ในช่วงการจราจรติดขัดเป็นเวลานาน ผู้ขับขี่สามารถทำท่าบริหารคอและข้อเท้าได้ โดยต้องมั่นใจว่ารถอยู่ในตำแหน่งเกียร์ว่าง (N) และจอดนิ่งสนิทเสียก่อน การบริหารคอให้วางมือสองข้างแนบกับเบาะรถ หันหน้ามองด้านซ้ายและขวาอย่างช้า ๆ ด้านละ 10 ครั้ง ดังรูปที่ 2.6 แต่ไม่ควร

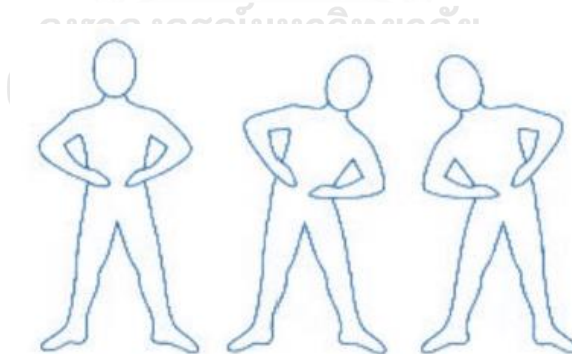
บิดคอหรือหันเร็วจนเกินไป และการบริหารข้อเท้าให้เหยียดขาออกไปทางด้านหน้า กระดกปลายเท้าขึ้น-ลง สลับข้าง จะช่วยคลายความปวดเมื่อยเท้าได้



รูปที่ 2.6 การบริหารคอและไหล่

ที่มา : (<http://www.backcare.org.uk/>)

หากต้องขับรถในระยะทางไกล ควรหยุดพักทุก ๆ 2 ชั่วโมง หรือ 110 กิโลเมตร โดยประมาณ ลงจากรถเพื่อเปลี่ยนอิริยาบถ หรือทำท่าบริหารร่างกาย โดยการยืนและแยกขาออกจากกันเล็กน้อย วางมือที่บริเวณสะโพกเอียงตัวไปด้านซ้ายและขวาอย่างช้า ๆ โดยไม่โน้มไปด้านหน้า ทำซ้ำด้านละ 10 ครั้ง ดังรูปที่ 2.7 หรือ ยืนย่อเข่าเล็กน้อยแล้วโน้มตัวและปล่อยแขนไปด้านหน้าอย่างช้า ๆ แล้วค่อย ๆ ยืดตัวขึ้น ทำซ้ำ 10 ครั้งเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การบริหารลำตัว โดยการเอียงตัวไปด้านข้าง

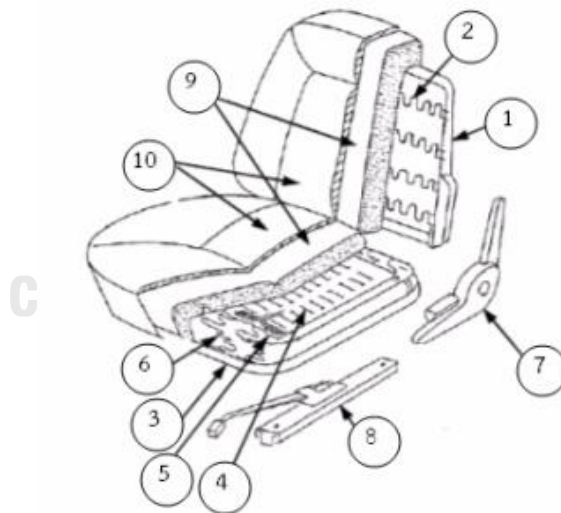
ที่มา : (<http://www.backcare.org.uk/>)



รูปที่ 2.8 การบริหารลำตัว โดยการโน้มตัวไปด้านหน้า
ที่มา : (<http://www.backcare.org.uk/>)

2.2. ส่วนประกอบของเบาะรถยนต์

ลักษณะและส่วนประกอบของเบาะสำหรับรถยนต์โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะและส่วนประกอบของเบาะสำหรับรถยนต์โดยทั่วไป

ตารางที่ 2.1 แสดงรายการส่วนประกอบหลักของเบาะรถยนต์ตอนหน้า

หมายเลข	ชื่อชิ้นส่วน	วัสดุ	จำนวน / ชิ้น
1.	ชุดโครงสร้างหลักของตัวพิง	STKM11A	1
2.	ซิกแซกสปริงเบาะตัวพิง	SW-B	4
3.	ชุดโครงสร้างหลักของตัวนั่ง	STKM11A	1
4.	โครงวัสดุรองรับเบาะตัวนั่ง	SW-A	1
5.	ลวดยึดติดซิกแซกสปริง	CARPET SHEET	1
6.	ซิกแซกสปริงเบาะตัวนั่ง	SW-B	4
7.	ชุดกลไกการปรับมุมพนักพิง	-	1
8.	ชุดกลไกการปรับเลื่อนเบาะ	-	1
9.	วัสดุดูดซับแรงกระแทกตัวพิงกับตัวนั่ง	Urethane Foam	1
10	วัสดุหุ้มตัวพิงกับตัวนั่ง	PVC , Leather or Fabric	1 ชุด

2.3. องค์ความรู้เกี่ยวกับการบาดเจ็บไขสันหลังและก้นกบ

2.3.1. บาดเจ็บไขสันหลัง (Spinal cord injury)

หมายถึง การบาดเจ็บไขสันหลัง รวมถึงรากประสาทที่อยู่ในโพรงของกระดูกสันหลัง ดังนั้นจึงรวมถึงภาวะ cauda equina ซึ่งเป็นรากประสาทที่ออกจากส่วนปลายของไขสันหลังด้วย

2.3.2. ระดับการบาดเจ็บของไขสันหลัง

การบาดเจ็บของไขสันหลัง สามารถแบ่งระดับได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.3.2.1. Tetraplegia (อัมพาตของแขนขาทั้งสองข้าง)

หมายถึง ภาวะอ่อนแรงของแขนและขาทั้งสองข้างจากการบาดเจ็บไขสันหลังตั้งแต่ระดับ T1 ขึ้นไป

2.3.2.2. Paraplegia (อัมพาตครึ่งล่าง)

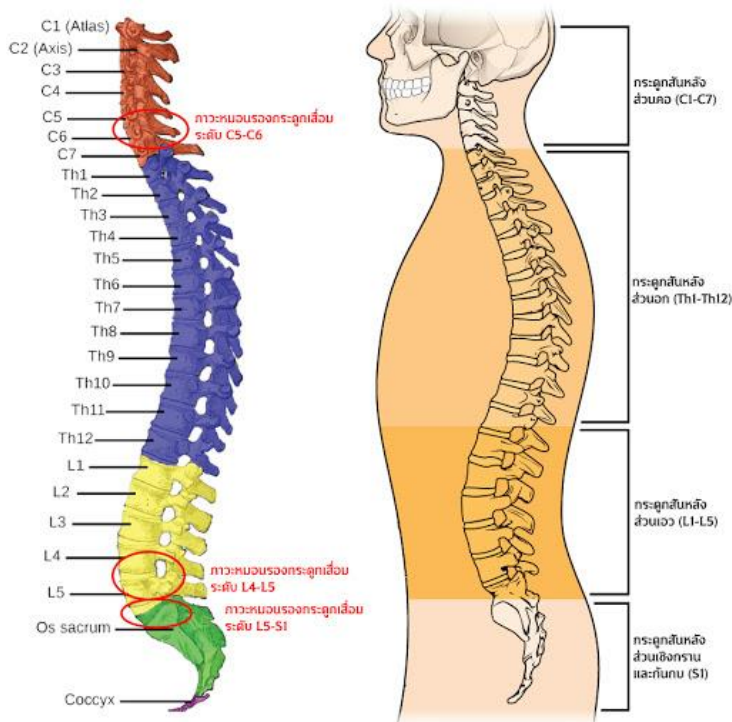
หมายถึง ภาวะขาอ่อนแรงทั้งสองข้าง จากการบาดเจ็บไขสันหลังส่วนอกระดับที่ T2 ลงมา และสามารถแบ่งประเภทความรุนแรงของการบาดเจ็บได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Complete cord injury (ไขสันหลังบาดเจ็บทั้งหมด)

หมายถึง ไขสันหลังระดับนั้นเสียหายทั้งหมด ไขสันหลังส่วนกระเบนเหน็บซึ่งอยู่ล่างสุด (S4-5) ขาดการติดต่อกับสมอง โดยทราบจากการตรวจการทำงานของกล้ามเนื้อและการรับความรู้สึกในระดับ S4-5 (กล้ามเนื้อหูรูดทวารหนัก การรับความรู้สึกรอบทวารหนักและในรูทวารหนัก)

2. Incomplete cord injury (ไขสันหลังบาดเจ็บไม่ทั้งหมด)

หมายถึงไขสันหลังที่บาดเจ็บเสียหายไม่ทั้งหมด ไขสันหลังส่วนกระเบนเหน็บซึ่งอยู่ล่างสุด (S4-5) ยังสามารถทำงานได้ (มี sacral sparing) โดยสามารถทราบได้จากการตรวจการทำงานของกล้ามเนื้อและการรับความรู้สึกในระดับ S4-5 (กล้ามเนื้อหูรูดทวารหนัก การรับความรู้สึกรอบทวารหนักและในรูทวารหนักเป็นพยาธิสภาพชนิดไม่สมบูรณ์ ผู้ป่วยมีกำลังกล้ามเนื้อ หรือมีการรับรู้)



รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างของกระดูกสันหลัง

(ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Spinal_cord)

2.3.3. คำจำกัดความก้นกบ

ก้นกบ เป็นกระดูกส่วนปลายสุดของกระดูกสันหลังเหมือนกับกระดูกส่วนหาง กระดูกก้นกบประกอบด้วยกระดูกชิ้นเล็ก ๆ เรียงตัวต่อกันประมาณ 3-5 ชิ้น เรียงตัวกันในรูปโค้ง มีกล้ามเนื้อมา

เกาะ ซึ่งกล้ามเนื้อเหล่านี้มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการขับถ่ายของร่างกาย กระดูกก้นกบทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักในขณะที่นั่งตัวเอนไปด้านหลัง

โรคจากการนั่งขับรถติดต่อกันเป็นเวลานานการที่เราั่งอยู่ที่ใดที่หนึ่งเป็นเวลานาน ๆ สามารถทำให้เกิดโรคภัยที่อันตรายได้หลายโรค ดังนี้

2.3.3.1. โรคหลอดเลือดดำอุดตัน

เวลาอยู่บนรถ เครื่องบิน หรือนั่งทำงานนาน ๆ จะมีอาการปวดบวมแดงบริเวณน่องหรือข้อเท้า นี่คือนิ่วอาการเบื้องต้น ซึ่งเกิดจากการที่เลือดจับตัวเป็นลิ่มหรือชั้นเล็ก ๆ แล้วไหลเข้าไปตามกระแสเลือด และอาจไปอุดตันตามอวัยวะที่สำคัญ เช่น ปอด หรือหัวใจ ทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ ส่วนใหญ่มักจะเกิดตามร่างกายส่วนล่าง ตั้งแต่ใต้หัวเข่าลงไป โดยเฉพาะการนั่งในที่คับแคบเป็นเวลานาน ๆ หลายชั่วโมงโดยไม่ค่อยได้เปลี่ยนอิริยาบถ การนั่งไขว่ขา การดื่มเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ การดื่มน้ำน้อยเกินไป หรือการมีหลอดเลือดขดหรือโป่งพอง

2.3.3.2. โรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ

โดยทั่วไปจะพบในช่วงอายุ 20-50 ปี แต่ผู้หญิงจะมีความเสี่ยงมากกว่าผู้ชาย ซึ่งมีอาการปัสสาวะบ่อยครั้งละน้อย ๆ ปวดแสบมากเมื่อจะสุดการปัสสาวะ บางรายที่มีอาการหนักอาจมีเลือดหรือหนองปนในปัสสาวะด้วย รวมถึงปัสสาวะจะขุ่น สีคล้ำผิดปกติ และมีกลิ่นเหม็นผิดปกติ อาจมีไข้สูงหรือไข้ต่ำ เจ็บบริเวณเอว ปวดท้องน้อย หรือคลื่นไส้อาเจียนร่วมด้วย ถ้ามีอาการดังกล่าวมานี้รีบพบแพทย์ทันที เพราะฉะนั้นก่อนจะขึ้นรถหรือต้องทำกิจกรรมอะไรนาน ๆ ห้ามอั้นปัสสาวะเด็ดขาด ควรที่จะเข้าห้องน้ำให้เรียบร้อยก่อนที่จะเดินทาง

2.3.3.3. โรคเครียด

เมื่อรถติดเป็นเวลานาน ๆ แน่นอันวาย่อมส่งผลต่อสุขภาพจิต ทั้งกลัวจะไปทำงานสาย กลัวจะผิดนัดเกิดความรำคาญหงุดหงิด ซึ่งอารมณ์ที่หงุดหงิดเหล่านี้หากเผชิญบ่อย ๆ ก็จะกลายเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคเครียดได้เลยทีเดียว ซึ่งโรคเครียดยังส่งผลร้ายต่อร่างกายและจิตใจ สามารถนำไปสู่โรคจิตอ่อนๆได้อีกด้วย

2.3.3.4. หมอนรองกระดูกเสื่อม/หมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท

การนั่งขับรถเป็นต้นเหตุสำคัญที่แพทย์เชื่อว่าอาจเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดโรคหมอนรองกระดูกเสื่อมและยังเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การเป็นโรคภัยอย่างหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาทอีกด้วย ซึ่งสาเหตุของโรคนี้เกิดจากการที่เรานั่งในท่าใดท่าหนึ่งที่ไม่ถูกต้องเป็นระยะเวลาานาน ๆ หรือ นั่งในท่าเดิมนาน ๆ แล้วไม่เปลี่ยนอิริยาบถ อาการปวดจากการที่หมอนกระดูกสันหลังกดทับเส้นประสาทจะอยู่ลึกกว่าอาการเจ็บกล้ามเนื้อ ดังนั้นหากกดตรงหลังจะไม่ค่อยเจ็บ แต่หากกดทับเส้นประสาทบางส่วนที่ไปเลี้ยงด้านหลัง ก็ทำให้ปวดร้าวไปข้างหลังได้ ซึ่งนอกจากอาการปวดแล้ว อาจมีอาการชากล้ามเนื้ออ่อนแรงร่วมด้วย

2.3.3.5. กล้ามเนื้อคออักเสบ

อาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงและล้ามากหลังจากการนั่งนาน ๆ โดยเฉพาะการนั่งขับรถ การใช้คอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลาานาน ๆ ความอ่อนล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นนี้มักจะค่อย ๆ แ่ลงเมื่อเวลาผ่านไปหลายสัปดาห์จนถึงหลายเดือน และส่งผลต่อกลุ่มกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ทั้งหลาย เช่น คอ หัวไหล่ หลัง ขา และสะโพก

2.3.4. สาเหตุการเกิดการบาดเจ็บที่ก้นกบ

อาการปวดก้นกบ หรือบริเวณกระดูกสันหลังส่วนปลายสุดนั้นพบได้ไม่บ่อย แต่มีผลทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวด เกิดความทุกข์ทรมานและทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยแย่ลง อาการปวดก้นกบ อาจจะมีอาการปวดตั้งแต่เล็กน้อยจนกระทั่งมีอาการปวดรุนแรงมากที่บริเวณก้นกบมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของผู้ป่วย อาการปวดก้นกบนี้สามารถพบได้ทั้งเพศชายและเพศหญิง แต่เพศหญิงจะเป็นมากกว่าเพศชายเนื่องจากกระดูกอุ้งเชิงกรานของเพศหญิงกว้างกว่า และกระดูกก้นกบของเพศหญิงจะนูนมากกว่า ซึ่งสาเหตุหลักๆ ของการปวดก้นกบ มีดังนี้

1. การนั่งทำงานหรือขับรถท่าเดิมเป็นเวลานานติดต่อกัน
2. อายุที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการเสื่อมของกระดูกสันหลังส่วนปลาย
3. เคยประสบอุบัติเหตุบริเวณสะโพก เช่น ล้ม, อุบัติเหตุทางรถยนต์

2.3.5. ความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ก้นกบ

อาการปวดก้นกบในผู้ป่วยบางรายอาจจะหายไปได้เอง แต่ในผู้ป่วยบางรายจะมีอาการปวดเรื้อรัง นานมากกว่า 3 เดือน ซึ่งไม่สามารถรักษาให้หายได้เองจำเป็นต้องได้รับการรักษาด้วยวิธีการหลาย ๆ อย่าง ตั้งแต่การทานยา, ทำกายภาพบำบัด, ฉีดยา, การจี้ข้อเชิงกรานด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง และการผ่าตัด ดังนั้นการวินิจฉัยและให้การรักษาที่ถูกต้องตั้งแต่เริ่มมีอาการจะลดโอกาสการเกิดโรคเรื้อรัง และอาการปวดเรื้อรังลงได้

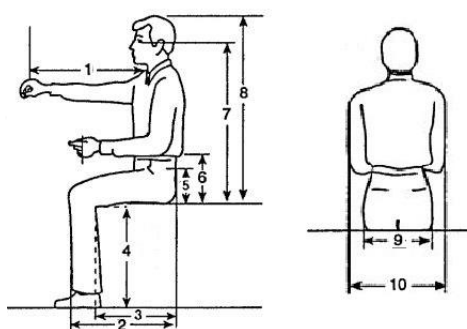
2.3.6. แนวทางการรักษาอาการปวดก้นกบ

1. หลีกเลี่ยงการนั่งเป็นระยะเวลานาน ๆ โดยเฉพาะทำนั่งเอนหลัง เพราะจะทำให้กระดูกตรงตำแหน่งที่เจ็บรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ควรนั่งโน้มตัวไปด้านหน้าเพื่อหลีกเลี่ยงแรงกระแทกและน้ำหนักที่ลงบนกระดูกก้นกบ และควรใช้แผ่นรองนั่ง เช่น ห่วงยาง หรือเบาะนุ่ม ๆ รองนั่ง จะช่วยลดแรงกระแทกต่อเนื้อเยื่ออ่อนและกระดูกบริเวณก้นกบ
2. การรับประทานยาลดอาการปวด และยาลดอาการอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ (NSAIDs) จะช่วยลดอาการปวด และลดการอักเสบที่บริเวณกระดูกก้นกบและเนื้อเยื่ออ่อนบริเวณรอบ ๆ
3. การรับประทานอาหารที่มีเส้นใยมาก ๆ เพื่อให้ระบบการขับถ่ายดีขึ้น หลีกเลี่ยงท้องผูก เพราะจะทำให้ผู้ป่วยเบ่งมากเวลาขับถ่าย ซึ่งจะกระตุ้นทำให้มีอาการปวดเพิ่มมากขึ้น
4. การฉีดยาสเตียรอยด์เฉพาะที่ในตำแหน่งที่มีอาการเจ็บปวด หรือร่วมกับการฉีดยาบล็อคเส้นประสาทที่บริเวณกระดูกก้นกบ จะช่วยลดอาการปวด และอาการอักเสบได้เป็นอย่างดี รวมทั้งลดการนำกระแสประสาทจากตำแหน่งที่มีอาการปวด
5. การผ่าตัดกระดูกก้นกบเพื่อรักษาอาการปวดนั้นมักไม่ค่อยจำเป็น ผู้ป่วยส่วนใหญ่มักจะตอบสนองได้ดีด้วย

2.4. ขนาดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์ที่สัมพันธ์กับการนั่งเบาะรถยนต์

2.4.1. สัดส่วนร่างกายวัดในขณะที่อยู่นิ่ง (Static characteristic)

เป็นการวัดขนาดและสัดส่วนร่างกายในขณะที่ร่างกายอยู่นิ่งในท่าทางใดท่าทางหนึ่ง ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา ความโค้ง ความยาวรอบวง ความสูง น้ำหนัก ระยะการเอี้ยว และรูปทรงใน 3 มิติ รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นตัวอย่างสัดส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ของคนอเมริกัน



รูปที่ 2.11 สัดส่วนร่างกาย แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 10, 90 และ 95
(แสงสว่าง, 2555)

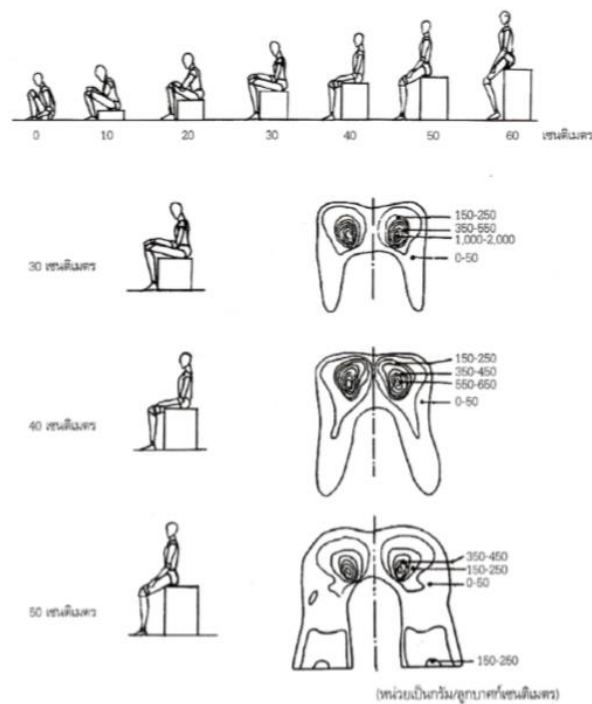
2.4.2. มิติส่วนของร่างกายอายุ 20-45 ปี

ตารางที่ 2.2 แสดงมิติส่วนของร่างกาย

	Male			Female		
	5th	50th	95th	5th	50th	95th
1. Functional forward reach	76.3	82.5	88.3	64.0	71.0	79.0
2. Buttock-knee depth	54.0	59.4	64.2	51.8	56.9	62.5
3. Buttock-popliteal depth	44.2	49.5	54.8	43.0	48.1	53.5
4. Popliteal height	39.2	44.2	48.8	35.5	39.8	44.3
5. Thigh clearance	11.4	14.4	17.7	10.6	13.7	17.5
6. Sitting elbow height	19.0	24.3	29.4	18.1	23.3	28.1
7. Sitting eye height	72.6	78.6	84.4	67.5	73.7	78.5
8. Sitting height	84.2	90.6	96.7	78.2	85.0	90.7
9. Hip breadth	30.8	35.4	40.6	31.2	36.4	43.7
10. Elbow-to-elbow breadth	35.0	41.7	50.6	31.5	38.4	49.1

2.4.3. สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบที่นั่ง

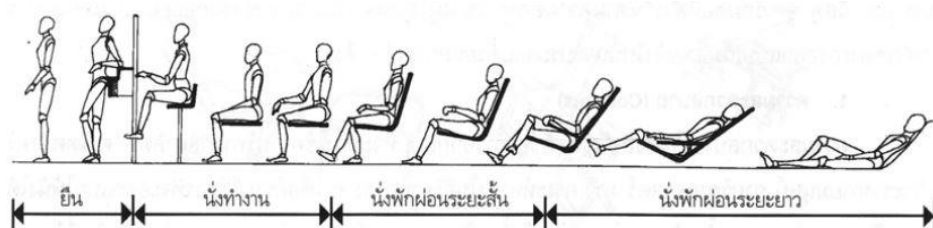
1. ความสะดวกสบายเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของการออกแบบที่จะต้องใช้สรีระร่างกายมนุษย์กายวิภาคศาสตร์ มาวิเคราะห์ทำนั่งในอิริยาบถต่าง ๆ เพื่อค้นหาวิธีการที่จะออกแบบให้นั่งได้สบายที่สุด การกระจายน้ำหนักของตัวคนเก้าอี้จะต้องกระจายเกือบทั่วบริเวณร่างกายที่สัมผัสกับที่นั่งและมีจุดกดทับที่รับน้ำหนักเฉพาะจุดให้น้อยที่สุด



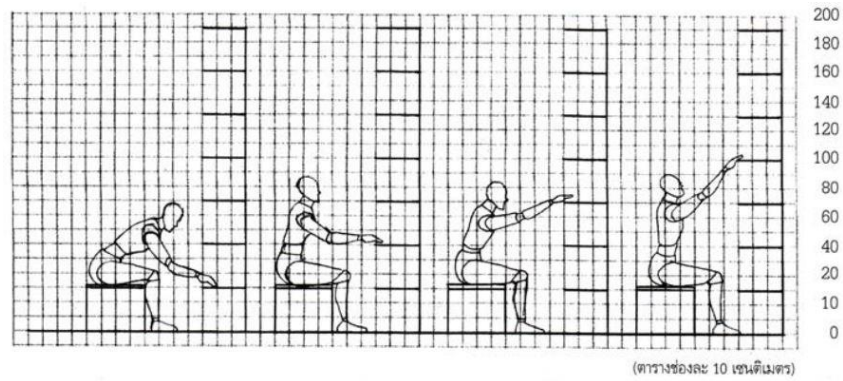
รูปที่ 2.12 ระดับการนั่งและการกระจายน้ำหนักการนั่งที่เหมาะสม
(แสงสว่าง, 2555)

2. ลักษณะท่าทางการนั่งระยะสั้นและการนั่งระยะยาวมีหลายท่าทางที่จะนำมาพิจารณาดัง

รูปที่ 2.13



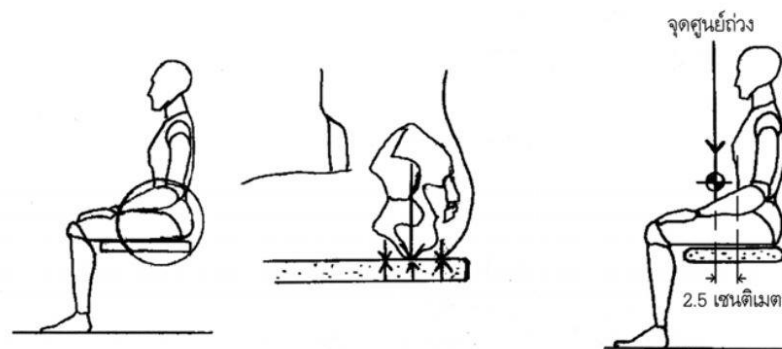
รูปที่ 2.13 ลักษณะการนั่ง
(แสงสว่าง, 2555)



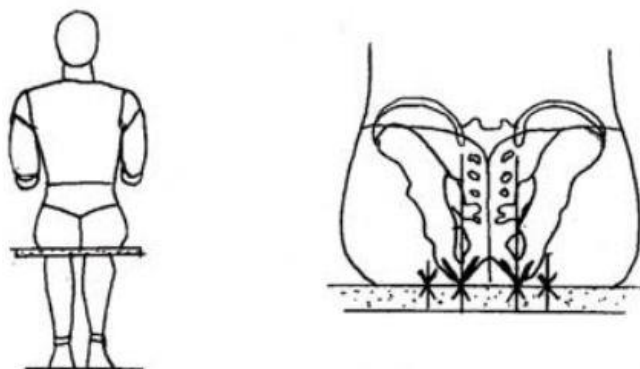
รูปที่ 2.14 ลักษณะการนั่งแต่ละอิริยาบถ
(แสงสว่าง, 2555)

2.4.4. การออกแบบเบาะรถยนต์หรือเก้าอี้โดยทั่วไปควรคำนึง 4 ประการดังนี้

1. จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย ขณะนั่งจุดศูนย์ถ่วงจะมีตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงตามอิริยาบถ การยืน การนั่งทำงาน การนั่งพักผ่อนระยะสั้น การนั่งพักผ่อนระยะยาว ดังรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 การออกแบบเก้าอี้หรือเบาะรองนั่งสำหรับการลดแรงเค้นกดที่หมอนรองกระดูกสันหลังส่วนเอวให้มีปริมาณน้อย ๆ

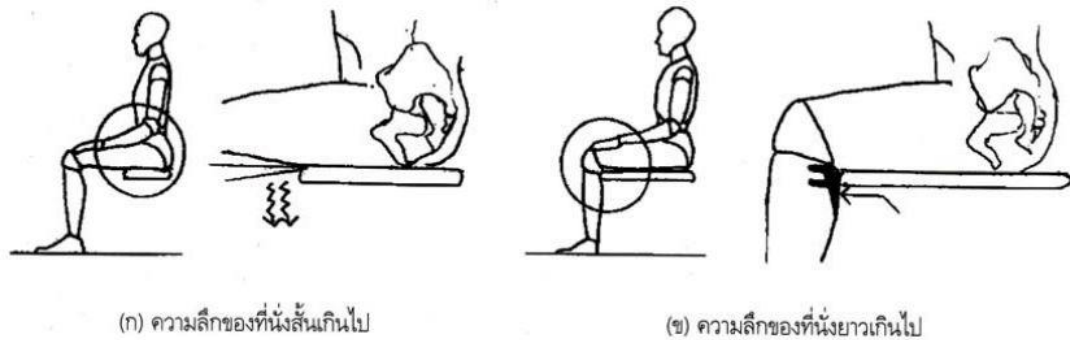


รูปที่ 2.15 การรับน้ำหนักร่างกายที่กระดูกเชิงกราน
(แสงสว่าง, 2555)



รูปที่ 2.16 การรับน้ำหนักร่างกายที่กระดูกเชิงกรานและจุดศูนย์ถ่วงในการนั่ง
(แสงสว่าง, 2555)

2. ความลึกของที่นั่ง ความลึกของที่นั่งควรออกแบบความลึกของเก้าอี้จากขอบถึงพนักพิงมีความสำคัญ เพราะเกี่ยวข้องกับสรีระร่างกายโดยตรง สำหรับคนตัวสูงควรมองหาเก้าอี้ที่เบาเข่าก่อนข้างลึก และคนตัวเตี้ยให้เลือกเบาะที่ตื้นลงมา หรือสังเกตว่าเมื่อนั่งเต็มสะโพกแล้ว ควรเหลือพื้นที่ห่างระหว่างข้อพับเข่าด้านหลังกับเก้าอี้ประมาณ 2-4 นิ้ว ก็จะได้เบาะที่นั่งที่พอดีกับตัวเองที่สุดควรออกแบบความลึกของเก้าอี้ขึ้นขึ้นอยู่กับประเภทของเก้าอี้ว่าเป็นเก้าอี้ที่ใช้ประโยชน์อย่างไร เช่น เก้าอี้ในการทำงานหรือเก้าอี้เพื่อการพักผ่อนนอกจากนั้นความเหมาะสมยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของผู้ใช้ที่แตกต่างกันแต่ตามหลักการที่เหมาะสมควรเลือกขนาดสัดส่วนความลึกจากผู้ใช้ที่มีสัดส่วนเล็กหรือผู้ที่มีระยะจากสะโพกถึงข้อพับเข่าด้านในสั้นมาเป็นเกณฑ์ในการใช้งาน ทั้งนี้เพราะหากคนตัวเล็กนั่งบนแผ่นรองนั่งที่มีความลึกมากการเอนแผ่นหลังของผู้ใช้อาจจะไม่สัมผัสกับพนักพิงหรือเกิดช่องว่างระหว่างแผ่นหลังกับพนักพิงได้ และระยะความลึกที่ใช้ควรเว้นให้มีช่องว่างระหว่างข้อพับเข่ากับขอบนอกของเก้าอี้หรือแผ่นรองนั่งประมาณ 5 เซนติเมตร เพื่อลดแรงกดดันที่กระทำที่ต้นขา ทั้งการนั่งแบบสั้นเกินไปและการนั่งยาวเกินไป สำหรับความลึกของเก้าอี้ในการทำงานหรือเก้าอี้ที่นั่งรับประทานอาหารจะมีความลึกประมาณ 35-42 เซนติเมตร และความลึกของเก้าอี้เพื่อการพักผ่อนมีความลึกประมาณ 45-53 เซนติเมตร จากการสังเกตสัดส่วนของเก้าอี้ในการทำงาน



รูปที่ 2.17 การนั่งสั้นเกินไปและการนั่งยาวเกินไป

(แสงสว่าง, 2555)

3. ความกว้างของที่นั่ง สำหรับความกว้างของเก้าอี้ที่เลือกใช้มีหลักเกณฑ์คล้ายกับความลึก โดยการพิจารณาต้องคำนึงถึงประเภทของเก้าอี้และสัดส่วนของผู้ใช้ แต่ในรายละเอียดของสัดส่วนของผู้ใช้จะนำขนาดสัดส่วนของผู้ใช้ที่มีสัดส่วนใหญ่มาใช้กับขนาดความกว้างของเก้าอี้ซึ่งมีความแตกต่างกับการพิจารณาเลือกใช้เพื่อให้ได้ความลึกของเก้าอี้ เพราะขนาดความกว้างสำหรับผู้ใช้ที่มีสัดส่วนใหญ่จะเหมาะสมกับผู้ใช้ในกลุ่มอื่นๆด้วย สำหรับความกว้างของเก้าอี้ในการทำงานหรือเก้าอีนั่งรับประทานอาหารจะมีความกว้างประมาณ 40-45 เซนติเมตร และความลึกของเก้าอี้เพื่อการพักผ่อนมีความกว้างประมาณ 48-55 เซนติเมตร

จุฬา
CHULA



รูปที่ 2.18 ความกว้างของเก้าอี้

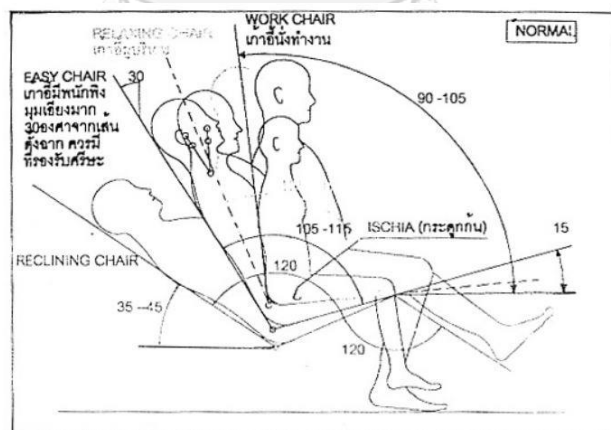
(แสงสว่าง, 2555)

4. ความสูงของที่นั่ง ความสูงของเก้าอี้ที่เหมาะสมจะช่วยลดความเค้นกดที่ต้นขาด้านล่างได้ โดยทั่วไปความสูงที่เหมาะสมสำหรับเก้าอี้ที่ใช้ในการทำงานทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 38-43 เซนติเมตร และความสูงที่เหมาะสมสำหรับเก้าอี้พักผ่อนจะอยู่ระหว่าง 30-40 เซนติเมตรโดยช่วงความสูงดังกล่าว เป็นความสูงที่ทำให้ข้อพับด้านหลังของเข่าสัมผัสกับความสูงของเก้าอี้อย่างพอดี แรงกดจากการนั่ง บริเวณต้นขาจะมีน้อย ถ้าหากความสูงของเก้าอี้สูงเกินไป จะทำให้สะโพกของผู้นั่งเลื่อนไปด้านหน้า ทำให้ลำตัวโน้มไปทางด้านหน้า ขาดการรองรับบริเวณหลังของพนักพิง และทำให้เกิดแรงเค้นกดมากขึ้นที่บริเวณต้นขา ในขณะที่ความสูงของเก้าอี้ต่ำเกินไปจะทำให้ขาดการกระจายแรงกดหรือน้ำหนัก บริเวณกระดูกก้นกบอย่างเหมาะสม กรณีที่เก้าอี้ที่มีความสูงเกินมาตรฐานควรเพิ่มหรือใช้ที่รองเท้า เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยลดแรงเค้นกดจากการนั่งบริเวณต้นขา



รูปที่ 2.19 ตำแหน่งแรงรวมที่ก้นของการนั่งเก้าอี้สูงและต่ำเกินไป

(แสงสว่าง, 2555)



รูปที่ 2.20 ภาพการนั่งแบบต่าง ๆ

(แสงสว่าง, 2555)

ตารางที่ 2.3 ตัวเลขความสูง-ต่ำ และค่าเฉลี่ยของคนไทยอายุระหว่าง 17-60 ปี

อายุ (ปี)	ความสูง เฉลี่ย (ซม.)	ความสูง สูงสุด (ซม.)	ความสูง ต่ำสุด (ซม.)	ความเบี่ยง เบน มาตรฐาน	น้ำหนักเฉลี่ย
17	159.65	185.00	106.00	7.12	48.63
18	160.76	186.00	132.00	7.46	49.34
19	161.95	186.00	137.00	7.63	50.34
20	162.43	185.00	130.00	7.74	50.07
21	162.17	192.50	142.00	7.59	58.03
22	161.45	186.00	142.00	7.62	59.75
23	161.12	182.00	140.00	7.76	50.75
24	161.06	184.00	143.00	7.76	50.98
25	160.33	185.00	140.00	7.82	50.69
26	160.33	188.00	140.00	7.91	51.82
27	160.08	183.00	138.00	7.50	51.09
28	160.09	183.00	144.00	7.60	52.97
29	160.93	180.00	135.00	7.42	53.24
30	159.49	181.00	142.00	7.43	52.62
31	159.86	180.00	139.00	7.54	53.16
32	159.57	180.00	141.00	7.56	53.32
33	159.43	180.00	141.00	7.42	53.53
34	159.44	184.00	140.00	7.37	53.87
35	159.62	182.00	135.00	7.91	54.50
36	159.89	186.00	137.00	7.43	54.84
37	159.49	184.00	140.00	7.44	54.61
38	159.54	180.00	144.00	7.50	55.13
39	158.82	178.00	141.00	7.48	55.53
40	158.10	184.00	144.00	7.60	55.51
41	158.41	180.00	143.00	7.26	55.55
42	158.48	180.00	142.00	7.03	55.22
43	158.46	178.00	135.00	7.31	56.61

ตารางที่ 2.4 ตัวเลขความสูง-ต่ำ และค่าเฉลี่ยของคนไทยอายุระหว่าง 17-60 ปี (ต่อ)

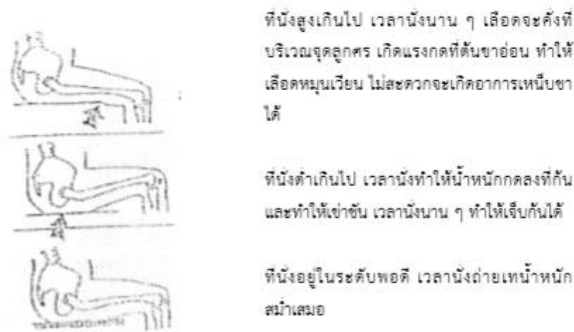
อายุ (ปี)	ความสูงเฉลี่ย (ซม.)	ความสูงสูงสุด (ซม.)	ความสูงต่ำสุด (ซม.)	ความเบี่ยง เบนมาตรฐาน	น้ำหนักเฉลี่ย
44	158.06	176.00	139.00	6.89	55.59
45	157.76	182.50	141.00	6.96	56.24
46	157.31	175.00	140.00	7.22	55.59
47	157.66	182.00	145.00	6.72	56.01
48	156.80	180.00	141.00	7.62	55.94
49	157.93	175.00	145.00	7.38	55.84
50	159.19	175.00	146.00	7.34	56.55
51	158.74	180.00	144.00	7.65	56.10
52	158.73	182.00	146.00	8.15	57.09
53	158.96	188.00	143.00	5.54	57.05
54	159.46	185.00	142.00	7.80	58.37
55	160.30	178.00	146.00	7.52	58.28
56	159.93	176.00	145.00	7.97	56.58
57	158.71	180.00	139.00	9.62	58.07
58	159.41	180.00	139.00	7.65	57.83
59	159.00	176.00	143.00	8.17	57.89
60	155.68	175.00	142.50	9.13	53.72

ในการออกแบบเก้าอี้หรือเบาะรถยนต์ขนาดสัดส่วนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้การนั่งสบาย โดยอาศัยหลักการออกแบบเกิดความสัมพันธ์กับสัดส่วนโครงสร้างร่างกายของ มนุษย์ และตรงตาม หลักการชีวกลศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลตรงตามหลักการ ต้องคำนึงถึงสัดส่วน ดังต่อไปนี้

1.ระดับความสูงของที่นั่ง (High of Seat)

ความสูงของที่นั่งควรได้รับการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงความเค้นกด (Pressure) ที่ต้นขา ด้านล่างไม่ให้มีค่ามากเกินไป ซึ่งทำได้โดยการออกแบบเก้าอี้ให้ขอบปลาย ด้านหน้าของเก้าอี้มีปลาย กลมมนโค้งลง และอยู่ต่ำกว่าระยะจากพื้นถึงต้นขาด้านใน ส่วนสูงของเก้าอี้ พักผ่อน (Resting Chair)

จะมีระดับต่ำกว่าเก้าอี้ทำงานเสมอ เนื่องจากร่างกายของคนเมื่อเอนหลังกับ พนักพิงจะต้องเหยียดขา ออกไปข้างหน้า ความสูงที่นิยมใช้คือ 30-40 เซนติเมตร

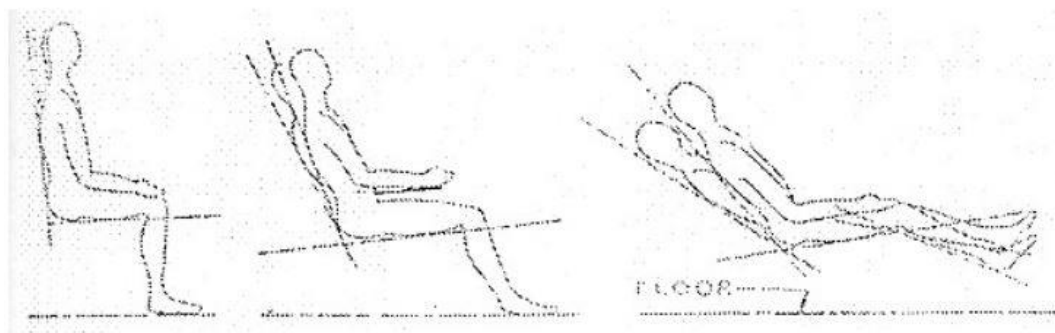


รูปที่ 2.21 ระดับความสูงของที่นั่ง
(แสงสว่าง, 2555)

2. ความกว้างและลึกของที่นั่ง (Width and Depth of Seat)

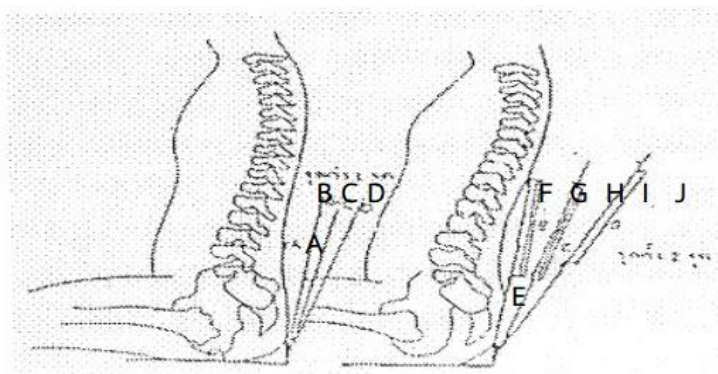
ความกว้างของที่นั่ง ควรกำหนดความกว้างที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ อย่างอิสระ และต้องมีสัดส่วน (Proportion) ให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับส่วนอื่น ๆ ด้วย เช่น ถ้าพื้นที่ ภาพในบ้านมีจำกัด ความกว้างของเฟอร์นิเจอร์ประเภทเก้าอี้พักผ่อนก็จะถูกจำกัดขอบเขตลงมาบ้าง โดยนิยมใช้ขนาด กว้างตั้งแต่ 48 – 55 เซนติเมตรเท่านั้น สำหรับความลึกของที่นั่ง ควรมีความยาว เริ่มต้นจากด้านหลัง ของหัวเข่าถึงด้านหลังสุดของกระดูกเชิงกราน เมื่ออยู่ในลักษณะนั่งตัวตรง

ความลึกและความสูงของที่นั่งจะต้องมีความสัมพันธ์กัน เมื่อความสูงของที่ นั่งมีมากการที่จะ เอนขาไปข้างหน้าเพื่อจะเลื่อนให้สามารถนั่งได้ลึกเป็นไปด้วยความลำบาก (ดังรูปที่ 2.22) ฉะนั้นต้อง ให้เกิดความสัมพันธ์กันให้ได้ ระยะของความลึกที่นิยมใช้คือ 45 – 53 เซนติเมตร



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์มนุษย์กับความลึก และความสูงของที่นั่ง
(แสงสว่าง, 2555)

3. ระดับความเอียงของพนักพิง (Inclination of Back Rest) ความเอียงของพนักพิงขึ้นอยู่กับลักษณะเอียงของที่นั่ง (Seat) และ จุดประสงค์ที่จะนำไปใช้ถ้ามุมเอียงมากจะเกิดอุปสรรคมากในการพุงตัวลุกขึ้น ดังนั้นเก้าอี้แบบที่มีที่ พักแขน (Armchair) และเก้าอี้ยาว (Sofa) มักจะมีความเอียงเพียงเล็กน้อย แต่เก้าอี้โยกมันจะมีความเอียงค่อนข้างมาก โดยปกติแล้วระดับความเอียงที่พอเหมาะที่จะนำมาใช้คือ ระหว่าง 105-125 องศา ดังรูปที่ 2.23



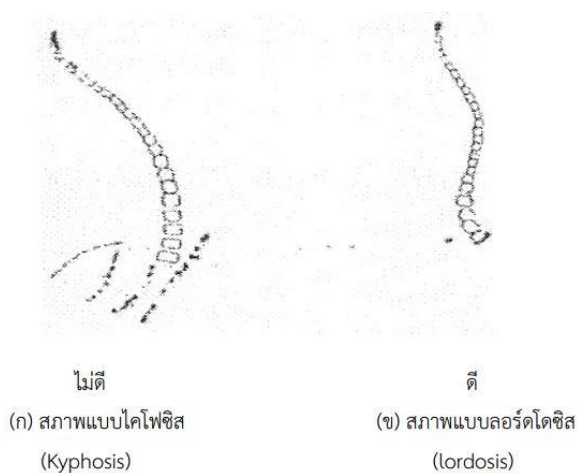
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างสรีระของมนุษย์ กับความลาดเอียงของพนักพิง (แสงสว่าง, 2555)

ตารางที่ 2.5 ตำแหน่งจุดค่า

จุดค่าหลัง	มุมพิง (องศา)	ความสูง (ซม.)
A	90	25
B	100	31
C	105	31
D	110	31
E	100	40
F	100	40
G	100	31
H	110	40
I	110	40
J	120	50

การคงสภาพของกระดูกสันหลัง (Maintain a Good Posture Vertebra) เก้าอี้ที่ดีต้องช่วยคงสภาพของกระดูกสันหลังให้เป็นไปตามธรรมชาติมากที่สุด โดยที่นั่งหรือ พนักพิงหลังจะมีผลต่อการรักษาสุขภาพสมดุลของกระดูกสันหลังของผู้นั่ง การออกแบบพนักพิงหลังจึง ควรให้ความโค้งผิว (Contour) ที่สามารถรองรับสัดส่วนของกระดูกสันหลังช่วงเอวได้ดี (ดังรูปที่ 2.24) โดยรูป ก. แสดงภาพการโค้งงอของกระดูกสันหลังที่เรียกว่า ไคโฟซิส (Kyphosis) ที่เกิด จากการนั่งเก้าอี้ที่ไม่มีพนักพิง

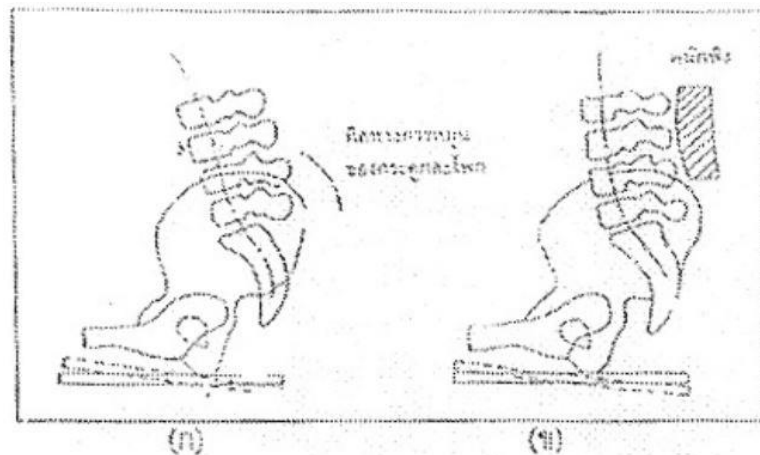
หลัง หรือมีพนักพิงหลังที่ไม่เหมาะสม เป็นทำนองที่ลำตัวเอนไปด้านหน้า มากกว่าปกติ มีผลทำให้เกิดความเค้นกดที่กระทำต่อข้อต่อของกระดูกสันหลังหมอนรองกระดูก) อย่างมาก (โดยเฉพาะที่ข้อต่อที่เชื่อมระหว่างกระดูกสันหลังส่วนเอวขึ้นไป 5 กับกระดูกสันหลังช่วงก้นกบขึ้นไป 1 หรือ L5 – S1 Disc) ส่วนรูป ข. แสดงภาพการโค้งงอแบบลอร์ดโตซิส (lordosis) ซึ่งเกิด จากการนั่งเก้าอี้ที่มีพนักพิงที่เหมาะสม รองรับกระดูกสันหลัง (หมอนรองกระดูก) ได้ดี และยังทำให้ผู้นั่งรักษาสภาพของกระดูกสันหลังให้เป็นธรรมชาติได้ดีกว่า



รูปที่ 2.24 กระดูกสันหลังช่วงเอวขณะนั่ง

(แสงสว่าง, 2555)

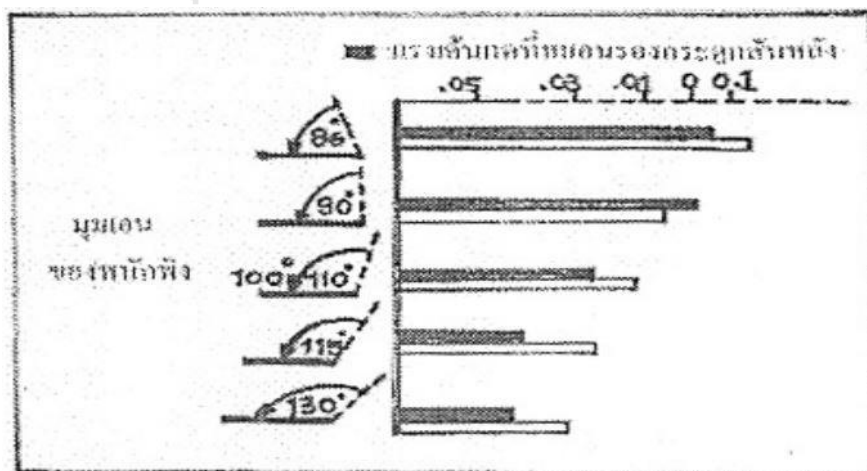
การออกแบบให้ทำนองที่กระดูกสันหลังเป็นแบบลอร์ดโตซิส (Promote Lumbar Lordosis) ถ้าแผ่นรองนั่งและความสูงของเก้าอี้ที่ทำให้ต้นขาของผู้นั่งทำมุมตั้งฉากกับท่อนขาแล้ว ทำให้ช่วงลัมบาร์ออคโค้งนูนออกดังรูป ก. (ดูรูปประกอบ) และเป็นทำนองแลคโคโพซิสหรือลัมบาร์มาก จัดว่าเป็นการออกแบบที่ดี ดังนั้นการเสริมแผ่นรองหลังช่วงลัมบาร์จะส่งผลดีในการช่วยรักษาท่าทาง การนั่งให้เป็นแบบลัมบาร์ลอร์ดโตซิส (หรือลอร์ดโตติก) ซึ่งจะทำให้มีแรงเค้นกดขึ้นที่หมอนรองกระดูกสันหลังช่วงลัมบาร์มีปริมาณน้อยดังรูป ข. (ดูรูปประกอบ) และยังทำให้ลักษณะกระดูกสันหลังในท่า นั่งของคนเรากลายกับลักษณะกระดูกสันหลังในท่ายืนตรงตามมาตรฐานกายวิภาค (Anatomical Position) มากที่สุดอีกด้วย อีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้ทำนองที่กระดูกสันหลังเป็นแบบลัมบาร์ลอร์ดโตซิสก็คือ การออกแบบให้ แผ่นรองนั่งหรือปลายเบาะด้านที่ติดกับข้อพับเข่าเอียงลาดลงเล็กน้อย และทำให้ข้อต่อสะโพกทำมุม 125 องศา (เป็นมุมที่คล้ายกับมุมงอของสะโพกขณะเมื่อคนเรานอนหลับในท่าตะแคงตัวด้านข้าง ในทางการแพทย์ถือว่าเป็นท่านอนที่ผ่อนคลายมากที่สุด หรือคล้ายกับท่าทางที่เมื่อคนเราอยู่ในสภาวะ ไร้น้ำหนักในอวกาศ)



รูปที่ 2.25 ลักษณะกระดูกสันหลังช่วงลัมบาร์
(แสงสว่าง, 2555)

การออกแบบเพื่อลดแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังให้มีค่าน้อยที่สุด (Minimize on Disc Pressure) เก้าอี้ที่ไม่มีพนักพิงหรือแผ่นรองหลังนั้น จะส่งผลให้เกิดแรงกดที่หมอนรองกระดูกสันหลังของ ผู้นั่งในท่าลอร์ดอซิสเพื่อสูงขึ้นจากเดิมที่อยู่ในท่ายืนตรง 40% หรือสูงขึ้น 90% เมื่อผู้นั่งอยู่ในท่านั่ง โคโพซิส ดังนั้นการออกแบบพนักพิงให้เอนทำมุมกับแนวระนาบประมาณ 100-110 องศา การเสริม แผ่นหลังช่วงลัมบาร์ หรือการออกแบบให้เก้าอี้มีที่พักวางแขน (Arm Rest) ก็จะช่วยลดแรงดังกล่าวให้ มีค่าไม่สูงมากเกินกว่าปกติ ดังรูป (ดูรูปประกอบ) แสดงตัวอย่างผลกระทบจากมุมเอนค่าต่าง ๆ ของ พนักพิงที่มีต่อแรงค้ำกดที่หมอนรองกระดูกสันหลัง และต่อแรง สแตติกของกล้ามเนื้อหลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างผลกระทบจากมุมต่าง ๆ ที่มีต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง โดยวัดค่า EMG ที่กระดูกสันหลังช่วงหน้าอกชั้นที่ 8

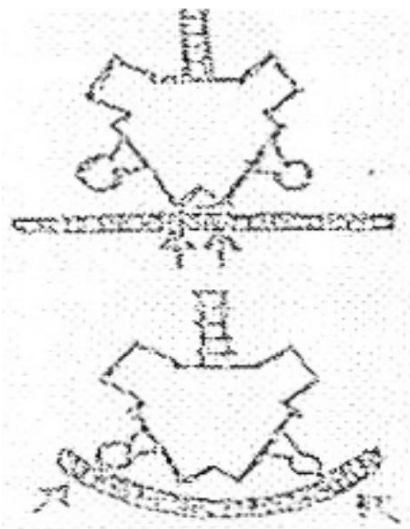
จากการวิจัยพบว่าการใช้แรงของกล้ามเนื้อหลัง ซึ่งวัดได้จากวิธี อิเล็กโตรไมโอกราฟี (Electromyography) หรือ EMG นั้นมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในท่านั่งและทำยืน แต่อย่างไรก็ตามถ้าพนักงานพิงหลังถูกออกแบบให้มีมุมเอียงถึง 110 องศาแล้ว กล้ามเนื้อหลังจะผ่อนคลายการทำงานหดตัวลงไปได้มากที่สุด

4. ความสูงของพนักพิง (Height of Back) ความสูงของพนักพิง ไม่ควรอยู่ต่ำกว่าส่วนล่างสุดของช่วงไหล่ การออกแบบ ควรระมัดระวังอย่างยิ่งเกี่ยวกับลักษณะการนั่ง เมื่อความเอียงของพนักพิง (Back Rest) มีมากขึ้น ควรจะทำให้ลำตัวสามารถเอนลงบนพนักพิงได้อย่างเต็มที่และสบาย และเมื่อถึงจุดที่พนักพิงมีความเอียงมาก ๆ พนักพิงควรสูง (ยาว) พอที่จะรับน้ำหนักของศีรษะด้วย เพื่อที่จะช่วยให้ผู้นั่งจะได้ไม่ ต้องออกกำลังเกร็งกล้ามเนื้อเพื่อพยุงศีรษะที่เอนไปทางด้านหลัง



รูปที่ 2.27 ความสูงต่ำของพนักพิงที่มีผลต่อการนั่ง
(แสงสว่าง, 2555)

5. ระดับความเอียงของที่นั่ง (Inclination of Seat) ความเอียงของที่นั่ง (Seat) ควรจะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับพนักพิง (Back Rest) ถ้ามุมเอียงมากควรจะเหมาะกับการพักผ่อนจริง ๆ เพราะไม่สามารถขยับทำกิจกรรมใด ๆ ได้ ในขณะที่เริ่มนั่งพักผ่อน เมื่อเริ่มเอนพิงไปทางด้านหลัง ลำตัวจะค่อย ๆ ไหลมาทางด้านล่าง ทำให้ส่วน ท่อนขาจะไหลลงมาริมที่นั่งและทำให้เข่างอขึ้น ฉะนั้น มุมเอียงของที่นั่งจึงเกิดขึ้นด้วยจึงจำเป็นต้อง ปรับมุมเอียงที่นั่งขึ้นรับต้นขาและหยุดการไหลของลำตัว มุมเอียงองศาที่นิยมใช้นั้นระหว่าง 3-5 องศา ทำมุมกับแนวระนาบ แต่ถ้าเบาะนั่งเป็นวัสดุที่นิ่ม ก็จะช่วยยึดการไหลของลำตัวและรองรับต้นขาได้ เก้าอี้ที่ดีเวลานั่งน้ำหนักควรกระจายอย่างสม่ำเสมอทุกจุด



ที่นั้งตรงเกินไป เวลานั่งน้ำหนักตกลงที่จุดเดียว

ที่นั้งโค้งเกินไป เวลานั่งน้ำหนักตกลง 2 จุด ซ้ายและขวา

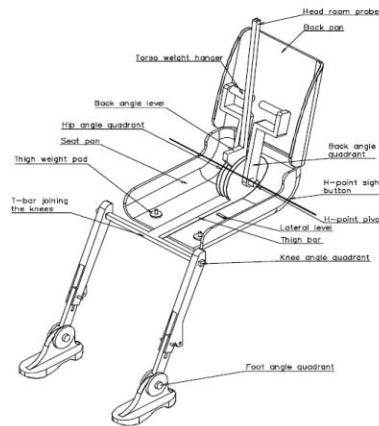
รูปที่ 2.28 การกระจายน้ำหนักของที่นั่ง
(แสงสว่าง, 2555)

6. ความสูงของที่พักแขน (High of Arm Rest) ในการออกแบบที่พนักแขนนั้น สามารถออกแบบให้ที่พนักแขนมีมุมเอียงขนาน กับที่นั่งก็ได้หรือจะออกแบบให้อยู่ในลักษณะที่ขนานกับแนวระดับก็ได้ ระยะความสูงที่นิยมใช้ โดยทั่วไปคือระหว่าง 50-25 เซนติเมตรจากระดับที่นั่ง ซึ่งส่วนความสูงของที่พนักแขนนั้นให้ถือ มาตรฐานจากปลายสุดของข้อศอกในขณะที่ข้อศอกตั้งฉากกับแนวระนาบเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้เพราะจุดนี้ เป็นจุดที่ข้อศอกของคนสามารถหมุนแกว่งได้อย่างเป็นธรรมชาติ ถ้าที่พนักแขนต่ำเกินไปที่พนักแขนก็ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามที่ตั้งใจออกแบบ และถ้าที่พนักแขนสูงเกินไปแขนจะถูกบังคับให้รับน้ำหนักมาก เกินความจำเป็น นอกจากนี้ที่พนักแขนที่สูงเกินไปจะทำให้คนนั่งเสียบุคลิก หรือขาดความสง่างามในท่านั่ง

2.5. เครื่องมือการวัด

2.5.1. 3-D H-machine

เครื่องมือวัดเบาะรถยนต์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์ มอก.896-2549 เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดหาค่า H-Point (จุดสะโพก) ซึ่งเป็นข้อหนดที่สำคัญที่กำหนดอยู่ใน มอก.896-2549 ซึ่งเบาะรถยนต์ที่ผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ (กระทรวงอุตสาหกรรมไทย, 2549)



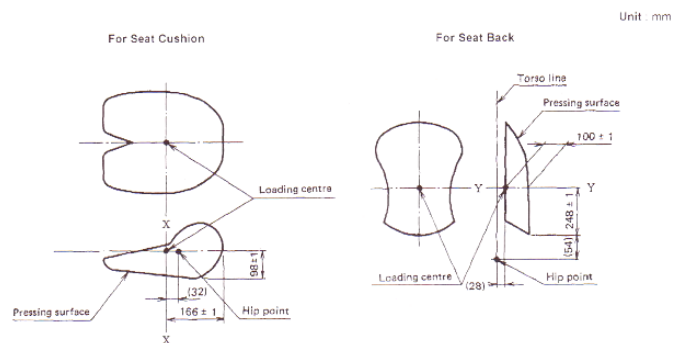
รูปที่ 2.29 3-D H-machine

2.5.2. Load Test Machine

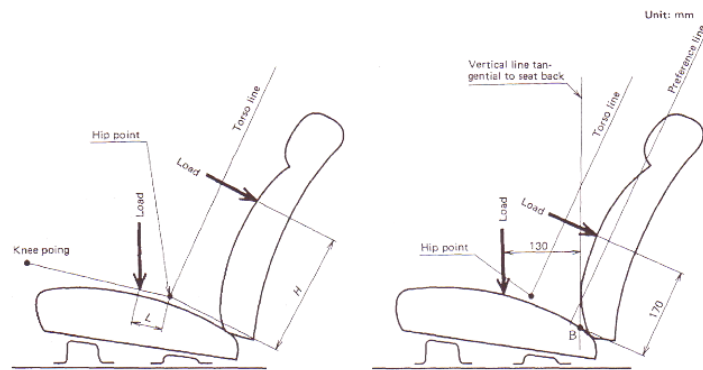
เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย การโค้งตัวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นข้อหนดที่สำคัญที่กำหนดอยู่ใน JASO B407-82 ซึ่งเบาะรถยนต์ที่ผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้



รูปที่ 2.30 เครื่อง Load test และ ระยะที่ใช้ในการทดลองชิ้นงาน ตำแหน่งในการทดลองชิ้นงานทั้งที่เบาะรองนั่งและพนักพิงของเบาะรถยนต์



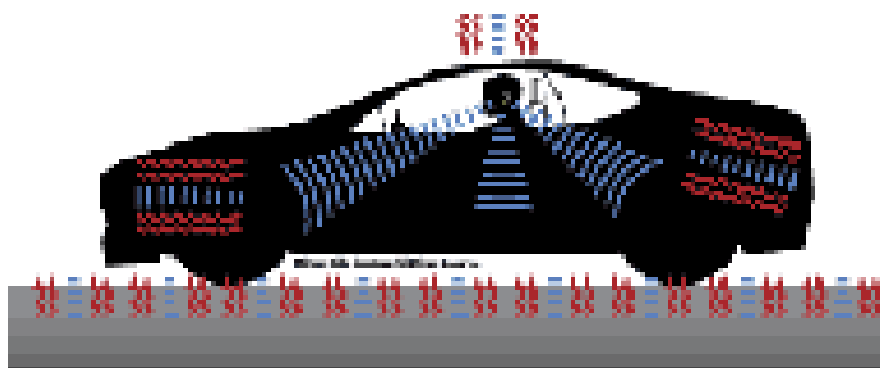
รูปที่ 2.31 แผ่นรองนั่งและแผ่นรองพนักพิง



รูปที่ 2.32 ตำแหน่งการทดลอง Load test

2.5.3. Vibration Test Machine (Vibration loading characteristic)

ในกรณีนั่งอยู่บนรถที่กำลังวิ่งอยู่นั้น เราจะไม่ได้รับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของตัวรถที่กำลังวิ่งอยู่ หรือ ความสั่นสะเทือน (Vibration) ของตัวรถจากถนนโดยตรงเพราะจะมีโครงสร้างช่วงล่างเป็นตัวลดแรงสั่นสะเทือน (Damping Vibration) อยู่ ฉะนั้นในทางการออกแบบเบาะรถยนต์ควรต้องคำนึงถึงโครงสร้างที่จะช่วยลดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับเบาะรถยนต์ โดยใช้เครื่อง Vibration Test ทดลองให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่สำคัญที่กำหนดอยู่ใน JASO B407-82 ซึ่งเบาะรถยนต์ที่ผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้



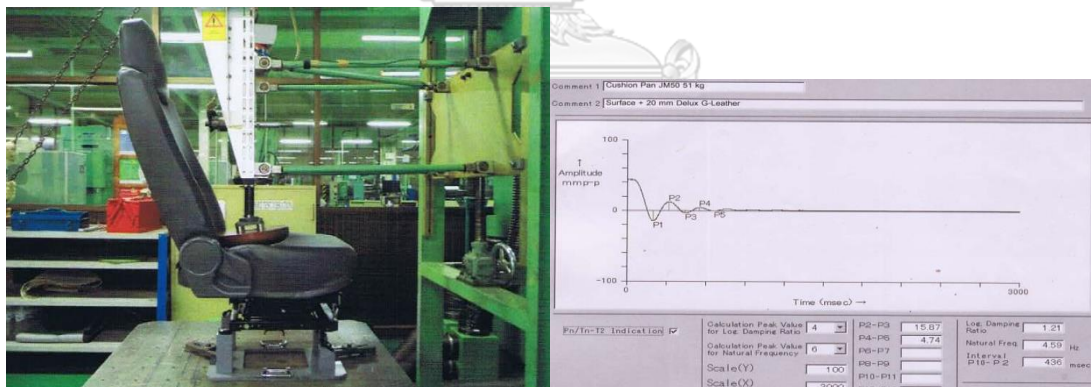
รูปที่ 2.33 การสั่นสะเทือนขณะขับซีรรถยนต์



รูปที่ 2.34 เครื่อง Vibration Test

2.5.4. Damping Test Machine

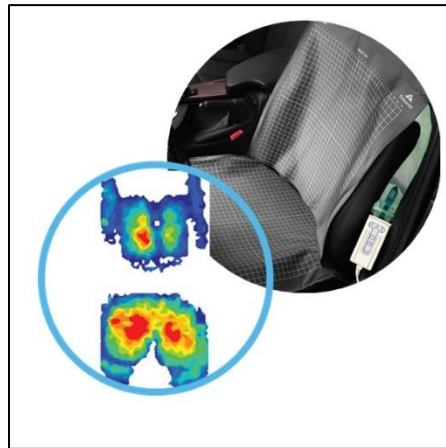
เป็นลักษณะการทดลองหาค่าการคืนสภาพของชิ้นงานในเวลาคงที่ ซึ่งเป็นข้อหนดที่สำคัญที่กำหนดอยู่ใน JASO B407-82 ซึ่งเบาะรถยนต์ที่ผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้



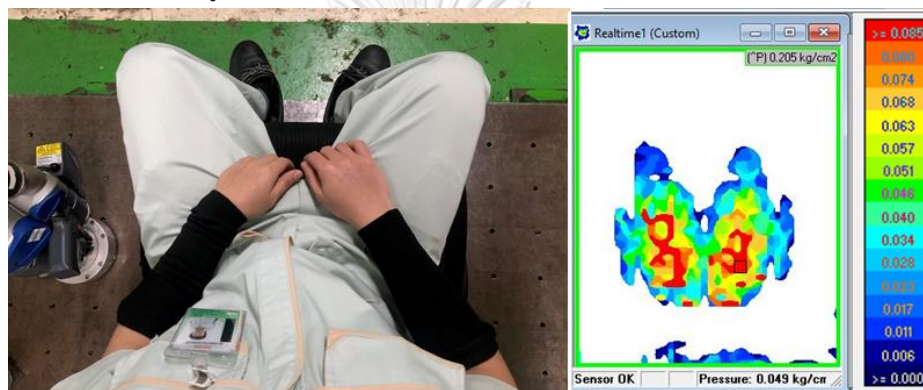
รูปที่ 2.35 เครื่อง Damping Test และค่าที่วัดได้จากเครื่อง

2.5.5. เครื่อง Pressure Mapping System (PMS)

ใช้เพื่อประเมินเบาะรองนั่งให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบการนั่งของผู้ขับขี่แต่ละราย โดยสามารถช่วยลด อัตราการกลับมารักษาซ้ำเนื่องจากการเกิดแผลกดทับได้ เพราะเบาะนั่งรถยนต์ที่ดี จะมีการกระจายน้ำหนักของผู้นั่งในท่าที่เหมาะสม



รูปที่ 2.36 เครื่อง Pressure Mapping System (PMS)



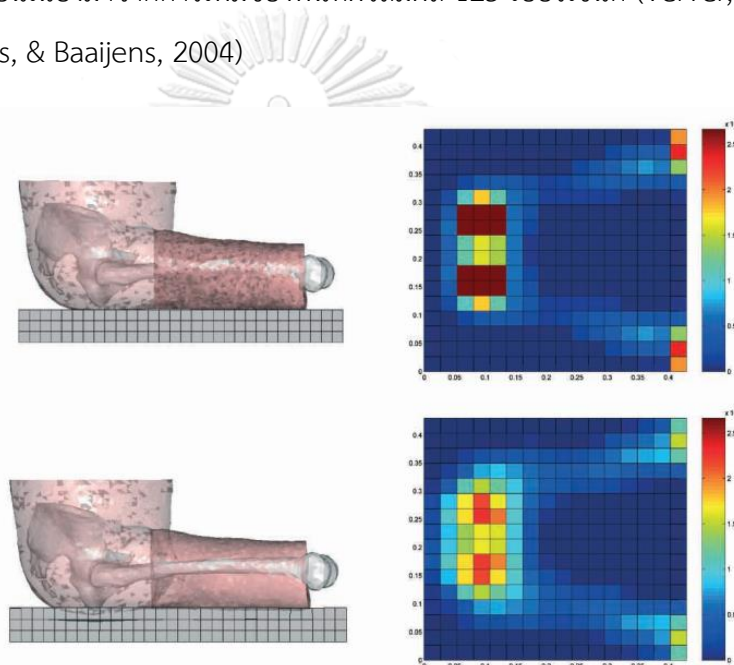
รูปที่ 2.37 การทดลองประสิทธิภาพเบาะนั่งรถยนต์ด้วยเครื่อง Pressure Mapping System (PMS) และ แสดงการกระจายน้ำหนักและแรงกดทับในขณะที่นั่งบนเซ็นเซอร์

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบวิธีการวัดเบาะรองนั่งประเภทต่าง ๆ

ชนิดเครื่องวัด	ข้อดี	ข้อเสีย
3-D H-machine	- เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นงานเพื่อไว้สำหรับวิเคราะห์และเปรียบเทียบก่อนและหลังการออกแบบ	- ต้องทดลองภายในห้องปฏิบัติการ - ความคลาดเคลื่อนเกิดจากผู้ทดลอง - ต้องมีทักษะในการตรวจสอบ
Load Test	- เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความยืดหยุ่นของโครงสร้างเบาะนั่งรถยนต์ (โครงสร้างเหล็ก , โฟม , สปริงเบาะนั่ง)	- ต้องทดลองภายในห้องปฏิบัติการ - ต้นทุนเครื่องราคาสูง - ไม่สามารถแสดงค่าการคืนสภาพ - ไม่สามารถแสดงค่าการสั่นสะเทือน
Vibration Test	- เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการสั่นสะเทือนของชิ้นงานที่ส่งผลกระทบต่อคนขณะขับขี่รถยนต์	- ต้องทดลองภายในห้องปฏิบัติการ - ไม่สามารถแสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ - ไม่สามารถแสดงค่าการคืนสภาพ - ไม่สามารถแสดงค่าการยืดหยุ่น
Damping Test	- เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการคืนสภาพของชิ้นงานในเวลาที่ตั้งที่	- ต้องทดลองภายในห้องปฏิบัติการ - ไม่สามารถแสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ - ไม่สามารถแสดงค่าการสั่นสะเทือน
เครื่อง Pressure Mapping System (PMS)	- เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแสดงการกระจายน้ำหนักและแรงกดทับมาใช้ประเมิน โดยสามารถแสดงค่าแรงกดทับสูงสุด ค่าแรงกดทับเฉลี่ย พื้นที่ผิวสัมผัส และช่วยให้สามารถประเมินท่าทางในการนั่งของผู้นั่งบนแผ่นเซ็นเซอร์ได้ - การออกแบบบางและยืดหยุ่น สอดคล้องกับรูปร่างที่ผิดปกติ	- ไม่สามารถแสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ - ไม่สามารถแสดงค่าการคืนสภาพ - มีความไวต่อพื้นผิว - ราคาสูง

2.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ตรวจสอบกับชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมมีพื้นผิวเรียบขนาด $430 \text{ mm}^2 \times 430 \text{ mm}^2$ ความหนา 60 mm จำนวน 2 ชนิด ที่มีค่าความแข็ง 2.0 Gpa และ 0.2 Mpa มีขนาดของเซ็นเซอร์เท่ากับ 26.875 mm^2 ทำการทดลองกับหุ่นจำลองที่มีน้ำหนัก 75 kg มีความสูง 1.75 m เพื่อต้องการตรวจสอบหาค่าแรงดันเฉลี่ย ค่าแรงดันสูงสุด พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างหุ่นกับชิ้นงาน พบว่าจากการทดลองเบาะรองนั่งที่มีค่าความแข็งน้อย 0.2 Mpa มีค่าแรงดันสูงสุดน้อยกว่า 39 เปอร์เซ็นต์ กับเบาะรองนั่งที่มีค่าความแข็งมาก 2.0 Gpa และค่าแรงดันเฉลี่ยน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ อันเนื่องมาจากการเพิ่มของพื้นที่ผิวสัมผัส 123 เปอร์เซ็นต์ (Verver, Van Hoof, Oomens, Wismans, & Baaijens, 2004)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.38 เปรียบเทียบการกระจายแรงระหว่างเบาะแข็งและนุ่ม

ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างเบาะรองนั่งตามขนาดสัดส่วนโดยใช้ Pressure Mapping วัดประสิทธิภาพการศึกษาในเบื้องต้นโดยมีผู้เข้าร่วมงานวิจัย 10 (ชาย 5 หญิง 5) อายุเฉลี่ย 30.1 ปี น้ำหนัก โดยเฉลี่ย 55.8 กิโลกรัม ทั้งหมดถูกขอร้องไห้ใส่กางเกงขาสั้นและเสื้อยืดเพื่อเข้าร่วมการวิจัย โดยมีแท่งโฟมที่มีความหนาแน่น 39 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาด $16 \times 16 \times 2$ นิ้วและถูกตัดแต่งให้เบาะมีความลึกตามสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นรายบุคคลตามผลการทดลองการเสียรูปของแท่งโฟมที่รับน้ำหนักของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละราย ซึ่งรูปทรงของโฟมที่ได้จะนำไปเป็นแบบเพื่อสร้างเบาะเฉพาะบุคคล จากนั้นทำการทดลองโดยใช้แผ่นประเมินแรงกดทับ (Pressure Mapping) วางไว้บนเบาะที่

สร้างขึ้นและให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งด้วยท่าทางตามที่กำหนด (Sy & Tam, 2000) เบาะรองนั่งที่มีความลึกนุ่มมากก็ทำให้เกิดแรงกดทับที่กระทำต่อพื้นที่กันมากขึ้นซึ่งเป็นบริเวณที่มีน้ำหนักตัวกดลง อย่างไรก็ตามจุดกดทับจะยังคงมีต่อเนื่องตรงบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงเช่นเดิม (Carlson, Payette, & Vervena, 1995)

การศึกษาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความดันและเวลาของที่รองนั่งรถเข็นโดยใช้เครื่อง Force Sensing Array (FMA) หรือ Pressure Mapping System มีขนาดของเซนเซอร์อยู่ที่ 256 จุด ทำการทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 27 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 มี 15 คนเป็นผู้ชาย 2 คน ผู้หญิง 13 คน เป็นผู้ป่วยเส้นโลหิตตีบ อายุอยู่ระหว่าง 41-79 ปี กลุ่มที่ 2 มี 12 คน เป็นผู้ชาย 7 คน ผู้หญิง 5 คน ผู้ป่วยที่ไม่เป็นเส้นโลหิตตีบ อายุอยู่ระหว่าง 40-72 ปี ทดลองกับที่รองนั่งเข็นทั้งหมด 7 ชนิด ใช้เวลาในการนั่งทดลองทั้งหมด 8 นาทีต่อผู้เข้าร่วมการทดลอง จากสถิติความดันกับเวลาในการทดลองพบว่า 6 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทดลองเพื่อไม่เป็นการเสี่ยงต่อการเพิ่มการบาดเจ็บจากการทดลองที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 (Stinson, Porter, & Eakin, 2002) ซึ่งการทดลองนี้ใช้ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 จึงต้องเพิ่มเวลาในการทดลองเป็น 8 นาที ตัวชี้วัดของการทดลองนี้คือ การหาค่าแรงดันเฉลี่ย ค่าแรงดันสูงสุด จำนวนเซนเซอร์ที่ถูกใช้งาน พบว่ากลุ่มผู้ที่ไม่เป็นเส้นโลหิตตีบตั้งแต่นาทีที่ 4 ไม่พบความผิดปกติ แต่กลุ่มผู้ป่วยเส้นโลหิตตีบยังคงมีความเปลี่ยนแปลงมากกว่า 8 นาที งานวิจัยนี้ทำให้ทราบการเปรียบเทียบของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 2 กลุ่ม เกี่ยวกับค่าแรงดันเฉลี่ย ค่าแรงดันสูงสุด จำนวนเซนเซอร์ กับเวลาเบื้องต้นที่ใช้ในการนั่ง (Crawford, Stinson, Walsh, & Porter-Armstrong, 2005)

การนั่งระยะเวลาานาน ๆ ทำให้หลังบริเวณส่วนล่างมีการโค้งงอไปเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้เกิดการผิดรูปของหมอนรองกระดูกสันหลัง เช่น อาจจะทำให้เกิดการปวดหลังอันเนื่องมาจากการยึดตัวของกระดูก (ligament) ในขณะที่ลุกขึ้นยืนอันเป็นอาการที่พบได้เสมอในบุคคลที่ตั้งแต่วัยกลางคนขึ้นไป

วิธีการวัดสัดส่วนร่างกาย โดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี 1)วิธีใช้เครื่องมือวัดโดยตรง โดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน วัดในแนวเส้นตรงและแนวโค้งตามมิติเส้นตรง จะเป็นการวัดความยาวของกระดูก ความกว้าง หรือความลึกของร่างกาย จะทำจุดบนร่างกายก่อนการวัดระยะ (Lohman, Roche, & Martorell, 1988) ซึ่งผู้ถูกวัดจะต้องอยู่ในลักษณะท่าทางที่ถูกต้องและนิ่งที่สุด ควรมีผู้ช่วยวัด เพื่อความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และควรสวมชุดที่บางที่สุด 2) วิธีการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล (Image Processing) มีข้อดีคืออุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่าย ต้นทุนต่ำ กระบวนการทำงานไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน เก็บข้อมูลภาพถ่ายได้รวดเร็ว ไม่มีการสัมผัสร่างกาย ผู้ถูกวัด จากนั้นได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำ 2 ปัจจัย คือ ระยะระหว่างกล้องกับวัตถุ และความละเอียดของภาพ ผลการทดลองพบว่าอันตรกิริยาอันเนื่องจากระยะวางกล้องไม่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะวางกล้องมีผลต่อความคลาดเคลื่อน ทดลองวัดความสูงของหุ่นคล้ายมนุษย์ เปรียบเทียบระหว่างการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์กับการวัดด้วยเทคนิคประมวลผลภาพถ่าย ที่ความละเอียดภาพ 3456*2304 พิกเซล ผลการทดลอง จะพบว่า ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ เมื่อเพิ่มขึ้น จาก 2.61 , 3.27, 4.67, และ 7 เมตร ส่งผลให้ร้อยละของความคลาดเคลื่อนลดลงจาก 1.6 เป็น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะ 7 เมตร เนื่องจากระยะของการวางกล้องห่างจากวัตถุ มีผลต่อมุมรับภาพของวัตถุที่มีความโค้งและหนา ถ้าระยะห่างที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีขนาดที่ใกล้เคียงค่าจริงมากยิ่งขึ้น และจะได้ภาพถ่ายที่สามารถวัดระยะสัดส่วนร่างกายได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด (ณัฐพล, 2552)

การคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อเบาะนั่งรถยนต์ โดยน้ำหนักของคนคนหนึ่งมีค่าประมาณ 77 กิโลกรัม ร่างกายส่วนบนที่มีการลงน้ำหนักบนสะโพกกันสามารถคำนวณได้จากร้อยละ 66 ของน้ำหนักตัว ดังนั้นสามารถหาค่าน้ำหนักของร่างกายส่วนบนที่จะกระทำต่อสะโพกกันได้จาก $77 \times 66 / 100$ เท่ากับ 50.82 กิโลกรัม (Sprigle, Press, & Davis, 2001)

2.7. นิยามความสบายของการนั่งเบาะรถยนต์ในงานวิจัยนี้

ความสบายในขณะนั่งขับรถยนต์สามารถปรับปรุงที่เบาะรถยนต์ได้หลากหลาย เช่น เบาะรถยนต์ที่ติดตั้งพนักพิงที่เบาะรองนั่งและพนักพิงเพื่อลดอุณหภูมิหรือการเกิดเหงื่อขณะนั่งขับรถยนต์ การเพิ่มฟังก์ชันที่ด้านหลังเพื่อรองรับสรีระให้กับผู้ขับขี่ให้สามารถขับที่รถยนต์ได้นานขึ้น การปรับรูปร่างของเบาะรองนั่งหรือพนักพิงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรองรับสรีระของผู้ขับขี่รถยนต์ ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จะนิยามความสบายของเบาะรถยนต์คือ การตรวจสอบการกระจายแรงของการนั่งและเพิ่มเติมการลดแรงที่กระทำที่ก้นขณะขับที่รถยนต์ โดยใช้เครื่อง Pressure Mapping System (PMS) ในการทดลองและวิเคราะห์งานวิจัยเพราะเป็นเครื่องที่สามารถตรวจสอบการกระจายแรงและหาพื้นที่ผิวสัมผัสขณะนั่งทำการทดลอง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาค่าความแข็งของเบาะรองนั่งรถกระบะจำนวน 3 หมายเลข ที่มีรูปทรงเหมือนกัน ส่งผลต่อแรงที่กระทำที่ก้นขณะนั่งขับซีทรอยนต์เป็นเวลานาน

3.1. การคัดกรองผู้เข้าร่วมการทดลอง

1. อาสาสมัครเป็นพนักงานบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง เพศชายและหญิง มีอายุระหว่าง 23-55 ปี ดัชนีมวลกาย (BMI) อยู่ในเกณฑ์ปกติ (ระหว่าง 18.5-24.9) จำนวน 15 คน
2. มีประสบการณ์ขับรถยนต์มาไม่ต่ำกว่า 1 ปี และปัจจุบันยังคงขับรถยนต์เป็นประจำ
3. ผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีปัญหาภาวะทุพโภชนาการ
4. ผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีความพิการอื่นซับซ้อน เช่น ปัญหาทางจิตใจ อารมณ์ สังคม ปัญหาการสื่อสาร ปัญหาด้านสติปัญญา การรับรู้ เป็นต้น
5. ผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีประวัติการบาดเจ็บหรือผ่าตัดบริเวณก้น
6. มีระยะเวลาการนอนหลับ 4-8 ชั่วโมงต่อวัน
7. ยินดีเข้าร่วมงานวิจัย

3.2. ขั้นตอนการผลิตโฟมเบาะรองนั่ง

จากข้อมูลของบริษัทในกรณีศึกษาโฟมของเบาะรองนั่งโมเดล A ปัจจุบันมีค่าความแข็ง (HN) อยู่ที่ 276.4 N หรือ 28 Kgf ที่ค่าความหนาแน่น 0.050 (g/cm³) ทดลองหาค่าความแข็งใหม่โดยการปรับส่วนผสมของโฟมเบาะนั่งรถยนต์

$$Weight (g) = Pol(g) + Iso(g) \quad (3.1)$$

ผลจากการทดลองปรับส่วนผสมและทำการทดลองของโพลีเอสเตอร์ที่ได้อ้างอิงที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของโพลีเอสเตอร์

ความแข็ง N (kgf.)	Pol (g.)	Iso (g.)	Density (g/cm ²)	Weight (g.)
235.4 (24)	798	368	0.040	1166
276.4 (28)	798	382	0.050	1180
313.9 (32)	798	400	0.060	1198

ขั้นตอนการทดลองความแข็งของโพลี

1. ห้องที่ทำการทดลองต้องอยู่ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 2 องศา และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ $65 \pm 5\%$
2. ชิ้นงานต้องถูกเก็บไว้ในห้อง ดังที่กล่าวไปข้อที่ 1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้โพลีทำการปรับสภาพของชิ้นงานให้คงที่ก่อนทำการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

- ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดลอง
- กดปุ่มปรับค่าตั้งเดิมเพื่อเริ่มใช้งานใหม่
- ติดตั้งชิ้นงานกับแท่นรองชิ้นงานให้ตรงกับตำแหน่งที่เตรียมไว้
- ปรับแป้นกดสัมผัสให้พอดีกับชิ้นงานกับแท่นรองชิ้นงานที่จะทำการทดลอง
- นำชิ้นงานกับแท่นชิ้นงานออกเพื่อทดลองระยะการกดชิ้นงาน
- กดปุ่มเริ่มทำการเริ่มทดสอบเพื่อหาระยะในการกดโพลี (75% ของความหนาโพลี) ก่อนทดลองจริง
- นำชิ้นงานกับแท่นชิ้นงานเข้าไปเพื่อทำการทดลองจริง

สูตรในการคำนวณหา มีดังนี้

T_0 = ระยะแป้นกดสัมผัสกับแท่นวางชิ้นงาน

T_1 = ระยะแป้นกดที่ผิวโพลีเท่ากับ 0.5 kg

T_b = ระยะความสูงของแท่นวางชิ้นงาน

T_f = ความหนาโพลี

T_a = ระยะความสูงของการกดไล่อากาศ (75%) ของความหนาโฟม

T_h = ระยะความสูงของการกดเช็คค่าความแข็งของโฟม (25%) ของความหนาโฟม

ความหนา โฟม

$$T_f = T_1 - T_0 - T_b \quad (3.2)$$

ระยะความสูงของการกดไล่อากาศ (75%) ของความหนาโฟม

$$T_a = T_1 - (0.75 \times T_f) \quad (3.3)$$

ระยะความสูงของการกดเช็คค่าความแข็งของโฟม (25%) ของความหนาโฟม

$$T_h = T_1 - (0.25 \times T_f) \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบความแข็งกับโฟมเบาะรถยนต์

ทดสอบค่าความแข็งของโฟมทั้ง 3 หมายเลขได้แก่ โฟมหมายเลข1มีค่าความแข็งที่ 235.4 N.

โฟมหมายเลข2 มีค่าความแข็งที่ 274.6 N และโฟมหมายเลข3 มีค่าความแข็งที่ 313.9 N.

3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่อง Pressure Mapping System (PMS) รุ่น CER5331-1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงกดทับประกอบด้วยแผ่นเซ็นเซอร์ มีพื้นที่ 70.71 cm x 58.93 cm หรือขนาด 48x40 ช่องเท่ากับ 1920 ช่อง ขนาดพื้นที่ของ 1 ช่องมีค่าเท่ากับ 2.17 cm² ต่อพ่วงเข้ากับคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.2 เครื่อง Pressure Mapping System และโปรแกรมซอฟต์แวร์

2. เครื่องชั่งน้ำหนัก สำหรับการชั่งน้ำหนักตัวผู้เข้าร่วมการทดลองเพื่อสอบเทียบกับเครื่อง Pressure Mapping system



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3. ไม้บรรทัด สำหรับการวัดระยะตำแหน่งติดตั้งเครื่อง Pressure Mapping ลงบนเบาะนั่งรถยนต์



รูปที่ 3.4 ไม้บรรทัดขนาด 60 นิ้ว

4. เบาะนั่งรถยนต์ที่ใช้สำหรับการทดลอง



รูปที่ 3.5 เบาะรถยนต์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

5. ที่พนักเก้าอี้สำหรับการทดลอง



รูปที่ 3.6 ที่พนักเก้าอี้

6. เครื่องวัดระยะสำหรับการติดตั้งเบาะและที่พนักเก้าอี้เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดระยะ

7. เครื่องทดสอบความแข็งโฟมของเบาะรถยนต์



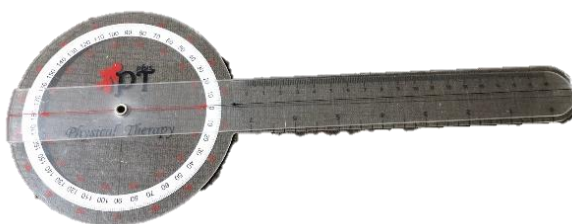
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความแข็ง

8. โฟมของเบาะรถยนต์ที่มีค่าความแข็ง 3 หมายเลขคือ โฟมหมายเลข1มีค่าความแข็งที่ 235.4 N. โฟมหมายเลข2 มีค่าความแข็งที่ 274.6 N และโฟมหมายเลข3 มีค่าความแข็งที่ 313.9 N.



รูปที่ 3.9 โฟมของเบาะรองนั่งรถยนต์ทั้ง 3 หมายเลข

9. เครื่องวัดองศาสำหรับจัดทำทางในการนั่งทดลอง



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดองศา

3.4. วิธีการเก็บข้อมูล

1. การจัดสถานีทดลอง

สถานที่เก็บข้อมูล คือ ในห้องปฏิบัติการของบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง ขนาดของพื้นที่ห้องปฏิบัติการ 80 ตารางเมตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ $45 \pm 5\%RH$

2. ประกอบโพนหมายเลข1 เข้ากับตัวชิ้นงานเบาะที่ใช้สำหรับการทดลอง ทำการทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นโพนหมายเลข2 โพนหมายเลข3 ตามลำดับ

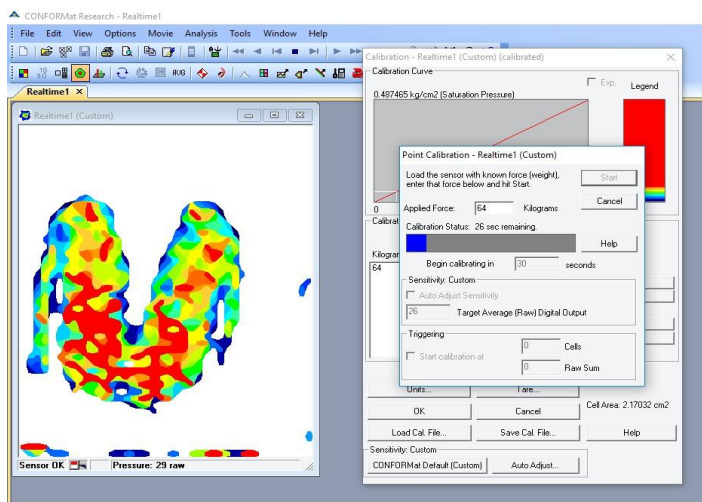
3. ติดตั้งเบาะรถยนต์ตัวอย่างกับที่พักเท้า โดยใช้เครื่องวัดระยะเป็นตัวกำหนด

4. ติดตั้งอุปกรณ์ของ Pressure Mapping System กับตัวเบาะรถยนต์ ดังรูปที่ 3.11



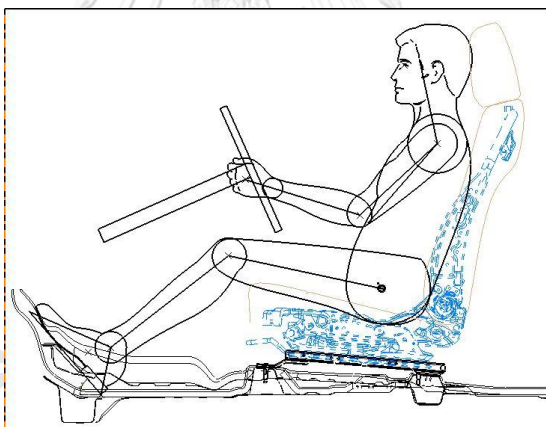
รูปที่ 3.11 ติดตั้งอุปกรณ์ Pressure Mapping System

5. ชั่งน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองก่อนการทดลอง เพื่อสอบเทียบน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองกับเครื่อง Pressure Mapping System โดยผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องยกขาเพื่อให้ น้ำหนักทั้งหมดอยู่บนตัวเบาะที่ใช้สำหรับการทดลอง ดังรูปที่ 3.12



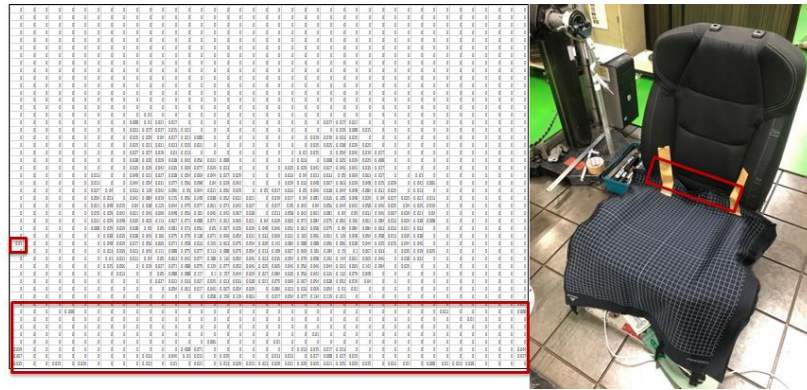
รูปที่ 3.12 การสอบเทียบน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองกับเครื่อง PMS

6. ผู้เข้าร่วมการทดลองนั่งตามหลักกายศาสตร์ ทำการวัดองศาของขาและน่องท่ามุมที่ 120 องศา แขนทั้งสองข้างวางไว้ที่ตำแหน่งพวงมาลัยที่ 3 และ 9 นาฬิกา ดังรูปที่ 3.13



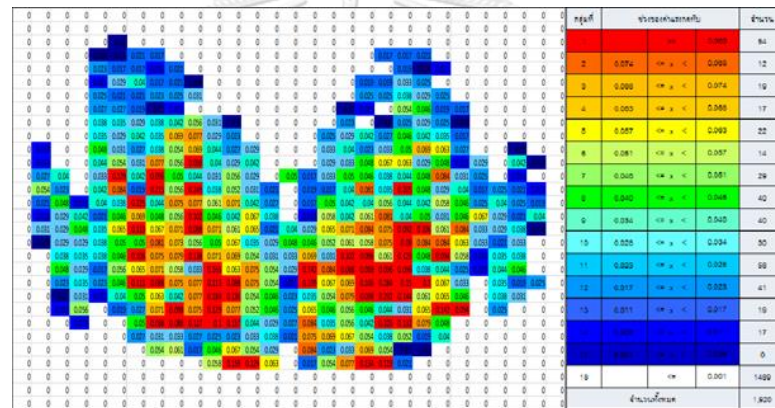
รูปที่ 3.13 ผู้ทดลองนั่งตามหลักกายศาสตร์

7. เก็บข้อมูลหลังจากเริ่มจับเวลาครบ 1 นาทีจะเก็บทันที บวกเวลาไม่เกิน 5 วินาที ใช้เวลาในการนั่งทดลอง 30 นาทีต่อคนต่อโพม 1 หมายเลข โดยเครื่อง Pressure Mapping System ดังรูปที่ 3.14



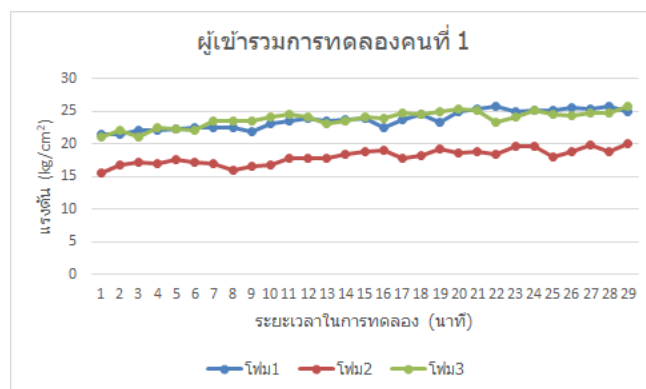
รูปที่ 3.16 การจัดข้อมูลที่ไม่มีผลต่อการทดลอง

10. นำข้อมูลจัดกลุ่มออกเป็น 17 กลุ่มแยกตามสีโดยมีค่าแรงดันตั้งแต่ 0.000 kg/cm² ถึงมากกว่า 0.085 kg/cm² และแจกแจงจำนวนของแต่ละสี ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การจำแนกสีตามค่าแรงดัน

11. รวบรวมข้อมูลการทดลองของโฟมทั้ง 3 หมายเลข ตลอดระยะเวลาในการทดลอง 30 นาที กับผู้เข้าร่วมการทดลองทีละคน หลังจากนั้นทำการตัดข้อมูลที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดจากการทดลองออกเพื่อนำข้อมูลที่เหลือมาทำการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ข้อมูลการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 กับโฟมทั้ง 3 หมายเลข

3.5. ขั้นตอนการคำนวณหาตัวชี้วัดทั้ง 4

สร้างสมการในการหาค่าแรงดันสูงสุด (Peak Pressure: PP kg/cm²)

$$PP = P_{Max} \quad (3.5)$$

เมื่อ P_{max} = ตำแหน่งค่าแรงดันสูงสุด

สร้างสมการในการหาพื้นที่ผิวสัมผัส (Total Contact Area : TCA cm²)

$$TCA = Na \quad (3.6)$$

เมื่อ N = จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่มีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้น

a = พื้นที่ต่อเซลล์รับแรง มีค่าเท่ากับ 2.17 cm²

สร้างสมการในการหาค่าแรงดันเฉลี่ย (Average Pressure : AP kg/cm²) นำสมการที่ 3.6 มาแทนค่าลงในสมการที่ 3.7

$$AP = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{TCA} \quad (3.7)$$

เมื่อ F_i = แรงดันที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งเซลล์

TCA = พื้นที่ผิวสัมผัส (cm²)

สร้างสมการในการหาพื้นที่แรงดันในช่วงสูง (High Pressure area: HPA cm²)

$$HPA = na \quad (3.8)$$

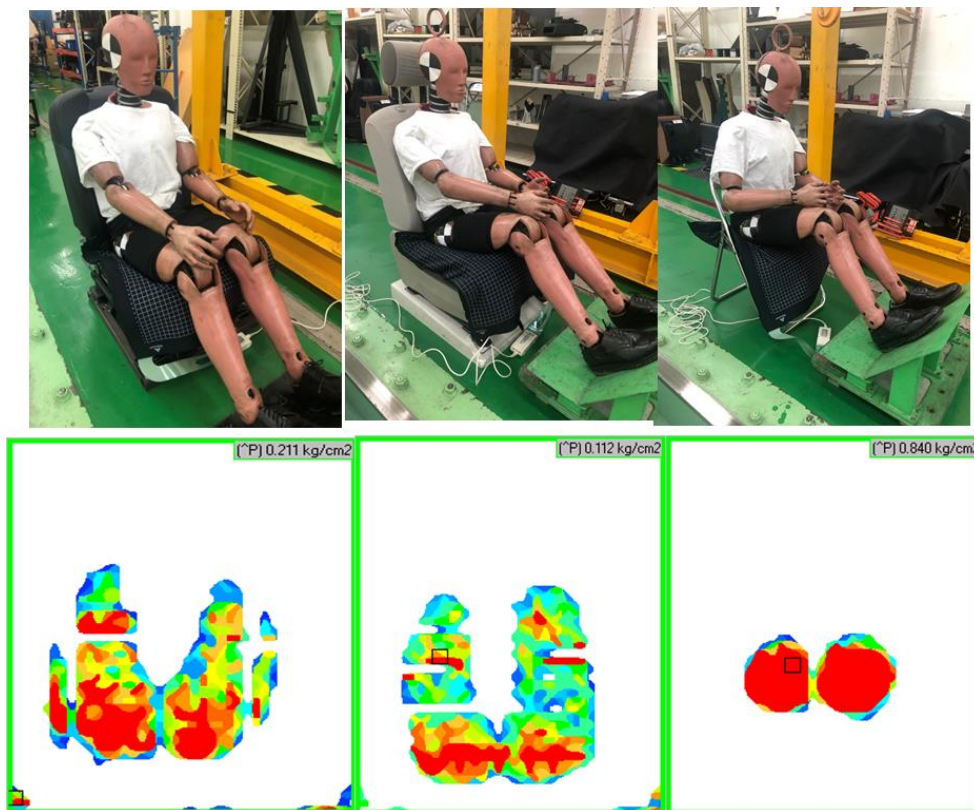
เมื่อ n = จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่มีค่าแรงปฏิกิริยามากกว่า 0.074 kg/cm²

a = พื้นที่ต่อเซลล์รับแรง มีค่าเท่ากับ 2.17 cm²

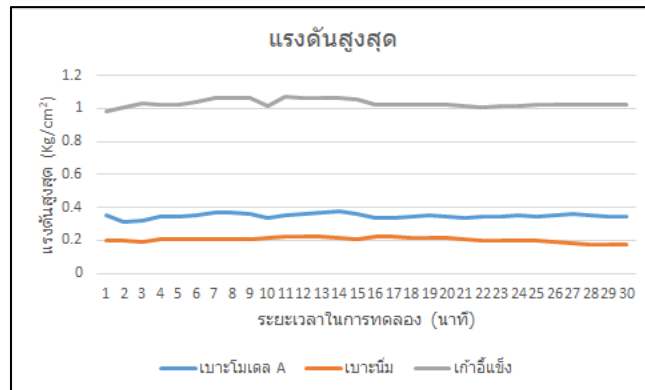
ทั้งนี้ขั้นตอนการคำนวณแบบละเอียดดังกล่าวแสดงไว้ในภาคผนวก ง

3.6. การพิสูจน์ปัจจัยเวลามีผลต่อการทดลอง

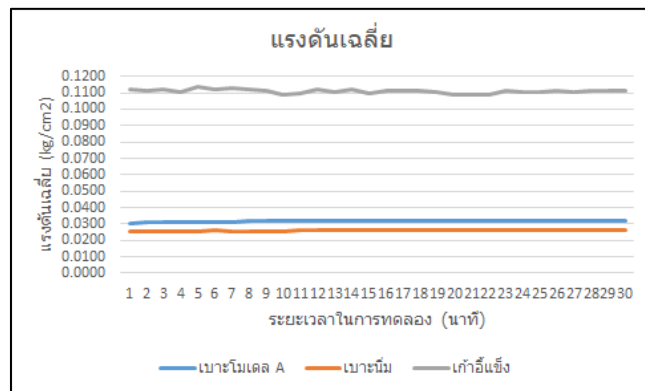
จากการทดลอง ข้อ 1.1.1 จะพบว่าเวลาเป็นปัจจัยของผลการทดลองเนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ค่าตัวชี้วัดทั้ง 4 มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกิดจากตัวผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นปัจจัยทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาเกิดข้อผิดพลาดฉะนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองโดยใช้หุ่นจำลองเพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงไปของปัจจัยเวลาว่าหุ่นจำลอง Hybrid III 50th Male ที่ไม่มีการยับยั้งขณะทำการทดลอง ปัจจัยเวลายังคงมีผลต่อการทดลองหรือไม่ โดยทำการทดลองกับเบาะหรือเก้าอี้ทั้ง 3 ประเภท ดังรูปที่ 1.8 และเอาหุ่นจำลองนั่งทดลองดังรูปที่ 3.19



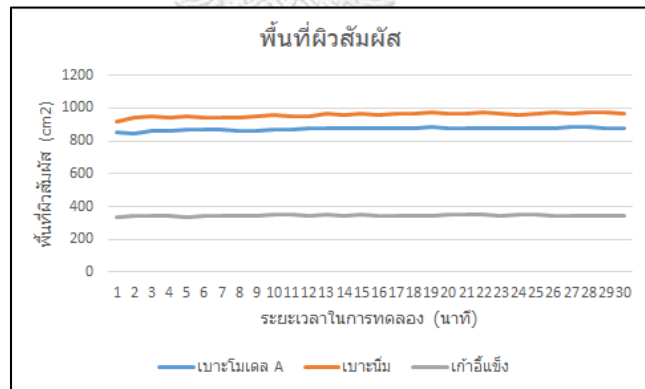
รูปที่ 3.19 ข้อมูลจากการทดลองของโมเดล A ถึง C โดยใช้หุ่นจำลอง Hybrid III 50th Male



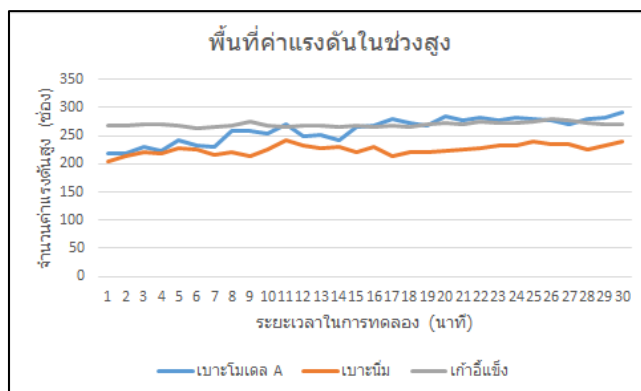
รูปที่ 3.20 แรงดันสูงสุดกับหุ่นจำลอง



รูปที่ 3.21 แรงดันเฉลี่ยกับหุ่นจำลอง



รูปที่ 3.22 พื้นที่ผิวสัมผัสกับหุ่นจำลอง



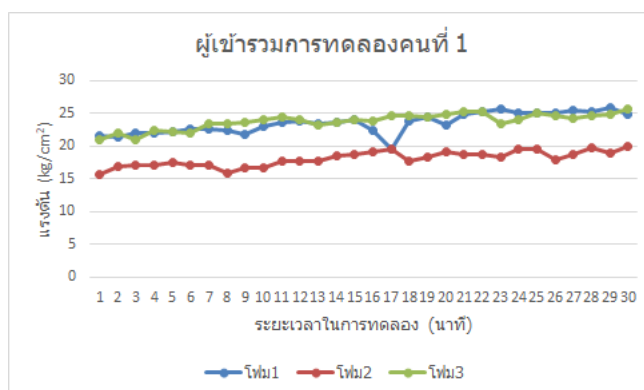
รูปที่ 3.23 พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูงกับหุ่นจำลอง

จากผลการทดลองโดยใช้หุ่นจำลอง Hybrid III 50th Male พบว่าการตัดปัจจัยที่เป็นคนจริงในการนั่งทดลองโดยใช้หุ่นจำลองแทนปัจจัยเวลาที่มีผลต่อการทดลอง แต่เพียงค่าที่เปลี่ยนแปลงไปไม่เท่ากับการทดลองโดยใช้คนจริงๆ สรุปแล้วว่าปัจจัยเวลาที่มีผลต่อการทดลอง

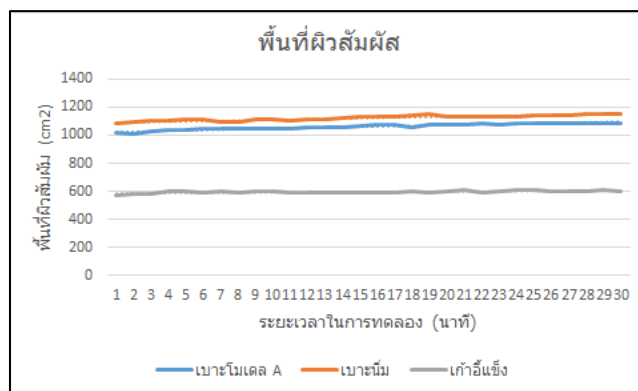
3.7. การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อศึกษาค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งรถกระบะที่มีค่าความแข็งต่างกันจำนวน 3 หมายเลข ที่ส่งผลกระทบต่อแรงที่กระทำต่อกันขณะขับขี่รถยนต์เป็นเวลานาน ผู้วิจัยได้กำหนดตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่

1. ข้อมูลแรงดันเฉลี่ยที่กัน (Average Pressure : AP) คือผลรวมของค่าแรงดันทั้งหมด 17 กลุ่มที่กระทำต่อ 1 นาที จากรูปที่ 3.17 ทำการรวมทั้งหมด 30 ข้อมูลกับโฟมทั้ง 3 หมายเลข โดยประเมินจากแรงดันที่กันตลอดระยะเวลาในการทดลอง 30 นาที โดยประเมินจากค่าแรงดันรวมเฉลี่ยที่กันน้อยที่สุด เพราะสามารถช่วยลดแรงดันเฉลี่ยตลอดระยะเวลาในการทดลอง 30 นาที



รูปที่ 3.24 ข้อมูลการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1 กับโฟมทั้ง 3 หมายเลข



รูปที่ 3.27 ข้อมูลพื้นที่ผิวสัมผัสของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่1 กับโพนทั้ง 3 หมายเลข

3.8. การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาและประเมินผลกระทบต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลดค่าแรงกดทับขณะขับขี่รถยนต์เป็นเวลานาน ซึ่งปัจจัยหลักที่ได้นำมาศึกษาจะมีการกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้มีการกล่าวไว้ในตอนต้น คือ ค่าความแข็งของโพนเบาะรองนั่งรถยนต์ และ เวลาในการทดลอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ผลในปัจจัยทั้งสองนี้ โดยมีรูปแบบการออกแบบการทดลองเป็น General Full Factorial

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองส่วนดังกล่าว จะมีการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการทาง DOE ในรูปแบบ General Full Factorial โดยผ่านโปรแกรม MINITAB เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผล และวิเคราะห์ผลความแตกต่างของเพศด้วยวิธีการวิเคราะห์ One Way ANOVA

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดแรงกระทำที่กันโดยการปรับค่าความแข็งของโพนเบาะรองนั่งรถยนต์ตลอดการขับขี่รถยนต์เป็นเวลานาน โดยตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษา ได้แก่ โพนเบาะรองนั่งรถยนต์ที่มีรูปร่างเหมือนกัน แตกต่างกันที่ค่าความแข็ง โดยกำหนดที่ 2 ปัจจัย คือ ค่าความแข็งของโพนเบาะรองนั่ง (Hardness) และ เวลาในการทดลอง (Time) ซึ่งแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความแข็ง (HN1 = 235.4N , HN2 = 276.4N , HN3 = 313.9N) เวลาในการทดลอง (T1 = Time 1-10 minute , T2 = Time 1-20 minute , T3 = Time 1-30 minute) โดยทั้งหมดจะมีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ General Full Factorial Design 3x3 ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลการวิจัยใช้ตัวชี้วัด 4 ประเภท คือ

- ข้อมูลแรงดันสูงสุด (Peak Pressure: PP) ประเมินจากค่าแรงดันสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะนั่งทดลอง ตลอดระยะเวลา 30 นาที
- ข้อมูลพื้นที่ผิวสัมผัส (Total Contact Area: TCA) ประเมินจากจำนวนพื้นที่การสัมผัสรวมระหว่างเบาะที่ทำการทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองขณะนั่งทดลองตลอดระยะเวลา 30 นาที
- ข้อมูลแรงดันเฉลี่ย (Average Pressure : AP) ประเมินจากค่าแรงดันรวมที่ก้นต่อพื้นที่ผิวสัมผัสตลอดระยะเวลาการนั่งทดลองตลอดระยะเวลา 30 นาที
- ข้อมูลพื้นที่ของค่าแรงดันสูง (High Pressure Area : HPA) ประเมินจากจำนวนพื้นที่ที่มีค่าแรงดันมากกว่า 0.074 kg/cm^2 ที่ก้นตลอดระยะเวลาการนั่งทดลองตลอดระยะเวลา 30 นาที



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้มีผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งเพศชายและหญิง จำนวนทั้งหมด 15 คน อายุระหว่าง 22-55 ปี ดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ ($18.5-24.9 \text{ kg/m}^2$) และส่วนสูง 155-180 เซนติเมตร โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองนั่งเบาหรยยนต์ตัวอย่าง ตลอดระยะเวลา 30 นาที ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลอง

ลำดับ	เพศ	อายุ (ปี)	ส่วนสูง (ม.)	น้ำหนัก (กก.)	ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)
1	หญิง	28	160	54	21.09
2	หญิง	28	173	69	23.05
3	หญิง	37	162	56	21.34
4	หญิง	31	160	58	22.66
5	หญิง	24	161	58	22.38
6	ชาย	34	169	64	22.41
7	ชาย	35	171	71	24.28
8	ชาย	23	180	75	23.15
9	ชาย	23	171	56	19.15
10	ชาย	23	166	65	23.59
11	ชาย	31	178	65	20.52
12	ชาย	32	176	60	19.37
13	ชาย	33	168	62	21.97
14	ชาย	28	178	68	21.46
15	ชาย	22	175	66	21.55

ปัจจัยค่าความแข็งโฟมเบาะรองนั่ง (Hardness)

H_0 : ค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างๆ ของค่าความแข็งโฟมไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างๆ ของค่าความแข็งโฟม แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

ปัจจัยเวลาในการทดลอง (Time)

H_0 : ค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างๆ ของค่าเวลาขณะการนั่งทดลองไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างๆ ของค่าเวลาขณะการนั่งทดลองแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

4.1. การประเมินแรงดันสูงสุด (Peak Pressure : PP)

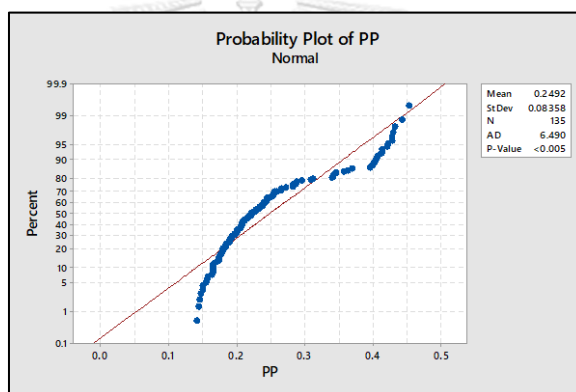
4.1.1. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของแรงดันสูงสุดของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน

Subjects	1-10			1-20			1-30		
	โฟม1	โฟม2	โฟม3	โฟม1	โฟม2	โฟม3	โฟม1	โฟม2	โฟม3
F1	0.165	0.183	0.207	0.170	0.180	0.233	0.173	0.180	0.239
F2	0.166	0.184	0.189	0.165	0.178	0.197	0.165	0.177	0.197
F3	0.147	0.286	0.212	0.154	0.291	0.208	0.157	0.287	0.185
F4	0.199	0.229	0.266	0.210	0.239	0.272	0.218	0.238	0.265
F5	0.189	0.218	0.253	0.200	0.227	0.259	0.207	0.226	0.252
M1	0.245	0.205	0.193	0.238	0.200	0.194	0.240	0.204	0.205
M2	0.209	0.208	0.209	0.224	0.208	0.211	0.229	0.211	0.215
M3	0.286	0.192	0.265	0.289	0.185	0.257	0.287	0.184	0.254
M4	0.370	0.428	0.408	0.339	0.442	0.405	0.341	0.453	0.402
M5	0.192	0.176	0.175	0.189	0.174	0.179	0.190	0.173	0.184
M6	0.357	0.414	0.403	0.345	0.422	0.396	0.344	0.429	0.400
M7	0.411	0.413	0.421	0.364	0.399	0.428	0.342	0.405	0.343
M8	0.164	0.142	0.150	0.162	0.146	0.150	0.164	0.144	0.155
M9	0.244	0.221	0.244	0.240	0.233	0.248	0.254	0.253	0.242
M10	0.311	0.197	0.217	0.309	0.202	0.234	0.296	0.206	0.246

4.1.2. การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล

การวิเคราะห์ขั้นแรกคือ การตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.1 สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูลจากแผนภาพความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) พบว่าค่าของข้อมูลแรงดันสูงสุดไม่เป็นแนวของเส้นตรง โดยมีส่วนปลายของข้อมูลที่มีการกระจายและไม่เกาะติดเส้นตรง และมี P-value < 0.005 จึงทำให้สรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงหรือการกระจายตัวแบบไม่เป็นปกติ ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดมาจากความแตกต่างของสรีระของผู้เข้าร่วมการทดลองทำให้เกิดความแตกต่างของค่าแรงดันที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแปรปรวนที่สูงตามไปด้วย เช่น ค่าดัชนีมวลกายของผู้ชายน้อยกว่า 20.5 kg/m² กับ ค่าแรงดันสูงสุดจะมีค่ามาก อันเนื่องมาจากคนที่พอมจะมี การสัมผัสระหว่างกระดูกและเบาสะรอนนั่งได้ใกล้กันมากกว่าคนที่อ้วน



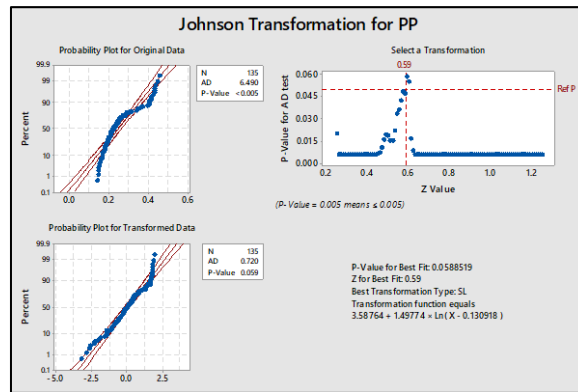
รูปที่ 4.1 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความดันสูงสุด

เนื่องจากตรวจสอบข้อมูลของค่าแรงดันสูงสุดขั้นต้น มีการแจกแจงไม่ปกติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกวิธีการแปลงข้อมูลด้วย Johnson Transformation เพื่อนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาแปลงค่าข้อมูลเดิมให้เป็นมาตราใหม่เป็นแบบฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน (Inverse Hyperbolic Sine) ทั้งนี้เพื่อทำให้ข้อมูลมาตราใหม่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งผลจากการแปลงข้อมูลเป็นไปดังรูปที่ 4.2

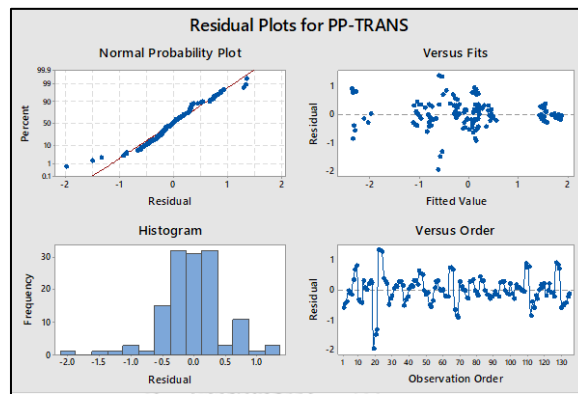
$$T_{Transformation} = 3.58764 + 1.49774 \times \ln(T - 0.130918)$$

เมื่อ $T_{Transformation}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดใหม่ที่ผ่านการแปลงค่าแล้ว

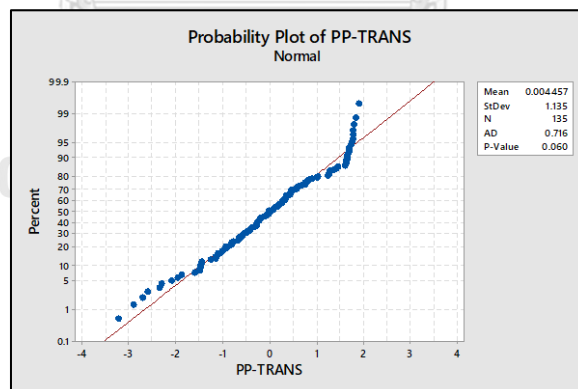
T คือ ค่าแรงดันสูงสุด



รูปที่ 4.2 ผลการแปลงข้อมูลค่าแรงดันสูงสุดจาก Johnson Transformation



รูปที่ 4.3 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้านฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของความดันสูงสุด



รูปที่ 4.4 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของแรงดันสูงสุด

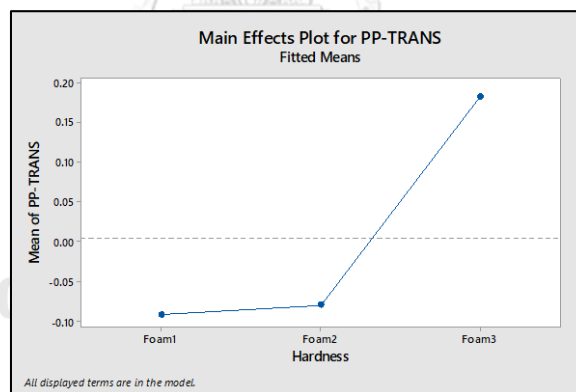
จากการแปลงข้อมูลค่าแรงดันสูงสุด ซึ่งเป็นข้อมูลเดิมให้เป็นมาตราใหม่เป็นฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด และได้นำข้อมูลมาตราใหม่ของค่าแรงดันสูงสุดเป็นตัวแปรสำหรับการพิจารณาความเหมาะสมของฟังก์ชันต่อข้อมูลที่มีการแปลงค่าแล้ว ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพ

ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.3 พบว่า จากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูล ด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยพิจารณาได้จากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด ไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังรูปที่ 4.4 ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมี P-Value = 0.060 ซึ่งของเดิมคือ P-Value < 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด ได้ผ่านการตรวจสอบของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial Design 3x3 ของทั้ง 2 ปัจจัย คือ ค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่ง และ เวลาในการทดลอง ซึ่งผลของ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยค่าความแข็งของโฟม มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันสูงสุดขณะนั่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 นาที หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความแข็งของโฟมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-Value < 0.05) ต่อค่าแรงดันสูงสุด และเวลาไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันสูงสุดขณะนั่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 นาที หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความแข็งของโฟมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-Value > 0.05) ต่อค่าแรงดันสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง (P-Value > 0.05) ดังรูปที่ 4.5

General Factorial Regression: PP-TRANS versus Blocks, Hardness, Time					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Hardness	3	Foam1, Foam2, Foam3			
Time	3	T1, T2, T3			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	22	140.726	6.39662	22.49	0.000
Blocks	14	138.313	9.87950	34.74	0.000
Linear	4	2.383	0.59585	2.09	0.086
Hardness	2	2.187	1.09366	3.85	0.024
Time	2	0.196	0.09805	0.34	0.709
2-Way Interactions	4	0.029	0.00733	0.03	0.999
Hardness*Time	4	0.029	0.00733	0.03	0.999
Error	112	31.855	0.28442		
Total	134	172.581			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0.533308	81.54%	77.92%	73.18%		

รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการลดแรงกดทับด้านไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่า ปัจจัยค่าความแข็งของโฟมมีอิทธิพล ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยเดียวกันที่มีต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด โดยใช้วิธีการของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ดังรูปที่ 4.7-4.8



รูปที่ 4.6 แนวโน้มของปัจจัยค่าความแข็งต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุด

Tukey Pairwise Comparisons: Hardness

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Hardness	N	Mean	Grouping
Foam3	45	0.184330	A
Foam2	45	-0.079306	B
Foam1	45	-0.091651	B

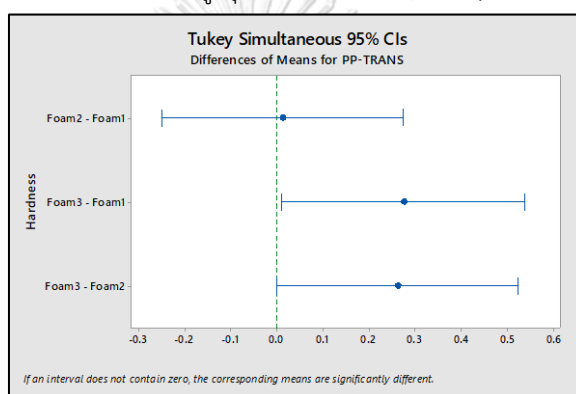
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Hardness Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
Foam2 - Foam1	0.012	0.111	(-0.250, 0.275)	0.11	0.993
Foam3 - Foam1	0.276	0.111	(0.013, 0.539)	2.50	0.037
Foam3 - Foam2	0.264	0.111	(0.001, 0.526)	2.39	0.049

Individual confidence level = 98.09%

รูปที่ 4.7 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยค่าความแข็งต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุดโดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ของปัจจัยค่าความแข็งต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันสูงสุดโดยใช้วิธีการของ Tukey

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงดันสูงสุดพบว่า ค่าความแข็งของโฟมมีค่า P-value < 0.05 (0.025) มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันสูงสุด แต่เวลาในการทดลองไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ P-value > 0.05 (0.719) ซึ่งทำการทดลองแบบรายคู่ซึ่งพบว่าค่าแรงดันเฉลี่ยที่ระดับความแข็งโฟมหมายเลข 1 กับหมายเลข 3 และโฟมหมายเลข 2 กับโฟมหมายเลข 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ P-value < 0.05 (0.037) และ P-value < 0.05 (0.049) ตามลำดับ

สรุปผลของการทดลองพบว่าการลดแรงดันสูงสุดโดยการปรับปรุงค่าความแข็งของโฟม พบว่าโฟมหมายเลข 1 และ โฟมหมายเลข 3 ไม่มีอิทธิพลต่อการลดแรงดันสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าดูจากแนวโน้มของค่าแรงดันสูงสุดของโฟมหมายเลข 1 ก็สามารถลดค่าแรงดันสูงสุดลดลง แต่ยังไม่ทำให้ผลทางการวิเคราะห์ทางสถิติมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าแรงดันสูงสุดกับเพศของผู้ทดลอง

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ One Factor ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) มีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

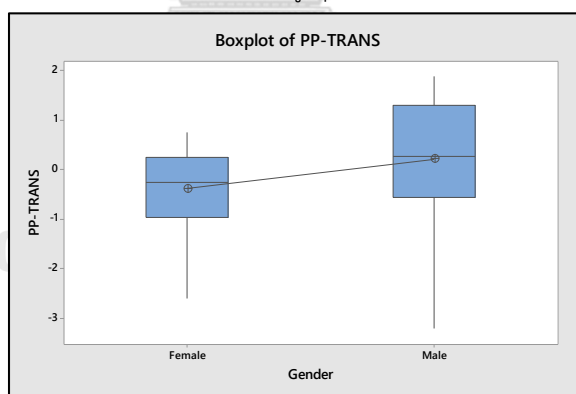
H_0 : ค่าแรงดันสูงสุดที่ระดับต่างๆของความแข็งแรงโปมทั้งเพศชายและหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ค่าแรงดันสูงสุดที่ระดับต่างๆของความแข็งแรงโปมทั้งเพศชายและหญิง มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Gender	2	Female, Male			

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Gender	1	10.73	10.731	8.82	0.004
Error	133	161.85	1.217		
Total	134	172.58			

รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันสูงสุด One Factor ANOVA ของเพศ



รูปที่ 4.10 แผนภาพกล่องของค่าแรงดันสูงสุดของเพศ

จากการวิเคราะห์ One Factor ANOVA เพื่อพิจารณาเพศชายและเพศหญิงที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันสูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยดูจากค่า P-value พบว่า $P\text{-value} < 0.05$ แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันสูงสุดในการนั่งขับรถยนต์ทั้งเพศชายและเพศหญิง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเพศหญิงมีค่าแรงดันสูงสุดน้อยกว่าเพศชาย

4.2. การประเมินแรงดันเฉลี่ย (Average Pressure: AP)

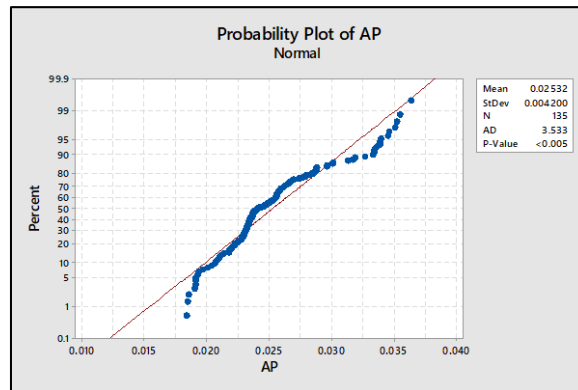
4.2.1. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แรงดันเฉลี่ยของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน

Subjects	1-10			1-20			1-30		
	โพม1	โพม2	โพม3	โพม1	โพม2	โพม3	โพม1	โพม2	โพม3
F1	0.0225	0.0231	0.0257	0.0227	0.0237	0.0261	0.0233	0.0236	0.0262
F2	0.0222	0.0230	0.0228	0.0224	0.0232	0.0231	0.0228	0.0234	0.0234
F3	0.0185	0.0193	0.0191	0.0184	0.0190	0.0191	0.0184	0.0191	0.0194
F4	0.0233	0.0247	0.0255	0.0243	0.0251	0.0261	0.0247	0.0253	0.0264
F5	0.0218	0.0230	0.0237	0.0220	0.0233	0.0248	0.0222	0.0236	0.0240
M1	0.0196	0.0200	0.0233	0.0197	0.0206	0.0229	0.0198	0.0221	0.0232
M2	0.0236	0.0239	0.0228	0.0238	0.0242	0.0229	0.0237	0.0244	0.0231
M3	0.0261	0.0255	0.0279	0.0265	0.0256	0.0283	0.0266	0.0258	0.0287
M4	0.0313	0.0339	0.0339	0.0317	0.0354	0.0346	0.0319	0.0364	0.0351
M5	0.0285	0.0276	0.0287	0.0287	0.0270	0.0296	0.0285	0.0268	0.0301
M6	0.0256	0.0288	0.0267	0.0259	0.0296	0.0274	0.0259	0.0301	0.0279
M7	0.0327	0.0333	0.0336	0.0334	0.0335	0.0345	0.0340	0.0333	0.0352
M8	0.0199	0.0218	0.0213	0.0204	0.0221	0.0218	0.0207	0.0225	0.0219
M9	0.0234	0.0241	0.0248	0.0238	0.0246	0.0257	0.0241	0.0248	0.0257
M10	0.0232	0.0252	0.0235	0.0231	0.0255	0.0234	0.0233	0.0256	0.0237

4.2.2. การตรวจสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล

การวิเคราะห์ขั้นแรกคือ การตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.11 สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูลจากแผนภาพความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) พบว่าค่าของข้อมูลแรงดันเฉลี่ยไม่เป็นแนวของเส้นตรง โดยมีส่วนปลายของข้อมูลที่มีการกระจายและไม่เกาะติดเส้นตรง และมี P-value < 0.005 จึงทำให้สรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงหรือการกระจายตัวแบบไม่เป็นปกติ ซึ่งสาเหตุที่น่าจะเกิดมาจากความแตกต่างของสรีระของผู้เข้าร่วมการทดลองทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ยที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแปรปรวนที่สูงตามไปด้วย



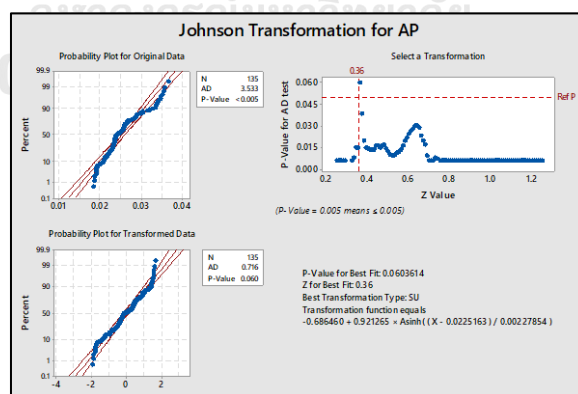
รูปที่ 4.11 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของแรงดันเฉลี่ย

เนื่องจากตรวจสอบข้อมูลของค่าแรงดันเฉลี่ยขั้นต้นมีการแจกแจงไม่ปกติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกวิธีการแปลงข้อมูลด้วย Johnson Transformation เพื่อนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาแปลงค่าข้อมูลเดิมให้เป็นมาตราใหม่เป็นแบบฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน (Inverse Hyperbolic Sine) ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลมาตราใหม่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งผลจากการแปลงข้อมูลเป็นไปดังรูปที่ 4.12

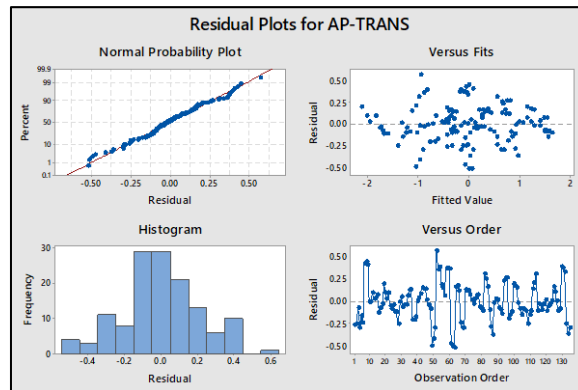
$$T_{Transformation} = -0.686460 + 0.921265 \times \text{Asinh}\left(\frac{T - 0.0225163}{0.00227854}\right)$$

เมื่อ $T_{Transformation}$ คือ ค่าแรงดันเฉลี่ยใหม่ที่ผ่านการแปลงค่าแล้ว

T คือ ค่าแรงดันเฉลี่ย

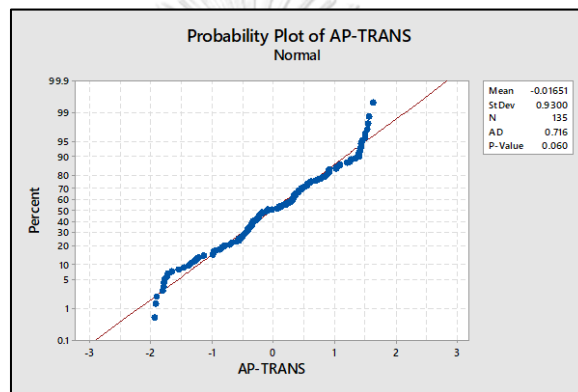


รูปที่ 4.12 ผลการแปลงข้อมูลแรงดันเฉลี่ยจาก Johnson Transformation



รูปที่ 4.13 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้านฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของแรงดัน

เฉลี่ย



รูปที่ 4.14 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของแรงดันเฉลี่ย

จากการแปลงข้อมูลค่าแรงดันเฉลี่ยซึ่งเป็นข้อมูลเดิมให้เป็นมาตราใหม่เป็นฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันเฉลี่ยและได้นำข้อมูลมาตราใหม่ของค่าแรงดันเฉลี่ยเป็นตัวแปร สำหรับการพิจารณาความเหมาะสมของฟังก์ชันต่อข้อมูลที่มีการแปลงค่าแล้ว ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.14 พบว่า จากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูลด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันเฉลี่ยมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยพิจารณาได้จากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันเฉลี่ยไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณา

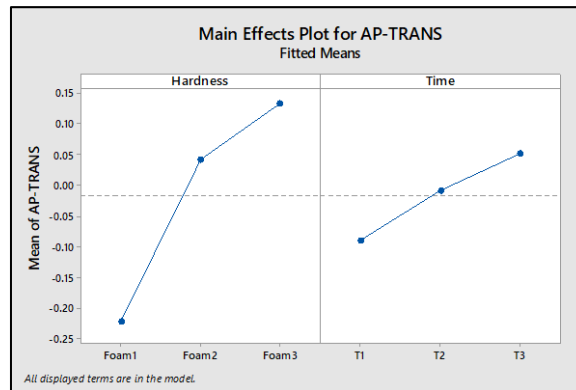
จากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังรูปที่ 4.13 ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมี P-Value = 0.060 ซึ่งของเดิมคือ P-Value<0.005 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของค่าแรงดันเฉลี่ยได้ผ่านการตรวจสอบของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial Design 3x3 ของทั้ง 2 ปัจจัย คือ ค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง ซึ่งผลของ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลองมีอิทธิพลต่อแรงดันเฉลี่ยขณะนั่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 นาที หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความแข็งของโฟมและเวลามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-Value<0.05) ต่อแรงดันเฉลี่ย นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง (P-Value>0.05) ดังรูปที่ 4.15

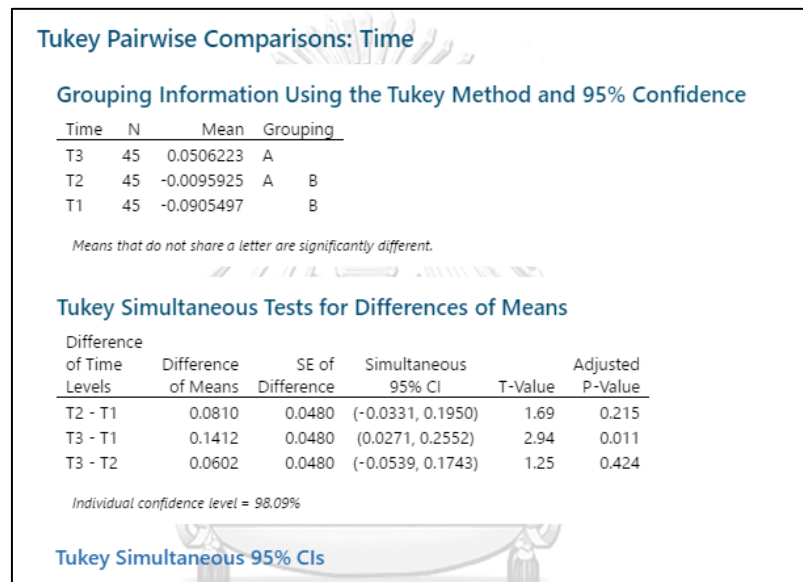
General Factorial Regression: AP-TRANS versus Blocks, Hardness, Time					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Hardness	3	Foam1, Foam2, Foam3			
Time	3	T1, T2, T3			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	22	109.870	4.99411	92.98	0.000
Blocks	14	106.359	7.59711	141.44	0.000
Linear	4	3.510	0.87758	16.34	0.000
Hardness	2	3.059	1.52933	28.47	0.000
Time	2	0.452	0.22582	4.20	0.017
2-Way Interactions	4	0.001	0.00015	0.00	1.000
Hardness*Time	4	0.001	0.00015	0.00	1.000
Error	112	6.016	0.05371		
Total	134	115.886			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0.231763	94.81%	93.79%	92.46%		

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการลดแรงกดทับของแรงดันเฉลี่ย

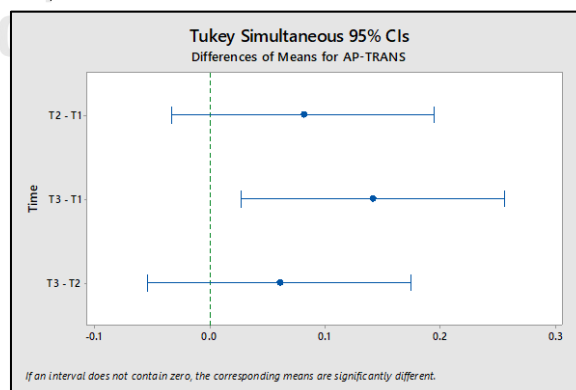
จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่า ปัจจัยค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลองมีอิทธิพลต่อการทดลอง ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยเดียวกันที่มีต่อแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ดังรูปที่ 4.17-4.20



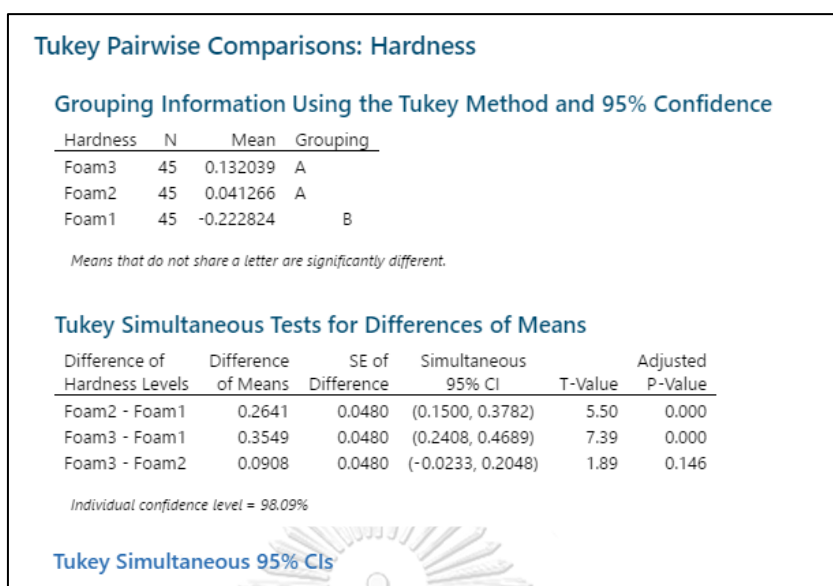
รูปที่ 4.16 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อแรงดันเฉลี่ย



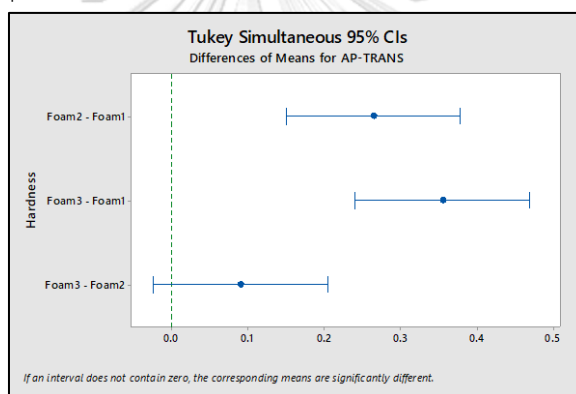
รูปที่ 4.17 ข้อมูลการจัดกลุ่มเวลาของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาในระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.19 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของแรงดันเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Tukey

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแรงดันเฉลี่ยพบว่า ปัจจัยค่าความแข็งของโฟมมีอิทธิพลต่อค่าแรงดันเฉลี่ย $P\text{-value} < 0.05$ (0.000) และปัจจัยเวลาในการทดลองมีอิทธิพลต่อค่าแรงดันเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 $P\text{-value} > 0.05$ (0.017)

ซึ่งทำการทดลองแบบรายคู่ซึ่งของค่าความแข็งของโฟม พบว่าโฟมหมายเลข1กับหมายเลข2 และโฟมหมายเลข1กับหมายเลข3 มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ $P\text{-value} < 0.05$ (0.000) และ $P\text{-value} < 0.05$ (0.000) ตามลำดับ แต่โฟมหมายเลข2กับหมายเลข3 ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ $P\text{-value} < 0.05$ (0.146)

ส่วนการทดลองแบบรายคู่ซึ่งของเวลาในการทดลอง พบว่าเวลาช่วงที่1 (T1) กับเวลาช่วงที่2 (T2) และเวลาช่วงที่2 (T2) กับเวลาช่วงที่3 (T3) ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ P-value < 0.05 (0.215) และ P-value < 0.05 (0.424) ตามลำดับ แต่เวลาช่วงที่1 (T1) กับเวลาช่วงที่3 (T3) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ P-value < 0.05 (0.011)

สรุปผลของการทดลองพบว่าแรงดันเฉลี่ยลดลงโดยการปรับปรุงค่าความแข็งของโฟม โดยโฟมหมายเลข 1 มีอิทธิพลต่อการลดแรงดันเฉลี่ยมากกว่าโฟมทั้ง 2 หมายเลข



4.2.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติแรงดันเฉลี่ยกับเพศของผู้ทดลอง

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ One Factor ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) มีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

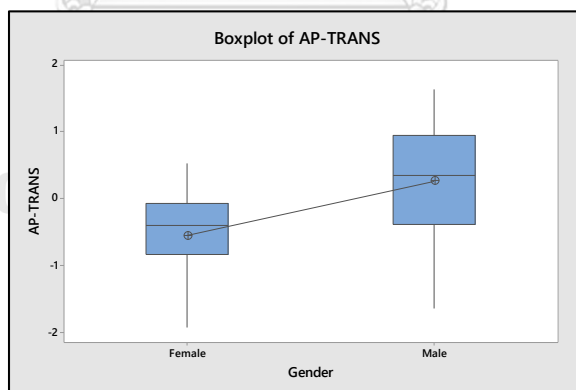
H_0 : แรงดันเฉลี่ยที่ระดับต่างๆของความแข็งแรงทั้งเพศชายและหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : แรงดันเฉลี่ยที่ระดับต่างๆของความแข็งแรงทั้งเพศชายและหญิง มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Gender	2	Female, Male			

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Gender	1	19.92	19.9174	27.60	0.000
Error	133	95.97	0.7216		
Total	134	115.89			

รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์แรงดันเฉลี่ย One Factor ANOVA ของเพศ



รูปที่ 4.22 แผนภาพกล่องของแรงดันเฉลี่ยต่อเพศ

จากการวิเคราะห์ One Factor ANOVA เพื่อพิจารณาเพศชายและเพศหญิงที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-value พบว่า $P\text{-value} < 0.05$ แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันเฉลี่ยในการนั่งขับรถยนต์ทั้งเพศชายและเพศหญิง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเพศหญิงมีค่าแรงดันเฉลี่ยน้อยกว่าเพศชาย

4.3. การประเมินพื้นที่ผิวสัมผัส (Total Contact Area: TCA)

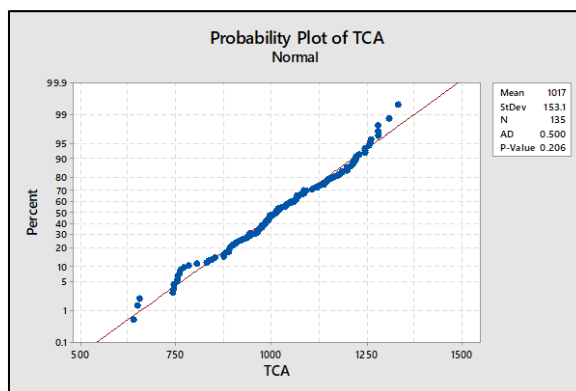
4.3.1. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิวสัมผัสของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน

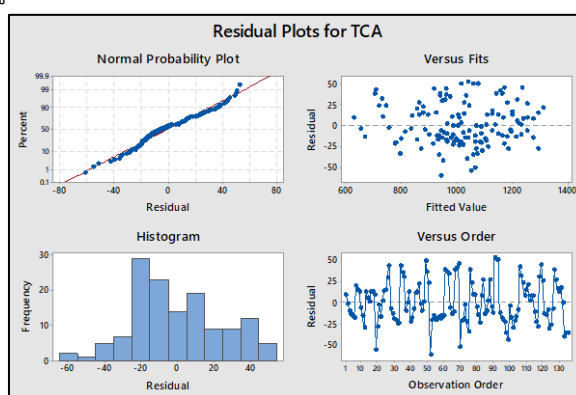
Subjects	1-10			1-20			1-30		
	โพนม1	โพนม2	โพนม3	โพนม1	โพนม2	โพนม3	โพนม1	โพนม2	โพนม3
F1	991.7	916.8	876.2	1000.9	930.9	893.7	1010.3	941.9	906.7
F2	1245.4	1211.5	1139.5	1256.4	1221.4	1161.1	1260.7	1229.8	1173.0
F3	993.4	979.5	937.4	1040.5	1015.6	973.9	1084.3	1039.8	1004.2
F4	1036.0	970.4	960.9	1050.6	983.0	974.8	1061.5	997.0	985.9
F5	955.5	889.8	850.8	985.0	912.6	874.8	1015.6	936.1	899.7
M1	1065.9	1063.8	880.1	1077.5	1066.9	943.6	1105.5	1067.4	964.0
M2	1043.1	990.9	975.6	1063.5	1011.7	995.6	1084.3	1024.8	1009.0
M3	1185.3	1176.4	1014.0	1197.8	1196.8	1066.0	1217.7	1214.2	1083.8
M4	753.8	742.1	639.9	754.2	744.2	648.4	760.4	743.7	654.8
M5	963.7	921.7	888.5	1015.7	942.4	878.1	1051.6	966.6	877.2
M6	1090.6	973.7	890.1	1108.7	984.1	898.5	1125.7	995.2	906.9
M7	830.5	760.6	751.0	836.4	782.0	762.3	843.0	803.6	769.8
M8	1280.0	1222.4	1136.4	1307.7	1244.7	1146.3	1330.9	1258.3	1156.0
M9	1245.1	1148.8	1058.3	1279.5	1165.4	1084.7	1278.0	1184.4	1120.1
M10	1197.8	1119.7	994.3	1206.7	1142.1	1020.8	1214.4	1137.7	1037.1

4.3.2. การตรวจสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังรูปที่ 4.23 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ($P\text{-Value} > 0.05$) สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อ



รูปที่ 4.23 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของพื้นที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 4.24 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของพื้นที่ผิวสัมผัส

จากข้อมูลพื้นที่ผิวสัมผัส ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.24 พบว่า จากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูล ด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง ส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้าง ข้อมูลของพื้นที่ผิวสัมผัส มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยพิจารณาได้จากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับ ค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลของพื้นที่ผิวสัมผัส ไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังรูปที่ 4.24 ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตาม แนวเส้นตรง และมี P-Value = 0.206 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลของพื้นที่ผิวสัมผัส ได้ผ่านการตรวจสอบของ ความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ

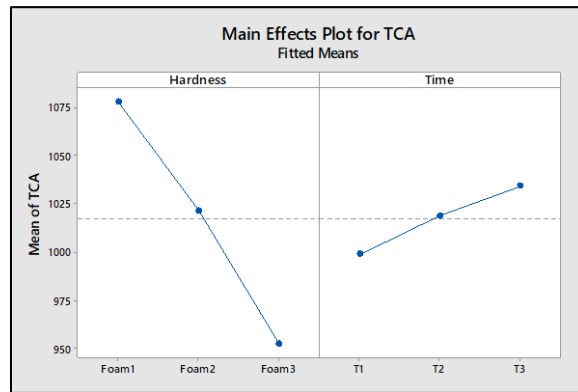
ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial Design 3x3 ของทั้ง 2 ปัจจัย คือ ค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง ซึ่งผลของ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลอง มีอิทธิพลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสขณะนั่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 นาที หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความแข็งของโฟมและเวลามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($P\text{-Value} < 0.05$) ต่อพื้นที่ผิวสัมผัส นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง ($P\text{-Value} > 0.05$) ดังรูปที่ 4.25

General Factorial Regression: TCA versus Blocks, Hardness, Time					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Hardness	3	Foam1, Foam2, Foam3			
Time	3	T1, T2, T3			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	22	3057505	138977	190.96	0.000
Blocks	14	2675968	191141	262.63	0.000
Linear	4	381236	95309	130.96	0.000
Hardness	2	353241	176620	242.68	0.000
Time	2	27995	13998	19.23	0.000
2-Way Interactions	4	301	75	0.10	0.981
Hardness*Time	4	301	75	0.10	0.981
Error	112	81514	728		
Total	134	3139018			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
26.9778	97.40%	96.89%	96.23%		

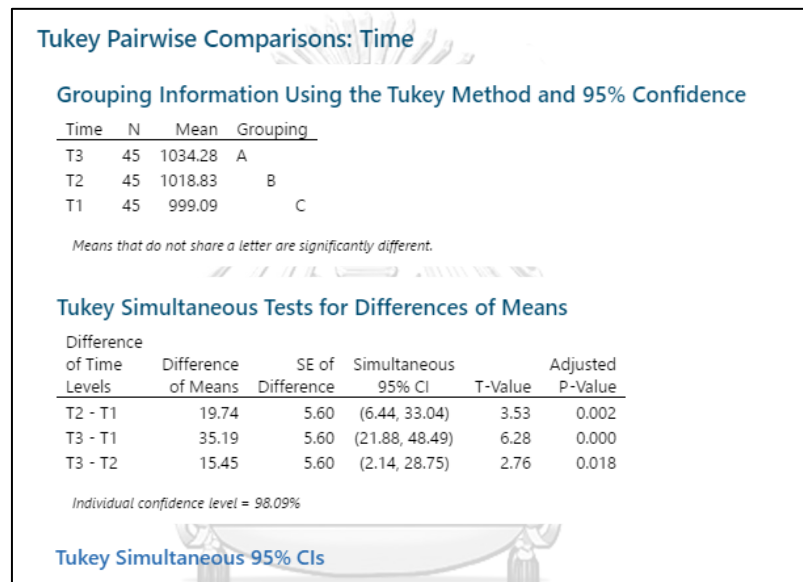
รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัส

CHULALONGKORN UNIVERSITY

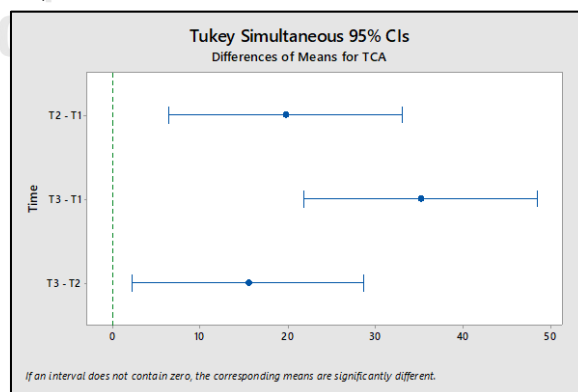
จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่า ปัจจัยค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลองมีอิทธิพลต่อการทดลอง ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยเดียวกันที่มีต่อพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ดังรูปที่ 4.27-4.30



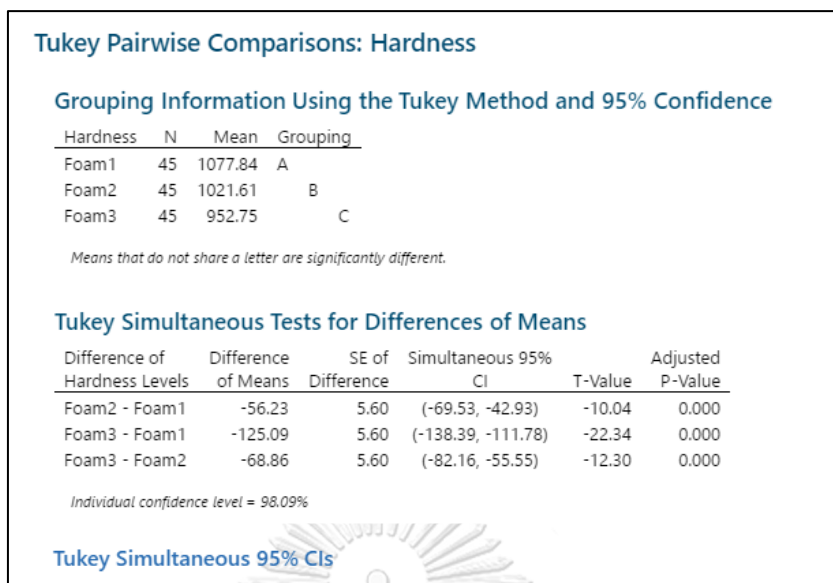
รูปที่ 4.26 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อพื้นที่ผิวสัมผัส



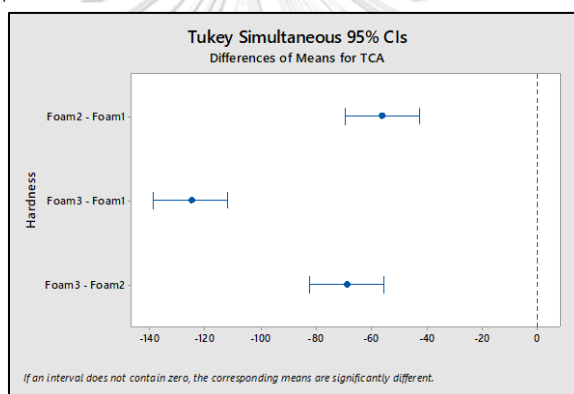
รูปที่ 4.27 ข้อมูลการจัดกลุ่มเวลาของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาในระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.29 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพื้นที่ผิวสัมผัสพบว่า ค่าความแข็งของโฟมมีค่า P-value < 0.05 (0.000) และเวลาในการทดลองมีผลต่อการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 P-value > 0.05 (0.000)

ซึ่งทำการทดลองแบบรายคู่ซึ่งของค่าความแข็งของโฟม พบว่าโฟมหมายเลข1กับหมายเลข2 โฟมหมายเลข1กับหมายเลข3 และโฟมหมายเลข2กับหมายเลข3 มีผลอย่างมีนัยสำคัญ P-value < 0.05 (0.000) ทั้ง 3 รายคู่

ส่วนการทดลองแบบรายคู่ซึ่งของเวลาในการทดลอง พบว่าเวลาช่วงที่1 (T1) กับเวลาช่วงที่2 (T2) เวลาช่วงที่2 (T2) กับเวลาช่วงที่3 (T3) และเวลาช่วงที่1 (T1) กับเวลาช่วงที่3 (T3) มีผลอย่างมี

นัยสำคัญ $P\text{-value} < 0.05$ (0.002), $P\text{-value} < 0.05$ (0.000) และ $P\text{-value} < 0.05$ (0.018)
ตามลำดับ

สรุปผลของการทดลองพบว่าพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มโดยการปรับปรุงค่าความแข็งของโคม โดย
โคมหมายเลข 1 มีอิทธิพลต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าโคมทั้ง 2 หมายเลข



4.3.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ผิวสัมผัสกับเพศของผู้ทดลอง

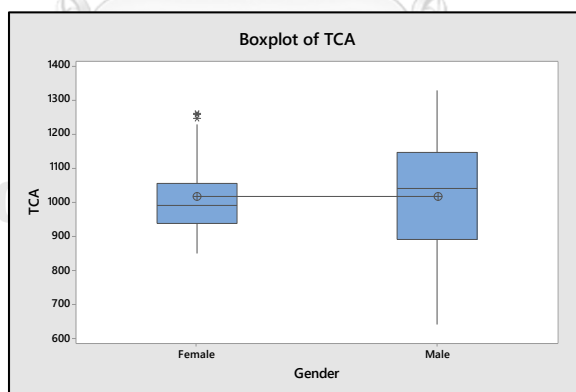
การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ One Factor ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) มีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

H_0 : พื้นที่ผิวสัมผัสที่ระดับต่างๆของความแข็งโพนทั้งเพศชายและหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : พื้นที่ผิวสัมผัสที่ระดับต่างๆของความแข็งโพนทั้งเพศชายและหญิง มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Gender	2	Female, Male			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Gender	1	1	1.4	0.00	0.994
Error	133	3139017	23601.6		
Total	134	3139018			

รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัส One Factor ANOVA ของเพศ



รูปที่ 4.32 แผนภาพกล่องของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อเพศ

จากการวิเคราะห์ One Factor ANOVA เพื่อพิจารณาเพศชายและเพศหญิงไม่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-value พบว่า $P\text{-value} > 0.05$ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิวสัมผัสในการนั่งขับรถยนต์ทั้งเพศชายและเพศหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.4. การประเมินพื้นที่แรงดันในช่วงสูง (High Pressure Area: HPA)

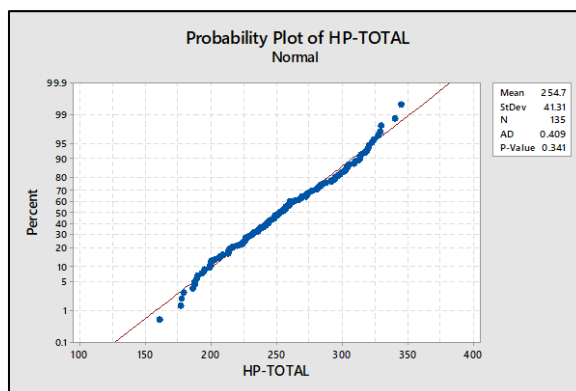
4.4.1. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลพื้นที่แรงดันในช่วงสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน

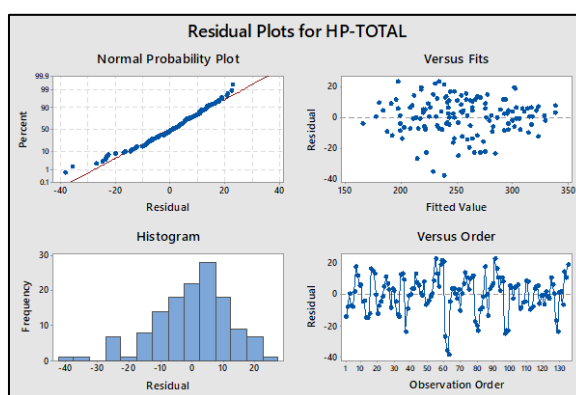
Subjects	1-10			1-20			1-30		
	โพนม1	โพนม2	โพนม3	โพนม1	โพนม2	โพนม3	โพนม1	โพนม2	โพนม3
F1	186.0	214.3	235.4	206.8	225.4	243.7	225.1	243.7	247.7
F2	231.9	232.4	260.0	235.4	244.5	272.7	246.6	255.2	280.8
F3	177.5	194.1	206.2	179.3	209.1	216.1	194.9	223.9	222.0
F4	212.9	237.6	251.5	239.1	241.8	266.6	248.3	248.7	272.8
F5	198.6	242.8	252.7	227.6	259.2	261.5	246.0	267.6	269.5
M1	199.6	213.6	215.4	212.7	226.3	230.8	231.9	236.8	249.7
M2	219.2	236.5	187.5	224.4	251.1	192.7	226.2	259.2	200.1
M3	291.4	317.5	303.6	313.8	326.8	328.5	324.3	340.5	344.8
M4	242.8	260.0	229.4	253.7	272.6	240.4	256.6	282.5	247.6
M5	271.9	341.3	302.5	287.3	314.3	318.6	305.0	309.9	329.8
M6	256.2	257.1	226.1	263.7	277.3	241.8	268.7	283.4	252.4
M7	280.2	300.0	283.5	293.6	313.1	298.3	297.0	322.4	311.6
M8	160.9	176.9	187.2	188.7	189.6	202.5	198.5	199.6	212.9
M9	255.4	275.8	276.5	274.7	296.2	304.0	285.5	301.5	309.0
M10	260.0	288.1	291.2	257.0	294.5	301.6	260.0	294.2	319.8

4.4.2. การตรวจสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังรูปที่ 4.33 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ($P\text{-Value} > 0.05$) สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อ



รูปที่ 4.33 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของพื้นที่แรงดันในช่วงสูง



รูปที่ 4.34 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของพื้นที่แรงดันในช่วงสูง

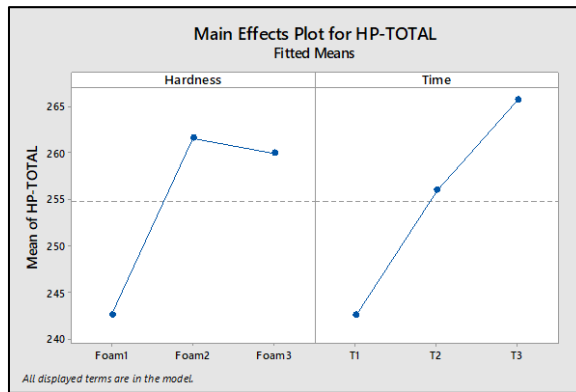
จากข้อมูลพื้นที่แรงดันในช่วงสูงซึ่งแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.34 พบว่า จากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูล ด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างข้อมูลของพื้นที่แรงดันในช่วงสูง มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยพิจารณาได้จากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลของพื้นที่แรงดันในช่วงสูงไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังรูปที่ 4.34 ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมี P-Value = 0.341 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลของพื้นที่แรงดันในช่วงสูงได้ผ่านการตรวจสอบของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial Design 3x3 ของทั้ง 2 ปัจจัย คือ ค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง ซึ่งผลของ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลอง มีอิทธิพลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูงขณะนั่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 นาที หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความแข็งของโฟมและเวลามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($P\text{-Value} < 0.05$) ต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลอง ($P\text{-Value} > 0.05$) ดังรูปที่ 4.35

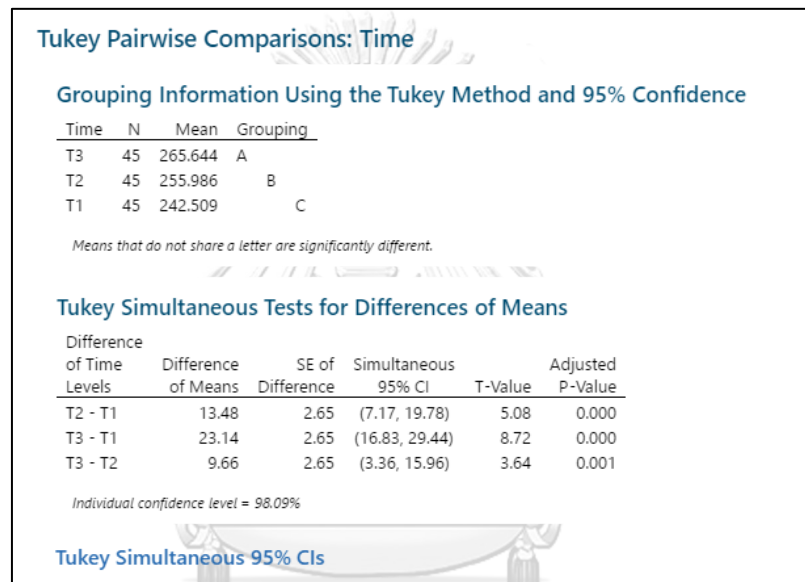
General Factorial Regression: HP-TOTAL versus Blocks, Hardness, Time					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Hardness	3	Foam1, Foam2, Foam3			
Time	3	T1, T2, T3			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	22	210328	9560.4	58.52	0.000
Blocks	14	188130	13437.9	82.25	0.000
Linear	4	22123	5530.8	33.85	0.000
Hardness	2	9971	4985.5	30.52	0.000
Time	2	12152	6076.1	37.19	0.000
2-Way Interactions	4	74	18.6	0.11	0.978
Hardness*Time	4	74	18.6	0.11	0.978
Error	112	18297	163.4		
Total	134	228625			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
12.7816	92.00%	90.42%	88.37%		

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง

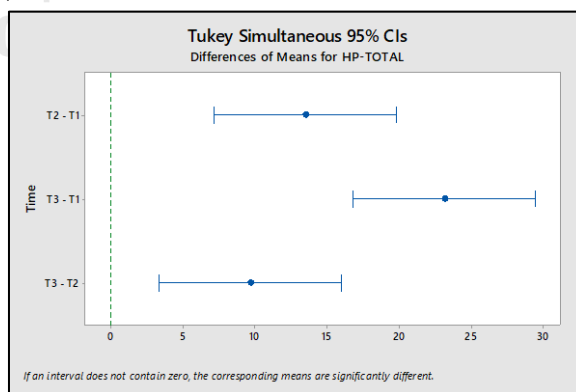
จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่า ปัจจัยค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งและเวลาในการทดลองมีอิทธิพลต่อการทดลอง ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยเดียวกันที่มีต่อพื้นที่ผิวสัมผัส โดยใช้วิธีการของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ดังรูปที่ 4.37-4.40



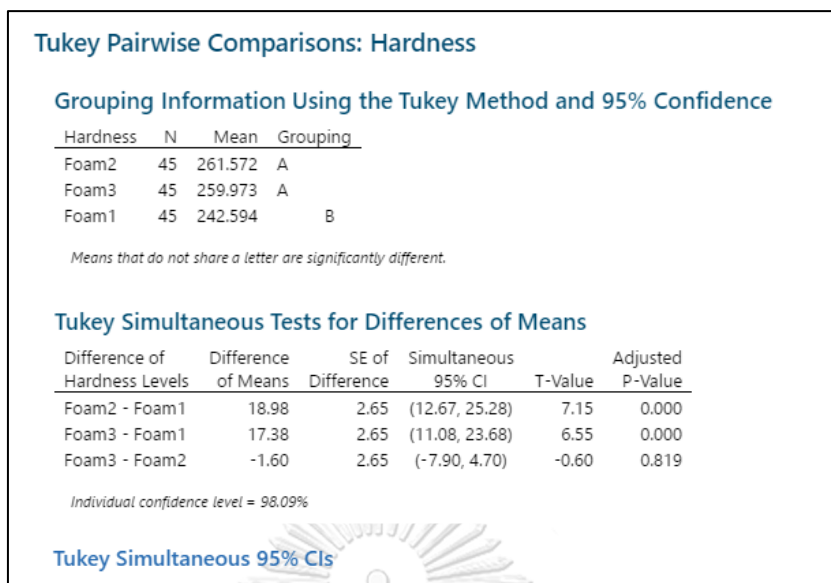
รูปที่ 4.36 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง



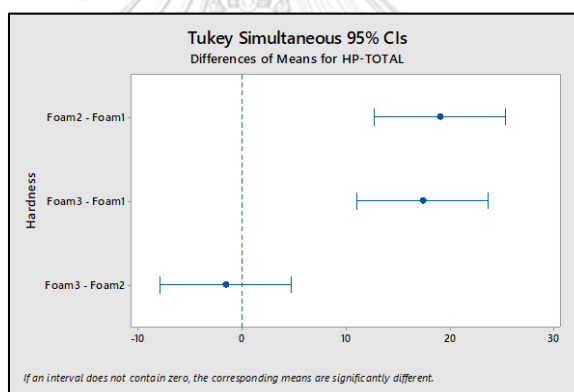
รูปที่ 4.37 ข้อมูลการจัดกลุ่มเวลาของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาในระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.39 ข้อมูลการจัดกลุ่มค่าความแข็งของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey



รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยของพื้นที่ค่าแรงในช่วงสูง โดยใช้วิธีการของ Tukey

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพื้นที่แรงดันในช่วงสูงพบว่า ค่าความแข็งของโฟมมีค่า P-value < 0.05 (0.000) และเวลาในการทดลองมีผลต่อการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 P-value > 0.05 (0.000)

ซึ่งทำการทดลองแบบรายคู่ซึ่งของค่าความแข็งของโฟม พบว่าโฟมหมายเลข 1 กับหมายเลข 2 และโฟมหมายเลข 1 กับโฟมหมายเลข 3 มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ P-value < 0.05 (0.000) ทั้ง 2 รายคู่ แต่โฟมหมายเลข 2 กับโฟมหมายเลข 3 ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ P-value > 0.05 (0.819)

ส่วนการทดลองแบบรายคู่ซึ่งของเวลาในการทดลอง พบว่าเวลาช่วงที่ 1 (T1) กับเวลาช่วงที่ 2 (T2) เวลาช่วงที่ 2 (T2) กับเวลาช่วงที่ 3 (T3) และเวลาช่วงที่ 1 (T1) กับเวลาช่วงที่ 3 (T3) มีผลอย่างมีนัยสำคัญ P-value < 0.05 (0.002), P-value < 0.05 (0.000) และ P-value < 0.05 (0.001) ตามลำดับ

สรุปผลของการทดลองพบว่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงลดลงโดยการปรับปรุงค่าความแข็งของโฟม พบว่าโฟมหมายเลข 1 มีอิทธิพลต่อการลดพื้นที่แรงดันในช่วงสูงน้อยกว่าโฟมทั้ง 2 หมายเลข

4.4.3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงรายบุคคล

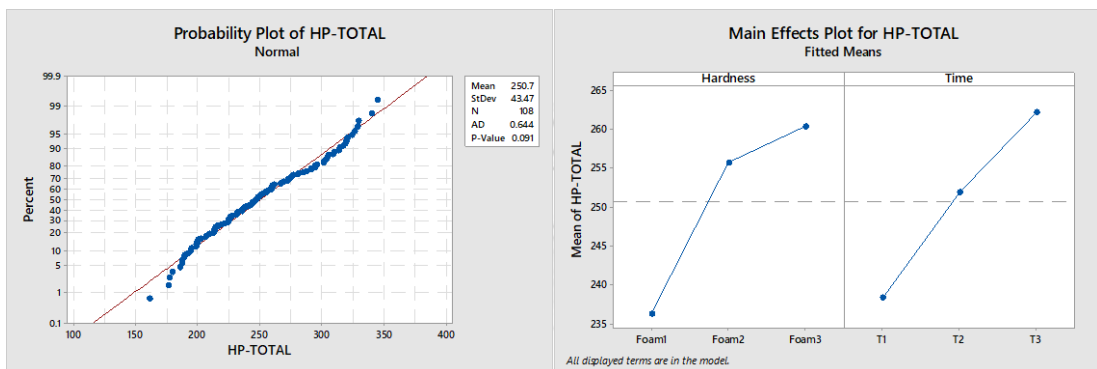
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงรายบุคคล

ผู้เข้าร่วมการทดลอง	เพศ	BMI	P-Value							
			Hardness	Time	F1-F2	F1-F3	F2-F3	T1-T2	T1-T3	T2-T3
1	หญิง	21.1	0.008*	0.023*	0.041*	0.007*	0.132	0.161	0.020*	0.156
2	หญิง	23.1	0.000*	0.003*	0.117	0.000*	0.001*	0.032*	0.002*	0.026*
3	หญิง	21.3	0.003*	0.013*	0.006*	0.003*	0.380	0.159	0.012*	0.071
4	หญิง	22.7	0.013*	0.034*	0.315	0.012*	0.041*	0.106	0.032*	0.441
5	หญิง	22.4	0.009*	0.027*	0.017*	0.011*	0.771	0.107	0.024*	0.296
6	ชาย	22.4	0.007*	0.001*	0.031*	0.006*	0.143	0.014*	0.001*	0.008*
7	ชาย	24.3	0.000*	0.035*	0.004*	0.002*	0.000*	0.143	0.031*	0.309
8	ชาย	23.1	0.024*	0.004*	0.026*	0.043*	0.82	0.024*	0.003*	0.070
9	ชาย	19.2	0.000*	0.002*	0.001*	0.007*	0.000*	0.008*	0.001*	0.051
10	ชาย	23.6	0.070	0.329						
11	ชาย	20.5	0.002*	0.009*	0.107	0.007*	0.002*	0.033*	0.008*	0.220
12	ชาย	19.4	0.003*	0.002*	0.002*	0.087	0.011*	0.012*	0.002*	0.057
13	ชาย	22	0.020*	0.004*	0.349	0.018*	0.066	0.017*	0.003*	0.113
14	ชาย	21.5	0.001*	0.000*	0.002*	0.001*	0.144	0.001*	0.000*	0.068
15	ชาย	21.6	0.005*	0.216	0.019*	0.005*	0.183			

*F1 = Foam No.1 , F2 = Foam No.2 , F3 = Foam No.3

*T1 = Period 1-10 minutes , T2 = Period 1-20 minutes , T3 = Period 1-30 minutes

การวิเคราะห์รายบุคคลกับปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลอง พบว่าค่าความแข็งของโฟมมีอิทธิพลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง มีเพียงผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 9,11,12 คือเพศชาย ดัชนีมวลกายต่ำกว่า 20.5 kg/cm² พบสิ่งผิดปกติอันเนื่องมาจากสรีระของผู้เข้าร่วมการทดลองและลักษณะการนั่งเฉพาะตัวบุคคลที่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยของเวลาในการทดลองพบว่าอิทธิพลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูง ในช่วง T1 กับ T3 เพราะการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะนี้มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดทำให้ค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.41 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อย 20.5 kg/cm²

General Factorial Regression: HP-TOTAL versus Blocks, Hardness, Time					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Hardness	3	Foam1, Foam2, Foam3			
Time	3	T1, T2, T3			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	19	189864	9992.8	71.52	0.000
Blocks	11	167824	15256.7	109.20	0.000
Linear	4	21870	5467.5	39.13	0.000
Hardness	2	11672	5836.2	41.77	0.000
Time	2	10198	5098.8	36.49	0.000
2-Way Interactions	4	170	42.4	0.30	0.875
Hardness*Time	4	170	42.4	0.30	0.875
Error	88	12295	139.7		
Total	107	202159			
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	11.8201	93.92%	92.61%	90.84%	

รูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อย 20.5 kg/cm²

4.4.4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่แรงดันในช่วงสูงกับเพศของผู้ทดลอง

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ One Factor ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) มีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

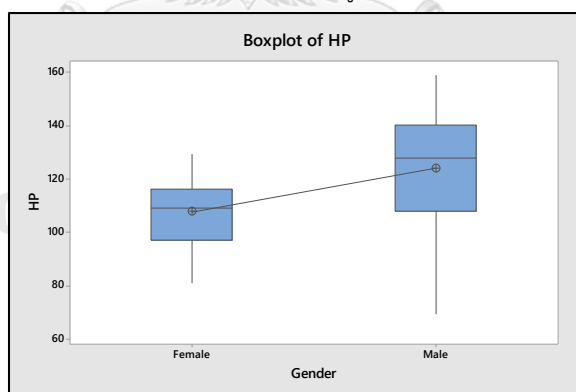
H_0 : พื้นที่แรงดันในช่วงสูงที่ระดับต่างๆของความแข็งแรงโปมทั้งเพศชายและหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : พื้นที่แรงดันในช่วงสูงที่ระดับต่างๆของความแข็งแรงโปมทั้งเพศชายและหญิง มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Gender	2	Female, Male			

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Gender	1	7913	7912.7	22.32	0.000
Error	133	47150	354.5		
Total	134	55062			

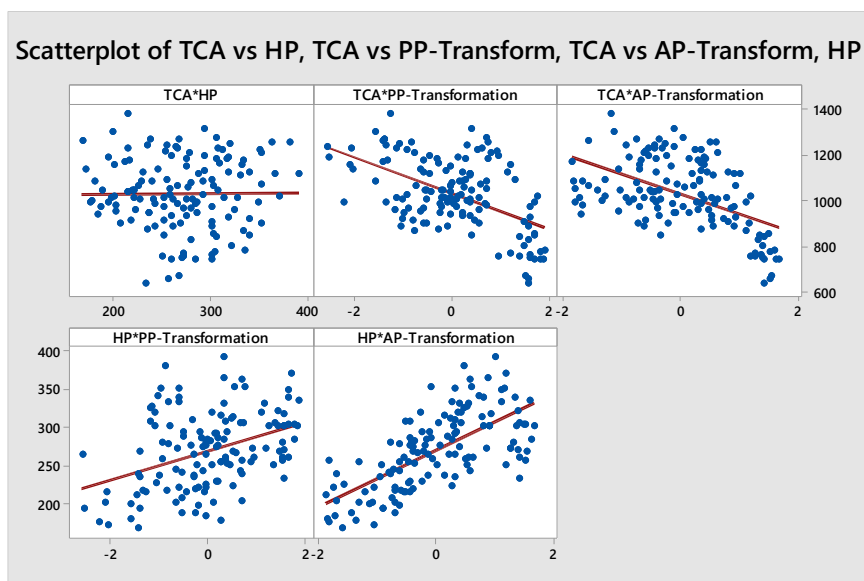
รูปที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันในช่วงสูง One Factor ANOVA ของเพศ



รูปที่ 4.44 แผนภาพกล่องของค่าแรงดันในช่วงสูงต่อเพศ

จากการวิเคราะห์ One Factor ANOVA เพื่อพิจารณาเพศชายและเพศหญิงมีอิทธิพลต่อพื้นที่แรงดันในช่วงสูงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-value พบว่า $P\text{-value} < 0.05$ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงในการนั่งขับรถยนต์ทั้งเพศชายและเพศหญิง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเพศหญิงมีค่าพื้นที่แรงดันในช่วงสูงน้อยกว่าเพศชาย

4.5. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของตัวชี้วัดทั้ง 4



รูปที่ 4.45 แผนภาพสหสัมพันธ์ของตัวชี้วัดทั้ง 4

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

	TCA		HPA		PP-Trans	
	r	P-Value	r	P-Value	r	P-Value
HPA	0.008	0.926				
PP-Trans	-0.529	0.000*	0.389	0.000*		
AP-Trans	-0.511	0.000*	0.678	0.000*	0.593	0.000*

จากตารางที่ 4.6 ดังกล่าวพบว่า เมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสมีค่าสูงจะทำให้ค่าแรงดันสูงสุดและค่าแรงดันในช่วงสูงต่ำที่สุด เนื่องมาจากมีการกระจายแรงไปในพื้นที่ที่มากขึ้นทำให้ค่าแรงทั้ง 2 ลดลง ส่วนค่าแรงดันในสูงกับแรงดันสูงสุดและค่าแรงดันในช่วงสูงกับแรงดันเฉลี่ยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง

	PP		AP		TCA		HPA	
	Hardness	Time	Hardness	Time	Hardness	Time	Hardness	Time
Foam Time	Foam1	-	Foam1	T1	Foam1	T1	Foam1	T1
P-Value	0.024*	0.709	0.000*	0.017*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

หมายเหตุ

อธิบายความหมายของตัวอักษรย่อ

- PP หมายถึง Peak Pressure หรือ แรงดันสูงสุดที่กระทำที่กัน
- AP หมายถึง Average Pressure หรือ แรงดันเฉลี่ยที่กระทำที่กัน
- TCA หมายถึง Total Contact Area หรือ พื้นที่ผิวสัมผัสที่กระทำที่กัน
- HPA หมายถึง High Pressure หรือ พื้นที่แรงดันในช่วงสูงที่กระทำที่กัน
- Foam1 หมายถึง โฟมหมายเลข 1 หรือ โฟมที่มีค่าความแข็งน้อยที่สุด (235.4 N or 24 Kgf)
- Foam2 หมายถึง โฟมหมายเลข 2 หรือ โฟมที่มีค่าความแข็งน้อยที่สุด (274.6 N or 28 Kgf)
- Foam3 หมายถึง โฟมหมายเลข 3 หรือ โฟมที่มีค่าความแข็งน้อยที่สุด (313.9 N or 32 Kgf)
- T1 หมายถึง ช่วงเวลาในการทดลอง 1 หรือ เวลาในการทดลองนาที ที่ 1-10
- T2 หมายถึง ช่วงเวลาในการทดลอง 2 หรือ เวลาในการทดลองนาที ที่ 1-20
- T3 หมายถึง ช่วงเวลาในการทดลอง 2 หรือ เวลาในการทดลองนาที ที่ 1-30

จากผลการศึกษาและทดลองพบว่าปัจจัยค่าความแข็งของโฟมเบาเรองนั่งรถยนต์ ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัด 4 ประเภท คือ แรงดันสูงสุด พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูง พื้นที่ผิวสัมผัส แรงดันเฉลี่ย โดยพบว่าโฟมหมายเลข 1 ที่มีค่าแข็ง 235.4 N (24 Kgf) มีค่าน้อยที่สุดใน แรงดันสูงสุด พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูง แรงดันเฉลี่ย แต่พื้นที่ผิวสัมผัสจะมีค่ามากที่สุด กับเพศหญิง ในทุกช่วงเวลา อันเนื่องจาก

การกระจายแรงของโหมหมายเลข 1 มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้แรงที่เกิดขึ้นทั้งค่าแรงดันสูงสุด พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูง และแรงดันเฉลี่ยมีค่าลดลง เพราะพื้นที่ที่เพิ่มเข้ามาช่วยในการรับแรงที่กระทำขณะนั่งขับซีรยนต์

สำหรับผลการศึกษาและทดลองพบว่าปัจจัยเวลาในการทดลอง ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัด 3 ประเภท คือ พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูง พื้นที่ผิวสัมผัส แรงดันเฉลี่ย โดยพบว่าเมื่อทำการทดลองผลการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยเปลี่ยนแปลงจากค่าน้อยไปค่ามาก เมื่อเวลามีการเปลี่ยนแปลงไป

สำหรับผลการศึกษาและทดลองพบว่าปัจจัยเพศของผู้เข้าร่วมการทดลอง ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัด 3 ประเภท คือ แรงดันสูงสุด พื้นที่ค่าแรงดันในช่วงสูง แรงดันเฉลี่ย โดยพบว่าเนื่องจากสรีระของผู้เข้าร่วมการทดลองมีความเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ค่ามีความแตกต่างกัน ซึ่งเพศหญิงจะมีค่าน้อยกว่าเพศชายในทุกตัวชี้วัดทั้ง 3

งานวิจัยฉบับนี้เปรียบเทียบค่าความแข็งของโหมเบาะรองนั่งเพื่อเป็นคำแนะนำในการออกแบบเบาะรถยนต์ในอนาคต ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเบาะรถยนต์และลดแรงกดทับต่อตัวผู้นั่งขับซีรยนต์เป็นเวลานาน

5.2. ข้อจำกัด

1. ขณะการทดลองผู้เข้าร่วมการทดลองต้องมีการขยับน้อยที่สุดเพื่อช่วยลดความแปรปรวนของผลการทดลองเนื่องจากระยะเวลาในการทดลองนาน
2. งานวิจัยนี้ทำการทดลองกับโหมเบาะนั่งรถยนต์ตัวอย่างเพียงรูปร่างเดียว
3. ขณะการเก็บผลการทดลองควรเก็บทำการทดลองในช่วงระยะเวลาใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าความแข็งของโหมเป็นปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลา เวลาผ่านไปยิ่งนานจะทำให้ค่าความแข็งโหมแข็งขึ้น
4. เป็นการทดลองกับโหมที่มีค่าความแข็ง 3 ค่าซึ่งยังไม่ครอบคลุมและยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าค่าความแข็งเท่าใดที่จะทำให้แรงที่กระทำที่กันเกิดน้อยที่สุด

5. งานวิจัยนี้ไม่ได้นำเอาขนาดของสรีระของผู้เข้าร่วมการทดลองมาทำการวิเคราะห์ ยกตัวอย่าง เช่น ขนาดของขา สรีระของกัน ความกว้างของสะโพก ค่าเหล่านี้มีผลต่อการกระจายของพื้นที่ทำค่าแรงของตัวชี้วัดสามารถมีค่าที่เปลี่ยนแปลงได้
6. งานวิจัยนี้ทำการทดลองตามนิยามความสบายของการออกแบบเบาะรถยนต์เพียงด้านการกระจายแรงดันและลดแรงกระทำที่กันเท่านั้นซึ่งตามความเป็นจริงในการทดลองความสบายของเบาะรถยนต์ในอุตสาหกรรมรถยนต์มีอีกหลายวิธีที่ใช้ประกอบการตัดสินใจ
7. ศึกษากับจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองที่อยู่ในขอบเขตค่าดัชนีมวลกายที่สมดุลเท่านั้น ซึ่งขณะที่มีอีกบางส่วนที่มีค่าดัชนีมวลกายสูงและต่ำกว่าค่ามาตรฐานควรนำมาศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมกับการออกแบบเบาะรถยนต์ที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้กับคนทุกประเภท
8. การนั่งการทดลองในระยะเวลา 30 นาที แบบต่อเนื่องอาจจะส่งผลกับค่าผลลัพธ์ทั้ง 4 ตัวชี้วัด เนื่องจากผลลัพธ์ตั้งแต่หน้าที่ที่ 1 มีผลต่อหน้าที่ถัดไป ฉะนั้นควรมีการทดลองที่แบ่งเวลาชัดเจนหรือการทดลองควรลดเวลาลง

5.3. องค์ความรู้ที่ได้เพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้

1. ขั้นตอนคัดกรองผู้เข้าร่วมการทดลองต้องคัดกรองผู้ที่มี น้ำหนัก ส่วนสูง แตกต่างกันอย่างไป โดยที่ค่าดัชนีมวลกายควรอยู่ในค่าสมดุลหรือ $18.5-24.9 \text{ kg/m}^2$ เหตุผลที่ต้องเลือกข้อมูลแตกต่างกันอย่างไปเพื่อจะได้ทราบถึงความแตกต่างของร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อการทดลองนี้หรือไม่
2. ได้ทราบถึงกระบวนการผลิตโฟมเบาะรองนั่งรถยนต์ , วิธีการตรวจสอบค่าความแข็งของโฟมเบาะรองนั่งก่อนนำมาทดลอง
3. สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการใช้อุปกรณ์ Pressure Mapping System ว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้นอกเหนือจากการกระจายแรงแล้วยังสามารถ นำไปประยุกต์ใช้กับแรงดันได้อีกด้วย
4. สามารถนำวิธีการทดลองนำไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาเบาะรถยนต์รุ่นต่อไปในอนาคต โดยการนำวิธีการทดลองของงานวิจัยนี้ไปทำการทดลองและวิเคราะห์ผล

5. สามารถเข้าใจถึงค่าความแข็งของโพลีเมอร์ว่ามีผลต่อการปรับปรุงการกระจายแรงและค่าแรงต่างๆ จะได้มีแนวทางในการพัฒนาในอนาคตว่าควรลดค่าความแข็งของโพลีเมอร์เพื่อเพิ่มการกระจายแรงและยังลดแรงดันอีกด้วย
6. จากปัจจัยของเวลาในการทดลอง ได้ทำการทดลองในระยะเวลา 30 นาที และเปรียบเทียบโดยใช้ผู้เข้าร่วมการทดลองและหุ่นจำลอง ทำให้ทราบถึงว่าเวลาที่ผ่านไปค่าตัวชี้วัดต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไป ไม่ใช่ว่าผู้เข้าร่วมการทดลองนั่งแล้วเกิดการเมื่อยจึงทำให้ค่าเปลี่ยนแปลง แต่เป็นเพราะการยุบตัวของโพลีเมอร์เองนั่งจึงทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงไป ยืนยันโดยหุ่นจำลอง เพราะหุ่นไม่สามารถขยับและมีความรู้สึก จึงเป็นเครื่องยืนยันได้ว่าผลที่ออกมาเกิดจากการยุบตัวของชิ้นงาน

5.4. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยจนกระทั่งได้มีการสรุปผลการทดลอง ได้นำไปสู่ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจต้องการศึกษาเรื่องนี้ในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. ควรศึกษาทำการวิจัยเรื่องเบาะรองนั่งกับกลุ่มตัวอย่างผู้หญิงที่หลังคลอดบุตร เนื่องจากพบว่าผู้หญิงหลังคลอดบุตรจะมีตำแหน่งของกันบกเลื่อนและทำให้การนั่งบนเก้าอี้หรือเบาะรถยนต์เพิ่มความเสี่ยงในการบาดเจ็บได้มากกว่าผู้ชายหรือผู้หญิงที่ก่อนคลอดบุตร
2. ทำการทดลองกับเบาะนั่งรถยนต์ที่มีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป เพื่อทดลองหาว่ารูปทรงประเภทใดมีประสิทธิภาพดีที่สุดช่วยลดแรงกดทับต่อการนั่งขับรถเป็นเวลานานได้
3. ควรศึกษาวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติสามารถสร้างเบาะรองนั่งรถยนต์เพื่อช่วยลดแรงกดทับขณะขับรถเป็นเวลานาน
4. ควรศึกษาการออกแบบเบาะรถยนต์ที่สามารถใช้ได้กับทั้งเพศชายและเพศหญิง

บรรณานุกรม

- Bain, D. S., & Ferguson-Pell, M. (2002). Remote monitoring of sitting behavior of people with spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 39(4), 513-520.
- Carlson, J. M., Payette, M. J., & Vervena, L. P. (1995). Seating Orthosis Design for Prevention of Decubitus Ulcers. *JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics*, 7(2), 51-60.
- Cookson, G., & Pishue, B. (2017). Inrix global traffic scorecard—appendices. *INRIX research*.
- Crawford, S. A., Stinson, M. D., Walsh, D. M., & Porter-Armstrong, A. P. (2005). Impact of sitting time on seat-interface pressure and on pressure mapping with multiple sclerosis patients. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86(6), 1221-1225.
- Dinsdale, S. (1974). Decubitus ulcers: role of pressure and friction in causation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 55(4), 147.
- Landis, E. M. (1930). Micro-injection studies of capillary blood pressure in human skin. *Heart*, 15, 209-228.
- Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric standardization reference manual*: Human kinetics books.
- Medical, S. (2002). Principles of Seating and Positioning.
- Nipaporn, A., นิภาพร, อ., & Prawit, J. (2015). *THE STUDY OF SEAT PRESSURE DISTRIBUTION PATTERN IN OFFICE WORKER WITH AND WITHOUT CHRONIC LOW BACK PAIN*.
- Sea-jern, N. N., Pochana, K., & Sungkhapong, A. (2014). The prevalence and personal factors related to musculoskeletal disorders in occupational van drivers: a case study of public transport center in Hatyai, Songkhla. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 19(1), 107-118.
- Sprigle, S., Press, L., & Davis, K. (2001). Development of uniform terminology and procedures to describe wheelchair cushion characteristics. *J Rehabil Res Dev*, 38(4), 449-461.

- Stinson, M., Porter, A., & Eakin, P. (2002). Measuring interface pressure: a laboratory-based investigation into the effects of repositioning and sitting. *American Journal of Occupational Therapy*, 56(2), 185-190.
- Sy, C. P., & Tam, E. W. (2000). *Fabrication of custom contour cushion using pressure mapping method: a preliminary study*. Paper presented at the Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (Cat. No. 00CH37143).
- Verver, M., Van Hoof, J., Oomens, C., Wismans, J., & Baaijens, F. (2004). A finite element model of the human buttocks for prediction of seat pressure distributions. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 7(4), 193-203.
- แสงสว่าง, ช. (2555). <การศึกษาและพัฒนาเบาะรถยนต์ตอนหน้า byThammarong Sangsawang.pdf>.
- กระทรวงอุตสาหกรรมไทย. (2549). มาตรฐานอุตสาหกรรมเบาะรถยนต์ งานเอกสารสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- ณัฐพล, พ. (2552). การ วัด สัดส่วน ร่างกาย มนุษย์ โดย โปรแกรม ประยุกต์ การ หา ขอบ วัตถุ จาก ภาพ ดิจิตอล แบบ 2 มิติ. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. (2561).



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

การเก็บข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 15 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 1

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงดันรวมตลอดพื้นที่ (AP) (kg/cm ²)	โพท1	0.022	0.022	0.024	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.022	0.019	0.023	0.024	0.023	0.024	0.024	0.025	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.024	
	โพท2	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.021	0.022	0.022	0.023	0.024	0.024	0.021	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
	โพท3	0.025	0.026	0.024	0.025	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	
พื้นที่แรงดันค่าสูง (TCA) (cm ²)	โพท1	88.00	85.00	49.00	90.00	83.00	89.00	90.00	88.00	97.00	98.00	103.00	104.00	99.00	108.00	113.00	102.00	106.00	113.00	106.00	118.00	118.00	123.00	123.00	115.00	121.00	125.00	121.00	130.00	112.00	
	โพท2	96.20	116.80	116.90	119.00	123.10	121.40	106.30	100.20	113.80	108.50	121.30	115.40	107.60	114.50	119.10	113.90	117.60	142.00	136.00	137.40	125.30	122.10	119.30	143.90	151.30	115.40	122.00	141.20	143.20	149.60
	โพท3	102.00	99.00	89.00	107.00	110.00	105.00	118.00	117.00	118.00	120.00	122.00	117.00	99.00	111.00	117.00	112.00	121.00	121.00	122.00	119.00	124.00	124.00	103.00	116.00	107.00	113.00	113.00	113.00	122.00	131.00
พื้นที่ค่าเฉลี่ย (MP) (cm ²)	โพท1	974.3	974.3	920.1	996.0	1004.7	989.5	1000.4	985.2	1002.5	1002.5	1000.4	1004.7	993.9	1006.9	1004.7	1000.4	1015.6	1022.1	1037.3	1006.9	1024.2	1035.1	1019.9	1024.2	1026.4	1024.2	1037.3	1026.4	1032.9	1030.8
	โพท2	885.4	911.4	920.1	915.7	928.8	939.6	937.4	904.9	920.1	904.9	926.6	952.6	933.1	946.1	935.3	944.0	957.0	946.1	946.1	963.5	954.8	963.5	983.0	963.5	944.0	952.6	972.2	985.2	941.8	978.7
	โพท3	848.5	846.3	874.5	885.4	861.5	865.8	872.3	889.7	917.9	900.6	913.6	930.9	907.1	911.4	904.9	896.2	913.6	920.1	896.2	917.9	920.1	926.6	917.9	924.4	939.6	937.4	937.4	935.3	948.3	
แรงดันสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	โพท1	0.162	0.162	0.170	0.140	0.152	0.170	0.197	0.142	0.154	0.204	0.226	0.197	0.164	0.170	0.181	0.172	0.191	0.174	0.167	0.164	0.177	0.177	0.199	0.169	0.167	0.172	0.176	0.201	0.197	0.197
	โพท2	0.205	0.223	0.199	0.207	0.199	0.172	0.150	0.148	0.148	0.176	0.168	0.148	0.189	0.176	0.182	0.188	0.178	0.184	0.176	0.180	0.182	0.180	0.168	0.188	0.186	0.172	0.168	0.188	0.182	0.182
	โพท3	0.198	0.206	0.221	0.221	0.194	0.164	0.235	0.217	0.221	0.194	0.215	0.191	0.250	0.290	0.277	0.258	0.292	0.258	0.280	0.275	0.280	0.250	0.224	0.213	0.237	0.271	0.224	0.265	0.271	0.269

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 2

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
แรงต้านรวม ตลอด พื้นที่ (AP) (kg/cm ²)	โพท1	0.022	0.021	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.023	0.023	0.022	0.023	0.022	0.023	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024		
	โพท2	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.024	0.023	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.024	
	โพท3	0.022	0.022	0.022	0.023	0.024	0.023	0.023	0.024	0.022	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.024	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	
พื้นที่รับน้ำหนัก จริง (TCA) (cm ²)	โพท1	103.00	101.00	110.00	105.00	107.00	104.00	112.00	121.00	113.00	113.00	108.00	110.00	115.00	102.00	112.00	110.00	105.00	114.00	118.00	128.00	112.00	121.00	123.00	121.00	130.00	126.00	121.00	128.00	128.00	124.00		
	โพท2	122.00	133.00	124.00	120.00	118.00	124.00	128.00	137.00	140.00	139.00	150.00	152.00	141.00	144.00	125.00	136.00	140.00	133.00	145.00	152.00	127.00	141.00	149.00	135.00	151.00	155.00	156.00	155.00	155.00	164.00	164.00	
	โพท3	98.00	107.00	111.00	117.00	123.00	123.00	107.00	120.00	113.00	113.00	113.00	119.00	130.00	120.00	134.00	126.00	134.00	134.00	132.00	130.00	136.00	145.00	126.00	135.00	137.00	138.00	135.00	137.00	136.00	136.00	132.00	132.00
พื้นที่กลับคืน (MP) (cm ²)	โพท1	1245.6	1230.4	1234.7	1241.2	1247.8	1243.4	1241.2	1262.9	1262.9	1262.9	1256.4	1247.8	1265.1	1260.8	1282.5	1295.5	1273.8	1265.1	1265.1	1262.9	1276.0	1284.6	1291.2	1258.6	1269.5	1260.8	1262.9	1262.9	1262.9	1262.9	1262.9	1262.9
	โพท2	1197.8	1213.0	1208.7	1202.2	1208.7	1217.4	1206.5	1219.5	1228.2	1213.0	1239.1	1236.9	1249.9	1234.7	1223.9	1206.5	1223.9	1210.9	1236.9	1249.9	1217.4	1245.6	1245.6	1258.6	1245.6	1267.3	1254.3	1239.1	1239.1	1236.9	1236.9	1236.9
	โพท3	1108.9	1104.5	1128.4	1143.6	1141.4	1145.8	1132.7	1158.8	1161.0	1169.6	1152.3	1182.7	1171.8	1180.5	1174.0	1195.7	1202.2	1200.0	1180.5	1187.0	1197.8	1204.4	1187.0	1204.4	1210.9	1204.4	1200.0	1197.8	1178.3	1178.3	1182.7	1182.7
แรงคืนแรงกด (PP) (kg/cm ²)	โพท1	0.165	0.158	0.152	0.172	0.173	0.172	0.161	0.168	0.166	0.168	0.170	0.154	0.161	0.158	0.151	0.149	0.144	0.182	0.189	0.187	0.179	0.179	0.186	0.152	0.175	0.156	0.151	0.154	0.165	0.154	0.154	
	โพท2	0.193	0.203	0.198	0.187	0.179	0.179	0.165	0.173	0.193	0.172	0.182	0.189	0.173	0.179	0.166	0.172	0.170	0.158	0.161	0.165	0.182	0.166	0.168	0.168	0.172	0.161	0.166	0.182	0.194	0.182	0.182	0.182
	โพท3	0.180	0.175	0.184	0.177	0.195	0.193	0.202	0.216	0.175	0.196	0.195	0.209	0.228	0.195	0.202	0.196	0.203	0.207	0.205	0.205	0.196	0.191	0.195	0.209	0.196	0.205	0.203	0.187	0.195	0.187	0.195	0.191

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 4

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm ²)	FWH1	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	FWH2	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	FWH3	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
พื้นที่แรงผลัก (PCA) (cm ²)	FWH1	80.00	92.00	90.00	99.00	96.00	98.00	97.00	103.00	98.00	102.00	112.00	118.00	114.00	118.00	122.00	124.00	128.00	123.00	129.00	135.00	128.00	133.00	132.00	136.00	136.00	136.00	135.00	134.00	135.00	138.00
	FWH2	110.00	115.00	117.00	120.00	113.00	115.00	117.00	114.00	116.00	122.00	128.00	129.00	129.00	130.00	130.00	135.00	132.00	133.00	133.00	131.00	133.00	134.00	134.00	134.00	133.00	133.00	136.00	140.00	137.00	139.00
	FWH3	87.00	96.00	96.00	101.00	101.00	110.00	110.00	110.00	108.00	108.00	109.00	111.00	111.00	113.00	114.00	114.00	112.00	111.00	113.00	114.00	115.00	112.00	119.00	119.00	121.00	121.00	123.00	121.00	125.00	121.00
พื้นที่กล้ามเนื้อ (HP) (cm ²)	FWH1	1017.7	1013.4	1028.6	1035.1	1045.9	1043.8	1045.9	1048.1	1045.9	1050.3	1052.5	1056.8	1061.1	1067.6	1076.3	1072.0	1072.0	1061.1	1076.3	1078.5	1078.5	1080.7	1078.5	1089.3	1080.7	1087.2	1080.7	1082.8	1085.0	1089.3
	FWH2	924.4	959.1	963.5	974.3	978.7	976.5	980.8	976.5	976.5	993.9	978.7	989.5	987.4	998.2	993.9	989.5	989.5	989.5	1006.9	1005.6	1024.2	1013.4	1019.9	1026.4	1035.1	1022.1	1017.7	1024.2	1032.9	1032.9
	FWH3	917.9	930.9	948.3	954.8	965.7	983.0	974.3	978.7	974.3	980.8	980.8	989.5	983.0	978.7	978.7	983.0	989.5	996.0	1002.5	1004.7	998.2	1011.2	1002.5	1004.7	1006.9	1004.7	1006.9	1013.4	1013.4	1019.9
แรงดึงสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	FWH1	0.192	0.198	0.202	0.195	0.192	0.200	0.205	0.202	0.202	0.205	0.208	0.230	0.218	0.195	0.217	0.210	0.238	0.232	0.235	0.228	0.225	0.240	0.250	0.242	0.245	0.242	0.248	0.212	0.212	0.222
	FWH2	0.212	0.215	0.233	0.212	0.208	0.235	0.235	0.250	0.246	0.246	0.238	0.242	0.243	0.243	0.245	0.246	0.263	0.263	0.260	0.251	0.253	0.248	0.243	0.246	0.251	0.235	0.218	0.223	0.225	0.215
	FWH3	0.258	0.232	0.260	0.263	0.271	0.285	0.275	0.270	0.270	0.275	0.293	0.301	0.318	0.296	0.283	0.258	0.260	0.263	0.261	0.255	0.255	0.255	0.242	0.243	0.242	0.253	0.258	0.263	0.263	0.235

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 5

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
แรงต้านทาน ต่อ ฟันที่ (AP) (kg/cm ²)	FWH1	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
	FWH2	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	
	FWH3	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	
พื้นที่แรงต้านทาน (TCA) (cm ²)	FWH1	76.00	88.00	86.00	95.00	92.00	94.00	93.00	99.00	94.00	98.00	108.00	114.00	110.00	114.00	118.00	120.00	124.00	119.00	125.00	131.00	124.00	129.00	128.00	132.00	132.00	132.00	131.00	130.00	131.00	134.00	
	FWH2	106.00	111.00	113.00	116.00	109.00	111.00	113.00	110.00	112.00	118.00	124.00	125.00	125.00	126.00	126.00	131.00	128.00	129.00	129.00	127.00	129.00	130.00	130.00	130.00	129.00	129.00	132.00	132.00	133.00	135.00	135.00
	FWH3	99.00	108.00	108.00	113.00	113.00	122.00	122.00	122.00	120.00	120.00	121.00	123.00	123.00	123.00	125.00	126.00	124.00	123.00	125.00	126.00	127.00	124.00	131.00	131.00	127.00	133.00	135.00	133.00	137.00	133.00	133.00
พื้นที่กำลัง (HP) (cm ²)	FWH1	930.0	935.6	941.2	946.8	952.5	958.2	964.0	969.8	975.6	981.4	987.3	993.3	999.2	1005.2	1011.2	1017.3	1023.4	1029.6	1035.7	1041.9	1048.2	1054.5	1060.8	1067.2	1073.6	1080.0	1086.5	1093.0	1099.6	1106.2	
	FWH2	870.0	874.4	878.7	883.1	887.5	892.0	896.4	900.9	905.4	909.9	914.5	919.1	923.7	928.3	932.9	937.6	942.3	947.0	951.7	956.5	961.3	966.1	970.9	975.8	980.6	985.5	990.5	995.4	1000.4	1005.4	
	FWH3	830.0	834.6	839.2	843.8	848.4	853.1	857.8	862.5	867.2	872.0	876.8	881.6	886.5	891.3	896.2	901.2	906.1	911.1	916.1	921.2	926.2	931.3	936.4	941.6	946.8	952.0	957.2	962.5	967.8	973.1	
แรงต้านสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	FWH1	0.182	0.188	0.192	0.185	0.182	0.190	0.195	0.192	0.192	0.195	0.198	0.219	0.207	0.185	0.206	0.200	0.226	0.220	0.223	0.217	0.214	0.228	0.238	0.230	0.233	0.230	0.236	0.201	0.201	0.211	
	FWH2	0.201	0.204	0.221	0.201	0.198	0.223	0.223	0.238	0.234	0.234	0.226	0.230	0.231	0.231	0.233	0.234	0.250	0.250	0.247	0.238	0.240	0.236	0.231	0.234	0.238	0.223	0.207	0.212	0.214	0.204	
	FWH3	0.245	0.220	0.247	0.250	0.257	0.271	0.261	0.257	0.257	0.261	0.278	0.286	0.302	0.281	0.269	0.245	0.247	0.250	0.248	0.242	0.242	0.242	0.230	0.231	0.230	0.240	0.245	0.250	0.250	0.223	

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 6

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
แรงดันรวม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm ²)	FWH1	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	
	FWH2	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.022	0.023	0.023	0.023	0.022	0.023	0.023	0.022
	FWH3	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.023	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
พื้นที่รวมต่อช่อง (TCA) (cm ²)	FWH1	68.60	79.80	78.40	84.00	81.20	84.00	89.60	86.80	91.00	84.00	89.60	93.80	92.40	99.40	93.80	88.20	85.40	86.80	98.00	100.80	105.00	103.60	106.40	120.40	124.60	124.60	121.80	121.80	121.80	126.00	
	FWH2	74.20	74.20	84.00	84.00	93.80	98.00	92.40	86.80	85.40	96.60	91.00	106.40	92.40	121.80	112.00	98.00	95.20	98.00	102.20	102.20	81.20	89.60	106.40	112.00	109.20	93.80	102.20	103.60	107.80	114.80	
	FWH3	91.20	90.00	84.00	92.40	105.60	104.40	103.20	108.00	90.00	84.00	94.80	106.80	104.40	112.80	111.60	115.20	115.20	115.20	118.80	118.80	130.80	126.00	121.20	121.20	115.20	130.80	133.20	136.80	142.80	140.40	
พื้นที่รวมต่อ (HP) (cm ²)	FWH1	986.9	982.5	983.3	992.6	1006.3	1002.0	1009.0	1016.1	1018.1	1014.0	1017.1	1019.1	1021.1	1021.1	1019.1	1020.1	1012.0	1022.1	1037.2	1049.3	1057.4	1070.4	1077.5	1082.5	1092.6	1104.7	1102.7	1104.7	1105.7	1107.7	
	FWH2	1011.7	1033.4	1050.3	1056.8	1078.1	1072.0	1053.3	1036.8	1025.1	1045.1	1037.3	1062.0	1038.1	1114.9	1078.5	1041.6	1026.8	1028.6	1029.0	1022.5	983.4	1001.7	1046.8	1067.6	1042.0	1023.8	1026.8	1053.8	1054.2	1084.6	
	FWH3	854.1	872.3	866.0	890.6	880.2	899.2	885.8	900.6	965.7	978.7	991.3	1010.8	1003.4	1017.3	999.5	1005.1	1011.7	1016.0	1013.0	1002.1	995.6	1006.9	1003.0	1000.8	1003.0	1008.6	1005.1	1006.4	1006.4	1014.3	
แรงดันสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	FWH1	0.246	0.236	0.236	0.242	0.246	0.242	0.254	0.246	0.250	0.250	0.236	0.228	0.228	0.224	0.228	0.228	0.236	0.236	0.236	0.236	0.236	0.236	0.228	0.242	0.246	0.242	0.242	0.254	0.254	0.250	
	FWH2	0.207	0.242	0.227	0.201	0.188	0.186	0.205	0.196	0.203	0.194	0.198	0.215	0.207	0.186	0.194	0.190	0.203	0.190	0.192	0.178	0.211	0.196	0.192	0.219	0.207	0.203	0.213	0.213	0.219	0.246	
	FWH3	0.195	0.198	0.198	0.201	0.201	0.190	0.190	0.173	0.186	0.195	0.192	0.186	0.184	0.179	0.196	0.198	0.186	0.207	0.207	0.214	0.225	0.230	0.226	0.226	0.234	0.231	0.231	0.225	0.228	0.228	

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 7

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm²)	FWH1	0.023	0.023	0.024	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	
	FWH2	0.025	0.024	0.025	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.024	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.027	0.025	0.025	0.026	0.026	
	FWH3	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.023	0.024	0.024	0.024	
พื้นที่แรงผลัก (CA) (cm²)	FWH1	92.00	98.00	100.00	102.00	98.00	105.00	100.00	106.00	101.00	108.00	108.00	107.00	111.00	117.00	114.00	107.00	101.00	103.00	98.00	92.00	103.00	98.00	103.00	106.00	105.00	109.00	108.00	108.00	108.00	111.00
	FWH2	101.00	101.00	106.00	103.00	111.00	107.00	106.00	119.00	119.00	117.00	125.00	115.00	116.00	112.00	122.00	124.00	129.00	126.00	124.00	131.00	128.00	117.00	119.00	130.00	128.00	129.00	125.00	129.00	130.00	134.00
	FWH3	80.00	80.00	76.00	86.00	92.00	86.00	87.00	94.00	88.00	95.00	92.00	92.00	94.00	94.00	92.00	95.00	89.00	86.00	89.00	89.00	96.00	98.00	93.00	94.00	94.00	96.00	98.00	109.00	106.00	107.00
พื้นที่กำลัง (HP) (cm²)	FWH1	1011.2	1017.7	1032.9	1050.3	1043.8	1048.1	1048.1	1063.3	1054.6	1061.1	1050.3	1030.8	1048.1	1063.3	1076.3	1093.7	1104.5	1115.4	1121.9	1134.9	1124.1	1130.6	1119.7	1117.6	1106.7	1128.4	1115.4	1139.3	1130.6	1145.8
	FWH2	911.4	935.3	898.4	980.8	959.1	963.5	933.1	959.1	965.7	930.9	967.8	987.4	1022.1	998.2	993.9	970.0	965.7	989.5	965.7	972.2	985.2	1002.5	1009.1	983.0	1006.9	1004.7	1010.0	1015.0	1020.0	1017.0
	FWH3	930.9	952.6	967.8	970.0	978.7	976.5	980.8	998.2	1000.4	1000.4	996.0	993.9	1004.7	1002.5	1011.2	1022.1	1013.4	1019.9	1043.8	1048.1	1041.6	922.3	1050.3	1043.8	1028.6	1037.3	1061.1	1045.9	1063.3	1063.3
แรงผลักต่อพื้นที่ (PP) (kg/cm²)	FWH1	0.222	0.217	0.212	0.188	0.195	0.190	0.212	0.207	0.217	0.234	0.236	0.236	0.241	0.260	0.217	0.222	0.253	0.239	0.231	0.241	0.258	0.265	0.227	0.268	0.231	0.227	0.229	0.224	0.222	0.236
	FWH2	0.227	0.212	0.212	0.198	0.217	0.205	0.198	0.203	0.212	0.212	0.222	0.203	0.219	0.203	0.190	0.205	0.212	0.217	0.205	0.205	0.215	0.205	0.212	0.217	0.222	0.219	0.212	0.227	0.222	0.222
	FWH3	0.215	0.217	0.205	0.215	0.210	0.203	0.207	0.222	0.207	0.205	0.212	0.205	0.195	0.200	0.207	0.207	0.207	0.212	0.236	0.231	0.224	0.224	0.231	0.219	0.210	0.212	0.203	0.215	0.215	0.212

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 8

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงต้านทาน ต่อ ฟันที่ (AP) (kg/cm ²)	FWH1	0.025	0.025	0.026	0.025	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.028	0.028	0.027	0.027	0.028	0.026	0.025	0.026	0.024	0.024	0.025	0.027	
	FWH2	0.027	0.026	0.026	0.024	0.024	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.025	
	FWH3	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.029	0.030	0.030	0.030	0.029	0.028	0.030	
พื้นที่แรงผลัก (PCA) (cm ²)	FWH1	118.00	130.00	128.00	128.00	133.00	136.00	142.00	148.00	146.00	134.00	147.00	144.00	140.00	161.00	157.00	160.00	159.00	149.00	162.00	170.00	163.00	172.00	157.00	157.00	152.00	155.00	154.00	158.00	160.00	164.00
	FWH2	163.00	148.00	155.00	132.00	130.00	141.00	146.00	150.00	146.00	152.00	151.00	158.00	155.00	158.00	146.00	152.00	153.00	158.00	159.00	159.00	171.00	171.00	177.00	174.00	170.00	172.00	171.00	174.00	168.00	147.00
	FWH3	135.00	142.00	140.00	149.00	145.00	146.00	138.00	135.00	139.00	130.00	149.00	155.00	156.00	167.00	175.00	143.00	169.00	166.00	178.00	171.00	169.00	170.00	171.00	179.00	184.00	173.00	178.00	174.00	165.00	176.00
พื้นที่กล้ามเนื้อ (HP) (cm ²)	FWH1	1171.80	1193.5	1191.3	1197.8	1171.8	1171.8	1182.7	1182.7	1189.2	1200.0	1197.8	1204.4	1184.8	1210.9	1213.0	1217.4	1228.2	1213.0	1210.9	1223.9	1234.7	1234.7	1243.4	1254.3	1252.1	1291.2	1280.3	1293.3	1258.6	1232.6
	FWH2	1134.91	1147.9	1152.3	1184.8	1191.3	1187.0	1204.4	1184.8	1178.3	1197.8	1204.4	1206.5	1217.4	1219.5	1213.0	1223.9	1213.0	1247.8	1230.4	1256.4	1247.8	1217.4	1254.3	1247.8	1252.1	1245.6	1258.6	1271.6	1269.5	1265.1
	FWH3	980.84	1004.7	1017.7	1009.1	1017.7	1022.1	1015.6	1000.4	1026.4	1045.9	1074.2	1089.3	1108.9	1137.1	1147.9	1104.5	1128.4	1111.0	1137.1	1141.4	1102.4	1106.7	1113.2	1102.4	1106.7	1115.4	1134.9	1130.6	1163.1	1119.7
แรงดึงสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	FWH1	0.302	0.302	0.298	0.296	0.286	0.261	0.285	0.280	0.286	0.264	0.277	0.314	0.296	0.296	0.275	0.309	0.301	0.274	0.285	0.293	0.309	0.318	0.278	0.277	0.291	0.274	0.274	0.254	0.270	0.290
	FWH2	0.195	0.183	0.215	0.183	0.191	0.211	0.199	0.183	0.183	0.181	0.167	0.177	0.167	0.191	0.179	0.199	0.179	0.167	0.175	0.183	0.183	0.185	0.179	0.191	0.177	0.181	0.193	0.179	0.185	0.167
	FWH3	0.294	0.274	0.276	0.274	0.270	0.258	0.241	0.231	0.282	0.245	0.270	0.250	0.219	0.272	0.294	0.237	0.260	0.231	0.221	0.231	0.243	0.266	0.280	0.278	0.290	0.219	0.221	0.229	0.211	0.248

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 9

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm²)	FWH1	0.031	0.031	0.031	0.033	0.033	0.032	0.031	0.031	0.030	0.033	0.032	0.030	0.032	0.032	0.033	0.032	0.032	0.034	0.032	0.032	0.033	0.031	0.030	0.032	0.033	0.032	0.033	0.032	0.033	
	FWH2	0.030	0.031	0.031	0.031	0.035	0.037	0.035	0.036	0.037	0.036	0.036	0.036	0.036	0.037	0.038	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.038	0.038	0.037	0.038	0.037	0.039	0.037	0.040	0.039	
	FWH3	0.033	0.034	0.035	0.035	0.036	0.033	0.033	0.032	0.032	0.036	0.035	0.035	0.036	0.035	0.036	0.035	0.035	0.035	0.036	0.037	0.037	0.036	0.033	0.036	0.035	0.038	0.038	0.036	0.037	0.037
พื้นที่แรงเสียดทาน (TCA) (cm²)	FWH1	105.00	110.00	110.00	121.00	123.00	113.00	105.00	115.00	111.00	106.00	126.00	115.00	104.00	122.00	121.00	120.00	125.00	125.00	135.00	126.00	125.00	109.00	110.00	113.00	128.00	125.00	122.00	123.00	127.00	
	FWH2	102.00	114.00	119.00	119.00	116.00	114.00	127.00	128.00	127.00	132.00	131.00	125.00	121.00	129.00	138.00	136.00	132.00	138.00	133.00	131.00	133.00	133.00	142.00	132.00	136.00	135.00	144.00	146.00	146.00	144.00
	FWH3	103.00	103.00	103.00	106.00	116.00	101.00	108.00	101.00	106.00	110.00	115.00	114.00	114.00	111.00	123.00	115.00	116.00	115.00	118.00	118.00	118.00	121.00	119.00	119.00	118.00	125.00	123.00	127.00	118.00	119.00
พื้นที่กำลังอัด (HP) (cm²)	FWH1	692.2	707.4	740.0	744.3	755.2	779.0	748.7	748.7	761.7	753.0	759.5	744.3	755.2	748.7	761.7	750.8	768.2	746.5	759.5	750.8	753.0	774.7	787.7	759.5	763.8	776.9	774.7	763.8	770.4	792.1
	FWH2	731.3	768.2	766.0	763.8	709.6	713.9	718.3	748.7	742.1	759.5	735.6	750.8	757.3	746.5	746.5	737.8	748.7	753.0	746.5	740.0	735.6	746.5	761.7	742.1	750.8	744.3	753.0	724.8	737.8	731.3
	FWH3	620.6	618.5	633.6	638.0	635.8	646.7	640.2	661.9	664.0	640.2	653.2	648.8	648.8	653.2	661.9	664.0	668.4	694.4	674.9	646.7	655.3	673.2	713.9	661.9	685.7	661.9	659.7	690.1	655.3	666.2
แรงเสียดทาน (PP) (kg/cm²)	FWH1	0.341	0.367	0.385	0.419	0.439	0.397	0.369	0.325	0.345	0.309	0.361	0.337	0.317	0.317	0.279	0.285	0.291	0.299	0.303	0.297	0.297	0.449	0.365	0.361	0.339	0.319	0.337	0.297	0.311	0.373
	FWH2	0.398	0.411	0.432	0.359	0.411	0.458	0.451	0.451	0.466	0.443	0.473	0.477	0.428	0.434	0.432	0.477	0.451	0.485	0.434	0.473	0.445	0.451	0.451	0.475	0.460	0.477	0.477	0.545	0.443	0.511
	FWH3	0.405	0.413	0.431	0.433	0.415	0.427	0.389	0.363	0.363	0.439	0.365	0.365	0.391	0.393	0.397	0.435	0.425	0.393	0.423	0.443	0.397	0.397	0.365	0.347	0.365	0.393	0.425	0.415	0.409	

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 10

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm²)	FWH1	0.027	0.027	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.029	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.028	0.027	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027	
	FWH2	0.028	0.027	0.027	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.024	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027
	FWH3	0.026	0.028	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.030	0.031	0.029	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.031	0.032	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.030	0.030
พื้นที่แรงผลัก (PCA) (cm²)	FWH1	124.00	100.00	124.00	133.00	126.00	132.00	134.00	125.00	127.00	128.00	133.00	134.00	129.00	135.00	135.00	140.00	141.00	147.00	150.00	151.00	154.00	154.00	153.00	154.00	156.00	161.00	162.00	160.00	153.00	161.00	161.00	
	FWH2	147.00	142.00	146.00	143.00	148.00	148.00	146.00	149.00	149.00	158.00	153.00	155.00	156.00	136.00	140.00	142.00	146.00	145.00	118.00	130.00	130.00	133.00	139.00	138.00	140.00	127.00	136.00	143.00	152.00	150.00	150.00	
	FWH3	115.00	135.00	138.00	145.00	146.00	141.00	139.00	143.00	143.00	149.00	152.00	156.00	144.00	148.00	155.00	155.00	154.00	157.00	157.00	164.00	164.00	169.00	168.00	171.00	173.00	160.00	154.00	157.00	152.00	152.00	155.00	
พื้นที่กล้ามเนื้อ (HP) (cm²)	FWH1	941.0	951.0	961.3	952.6	961.3	961.3	977.0	963.5	969.0	999.0	1020.0	1030.0	1044.0	1076.3	1074.2	1082.8	1080.7	1069.8	1078.5	1119.7	1130.6	1115.4	1113.2	1128.4	1128.4	1124.1	1117.6	1121.9	1128.4	1126.2		
	FWH2	901.0	904.0	908.0	913.0	923.0	927.0	930.0	932.0	935.0	944.0	952.0	948.0	955.0	960.0	962.0	958.0	965.0	970.0	978.7	982.0	985.0	987.0	1000.0	1010.0	1032.9	1022.0	1015.0	1028.6	1033.0	1038.0		
	FWH3	846.3	863.7	868.0	889.7	881.0	883.2	891.9	889.7	894.0	889.7	887.5	842.0	857.2	868.0	883.2	891.9	885.4	878.9	859.3	855.0	894.0	891.9	896.2	917.9	920.1	904.9	881.0	898.4	911.4	911.4		
แรงผลักต่อ (PP) (kg/cm²)	FWH1	0.192	0.188	0.188	0.207	0.196	0.196	0.184	0.184	0.188	0.194	0.182	0.181	0.181	0.184	0.184	0.181	0.181	0.192	0.194	0.194	0.192	0.192	0.194	0.192	0.196	0.192	0.192	0.192	0.194	0.188		
	FWH2	0.184	0.180	0.180	0.174	0.172	0.172	0.168	0.174	0.180	0.176	0.174	0.166	0.172	0.160	0.164	0.168	0.168	0.164	0.176	0.200	0.176	0.164	0.168	0.162	0.162	0.176	0.172	0.180	0.180	0.180		
	FWH3	0.166	0.181	0.173	0.181	0.167	0.173	0.173	0.171	0.179	0.181	0.179	0.182	0.173	0.173	0.181	0.201	0.197	0.184	0.181	0.192	0.192	0.192	0.196	0.184	0.186	0.184	0.184	0.196	0.203	0.203		

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 11

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm ²)	FWH1	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026		
	FWH2	0.028	0.028	0.029	0.029	0.028	0.029	0.029	0.029	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.030	0.031	0.031	0.031	0.030	0.030	0.031	0.030	0.031	0.030	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032
	FWH3	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.029	0.029	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.029	0.029
พื้นที่แรงผลัก (PCA) (cm ²)	FWH1	128.00	127.00	135.00	137.00	139.00	142.00	144.00	143.00	148.00	146.00	149.00	153.00	146.00	142.00	144.00	142.00	145.00	142.00	159.00	148.00	157.00	150.00	150.00	154.00	152.00	152.00	143.00	153.00	155.00	164.00	164.00	
	FWH2	122.00	132.00	143.00	140.00	137.00	133.00	142.00	140.00	152.00	153.00	162.00	157.00	161.00	164.00	164.00	162.00	158.00	165.00	163.00	164.00	168.00	166.00	167.00	169.00	176.00	173.00	171.00	164.00	178.00	180.00	180.00	180.00
	FWH3	114.00	120.00	115.00	110.00	103.00	117.00	129.00	133.00	131.00	134.00	132.00	140.00	136.00	141.00	147.00	146.00	132.00	139.00	136.00	145.00	140.00	144.00	146.00	145.00	145.00	146.00	148.00	149.00	151.00	152.00	152.00	
พื้นที่กำลังอัด (HP) (cm ²)	FWH1	1054.6	1082.8	1063.3	1098.0	1091.5	1095.9	1111.0	1089.3	1108.9	1110.0	1119.7	1106.7	1108.9	1120.0	1130.0	1125.0	1134.0	1136.0	1143.0	1143.6	1143.6	1137.1	1141.4	1145.8	1157.0	1167.5	1176.1	1180.5	1169.6	1178.3	1178.3	1178.3
	FWH2	950.5	965.7	965.7	963.5	967.8	965.7	980.8	993.9	998.2	985.2	987.4	985.2	985.2	1000.4	1006.9	985.2	996.0	991.7	1004.7	1002.5	1022.1	1032.9	1024.2	1030.8	1009.1	1015.6	1024.2	1000.4	1006.9	1009.1	1009.1	1009.1
	FWH3	870.2	889.7	900.6	891.9	883.2	876.7	883.2	900.6	904.9	900.6	902.7	920.1	920.1	909.2	898.4	913.6	896.2	891.9	902.7	913.6	920.1	925.6	922.0	915.0	891.9	924.4	929.0	933.1	920.1	940.0	940.0	940.0
แรงดันสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	FWH1	0.383	0.340	0.365	0.369	0.363	0.361	0.334	0.353	0.354	0.336	0.365	0.343	0.274	0.331	0.338	0.345	0.352	0.319	0.334	0.334	0.312	0.343	0.340	0.376	0.378	0.316	0.330	0.338	0.340	0.345	0.345	
	FWH2	0.394	0.409	0.409	0.389	0.418	0.404	0.398	0.442	0.466	0.407	0.418	0.418	0.444	0.437	0.442	0.439	0.411	0.415	0.422	0.461	0.433	0.424	0.428	0.448	0.442	0.453	0.446	0.463	0.450	0.463	0.463	0.463
	FWH3	0.395	0.405	0.397	0.424	0.436	0.408	0.408	0.393	0.379	0.383	0.374	0.408	0.391	0.379	0.387	0.385	0.370	0.426	0.356	0.418	0.410	0.399	0.405	0.358	0.407	0.436	0.401	0.412	0.425	0.425	0.430	0.430

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 12

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm²)	FWH1	0.032	0.033	0.031	0.032	0.033	0.032	0.033	0.032	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.034	0.034	0.035	0.033	0.033	0.034	0.034	0.035	0.036	0.034	0.034	0.035	0.035	0.036	0.036	0.036	0.036
	FWH2	0.033	0.033	0.032	0.033	0.034	0.032	0.035	0.034	0.032	0.034	0.033	0.034	0.033	0.034	0.033	0.035	0.034	0.033	0.033	0.034	0.031	0.032	0.034	0.033	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
	FWH3	0.032	0.032	0.033	0.034	0.033	0.033	0.034	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035	0.035	0.036	0.036	0.035	0.035	0.035	0.036	0.036	0.037	0.037	0.037	0.036	0.037	0.036	0.036	0.037	0.036	
พื้นที่แรงผลัก (PCA) (cm²)	FWH1	121.00	124.00	116.00	126.00	129.00	123.00	132.00	139.00	134.00	134.00	135.00	134.00	136.00	135.00	140.00	147.00	144.00	142.00	147.00	149.00	134.00	137.00	144.00	138.00	136.00	138.00	139.00	145.00	144.00	143.00
	FWH2	130.00	138.00	127.00	135.00	140.00	136.00	145.00	136.00	146.00	157.00	154.00	149.00	148.00	154.00	151.00	152.00	145.00	135.00	144.00	150.00	158.00	157.00	155.00	159.00	158.00	157.00	153.00	158.00	159.00	155.00
	FWH3	110.00	114.00	121.00	128.00	123.00	127.00	126.00	138.00	143.00	139.00	145.00	145.00	140.00	145.00	144.00	139.00	139.00	141.00	144.00	147.00	151.00	151.00	153.00	159.00	156.00	157.00	155.00	155.00	156.00	156.00
พื้นที่กำลังอัด (HP) (cm²)	FWH1	807.2	813.8	818.1	820.3	831.1	839.8	842.0	859.3	839.8	833.3	835.5	833.3	835.5	859.3	848.5	837.6	831.1	846.3	850.6	846.3	844.1	848.5	842.0	863.7	859.3	852.8	861.5	865.8	863.7	859.3
	FWH2	724.8	720.4	744.3	763.8	768.2	772.5	753.0	774.7	811.6	772.5	770.4	783.4	789.9	792.1	813.8	794.2	813.8	826.8	826.8	822.4	874.5	872.3	852.8	863.7	824.6	822.4	831.1	839.8	839.8	846.3
	FWH3	733.5	740.0	735.6	740.0	757.3	759.5	755.2	770.4	757.3	761.7	766.0	766.0	776.9	766.0	772.5	776.9	776.9	779.0	770.4	785.5	779.0	774.7	770.4	779.0	796.4	789.9	796.4	789.9	787.7	787.7
แรงดึงสูงสุด (PP) (kg/cm²)	FWH1	0.474	0.472	0.366	0.364	0.381	0.402	0.474	0.413	0.474	0.387	0.464	0.389	0.464	0.455	0.366	0.368	0.451	0.457	0.470	0.472	0.472	0.459	0.472	0.435	0.427	0.408	0.430	0.464	0.434	0.434
	FWH2	0.383	0.353	0.452	0.424	0.396	0.438	0.444	0.440	0.383	0.385	0.377	0.406	0.353	0.416	0.363	0.393	0.379	0.371	0.389	0.414	0.402	0.414	0.404	0.438	0.410	0.438	0.456	0.396	0.400	0.400
	FWH3	0.388	0.406	0.420	0.420	0.416	0.404	0.425	0.416	0.385	0.434	0.453	0.425	0.238	0.288	0.294	0.300	0.306	0.277	0.290	0.290	0.271	0.298	0.296	0.327	0.329	0.275	0.287	0.294	0.296	0.300

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 13

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
แรงดันรวม ต่ พื้นที่ (AP) (kg/cm²)	FWH1	0.019	0.019	0.020	0.019	0.019	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	
	FWH2	0.022	0.022	0.023	0.023	0.022	0.023	0.023	0.023	0.021	0.021	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025
	FWH3	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
พื้นที่รวมต่อ ช่อง (TCA) (cm²)	FWH1	65.00	59.00	67.00	58.00	57.00	74.00	79.00	81.00	75.00	78.00	91.00	88.00	99.00	98.00	110.00	103.00	91.00	87.00	89.00	89.00	99.00	90.00	86.00	94.00	101.00	103.00	101.00	105.00	105.00	108.00	
	FWH2	74.00	98.00	102.00	104.00	86.00	86.00	93.00	86.00	94.00	73.00	85.00	91.00	102.00	97.00	95.00	100.00	95.00	110.00	108.00	107.00	113.00	118.00	115.00	116.00	115.00	124.00	124.00	126.00	129.00	129.00	132.00
	FWH3	69.00	71.00	77.00	77.00	79.00	77.00	86.00	88.00	83.00	85.00	94.00	90.00	93.00	92.00	91.00	92.00	88.00	91.00	95.00	95.00	99.00	97.00	92.00	99.00	98.00	97.00	102.00	102.00	108.00	104.00	
พื้นที่รวมต่อ (HP) (cm²)	FWH1	1219.5	1236.9	1245.6	1240.0	1247.0	1260.8	1271.6	1273.8	1271.6	1271.6	1308.5	1302.0	1308.5	1315.0	1321.5	1312.9	1299.8	1338.9	1338.9	1334.6	1354.1	1373.6	1347.6	1360.6	1367.1	1362.8	1371.4	1367.1	1375.8	1375.8	
	FWH2	1169.6	1187.0	1191.3	1184.8	1182.7	1200.0	1195.7	1195.7	1195.7	1223.9	1215.2	1226.1	1228.2	1228.2	1232.6	1239.1	1226.1	1228.2	1226.1	1243.4	1232.6	1221.7	1230.4	1228.2	1239.1	1247.8	1245.6	1228.2	1249.9	1252.1	
	FWH3	1130.6	1126.2	1128.4	1121.9	1121.9	1147.9	1139.3	1130.6	1154.4	1163.1	1154.4	1150.1	1161.0	1156.6	1161.0	1145.8	1167.5	1158.8	1156.6	1150.1	1161.0	1180.5	1178.3	1180.5	1176.1	1178.3	1171.8	1174.0	1180.5	1171.8	
แรงดันสูงสุด (PP) (kg/cm²)	FWH1	0.170	0.176	0.170	0.168	0.165	0.163	0.159	0.163	0.168	0.142	0.151	0.182	0.149	0.159	0.153	0.155	0.159	0.165	0.168	0.163	0.155	0.159	0.157	0.159	0.161	0.163	0.174	0.188	0.178	0.188	
	FWH2	0.139	0.148	0.126	0.158	0.156	0.133	0.139	0.144	0.139	0.133	0.139	0.143	0.143	0.144	0.146	0.158	0.152	0.156	0.156	0.163	0.163	0.165	0.131	0.135	0.137	0.137	0.137	0.139	0.131	0.133	
	FWH3	0.157	0.169	0.137	0.161	0.151	0.157	0.141	0.147	0.139	0.145	0.143	0.143	0.141	0.149	0.153	0.153	0.155	0.149	0.153	0.153	0.153	0.155	0.165	0.171	0.173	0.177	0.167	0.169	0.169	0.169	

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 14

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm ²)	FWH1	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.023	0.024	0.024	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.024	0.024	0.025	0.024	0.025	0.025	0.024	0.024	0.025	0.025	
	FWH2	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.025	0.025	0.026	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.025	
	FWH3	0.023	0.024	0.025	0.025	0.025	0.024	0.024	0.026	0.026	0.026	0.025	0.026	0.027	0.028	0.028	0.027	0.026	0.027	0.027	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026
พื้นที่แรงผลัก (PCA) (cm ²)	FWH1	119.00	124.00	121.00	106.00	115.00	128.00	114.00	115.00	118.00	117.00	131.00	137.00	149.00	134.00	135.00	136.00	126.00	140.00	130.00	137.00	131.00	143.00	130.00	146.00	145.00	145.00	144.00	150.00	145.00	
	FWH2	115.00	121.00	120.00	120.00	118.00	122.00	136.00	140.00	142.00	137.00	143.00	141.00	143.00	143.00	145.00	145.00	148.00	144.00	150.00	157.00	151.00	145.00	146.00	154.00	131.00	138.00	143.00	144.00	143.00	
	FWH3	96.00	119.00	124.00	127.00	128.00	125.00	135.00	142.00	141.00	137.00	146.00	146.00	152.00	154.00	155.00	159.00	151.00	159.00	161.00	145.00	138.00	136.00	143.00	147.00	141.00	148.00	152.00	153.00	157.00	155.00
พื้นที่กำลังอัด (HP) (cm ²)	FWH1	1245.6	1280.3	1245.6	1312.9	1241.2	1219.5	1204.4	1197.8	1226.1	1278.1	1302.0	1317.2	1330.2	1369.3	1312.9	1306.3	1282.5	1308.5	1291.2	1319.4	1317.2	1252.1	1262.9	1249.9	1258.6	1271.6	1269.5	1306.3	1271.6	1289.0
	FWH2	1119.7	1145.8	1130.6	1134.9	1137.1	1147.9	1158.8	1165.3	1167.5	1180.5	1174.0	1182.7	1197.8	1187.0	1191.3	1187.0	1176.1	1174.0	1171.8	1178.3	1187.0	1191.3	1210.9	1215.2	1234.7	1245.6	1232.6	1254.3	1241.2	1210.9
	FWH3	996.0	1024.2	1037.3	1050.3	1063.3	1072.0	1106.7	1074.2	1072.0	1087.2	1126.2	1117.6	1132.7	1063.3	1080.7	1100.2	1132.7	1076.3	1132.7	1147.9	1191.3	1167.5	1189.2	1200.0	1191.3	1174.0	1202.2	1187.0	1191.3	1215.2
แรงดึงสูงสุด (PP) (kg/cm ²)	FWH1	0.221	0.211	0.223	0.238	0.230	0.231	0.270	0.306	0.279	0.233	0.209	0.213	0.260	0.241	0.240	0.228	0.228	0.272	0.250	0.257	0.277	0.243	0.286	0.264	0.264	0.282	0.308	0.326	0.311	
	FWH2	0.218	0.218	0.218	0.222	0.222	0.227	0.227	0.218	0.222	0.222	0.231	0.233	0.242	0.235	0.238	0.240	0.255	0.266	0.257	0.257	0.257	0.248	0.246	0.270	0.301	0.329	0.333	0.322	0.320	0.296
	FWH3	0.200	0.246	0.253	0.259	0.253	0.229	0.233	0.235	0.248	0.281	0.209	0.242	0.255	0.281	0.266	0.266	0.235	0.279	0.253	0.231	0.222	0.235	0.231	0.233	0.229	0.253	0.222	0.229	0.231	0.218

ผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 15

Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
แรงต้านลม ต่อพื้นที่ (AP) (kg/cm²)	FWH1	0.022	0.023	0.022	0.024	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.024	0.025	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024		
	FWH2	0.025	0.024	0.024	0.024	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.026	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	
	FWH3	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.024	0.025	0.025	0.025	
พื้นที่แรงเสียดทาน (TCA) (cm²)	FWH1	116.00	120.00	120.00	118.00	114.00	116.00	123.00	120.00	125.00	126.00	127.00	111.00	110.00	114.00	114.00	120.00	114.00	115.00	121.00	125.00	122.00	125.00	119.00	113.00	124.00	121.00	126.00	128.00	125.00	123.00	123.00	
	FWH2	119.00	115.00	122.00	125.00	135.00	135.00	140.00	131.00	137.00	137.00	141.00	147.00	146.00	148.00	145.00	144.00	139.00	136.00	140.00	132.00	131.00	130.00	134.00	132.00	127.00	133.00	139.00	141.00	140.00	146.00	146.00	
	FWH3	123.00	121.00	124.00	144.00	141.00	144.00	133.00	144.00	135.00	133.00	130.00	136.00	131.00	124.00	160.00	150.00	152.00	149.00	156.00	150.00	153.00	167.00	161.00	163.00	153.00	166.00	173.00	168.00	169.00	168.00	168.00	
พื้นที่กำลังอัด (HP) (cm²)	FWH1	1176.1	1180.5	1197.8	1156.6	1184.8	1206.5	1204.4	1223.9	1223.9	1223.9	1215.0	1213.0	1210.9	1213.0	1215.2	1217.0	1213.0	1217.0	1220.0	1222.0	1225.0	1228.2	1234.7	1232.6	1247.8	1210.9	1243.4	1219.5	1232.6	1221.7	1221.7	
	FWH2	1093.7	1104.5	1117.6	1124.1	1119.7	1111.0	1124.1	1126.2	1141.4	1134.9	1137.1	1154.4	1158.8	1167.5	1165.3	1189.2	1189.2	1182.7	1180.5	1121.0	1125.0	1120.0	1125.0	1120.0	1120.0	1125.0	1128.0	1132.0	1135.0	1137.0	1140.0	1140.0
	FWH3	957.0	1011.2	1006.9	1030.8	1028.6	978.7	976.5	978.7	989.5	985.2	1000.4	1054.6	1032.9	1020.0	1069.8	1074.2	1060.0	1065.0	1067.0	1030.0	1048.0	1050.0	1067.0	1056.0	1065.0	1065.0	1077.0	1074.0	1102.4	1095.9	1095.9	
แรงเสียดทาน (PP) (kg/cm²)	FWH1	0.306	0.313	0.287	0.267	0.337	0.322	0.317	0.321	0.332	0.310	0.352	0.269	0.295	0.326	0.322	0.308	0.317	0.310	0.284	0.280	0.295	0.280	0.262	0.249	0.269	0.263	0.278	0.275	0.287	0.284	0.284	
	FWH2	0.203	0.199	0.199	0.184	0.184	0.193	0.199	0.201	0.206	0.201	0.205	0.203	0.203	0.203	0.206	0.205	0.205	0.212	0.214	0.210	0.217	0.210	0.210	0.210	0.210	0.223	0.221	0.228	0.217	0.206	0.206	
	FWH3	0.175	0.183	0.208	0.202	0.212	0.234	0.228	0.247	0.240	0.236	0.244	0.259	0.257	0.240	0.260	0.244	0.255	0.244	0.256	0.264	0.255	0.256	0.267	0.275	0.267	0.275	0.275	0.266	0.276	0.276	0.278	0.278



ภาคผนวก ข

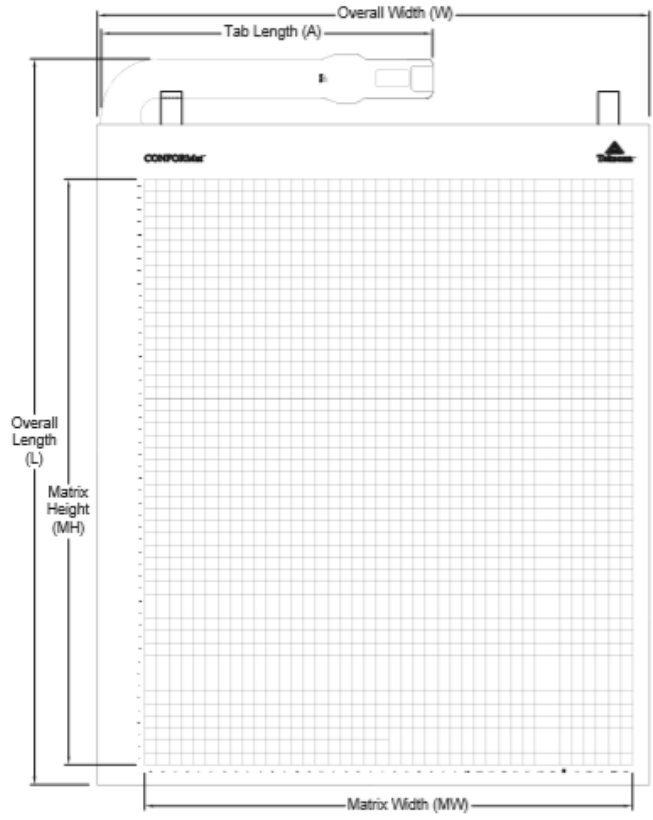
Specification PMS program

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



Pressure Mapping Sensor 5331

PRESSURE MAPPING, FORCE MEASUREMENT, AND TACTILE SENSORS



General Dimensions			Sensing Region Dimensions						Summary			
Overall Length L	Overall Width W	Tab Length A	Matrix Width MW	Matrix Height MH	Columns			Rows			Total No. of Sencels	Sencel Spatial Resolution
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	CW	Pitch CS	Qty.	RW	Pitch RS	Qty.		
876.3	666.8	400.1	589.3	707.1	6.4	14.7	40	6.4	14.7	48	1920	0.5 <small>(sencel per sq-cm)</small>
34.50	26.25	15.75	23.20	27.84	0.25	0.58	40	0.25	0.58	48	1920	3.0 <small>(sencel per sq-in)</small>

Pressure Ranges	
kPa	34
psi	5



ภาคผนวก ค

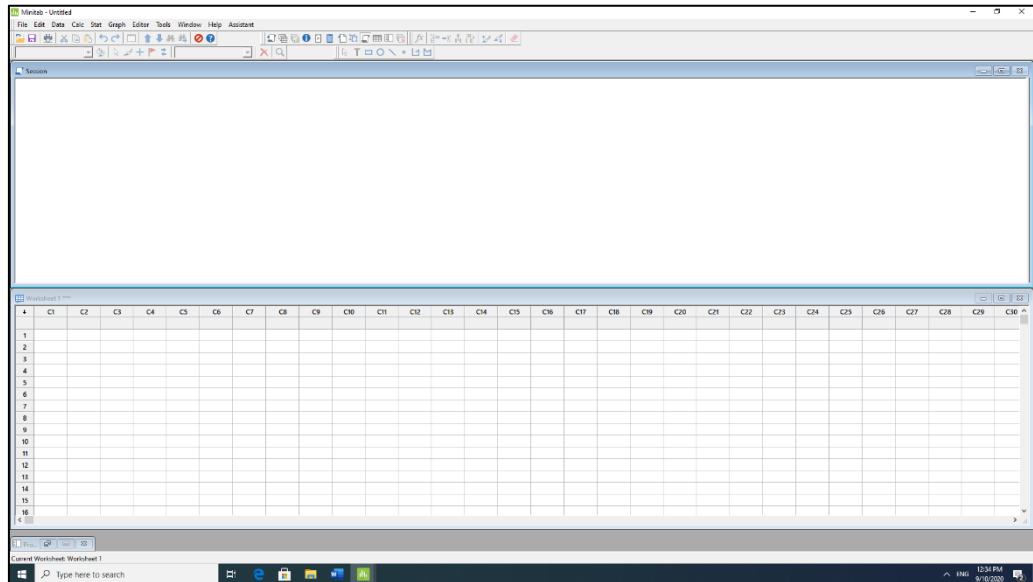
วิธีการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม MINITAB

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

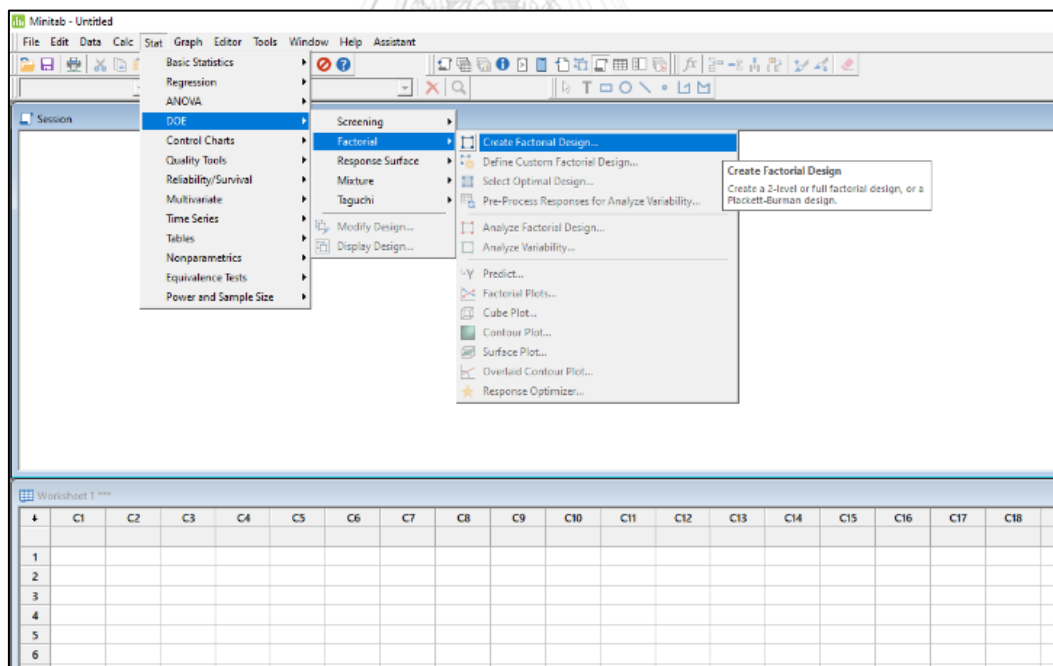
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

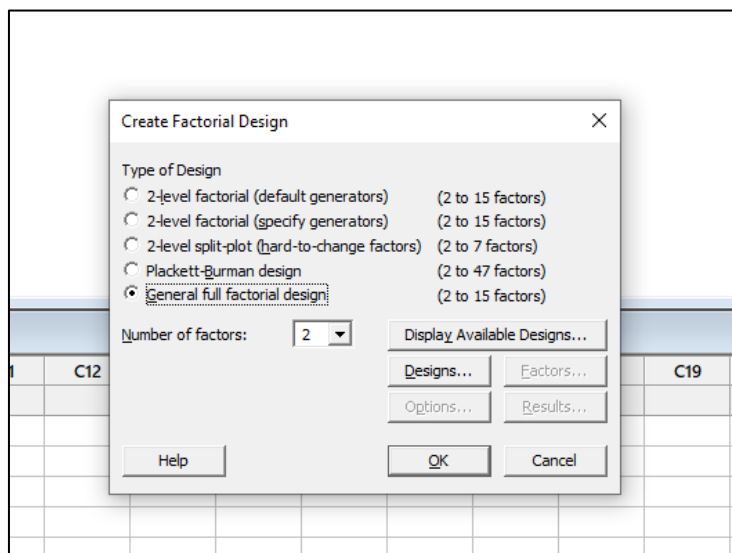
1. เปิดโปรแกรม Minitab 18 จะปรากฏหน้าต่าง Session และ Worksheet 1



2. เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design

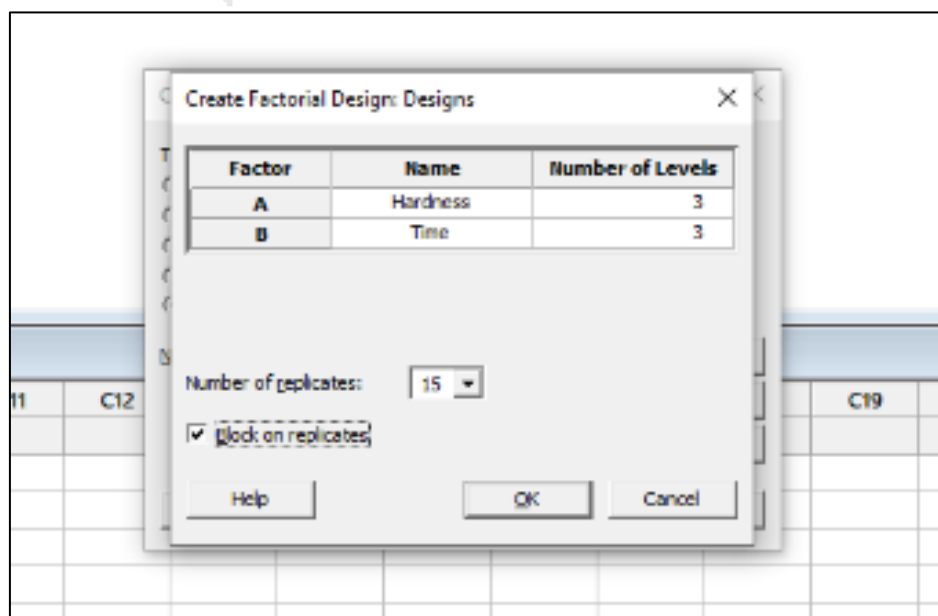


3. จากนั้นจะมีหน้าต่าง Create Factorial Design ขึ้นให้เลือก General Full Factorial Design และลำดับต่อไปเลือกระดับของ Factors ที่ Number of Factors เลือก 2 ปัจจัยจากการทดลอง

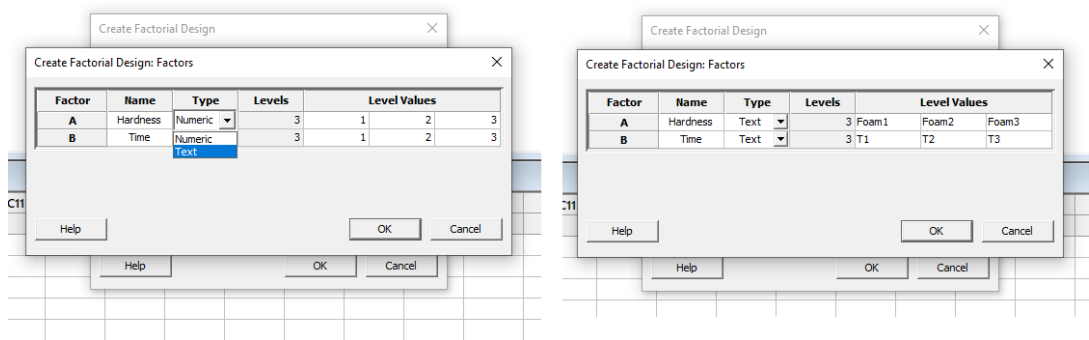


4. ขั้นตอนต่อไปกดที่คำว่า Designs เพื่อระบุระดับของปัจจัยที่ใช้สำหรับการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้จะมีอย่างละ 3 ระดับ และที่ Number of replicates คือจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองคือ 15 คน และกดเครื่องหมายถูกที่กล่อง Block on replicates ทำการ Block ผู้เข้าร่วมการทดลองเพื่อป้องกันอิทธิพลจากปัจจัยรบกวนภายนอกจากนั้น คลิก OK

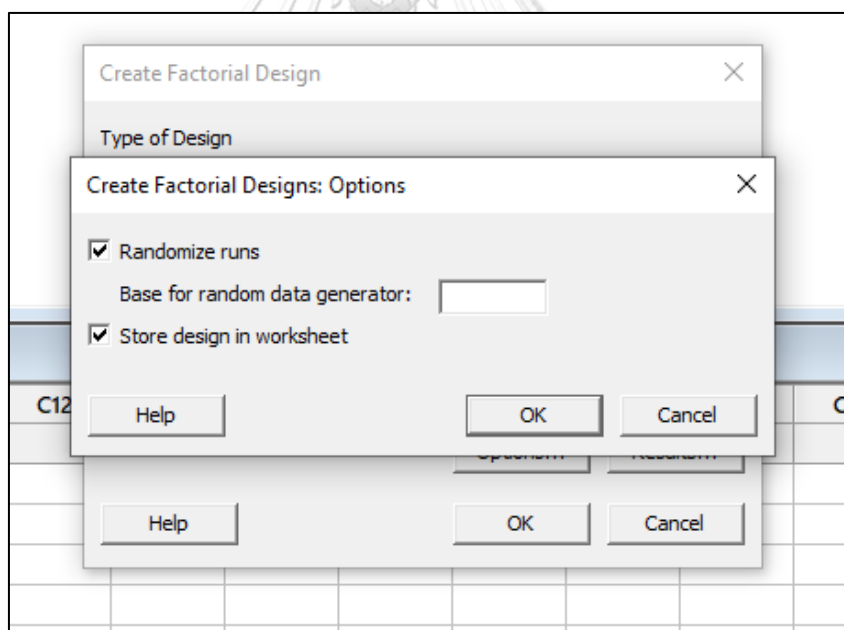
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5. จากเมนูหน้าต่างของ Create Factorial Design ให้เลือก Factors เพื่อทำการระบุชนิดของ Factors ว่าเป็นแบบตัวอักษรหรือตัวเลข แล้วแก้ไขระดับตามที่งานวิจัยกำหนดไว้



6. จากนั้นกด OK ที่เมนูหน้าต่างของ Create Factorial Design ให้เลือกคำสั่ง Option เพื่อกำหนดการสุ่มของการทดลองว่าต้องการแบบใด สุ่มหรือไม่สุ่ม



7. ข้อมูลจะออกมาเป็นตาราง ให้ทำการกรอกผลการทดลอง

The screenshot shows the Minitab interface with a 'Session' window displaying the design summary for a Multilevel Factorial Design. The design summary indicates 2 factors, 15 replicates, 9 base runs, 135 total runs, and 15 total blocks. Below the session window is a worksheet with 16 rows of data.

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Hardness	Time				
1	1	1	1	1	1 Foam1	T1				
2	2	2	1	1	1 Foam1	T2				
3	3	3	1	1	1 Foam1	T3				
4	4	4	1	1	1 Foam2	T1				
5	5	5	1	1	1 Foam2	T2				
6	6	6	1	1	1 Foam2	T3				
7	7	7	1	1	1 Foam3	T1				
8	8	8	1	1	1 Foam3	T2				
9	9	9	1	1	1 Foam3	T3				
10	10	10	1	2	2 Foam1	T1				
11	11	11	1	2	2 Foam1	T2				
12	12	12	1	2	2 Foam1	T3				
13	13	13	1	2	2 Foam2	T1				
14	14	14	1	2	2 Foam2	T2				
15	15	15	1	2	2 Foam2	T3				
16	16	16	1	2	2 Foam3	T1				

8. ขั้นตอนสุดท้ายการวิเคราะห์ข้อมูล Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design > C7 or C8 คือผลการทดลอง



ตัวชี้วัดที่ 1 ค่าแรงดันสูงสุด

จากข้อมูลรูปที่ 3.15 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่อยู่ใน Excel Program ฉะนั้นจึงใช้สูตรหาค่าแรงดันสูงสุดโดย พิมพ์ว่า =Max(ครอบพื้นที่ที่มีแรงกระทำทั้งหมด)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a grid of numerical data. A formula bar at the bottom right displays the formula `=MAX(F43:AF71)`. The spreadsheet contains a large array of values, likely representing pressure measurements across a grid.

ตัวชี้วัดที่ 2 พื้นที่ผิวสัมผัส

จากข้อมูลรูปที่ 3.15 แสดงถึงพื้นที่ ที่เกิดแรงกระทำทั้งหมด ฉะนั้นจึงใช้สูตรผลรวมของพื้นที่ โดยพิมพ์คำว่า =COUNTIFS(ครอบพื้นที่ที่มีแรงกระทำทั้งหมด) แล้วนำมาคูณด้วย 2.17 cm² เพื่อให้กลายเป็นต่อตารางเซนติเมตรตามค่าจริงของเครื่อง Pressure Mapping

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a grid of numerical data. A formula bar at the bottom right displays the formula `=COUNTIFS(F43:AF71)`. The spreadsheet contains a large array of values, likely representing pressure measurements across a grid.

ตัวชี้วัดที่ 3 แรงดันเฉลี่ย

จากข้อมูลรูปที่ 3.15 ต้องหาค่าแรงดันทั้งหมดหารด้วยพื้นที่ผิวสัมผัส หรือตัวชี้วัดที่ 2 ฉะนั้นจึงใช้สูตรผลรวมของค่าแรงดัน โดยพิมพ์คำว่า =SUM(ครอบพื้นที่ที่มีแรงกระทำทั้งหมด)



ตารางการวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าแรงดันสูงสุดรายบุคคล

ผู้เข้าร่วม การ ทดลอง	เพศ	BMI	P-Value							
			Hardness	Time	F1-F2	F1-F3	F2-F3	T1- T2	T1- T3	T2- T3
1	หญิง	21.1	0.000*	0.284	0.123	0.002*	0.006*			
2	หญิง	23.1	0.002*	0.971	0.011*	0.001*	0.028*			
3	หญิง	21.3	0.000*	0.444	0.000*	0.001*	0.026*			
4	หญิง	22.7	0.001*	0.184	0.010*	0.001*	0.014*			
5	หญิง	22.4	0.001*	0.187	0.011*	0.001*	0.016*			
6	ชาย	22.4	0.001*	0.395	0.003*	0.001*	0.314			
7	ชาย	24.3	0.078	0.147						
8	ชาย	23.1	0.000*	0.202	0.000*	0.008*	0.000*			
9	ชาย	19.2	0.004*	0.785	0.004*	0.019*	0.123			
10	ชาย	23.6	0.014*	0.837	0.013*	0.051	0.275			
11	ชาย	20.5	0.001*	0.796	0.001*	0.002*	0.066			
12	ชาย	19.4	0.094	0.476						
13	ชาย	22	0.002*	0.45	0.002*	0.029*	0.022*			
14	ชาย	21.5	0.404	0.323						
15	ชาย	21.6	0.001*	0.413	0.001*	0.005*	0.024*			

*F1 = Foam No.1 , F2 = Foam No.2 , F3 = Foam No.3

*T1 = Period 1-10 minutes , T2 = Period 1-20 minutes , T3 = Period 1-30 minutes

การวิเคราะห์รายบุคคลกับปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลอง พบว่า ปัจจัยของเวลาในการทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันสูงสุด ส่วนใหญ่ ปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมมีอิทธิพลต่อการทดลอง มีเพียงผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 7,12,14 พบ สิ่งผิดปกติอื่นเนื่องมาจากลักษณะการนั่งเฉพาะตัวบุคคลที่แตกต่างจากผู้เข้าร่วมการทดลองท่านอื่น ทำให้ค่าบิดเปลี่ยน

ตารางการวิเคราะห์ค่าแรงดันเฉลี่ยรายบุคคล

ผู้เข้าร่วม การทดลอง	เพศ	BMI	P-Value							
			Hardness	Time	F1-F2	F1-F3	F2-F3	T1-T2	T1-T3	T2-T3
1	หญิง	21.1	0.000*	0.064	0.047*	0.000*	0.001*			
2	หญิง	23.1	0.000*	0.001*	0.000*	0.000*	0.263	0.009*	0.001*	0.007*
3	หญิง	21.3	0.005*	0.483	0.008*	0.006*	0.867			
4	หญิง	22.7	0.004*	0.035*	0.029*	0.003*	0.047*	0.09	0.034*	0.553
5	หญิง	22.4	0.000*	0.003*	0.000*	0.000*	0.001*	0.026*	0.002*	0.026*
6	ชาย	22.4	0.001*	0.453	0.515	0.002*	0.001*			
7	ชาย	24.3	0.000*	0.068	0.000*	0.001*	0.000*			
8	ชาย	23.1	0.000*	0.008*	0.001*	0.000*	0.000*	0.047*	0.007*	0.114
9	ชาย	19.2	0.001*	0.034*	0.001*	0.002*	0.260	0.11	0.031*	0.413
10	ชาย	23.6	0.015*	0.987	0.057	0.263	0.014*			
11	ชาย	20.5	0.000*	0.018*	0.000*	0.001*	0.001*	0.065	0.016*	0.299
12	ชาย	19.4	0.05	0.094						
13	ชาย	22	0.000*	0.002*	0.000*	0.000*	0.005*	0.009*	0.001*	0.039*
14	ชาย	21.5	0.000*	0.001*	0.001*	0.000*	0.001*	0.004*	0.001*	0.141
15	ชาย	21.6	0.000*	0.070	0.000*	0.030*	0.000*			

*F1 = Foam No.1 , F2 = Foam No.2 , F3 = Foam No.3

*T1 = Period 1-10 minutes , T2 = Period 1-20 minutes , T3 = Period 1-30 minutes

การวิเคราะห์รายบุคคลกับปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลอง พบว่า ส่วนใหญ่ปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมมีอิทธิพลต่อการทดลอง มีเพียงผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 12 คือเพศชาย ดัชนีมวลกาย 19.4 kg/m² พบสิ่งผิดปกติอันเนื่องมาจากสรีระของผู้เข้าร่วมการทดลองที่ คาดว่าการนั่งโฟมทั้ง3ประเภทไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยของเวลาในการทดลองพบว่า ประมาณ ครึ่งหนึ่งมีอิทธิพลต่อการทดลอง และอีกครึ่งไม่มีอิทธิพลต่อการทดลองอันเนื่องมาจาก ความผิดปกติ ของลักษณะการนั่งและมีการขยับตัวทำให้ค่าที่ทดลองมีความผิดปกติกับเวลาในการทดลอง

ตารางการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสรายบุคคล

ผู้เข้าร่วม การทดลอง	เพศ	BMI	P-Value							
			Hardness	Time	F1-F2	F1-F3	F2-F3	T1-T2	T1-T3	T2-T3
1	หญิง	21.1	0.000*	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*	0.012*	0.001*	0.024*
2	หญิง	23.1	0.000*	0.013*	0.003*	0.000*	0.000*	0.055	0.012*	0.227
3	หญิง	21.3	0.001*	0.001*	0.031*	0.001*	0.009*	0.009*	0.001*	0.017*
4	หญิง	22.7	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
5	หญิง	22.4	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.001*	0.002*	0.000*	0.002*
6	ชาย	22.4	0.004*	0.102	0.141	0.004*	0.017*			
7	ชาย	24.3	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.003*	0.001*	0.000*	0.003*
8	ชาย	23.1	0.000*	0.021*	0.891	0.000*	0.000*	0.089	0.018*	0.253
9	ชาย	19.2	0.000*	0.137	0.027*	0.000*	0.000*			
10	ชาย	23.6	0.007*	0.177	0.050	0.006*	0.072			
11	ชาย	20.5	0.000*	0.008*	0.000*	0.000*	0.000*	0.071	0.007*	0.073
12	ชาย	19.4	0.001*	0.049*	0.003*	0.001*	0.070	0.239	0.042*	0.279
13	ชาย	22	0.000*	0.014*	0.001*	0.000*	0.000*	0.078	0.012*	0.152
14	ชาย	21.5	0.000*	0.019*	0.001*	0.000*	0.002*	0.086	0.016*	0.221
15	ชาย	21.6	0.000*	0.041*	0.001*	0.000*	0.000*	0.096	0.041*	0.639

*F1 = Foam No.1 , F2 = Foam No.2 , F3 = Foam No.3

*T1 = Period 1-10 minutes , T2 = Period 1-20 minutes , T3 = Period 1-30 minutes

การวิเคราะห์รายบุคคลกับปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมและเวลาในการทดลอง พบว่า ส่วนใหญ่ปัจจัยของค่าความแข็งของโฟมมีอิทธิพลต่อพื้นที่ผิวสัมผัส ส่วนปัจจัยของเวลาในการทดลอง พบว่า ประมาณ 3 ผู้เข้าร่วมการทดลองไม่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสอันเนื่องมาจาก ความผิดปกติของสรีระและการนั่งทำให้ค่าที่ทดลองมีความผิดปกติกับเวลาในการทดลอง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐพงศ์ ลีวุฒิวิชัย
วัน เดือน ปี เกิด	11 ธันวาคม 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	800/218 หมู่.3 ต.แพรกษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280
ผลงานตีพิมพ์	สัมมนาเครือข่ายอุตสาหกรรม 2563 IE Network 2020 จัดโดยคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ณ โรงแรม พูลแมน พัทยา จี เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY