

อุปกรณ์พยุงหลังสำหรับกลุ่มโรคปวดหลังส่วนล่างด้วยระบบพาสซีฟแมคคานิค

BACK SUPPORTING FOR LOWER BACK PAIN BY PASSIVE MECHANISM



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2558

อุปกรณ์พยุงหลังสำหรับกลุ่มโรคปวดหลังส่วนล่างด้วยระบบพาสซีฟแมคคานิค

BACK SUPPORTING FOR LOWER BACK PAIN BY PASSIVE MECHANISM



T144438



สงวน  
เลขทะเบียน 144438  
รับเดือนปี 24 พ.ย. 2559

b. 1๙๙1๖๗๗๒  
i. ....

ปฏิญานีพจน์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์พยุงหลังสำหรับกลุ่มโรคปวดหลังส่วนล่างด้วยระบบพาสซีฟแมคคานิค

BACK SUPPORTING FOR LOWER BACK PAIN BY PASSIVE MECHANISM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์พยุงหลังสำหรับกลุ่มโรคปวดหลังส่วนล่างด้วยระบบพาสซีฟแมคคานิค  
(BACK SUPPORTING FOR LOWER BACK PAIN BY PASSIVE MECHANISM)

ผู้จัดทำ นางสาวกมลฉัตร อภิวัฒน์ชัยกุล รหัสประจำตัว 55010011

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



ภาส-ภ.

(ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ)  
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการงาน	อุปกรณ์ช่วยพยุงหลังสำหรับกลุ่มโรคปวดหลังส่วนล่างด้วยระบบพาสซีฟแมคคานิค
นักศึกษา	นางสาวกมลฉัตร อภิวัฒน์กุล
รหัสนักศึกษา	55010011
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

### บทคัดย่อ

อุปกรณ์ช่วยพยุงเป็นเครื่องมือเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับคนทุกประเภทและคนที่มีปัญหา ด้านสุขภาพ งานวิจัยชิ้นนี้ออกแบบเพื่อลดอาการบาดเจ็บและควบคุมความเสียหายที่กล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง รายงานฉบับนี้อธิบายเกี่ยวกับผลการเปรียบเทียบระหว่างเบาะพิงหลังสองอัน, อันหนึ่งใส่แกนพลาสติกซูพีรินและอีกอันใส่แกนอลูมิเนียมอัลลอยด์, เพื่อพิจารณาเลือกวัสดุที่เหมาะสม ผู้จัดทำศึกษาและค้นคว้าคุณสมบัติของวัสดุสามชนิด, ประกอบด้วยไนลอนซูพีริน, อลูมิเนียมอัลลอยด์ และยาง EVA (โพลีเอทิลีนไวนิลอะซีเตต), จากสื่ออิเล็กทรอนิกส์นอกจากนี้ทางผู้จัดทำได้ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม SpaceClaim และ ANSYS. โปรแกรม SpaceClaim ถูกใช้สำหรับสร้างโมเดลคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ทำการจำลองหลายๆ เหตุการณ์คือ ANSYS Workbench simulation แบบจำลองถูกวิเคราะห์ในช่วงเวลา 5 วินาทีหลังถูกใส่แรงสมมติลงไป ผู้จัดทำตั้งให้ CS หมายถึง เบาะที่ใส่แกนพลาสติกซูพีริน และ CA หมายถึง เบาะที่ใส่แกนอลูมิเนียมอัลลอยด์ ผลการจำลองเผยว่าอัตราของค่าสูงของ CS เร็วกว่าอัตราของค่าสูงสุดของ CA ในผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งหมด, การเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแกน X, การเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแกน Y และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแกน Z ส่วนค่าน้อยที่สุดของผลทั้งสิ้นให้ผลลัพธ์ที่ตรงข้าม สำหรับค่าความเครียดแบบคิรินรูปกราฟของ CS มีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในส่วนของค่าน้อยที่สุดในขณะที่ผลของค่ามากที่สุดเบาะทั้งสองมีลักษณะใกล้เคียงกัน ผลทั้งหมดที่ได้กล่าวมาเกิดขึ้นที่ยาง EVA มีเพียงค่าความเค้นสมมูลเท่านั้นที่เกิดที่แกนใน สำหรับผลลัพธ์ของ CS อัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่อัตราของ CA เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ต่างกับผลลัพธ์ของค่าที่น้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าอัตราของ CA ค่อยๆ เร็วกว่าอัตราของ CS อย่างช้าๆ

**คำสำคัญ**— อาการปวดหลังส่วนล่าง, อุปกรณ์ช่วยพยุง, เปรียบเทียบ, ซุปเปอร์สปีน, อลูมิเนียมอัลลอยด์

<b>Thesis</b>	BACK SUPPORTING FOR LOWER BACK PAIN BY PASSIVE MECHANISM
<b>Student</b>	Miss. Kamonchat Apivanichkul
<b>Student ID</b>	55010011
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Biomedical Engineering
<b>Year</b>	2015
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Pattarapong Phasukkit

## ABSTRACT

Supported Device is equipment to improve quality of life for all people and who has health problems. This project is the design for decreasing pain and control damage in the lower back muscles. This paper describes about results of comparison between two lumbar cushions , one was inserted superlene inner core and the other was inserted aluminium alloy inner core, for cogitating to choose appropriate material. I studies and researches three material's properties , including Superlene Nylon , Aluminium Alloy and EVA foam (Ethylene Vinyl Acetate Foam) , from e-Learning. Moreover, I studies how to use both SpaceClaim and ANSYS. SpaceClaim Software is used for creating computer models and software which is simulated many events is ANSYS Workbench simulation. Models are analyzed in 5 seconds after had been input force. I sets that CS means lumbar cushion which inserts superlene inner core and CA means lumbar cushion which inserts aluminium alloy inner core. The results revealed that Rates of CS's maximum were faster than Rates of CA's maximum in Total Deformation's results, Direction Deformation(X-Axis) 's results, Direction Deformation(Y-Axis) 's results and Direction Deformation(Z-Axis) 's results. All four results in minimum gave opposite results. Equivalent Elastic Strain, Graph of CS's results increased dramatically in minimum while in maximum both were nearly behavior. All aforementioned results occur in EVA. There was only Equivalent Stress that occurred in inner core. For minimum's results , CS's rate rose dramatically as CA's rate rose slightly. Different maximum's results, it showed that CA's rate was slightly faster than CS's rate.

**Keywords**— Low back pain , supported device , comparison, Superlene, Aluminium Alloy

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในหัวข้อ “อุปกรณ์พยุงหลังสำหรับกลุ่มโรคปวดหลังส่วนล่างด้วยระบบพาสซีฟแมคคานิค (Back Supporting For Lower Back Pain by Passive Mechanism)” งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจน แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาตลอดจนวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

และรุ้นพีใน Burn Lab ที่คอยช่วยเหลือ เอื้ออำนวยในหลายๆ ด้านที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัย สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนจะเป็นประโยชน์ในการสร้างอุปกรณ์เพื่อสุขภาพต่อไป

กมลฉัตร อภิวิชัยกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย.....	2
1.6 ส่วนประกอบของรายงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดเกี่ยวกับอาการปวดหลังส่วนล่าง.....	5
2.1.1 ความหมายของอาการปวดหลังส่วนล่าง.....	5
2.2 กายวิภาคและสรีรวิทยาของหลังส่วนล่าง (Lumbar Anatomy).....	5
2.2.1 กายวิภาคของกล้ามเนื้อ (Muscle Anatomy).....	5
2.2.2 กายวิภาคของเส้นประสาท (Nerve Anatomy).....	6
2.2.3 ระบบประสาทส่วนปลายและสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับอาการ ปวดเจ็บในข้อต่อซินโนเวียล (Peripheral Nerve System and Physiology Associated with Pain in Synovial Joints).....	6
2.2.3.1 หมวดหมู่ของเส้นใยประสาทส่วนปลาย (Classification of Peripheral Nerve Fibers).....	6
2.2.3.2 ตัวรับความรู้สึกภายนอกของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Peripheral Receptors of Sensory Neuron).....	7
2.2.3.3 ความเจ็บปวดจากถุงหุ้มข้อต่อและผิวข้อ (Pain Arising from Fibrous Capsule and Synovial Membrane).....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.3.4 ความเจ็บทางกายวิภาคและพื้นฐานทางสรีรวิทยาที่อ้างถึง หลังช่วงล่าง (Pain: Its Anatomical and Physiologic Basis with Reference to the Low Back) .....	9
2.2.3.5 Central Nervous System Connection .....	14
2.2.4 กายวิภาคของกระดูกสันหลัง.....	15
2.2.5 กายวิภาคของกระดูกสันหลังส่วนเอว (Anatomy of Lumbosacral Spine).....	16
2.2.5.1 กระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lumbar Vertebrae).....	16
2.2.5.2 Experimental Correlation between Fiber Size and Pain .....	18
2.2.6 กายวิภาคกระดูกกระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ (Sacrum&Coccyx Anatomy).....	19
2.2.7 กายวิภาคหมอนรองกระดูกสันหลัง (Intervertebral Discs Anatomy) .....	21
2.2.8 กายวิภาคเส้นเอ็นของไขสันหลังระดับเอว (Ligaments of the Lumbar Vertebral Column Anatomy).....	22
2.2.9 กายวิภาคหลอดเลือดของกระดูกสันหลังส่วนเอว (Blood Vessels Anatomy).....	26
2.2.9.1 การจ่ายเลือดของกระดูกสันหลังส่วนเอว (Blood Supply of Lumbar Vertebrae).....	26
2.2.9.2 เลือดที่มาเลี้ยงองค์ประกอบกระดูกสันหลังส่วนหลัง (Blood Supply of the Posterior Spinal Elements).....	26
2.3 อาการปวดหลัง.....	27
2.3.1 สาเหตุของอาการปวดหลังที่พบบ่อย.....	27
2.3.2 ปัจจัยส่วนบุคคล.....	29
2.3.3 กลไกการเกิดอาการปวดหลังส่วนล่าง .....	31
2.4 การตรวจทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory investigation).....	31
2.4.1 การตรวจทางรังสี (Radiographic Investigation) .....	32
2.5 วิธีการรักษาอาการปวดหลังส่วนล่าง .....	35
2.6 การจัดการกับความปวดในผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างที่บ้าน .....	42
2.6.1. การบรรเทาปวดโดยการไช้ยาและไม่ไช้ยา .....	42

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 Pressure Sensor Arrays หรือ FSR sensor.....	46
2.7.1 คุณสมบัติของ Pressure Sensor Arrays หรือ FSR sensor .....	46
2.7.2 โครงสร้างทั่วไปของเซนเซอร์แบบ Array .....	46
2.7.3 ลักษณะการเก็บค่า .....	47
2.8 วัสดุวิศวกรรม (Engineering materials).....	50
2.8.1 อลูมิเนียม และอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum and Aluminum Alloys).....	50
2.8.2 อลูมิเนียมผสมอัลลอย กับ ประเภทของเหล็ก (Aluminum Alloys versus Type of Steels) .....	51
2.8.3 ประเภทของอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum Alloys) .....	51
2.8.4 ยางคลอโรพรีนหรือยาง CR (Chloroprene Rubber) .....	54
2.8.5 ชูเปอร์ลีน (SUPERLENE NYLON) .....	56
2.8.6 ยาง EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate) .....	58
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย .....	61
3.1 ออกแบบอุปกรณ์.....	61
3.1.1 ส่วนโครง.....	61
3.1.2 เบาะเสริมพยางบริเวณหลังส่วนล่าง.....	62
3.1.3 เบาะเสริมพยางสะบัก.....	63
3.2 ออกแบบ Flex Sensor และ Force Sensor.....	64
3.3 วงจร Read sensor Arduino (Simple demonstration of use) .....	65
3.3.1 โค้ดสำหรับอ่านค่าด้วยโปรแกรม Arduino และ โค้ด Polt Graph ด้วย MATLAB.....	65
3.4 รวมองค์ประกอบสองชิ้นของเบาะแบบแรก.....	67
3.5 แบบเบาะที่สอง (Second design)และกำหนดค่าการจำลอง .....	68
3.6 แบบคาดเอวที่สอง (Second design).....	72
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	73
4.1 ผลจากการ Simulation.....	73
4.2 ผลการทดสอบ Flex Sensor .....	75
4.2.1 ผลพล็อตกราฟ .....	79
4.3 ผลคำนวณ Deformation of EVA&Aluminium .....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลค่านวณ Deformation of EVE&superlene.....	81
4.5 ผลค่านวณ Deformation of Aluminum Alloy&Neoprene rubber.....	82
4.6 ผลค่านวณ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Superlene.....	86
4.7 ผลค่านวณ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminum Alloy.....	87
4.8 ผลค่านวณ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Neoprene rubber.....	88
4.9 ผลค่านวณ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA&Superlene .....	95
4.10 ผลค่านวณ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA&Aluminum Alloy.....	96
4.11 ผลค่านวณ Direction Deformation(Z-Axis) EVA&Superlene.....	102
4.12 ผลค่านวณ Direction Deformation(Z-Axis) EVA&Aluminum Alloy .....	102
4.13 ผลค่านวณ Equivalent Stress of EVA&Superlene.....	110
4.14 ผลค่านวณ Equivalent Stress of EVA&Aluminum Alloy.....	112
4.15 ผลค่านวณ Equivalent Stress of Aluminum Alloy&Neoprene rubber .....	113
4.16 ผลค่านวณ Equivalent Elastic Strain of EVA&Superlene.....	120
4.17 ผลค่านวณ Equivalent Elastic Strain of EVA&Aluminum Alloy.....	122
4.18 ผลค่านวณ Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy &Neoprene rubber .....	124
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	131
เอกสารอ้างอิง .....	133
ประวัติผู้เขียน .....	134
ภาคผนวก.....	135

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย ปี 2558.....	3
1.2 แผนการดำเนินงานวิจัย ปี 2559.....	4
2.1 ตารางคุณสมบัติของอลูมิเนียมอัลลอยด์.....	53
2.2 ตารางคุณสมบัติของยางนีโอพรีน.....	55
2.3 ตารางคุณสมบัติของซูเปอร์ลีน.....	58
2.4 ตารางคุณสมบัติของEVA.....	60
3.1 ข้อมูลของ Mesh .....	69
4.1 ตารางค่าแทบสี่เหลี่ยม Simulation.....	74
4.2 ทดสอบเซนเซอร์ขนาด 160x20 mm และ 20x20 mm.....	75
4.3 ทดสอบระหว่างเซนเซอร์หนา 1.5 mmกับเซนเซอร์ที่ใช้กระดาษแทนซิลิโคน .....	78
4.4 แสดงค่า Maximum Total Deformation .....	83
4.5 แสดงค่า Minimum Direction Deformation(X-Axis).....	89
4.6 แสดงค่า Maximum Direction Deformation(X-Axis).....	91
4.7 แสดงค่า Minimum Direction Deformation(Y-Axis).....	97
4.8 แสดงค่า Maximum Direction Deformation(Y-Axis).....	100
4.9 แสดงค่า Minimum Direction Deformation(Z-Axis).....	105
4.10 แสดงค่า Maximum Direction Deformation(Z-Axis).....	107
4.11 แสดงค่า Minimum Equivalent Stress.....	115
4.12 แสดงค่า Maximum Equivalent Stress.....	118
4.13 แสดงค่า Minimum Equivalent Elastic Strain.....	125
4.14 แสดงค่า Maximum Equivalent Elastic Strain.....	128
5.1 สรุป.....	131

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 Muscle Anatomy of Lower back.....	5
2.2 Nerve Anatomy of Lower back.....	6
2.3 Structure of a peripheral nerve.....	7
2.4 ปลายประสาทอิสระ (Free nerve ending) & ปลายประสาทที่มีเยื่อหุ้ม (Encapsulated ending).....	8
2.5 Afferent nerve fiber from pain or temperature receptor and joint position receptor.....	10
2.6 Cranial view of a typical lumbar vertebra.....	11
2.7 Posterior view of a typical lumbar vertebra.....	12
2.8 Left Lateral view of a typical lumbar vertebra.....	12
2.9 The spinal nerve from the dorsal and ventral roots.....	13
2.10 แสดงเส้นแรงที่ส่วนล่างของบอดีไซสันหลัง.....	14
2.11 รูปแบบของ C-fiber และ A-fiber.....	15
2.12 Anatomy Of Spine.....	16
2.13 กระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lumbar Vertebrae).....	17
2.14 แสดง lumbar spine ในท่า AP view.....	17
2.15 แสดง lumbar spine ในท่า Lateral view.....	18
2.16 แสดง lumbar spine ในท่า Oblique view.....	18
2.17 ด้านหน้าด้านหลังและกระดูกกระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ (Anterior and posterior Sacrum&Coccyx).....	19
2.18 Lateral view showing the articular surface of the sacrum .....	20
2.19 Coronal view of Sacroiliac joint.....	20
2.20 มุมมองในระนาบข้างของกระดูกสันหลังแสดงปริมาณความจุ ของช่องระหว่างข้อกระดูกสันหลังในความสัมพันธ์กับหมอนรองกระดูก.....	20
2.21 มุมมองด้านข้างของไซสันหลังส่วนล่าง รวมข้อต่อกระดูกใต้กระเบนเหน็บ ร่วมเอวหรือเรียกอีกอย่างว่ากระดูกสันหลังส่วนล่าง ที่ช่องว่าง L5-S1.....	21
2.22 หมอนรองกระดูกไซสันหลัง (เส้นใยวงแหวน).....	21
2.23 ด้านหน้าของไซสันหลังที่เส้นเอ็นตามยาวคลุมพื้นที่ผิวข้างหน้า .....	23
2.24 Posterior Longitudinal Ligament .....	23
2.25 Ligament flavaที่เชื่อมติดกับพื้นที่ผิวด้านหน้าของลามินา.....	24
2.26 แสดงเส้นเอ็นที่พุงด้านหน้า (Anterior longitudinal ligaments, Posterior longitudinal ligaments) และด้านหลัง (Supraspinous, intraspinous).....	25
2.27 มุมด้านหน้าและด้านหลังของเส้นเอ็นข้อต่อกระดูกเชิงกราน.....	25

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 The arterial blood supply to a lumbar vertebra.....	26
2.29 Normal and Abnormal Vertebra and Disc.....	28
2.30 Spinal Stenosis.....	29
2.31 Osteoporosis.....	29
2.32 แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ธรรมดา.....	32
2.33 แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ธรรมดา Thoracic spine AP and lateral ของผู้ป่วย Ankylosing Spondylitis.....	33
2.34 แสดงภาพถ่าย Myelography.....	33
2.35 แสดงภาพถ่าย CT Scan ผู้ป่วยที่มีกระดูกหักและเคลื่อนของ L4.....	34
2.36 แสดงภาพถ่าย MRI ของผู้ป่วย lumbar disc herniation L4-L5 และภาพMRI รูปsagittal view หมอนรองกระดูก L4-L5.....	35
2.37 แสดงภาพถ่าย MRI ของผู้ป่วย lumbar spinal stenosis L3-L5.....	35
2.38 การดัด (manipulation, mobilization).....	37
2.39 การดึง (traction).....	37
2.40 การนวด (massage).....	38
2.41 การกระตุ้นปลายประสาทด้วยไฟฟ้าผ่านผิวหนัง (transcutaneous electrical nerve stimulation: TENS).....	39
2.42 การฝังเข็ม (acupuncture).....	39
2.43 ไคโรแพรกติก (Chiropractic).....	40
2.44 lumbosacral support.....	42
2.45 ก. Pressure Sensor Arrays / FSR sensor และsensorในรูปแบบและขนาดต่างๆ.....	46
2.46 แสดงชั้นต่างๆของเซนเซอร์.....	47
2.47 แสดงลักษณะการวางชั้น Sensing Electrodes ประกอบชั้น Velostate.....	47
2.48 วงจรที่วางอยู่กับคอมพิวเตอร์สำหรับการอ่านแบบสแกนนิ่งของเซนเซอร์อาร์เรย์.....	48
2.49 Data representation procedure.....	49
2.50 Neoprene rubber.....	54
2.51 สูตรโครงสร้างของยาง CR.....	55
2.52 ซุปเปอร์ลีน (SUPERLENE NYLON).....	56
2.53 ยาง EVA.....	58
3.1 ออกแบบอุปกรณ์:ส่วนโครง.....	61
3.2 แบบจำลองของเบาะเสริมบริเวณหลังส่วนล่าง.....	63
3.3 แบบจำลองของเบาะเสริมบริเวณสะบัก.....	63
3.4 Sensor Materials.....	64
3.5 Flex Sensor.....	64
3.6 วงจร Read sensor Arduino.....	65

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 ภาพรวมของเบาะแบบแรกหลังใช้คำสั่งcombine.....	67
3.8 แบบร่างของเบาะที่สอง .....	68
3.9 แบบเบาะที่สองในโปรแกรม SpaceClaim .....	68
3.10 เบาะพุงหลังหลังเปลี่ยนเป็นแบบ Mesh .....	69
3.11 แแรงที่ 1.....	70
3.12 แแรงที่ 2.....	70
3.13 แแรงที่ 3.....	71
3.14 ค่าแรง Input รวม และจุด Fixed ที่พื้นที่ผิวด้านหลัง.....	71
3.15 แบบจำลองที่คาดเอาไว้สองโดยโปรแกรม SpaceClaim.....	72
4.1 ผลจากการ Simulation ก) Deformation ข) Equivalent of Elastic Strain และ ค) Equivalent Stress.....	73
4.2 ผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์และซิลิโคนขนาด 160x20 mm ความหนา 4 mm กับผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์และซิลิโคน ขนาด 20x20 mm ความหนา 4 mm.....	75
4.3 ผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์และซิลิโคนขนาด 20x20 mm ความหนา 1.5 mm กับผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์กับกระดาษขนาด 160x20 mm.....	77
4.4 กราฟค่าจากเซนเซอร์ที่ใช้กระดาษ.....	79
4.5 กราฟค่าจาก silicon ความหนา 0.5 mm .....	79
4.6 กราฟค่าจากเซนเซอร์ที่ใช้โฟมเป็นส่วนประกอบ.....	79
4.7 ผลลัพธ์ Deformation ของEVA&Aluminium .....	80
4.8 ผลลัพธ์ Deformation ของ EVA&Superlene.....	81
4.9 ผลลัพธ์ Deformation ของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber.....	82
4.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Supertene กับ EVA&Aluminium Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1) .....	85
4.11 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (เบาะพุงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว).....	85
4.12 ผลลัพธ์ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminium Alloy.....	86
4.13 ผลลัพธ์ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminium Alloy.....	87
4.14 ผลลัพธ์ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminium Alloy (a) ภาพด้านหน้า (b) แสดงภาพด้านข้างทั้งสองข้างและค่าในจุดที่เกิดการ เปลี่ยนแปลง (c) ภาพตัดขวางแสดงให้เห็นส่วนพุงสะบัก.....	88
4.15 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminium Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1).....	92
4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminium Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2).....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **ข** ำงำงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (เบาะพวงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว).....	93
4.18 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1).....	94
4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2).....	94
4.20 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (เบาะพวงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว).....	95
4.21 ผลลัพธ์ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA& Superlene.....	95
4.22 ผลลัพธ์ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA&Aluminum Alloy.....	96
4.23 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (1).....	99
4.24 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และEVA&Aluminum Alloy (2).....	99
4.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (1).....	101
4.26 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy (2).....	102
4.27 ผลลัพธ์ Direction Deformation (Z-Axis) of EVA& Superlene.....	102
4.28 ผลลัพธ์ Direction Deformation (Z-Axis) of EVA&Aluminum Alloy.....	104
4.29 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy (1).....	106
4.30 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (2).....	107
4.31 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (1).....	109
4.32 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (2).....	109
4.33 ผลลัพธ์ Equivalent Stress of EVA&Superlene.....	110
4.34 ผลลัพธ์ Equivalent Stress of EVA&Aluminum Alloy.....	113
4.35 ผลลัพธ์ Equivalent Stress of Aluminum Alloy&Neoprene rubber .....	115
4.36 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1).....	117
4.37 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2).....	117
4.38 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1).....	119
4.39 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และEVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2).....	120
4.40 ผลลัพธ์ Equivalent Elastic Strain of EVA&Superlene.....	120
4.41 ผลลัพธ์ Equivalent Elastic Strain of EVA&Aluminum Alloy.....	120
4.42 ผลลัพธ์ Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy&Neoprene rubber.....	122

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Supertlene และEVA&Aluminum Alloy และAluminum Alloy&Neoprene rubber(1).....	124
4.44 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (เบาหฟุ้งแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว).....	127
4.45 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Supertlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber.....	127
4.46 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (เบาหฟุ้งแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว).....	130



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันวิทยาการและเทคโนโลยีในสังคมมีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้นเรื่อยๆ ก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการดำรงชีวิต ทว่าในความสะดวกสบายนั้นนำมาพร้อมกับการถดถอยของสุขภาพ เนื่องด้วยมีสิ่งอำนวยความสะดวกมากขึ้นจนร่างกายแทบไม่ต้องออกแรงเหมือนในอดีตทำให้ขาดการออกกำลังกายที่จะเสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่ร่างกาย แต่เพราะสังคมเปลี่ยนรูปแบบ การใช้ชีวิตต่างๆก็เปลี่ยนไป หลากๆ อย่างไม่เอื้อต่อการรักษาสุขภาพอย่าง เวลาที่มีจำกัด ลักษณะการทำงานที่บังคับ เป็นต้น ข้าพเจ้าจึงจัดทำงานวิจัยสำหรับลดอัตราเสี่ยงที่จะเป็นโรคปวดหลังและบรรเทาความปวดที่เกิดขึ้นโดยไม่รบกวนการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

“กายอุปกรณ์” เป็นตัวเลือกอย่างหนึ่งที่เป็นที่นิยมสำหรับจุดประสงค์เพื่อช่วยพยุง ลดการทำงานของกล้ามเนื้อและลดการเคลื่อนไหว ซึ่งตอบสนองความต้องการของกลุ่มผู้ป่วย “โรคปวดหลัง” ที่จัดเป็นโรคที่อยู่คู่กับสังคมคนไทยมานานตั้งแต่อดีตจวบจนทุกวันนี้ แม้การรักษาจะมีการพัฒนาตามทั้งการใช้ไฟฟ้าและความร้อนความเย็นเพื่อบำบัด ใช้เครื่องสแกนตรวจวัดวินิจฉัยอย่างแม่นยำหรือแม้แต่วิธีโบราณอย่างการนวด การฝังเข็มก็มี แต่ทั้งหมดนั้นล้วนเป็นหลังเป็นโรคปวดหลังทั้งนั้น มันจะดีกว่าหากสามารถป้องกันตั้งแต่ก่อนเป็นโรคได้ หรือไม่ก็ยับยั้งไม่ให้อาการปวดลุกลามกว่าเดิมจนยากที่จะรักษาหายแน่นอนว่ากายอุปกรณ์ส่วนหนึ่งผลิตขึ้นเพื่อจุดประสงค์ที่ว่า เช่น Back Support Belts หรือ Lumbar Cushion แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ยังมีจุดที่ทำให้ไม่สามารถลดอาการได้ซึ่งก็คือผู้ใช้ แม้สายคาดจะทำให้การงอหลังยากขึ้นแต่ถ้าผู้ใช้ฝืนก้มก็กลายเป็นว่าจากผลดีกลายเป็นร้ายนอกจากจะปวดแล้วยังทำให้กลายเป็นแผลกดทับได้ พวกหมอนหนุนต่างๆก็ใช้ได้เฉพาะยามนั่งและต้องพิงพนัก จากการสำรวจท่าทางของคนทำงานนั่งโต๊ะมักไม่พิงพนักแต่ชอบก้มไปข้างหน้าเสียส่วนใหญ่ทำให้ไม่ได้ผลที่คาดหวัง

จากปัญหาเบื้องต้นจึงได้นำความรู้เรื่องสาเหตุ อาการ และการรักษาโรคปวดหลังทางการแพทย์มารวมเข้ากับอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อพัฒนารูปแบบอุปกรณ์ที่แสดงผลตามต้องการได้ครอบคลุมและง่ายกว่าอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังนำความรู้ด้านเซนเซอร์มาเป็นตัวช่วยในการกระตุ้นเตือนเพื่อพัฒนาบุคลิกภาพให้แก่ผู้ใช้ เพราะยังเฝ้าสุดท้ายปัจจัยที่จะทำให้ความเสี่ยงของโรคน้อยที่สุดก็คือตัวผู้ใช้เอง ถ้ามีบุคลิกท่าทางที่ถูกต้องติดเป็นนิสัยจะช่วยป้องกันได้ในระยะยาว

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อป้องกันอาการปวดหลังตั้งแต่อายุน้อยและรุกรามจนเป็นระยะเรื้อรังในที่สุด ในขณะที่ตอบสนองรูปแบบของใช้ชีวิตในปัจจุบันที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ อย่างเรื่องที่ต้องนั่งทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ ต้องนั่งในท่าเดิมติดต่อกันนานๆ เนื่องจากการจราจรติดขัดกับการเดินทางที่บ่อยครั้งเนื่องจากหน้าที่การงาน ตั้งวัตถุประสงค์ให้สามารถใช้งานโดยไม่ขัดขวางการใช้ชีวิตประจำวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

จากการศึกษาสาเหตุการเกิดอาการปวดหลังทราบว่าโดยส่วนใหญ่เป็นเพราะโครงกระดูกสันหลังโค้งงอผิดรูปกับกล้ามเนื้อแข็งเกร็งไม่คลายตัวทำให้การไหลเวียนเลือดเกิดติดขัด ทำให้ส่วนใหญ่ของวิธีการแก้ที่แพร่หลายทั้งแผนโบราณและแผนปัจจุบันคือวิธีเพื่อคลายกล้ามเนื้อไม่ก็ลดการทำงานของกล้ามเนื้อหลัง[3] ดังนั้นหากป้องกันการแข็งเกร็งที่ว่าได้ก็น่าจะช่วยลดโอกาสที่จะปวดหลัง และด้วยปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วของอุปกรณ์ในปัจจุบัน หากเป็นอุปกรณ์สวมใส่ติดตัวก็จะสะดวกสำหรับกิจกรรมประจำวันและใช้เซนเซอร์เตือนเมื่อผู้ใช้ฝืนงอหลังเกินความเหมาะสมเพื่อฝึกบุคลิกให้นั่งหลังตรง เดินหลังตรงซึ่งเป็นบุคลิกที่ถูกต้อง ทั้งหมดนี้น่าจะช่วยลดอาการปวดหลังได้ผลมากกว่าใช้อุปกรณ์ทั่วไปและส่งผลในระยะยาวกว่าการรักษาด้วยศาสตร์ทางการแพทย์ สำหรับคนที่ยังไม่มีอาการของโรค ก็น่าจะช่วยให้อาการปวดหลังลดภาระการทำงานลงได้

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ตัวอุปกรณ์สามารถสวมใส่ได้สบายในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความรำคาญระหว่างการใช้ชีวิตประจำวัน สามารถลดอาการปวดหลังได้จริง สามารถกระจายแรงดันที่หลังได้ดีกว่าเดิม

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2558 ถึงเดือนเมษา พ.ศ.2559 โดยแผนการดำเนินงานวิจัยแสดงในตารางที่ 1.1 กับตารางที่ 1.2

### 1.6 ส่วนประกอบของรายงาน

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย โครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย ปี 2558

แผนการ	สัปดาห์	2558						
		มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1.ศึกษาความรู้เกี่ยวกับสาเหตุ อาการ และวิธีการรักษาโรคปวดหลัง	7							
2.ออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์ (Drawing)	2							
3.ออกแบบเบาะหนุนในรูปแบบเวอร์ชัน และทดลองการรับแรง	3							
4.ศึกษาความรู้เกี่ยวกับ Flex&Force Sensor และ Pressure Sensor Array	3							
5.ศึกษารูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลจากรายงานโปรแกรมอื่นๆ	4							
6.ทำ Flex&Force Sensor และ FSR sensor	5							
7.ต่อวงจรสำหรับ FSR sensor กับวงจรทดสอบ Flex Sensor	1							
8.เขียนโค้ด Arduino และทดสอบประมวลผล Sensor	7							
9.ทำแบบเบาะหนุนเพื่อสั่งทำและซื้อวัสดุ	2							

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานวิจัย ปี 2559

แผนการ	สัปดาห์	2559			
		มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1. วงจรทดสอบ Flex Sensor	4				
2. เขียนโค้ด Arduino และทดสอบประมวลผล Sensor	2				
3. ศึกษากายวิภาคและชีววิทยาของ Lumbar	5				
4. ศึกษารูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลจากรายงานโปรเจกต์อื่นๆ	4				
5. ออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์ (Drawing) (second)	1				
6. ออกแบบเบาะหนุนในรูปแบบเวอร์ชัน และทดลองการรับแรง	2				
7. จัดทำวิทยานิพนธ์	2				

## บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แนวคิดเกี่ยวกับอาการปวดหลังส่วนล่าง

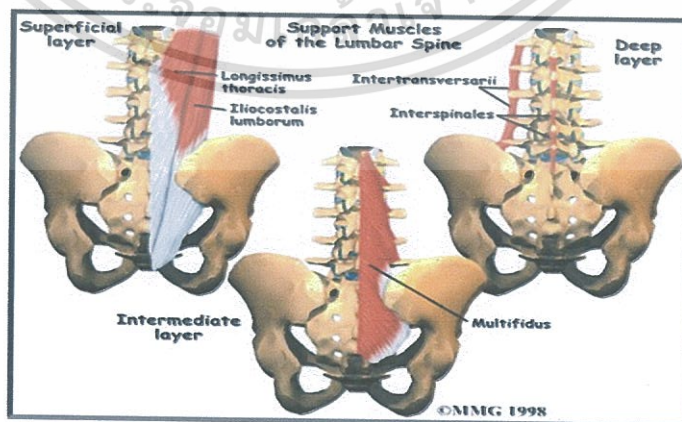
#### 2.1.1 ความหมายของอาการปวดหลังส่วนล่าง

อาการปวดหลังส่วนล่าง (Low back pain) เป็นอาการที่พบบ่อยมากอาการหนึ่งที่จำกัดเฉพาะบริเวณที่หลังและบั้นเอวส่วนล่าง และอาจรวมถึงอาการร่วมอย่างปวดขา ปวดแขน(ราชวิทยาลัยแพทยศาสตร์ฟื้นฟูแห่งประเทศไทย, 2544) ซึ่งมีทั้งแบบปวดเฉียบพลันที่เรียกว่า “Acute” (กลุ่มอาการไม่เกิน 6 อาทิตย์) กับแบบเรื้อรัง “Chronic” ที่ต้องใช้เวลาเป็นปีกว่าจะหาย[1] เกิดขึ้นเมื่อมีพยาธิสภาพที่โครงสร้างทั้งหมดของกระดูกสันหลังส่วนบั้นเอวและบริเวณกระดูกกระเบนเหน็บ (Lumbosacral) ที่มีปลายประสาทอยู่ โดยโครงสร้างเหล่านี้ ได้แก่ กระดูก ข้อฟาเซ็ต หมอนรองกระดูกสันหลัง เอ็น เส้นประสาทพังผืด เนื้อเยื่ออ่อน และกล้ามเนื้อ เป็นต้น [2]

### 2.2 กายวิภาคและสรีรวิทยาของหลังส่วนล่าง (Lumbar Anatomy)

#### 2.2.1 กายวิภาคของกล้ามเนื้อ (Muscle Anatomy)

กระดูกสันหลังของมนุษย์มีตั้งแต่ส่วนคอจนถึงส่วนก้นกบ ซึ่งแต่ละส่วนก็มีกล้ามเนื้ออยู่รายรอบ กล้ามเนื้อมีส่วนสำคัญต่อกระดูกสันหลังเป็นอย่างมาก เนื่องจากกล้ามเนื้อในแต่ละส่วนนั้นทำหน้าที่ประคับประคองกระดูกสันหลัง มิให้เกิดการหลวม หลุดหรือเกิดการเคลื่อนไหวที่มากเกินไปกว่ากระดูกสันหลังและ เส้นประสาทภายในจะรองรับได้ ในส่วนคอจะมีกล้ามเนื้อส่วนคอรองรับ ในส่วนเอวก็จะมีกล้ามเนื้อส่วนเอวไว้ กล้ามเนื้อตั้งแต่คอจนถึงเอวนี้ได้รับการสั่งงานมาจากเส้นประสาทฝอยที่ออกมาจากไขสันหลัง ดังนั้นในกรณีที่มีการกระตุ้นเส้นประสาทที่ออกมาจากบริเวณไขสันหลังผิดปกติ อาจทำให้เกิดปัญหาต่อกล้ามเนื้อที่ประคองต่อกระดูกสันหลังโดยรอบได้ กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่พบการบาดเจ็บได้บ่อย โดยเฉพาะในนักกีฬาหรือในผู้ป่วยที่ขาดการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อจะง่ายต่อการบาดเจ็บง่ายกว่าคนปกติ[3]

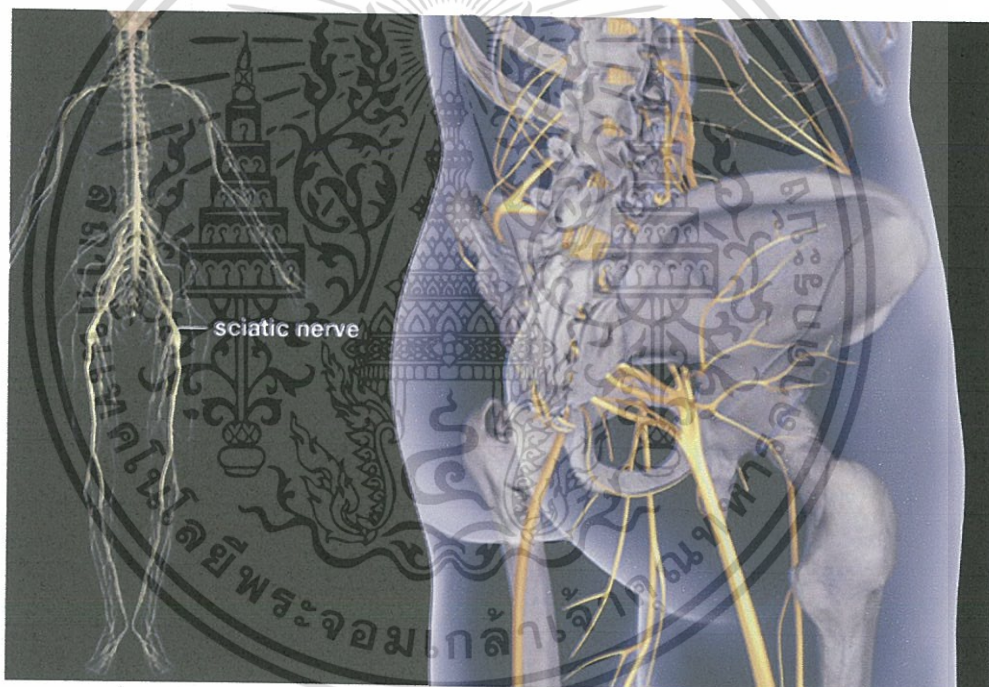


รูปที่ 2.1 Muscle Anatomy of Lower back

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 กายวิภาคของเส้นประสาท (Nerve Anatomy)

กระดูกสันหลังของมนุษย์เป็นกระดูกที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับระบบประสาทมากที่สุด ในร่างกาย เนื่องจากต้องรับหน้าที่ปกป้องเส้นประสาทส่วนไขสันหลังซึ่งต่อยื่นยาวออกมาจากสมอง ตั้งแต่ฐานสมองจนถึงกระดูกสันหลังส่วนเอว ไขสันหลังที่ยื่นยาวออกมาจากสมองนี้ เป็นศูนย์รวมเส้นประสาทที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งของร่างกาย ทำหน้าที่บังคับควบคุมการทำงานของทั้งแขน 2 ข้าง ขา 2 ข้าง อวัยวะส่วนช่องอกช่องท้อง รวมทั้งอวัยวะขับถ่ายและสืบพันธุ์ ดังนั้นหากมีความผิดปกติของเส้นประสาทไขสันหลัง หรือปลายประสาทที่ต่อออกจากเส้นประสาทไขสันหลังนี้เกิดขึ้น ก็สามารถทำให้เกิดความผิดปกติของการเคลื่อนไหวแขน การเคลื่อนไหวขา และอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายได้ บริเวณคอ หรือ Cervical spine จะมีเส้นประสาทไขสันหลังทอดผ่านและมีเส้นประสาทผอย (Nerve root) ยื่นยาวออกมาจากไขสันหลังส่วนคอ (Cervical spinal cord) ในแต่ละปล้องของกระดูกสันหลังส่วนคอนั้นๆ โดยเส้นประสาทที่ยื่นยาวออกมาทั้ง 2 ข้างซ้ายขวาจะเป็นเส้นประสาทที่ใช้ควบคุมการทำงานของแขนทั้ง 2 ข้าง รวมทั้งความรู้สึก ไม่ว่าจะเป็นความรู้สึก เจ็บ เย็น ร้อน ความรู้สึกว่าแขนขา อยู่ใน Position ใดๆ



รูปที่ 2.2 Nerve Anatomy of Lower back [5]

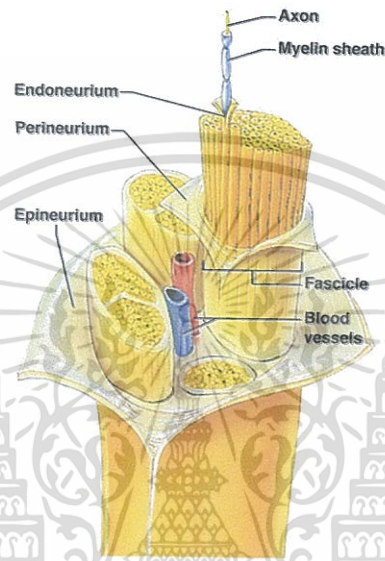
## 2.2.3 ระบบประสาทส่วนปลายและสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับอาการบาดเจ็บในข้อต่อซินโนเวียล (Peripheral Nerve System and Physiology Associated with Pain in Synovial Joints)

### 2.2.3.1 ทมวดหมู่ของเส้นใยประสาทส่วนปลาย (Classification of Peripheral Nerve Fibers)

ตามหลักพื้นฐานอยู่สามหลัก อย่างแรกคือขนาดโดยรวมของความยาว เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยโดยรวมแอกซอนและสิ่งที่ห่อหุ้ม อย่างที่สองคือความเร็วของการส่งนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอย่างทีสามคือระดับกันสำหรับปฏิกิริยากระตุ้นโดยสัญญาณไฟฟ้า แอกซอนของเส้นใยไมลิลินเดินทางโดยลำพังในเยื่อหุ้มไมลิลินแต่ละตัวและในคนวัยรุ่นแอกซอนที่มีปลอกหุ้มไมลิลินมักใหญ่กว่าแอกซอนที่ไม่มีปลอกหุ้มไมลิลิน ตามการจัดลำดับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุดน้อยกว่า 1 ไมโครเมตรถึง 15 ถึง 20 ไมโครเมตรขึ้นไป แอกซอนที่มีปลอกไมลิลินถูกห้อมล้อมด้วยชั้น Schwann cells จำนวนมาก เยื่อหุ้มไมลิลินมักถูกรบกวนเป็นช่วงๆ ประจำตามเส้นทางของเส้นใยด้วย Node of Renvier ที่ทำหน้าที่เป็นเส้นแบ่งเขตของแต่ละเซลล์ที่ประกอบด้วยเยื่อ Schwann cell



รูปที่ 2.3 structure of a peripheral nerve

รอบนอกของไมลิลินสูงขึ้นมาจากแกนกลางไมลิลินประมาณ 10% อิเล็กตรอนรอบเยื่อแบ่งเป็นแสงและมีด(จากภาพ X-ray) ที่ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 20 ถึง 30 อังตรอมตามลำดับเส้นประสาทที่ไม่มีปลอกหุ้มไมลิลินจะประกอบด้วยกลุ่มก้อนของแอกซอนขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-3.5 ไมโครเมตร

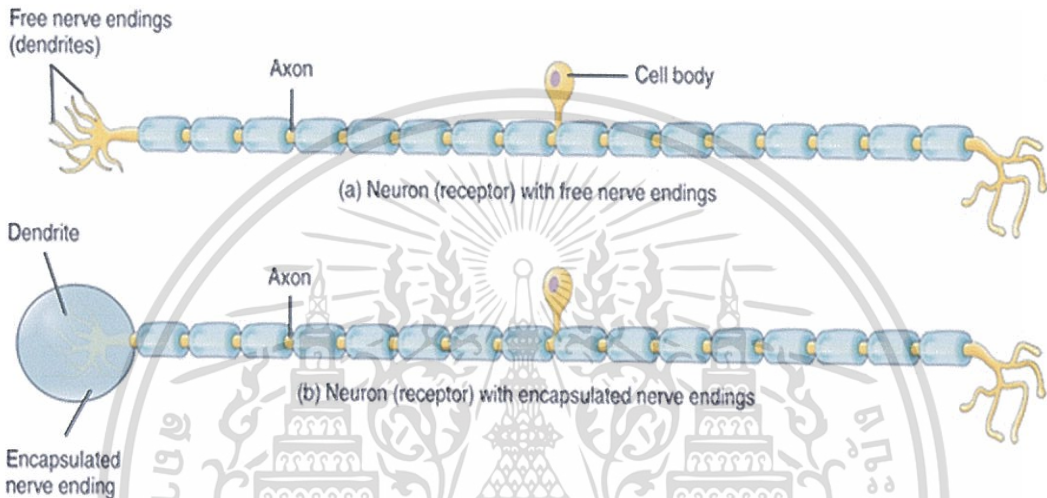
### 2.2.3.2 ตัวรับความรู้สึกภายนอกของเซลล์ประสาทรับรู้ความรู้สึก (Peripheral Receptors of Sensory Neuron)

ปลายประสาทอิสระ (Free nerve ending) จากช่องท้องหรือจากที่แพร่กระจายอย่างเป็นอิสระยกเว้นเกี่ยวข้องโดยเฉพาะกับเซลล์รูปแบบอื่นๆ ถูกพบในเนื้อเยื่อเชื่อมต่อทุกรูปแบบรวมถึงแคปซูลข้อต่อ เส้นใยที่ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทไปยังส่วนกลางจากส่วนปลายอิสระ คือ ไมลิลินและนอลไมลิลิน ปลายประสาทอิสระที่กระจัดกระจายอยู่ในตำแหน่งทั้งภายในและรอบๆ ปลอกหุ้มข้อต่อ (Articular capsules) และเส้นเอ็นข้อต่อซินโนเวียลมีความสำคัญมากสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลความรู้สึกของข้อต่อเหล่านั้น ความเจ็บปวดทุกอย่าง รับรู้อุณหภูมิและส่วนใหญ่ของการรับรู้จากการสัมผัสกับปลายประสาทอิสระ (Free Nerve Ending) และ ปลายประสาทที่มีเยื่อหุ้ม (Encapsulated ending) พบที่ Nonnervous cells ชนิดพิเศษที่ปกคลุมประสาทของโพเรเซสของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดุกสันหลังกับชั้นหลายๆ ชั้น จุดสิ้นสุดของปลายประสาทที่มีเยื่อหุ้มของเส้นประสาทถูกห่อหุ้มด้วยแคปซูลที่แสดงขนาดและรูปร่างที่หลากหลาย ผู้เชี่ยวชาญศาสตร์เนื้อเยื่อระบุลักษณะเฉพาะจำนวนมากของตัวรับรู้ความรู้สึกว่าขึ้นอยู่กับความแตกต่างด้านสัณฐานวิทยาของแคปซูลรอบๆ แอ็กซอนรับรู้ความรู้สึก แต่มีความแตกต่างทางโครงสร้างน้อยนิดเท่านั้นที่ถูกเชื่อว่ามีลักษณะทางสรีรวิทยา

แม้ว่าจะมีการโต้เถียงกันรุนแรงเกี่ยวกับปฏิกิริยาตัวช่วยชนิดพิเศษ ตัวรับรู้ความรู้สึกใช้รูปแบบต่างๆ และสามารถจัดจำแนกโดยปฏิกิริยาช่วยแบบเฉพาะที่พวกมันมักรับรู้ได้ล่วงหน้า เช่น ตัวรับรู้สึกทางกล (Mechanoreceptors) , ตัวรับรู้ทางเคมี (Chemoreceptors) , ตัวรับรู้ความเจ็บ (Nociceptors) , รับความรู้สึกจากกล้ามเนื้อ เอ็นและข้อต่อ (Proprioceptors)



รูปที่ 2.4 a) ปลายประสาทอิสระ (Free nerve ending) b) ปลายประสาทที่มีเยื่อหุ้ม (Encapsulated ending)

### 2.2.3.3 ความเจ็บปวดจากถุงหุ้มข้อต่อและผิวข้อ (Pain Arising from Fibrous Capsule and Synovial Membrane)

มีการค้นพบว่าผิวข้อมีความไวสูงต่อการที่เข็มแหลมและความดัน ในทางคลินิกทางสรีรวิทยาศึกษาและได้อธิบายการสร้าง ความเจ็บปวดและความรู้สึกถึงแรงดันในถุงหุ้มข้อต่อและผิวข้อของข้อต่อหัวเข่าภายใต้การควบคุมเกี่ยวกับสายตาโดยตรงในอาสาสมัครและผู้ป่วยที่ดำเนินการวินิจฉัยด้วยการผ่าตัดข้อ (Arthrotomy) ภายใต้การวางยาเฉพาะที่ ผิวข้อถูกกระแทกและถูกดึงด้วยค่าเฉลี่ยของคิมหลอดเลือดแดง ได้ข้อสรุปว่า ถุงหุ้มข้อต่อคือโครงสร้างที่ไวต่อการรับรู้สูงที่ให้ความรู้สึกถึงความเจ็บหรือแรงดันง่ายขึ้นตอนกระตุ้นทางกลศาสตร์หรือทางเคมี และ ผิวข้อ คือ ไร้ความรู้สึกเว้นแต่จะเกิดกรณีพิเศษที่จุดรับรู้ความเจ็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3.4 ความเจ็บทางกายวิภาคและพื้นฐานทางสรีรวิทยาที่อ้างถึงหลังช่วงล่าง (Pain: Its Anatomical and Physiologic Basis with Reference to the Low Back)

ความเจ็บเป็นประสบการณ์ซับซ้อนที่ปกติเกิดจากการที่เนื้อเยื่อได้รับความเสียหาย มันเป็นกระบวนการป้องกันสำคัญ บุคคลทั่วไปได้รับการป้องกันด้วยความเจ็บจากการเพียรทำงานหรือทำกิจกรรมที่ได้รับบาดเจ็บหรือมีผลเสียต่อพวกเขาเอง

(1) Pain sensation อาการเจ็บทั้งหมดถูกรับรู้จากส่วนกลางในเปลือกสมอง มันเป็นผลลัพธ์ธรรมดาทั่วไปของความรู้สึกจากการกระตุ้นที่เป็นอันตรายของปลายประสาทรับรู้ความเจ็บส่วนนอกด้วยการกระทำเชิงกลหรือเคมี แม้ว่าโครงสร้างระดับจุลภาคของตัวรับความเจ็บไม่ได้ถูกระบุอย่างแน่ชัด แต่ส่วนปลายของเส้นประสาทเฉพาะที่ถูกพิจารณาการกระทำเทียบเท่ากับตัวรับความเจ็บหรือก็คือปลายประสาทอิสระจากเส้นใยไมลลินขนาดเล็ก ส่วนปลายอิสระตอบสนองต่อปัจจัยไม่ปกติโดยสร้างสัญญาณที่ปล่อยออกมา เดินทางด้วยเส้นทางพิเศษเฉพาะหรือเส้นทางทางเลือกไปสู่อวัยวะในเปลือกสมองใหญ่ส่วนรับสัมผัส (Sensory cortex) แล้วการกระทำที่เกิดขึ้นจะถูกตีความว่าความเจ็บ อาการปวดสองแบบที่ได้รับการจดจำไว้ คือ 1) อาการปวดหรือเจ็บในพื้นที่จำกัดที่ชักนำให้เกิดด้วยการกระตุ้นจากเข็มปลายแหลมหรือแผลถลอก และ 2) รูปแบบการกระจายความเจ็บหรือความไม่สบายต่างๆ ที่อาจอยู่นานกว่าที่กระตุ้นจริง อาการปวดทางกายเกิดโดยการจำลองของตัวรับความเจ็บในโครงสร้างที่อยู่ภายในกระดูกสันหลัง โดยมี Peripheral nociceptive afferent fiber ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสประสาทไปสู่ส่วนกลาง

(2) Sensory Nerve Receptors ตัวรีเซปเตอร์จะพบที่ปลายเส้นใยเซนซอรีเคลือบเยื่อหุ้มไมลลินขนาดเล็ก (A-delta) และเส้นใยเซนซอรีไม่มีเยื่อไมลลิน (C) ทั้งคู่ทำหน้าที่นำพาสัญญาณ(ความเจ็บ) ปัจจุบันยังมีการโต้เถียงอย่างรุนแรงเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของเส้นประสาทรับความรู้สึก ปลายประสาทส่วนนอกทำหน้าที่เหมือนทรานดิเซอร์ แปลงสัญญาณทางเคมี, ทางกลและกระตุ้นทางอุณหภูมิให้เป็นกิริยาทางไฟฟ้า และการกระตุ้นนี้จะถูกส่งไปยังระบบประสาทส่วนกลาง

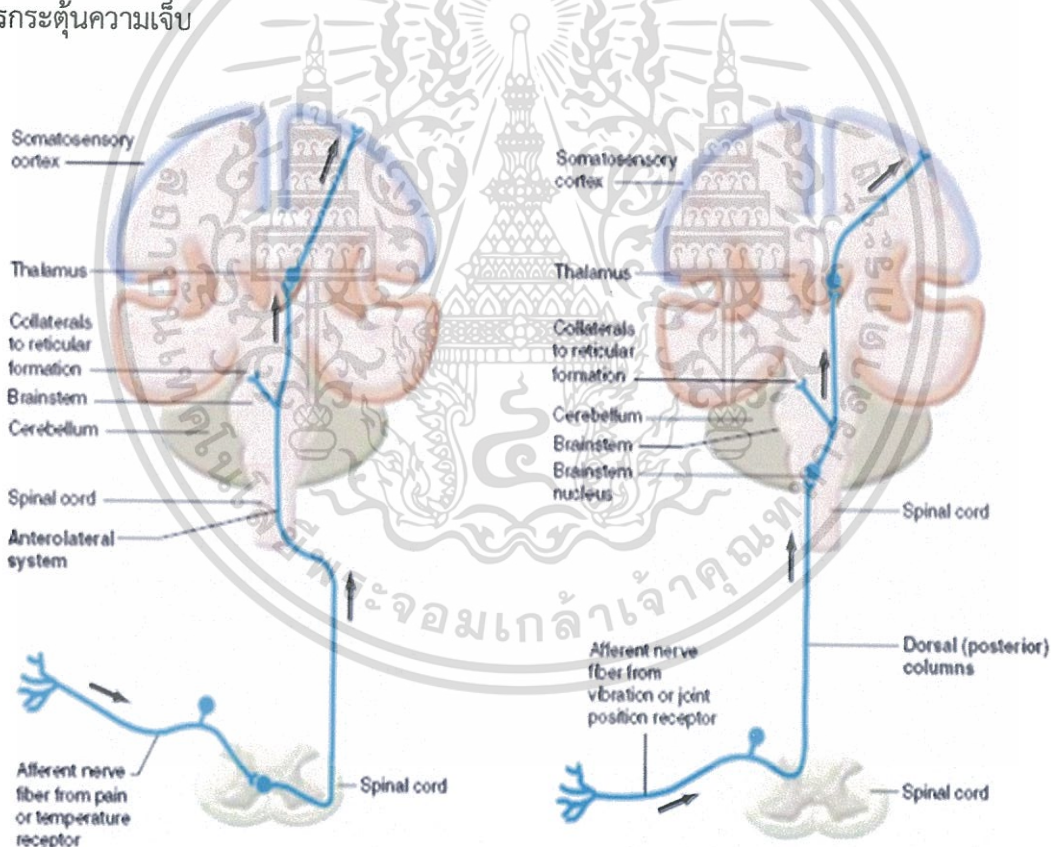
(3) The Specificity of Sensory Nerve Receptors ปลายส่วนนอกของเส้นใยรับส่งความรู้สึกที่ต่างชนิดกันจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน รูปแบบพลังงานที่รับรู้ก็แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วยเช่นการปรับตัว ชีตระดับการต่อต้านและปฏิกิริยาภายหลังส่งสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่ไม่มีเส้นประสาท (Nonneural Elements) มาเกี่ยวข้องข้องกับปลายเส้นใยประสาท ตัวอย่างเช่น เซลล์ท่อหุ้ม โครงสร้างต้องเปลี่ยนรูปร่างเพื่อกระตุ้นจุดสิ้นสุดของเส้นประสาท รีเซปเตอร์ (Receptors) สามารถแบ่งเป็นส่วนรับรู้ความเจ็บ (Nociceptors) ที่ตอบสนองต่อการกระตุ้นที่เป็นอันตรายเท่านั้น และตัวรับรู้ทางเคมี (Chemoreceptor), ตัวรับรู้อุณหภูมิ (Thermoreceptors), และตัวรับรู้เชิงกล (Mechanoreceptors) ที่อาจแสดงพฤติกรรมมากกว่าหนึ่งรูปแบบ เช่น ตำแหน่งของทั้งสองและความเร็วในการตรวจจับ ปลายประสาทอิสระ, ตัวรับรู้ความเจ็บ (โดยเฉพาะที่ค้ำอยู่บนเส้นใยที่มีเยื่อไมลลินหุ้มชนิด A-Delta), ตอบสนองเพียงการกระตุ้นทางเคมีแรงๆ ในขณะที่ C-fibers ตอบสนองต่อการกระตุ้นทางแมคคานิค, อุณหภูมิและเคมี ในทุกกรณีที่เส้นใยตอบสนองต่อการกระตุ้นความเจ็บจะถูกคำนึงถึงลักษณะพิเศษที่เกี่ยวกับเพื่อวัตถุประสงค์นั้นๆ

(4) Fiber Types and Pain Pathways เส้นใยประสาทถูกแบ่งออกไปหลากหลายเส้นทาง แต่แรกเริ่มนั้นเส้นใยที่ส่งประสาทไปยังส่วนกลางจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามพื้นฐานของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่แตกต่างกันกับความเร็วของสื่อประสาท (ก) เส้นใยไม่หุ้มเยื่อไมลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลินและเส้นใยหุ้มเยื่อไมลิลินขนาดเล็กที่ทำหน้าที่ส่งผ่านความเจ็บจากการกระตุ้นที่รุนแรง และ(ข)เส้นใยหุ้มเยื่อไมลิลินขนาดใหญ่ที่ช่วยเพิ่มการรับรู้จากสัมผัสและแรงดันยามจำลองเหตุการณ์ เส้นใยหุ้มเยื่อไมลิลินขนาดใหญ่มีระดับกันต่ำกว่าเส้นใยไมหุ้มเยื่อไมลิลินและเส้นใยหุ้มเยื่อไมลิลินขนาดเล็ก แต่จะสื่อให้ได้รวดเร็วและส่งสัญญาณจากตัวรับที่ละเอียดเป็นพิเศษในรอบนอก ทั้งแบบมีเยื่อและไม่มีเยื่อขนาดเล็กจะนำพาได้ช้าและส่งสัญญาณจากตัวรับที่ไม่ค่อยพิเศษในรอบนอก จากข้อมูลความสัมพันธ์ทางธรรมชาติ คุณภาพและความรุนแรงของการรับส่งความรู้สึกคือการส่งสัญญาณตามเส้นใยแต่ละชนิดเหมือนเป็นรูปแบบที่ขึ้นอยู่กับส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเร็วของการนำพาในเส้นใยแบบเฉพาะ ช่วงเวลาที่กำหนดก็เช่นกันระหว่างสัญญาณแบบต่อเนื่องกับโดยรวมทั้งหมดของสัญญาณที่ส่งออกไป ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับความรุนแรงในการกระตุ้น

ตัวรับรู้ความเจ็บ (Nociceptors) ได้รับการอธิบายคลาสที่ต่างและแบ่งแยกของประสาทตัวรับภายนอก เป็นไปได้ที่จะถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายกลุ่ม เป็นอีกอย่างที่ใช้ขนาดและความเร็วในการส่งสัญญาณเป็นพื้นฐานในการแบ่งกลุ่ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กของเส้นใย (Pain Fibers)บอกถึงความยากในการวิจัยทางสรีรวิทยา ทำให้มันยากที่จะแน่ใจว่าที่เส้นใยกำลังถูกกระตุ้น นี่เป็นหนึ่งในเหตุผลในรายงานความสับสนมากมายเกี่ยวกับการตอบสนองของหน่วยหนึ่งต่อการกระตุ้นความเจ็บ

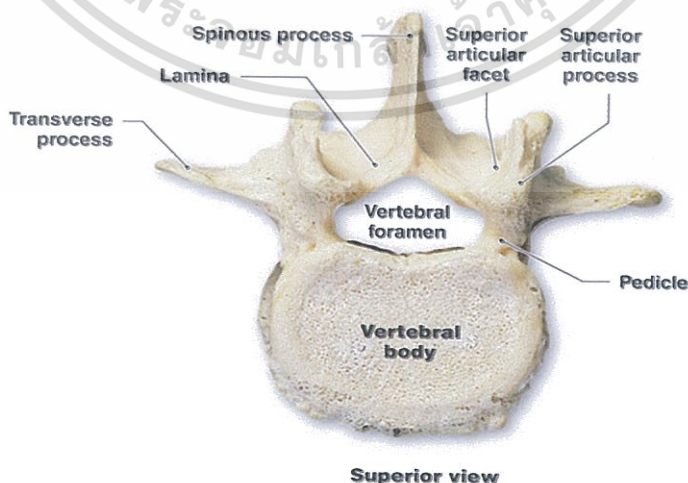


รูปที่ 2.5 Afferent nerve fiber from pain or temperature receptor and joint position receptor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

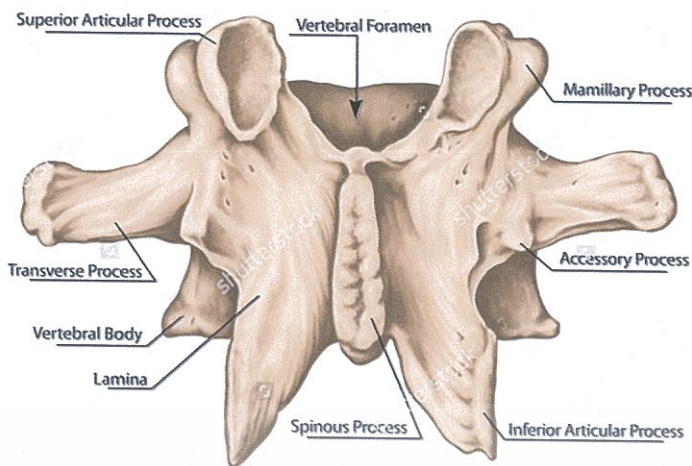
(5) **Vascular Pain** รูปแบบของเส้นประสาทที่ไปหล่อเลี้ยงหลอดเลือดที่ข้อคือ ความเหมือนพื้นฐานของหลอดเลือดอื่นๆ ทั้งเส้นใยมีเยื่อหุ้มและไม่มีเยื่อหุ้มที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เส้นใยหุ้มเยื่อไมลิลินถูกค้ำึงถึงการส่งออกไปยังส่วนกลางกับเส้นใยไร้เยื่อหุ้มเท่าๆ กับทั้งส่งออกไปยังส่วนกลางและผลของประสาทของส่วนแกงเกียตัวหลังของประสาทซิมพาเทติก ความใกล้ชิดของเส้นใยประสาทถึงหลอดเลือดไม่มีความสำคัญที่บอกเป็นนัยถึงฟังก์ชันปรับขนาดหลอดเลือดตั้งแต่มีการแสดงให้เห็นว่าภายหลังการผ่าตัดประสาทซิมพาเทติกหรือผ่าเอาแกงเกียออกมาเพื่อลดปัจจัยที่จะส่งผลกระทบโดยการกระตุ้นมัน จำนวนของเส้นใยไร้เยื่อหุ้มที่มีอาการต่อต้านในความสัมพันธ์ถึงหลอดเลือดในกล้ามเนื้อกระดูก ผลลัพธ์ที่คล้ายกันถูกเผยแพร่โดยวูลลาร์ดที่ใช้ผิวหนังของหูกะต่าย พวกเขาแสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่ยังคงอยู่เหล่านี้มีความสามารถที่จะใกล้เคียงการตอบสนองต่อการรับรู้ความเจ็บเมื่อเส้นใยละเอียดที่ไร้เยื่อหุ้ม (และมีเยื่อไมลิลินหุ้ม) ได้รับการกระตุ้นโดยตรง การกระตุ้นนี้เป็นเหตุที่ทำให้กระต่ายเกิดอาการชาเบาๆจนถึงขั้นชงัก นอกจากนี้วูลลาร์ดยังค้นพบว่าความเจ็บที่เคยประสบมาแล้วเมื่อจุดเข็มสัมผัสเส้นเลือดฝอย ดังนั้นหลอดเลือดซินโนเวียอาจเป็นไปได้ที่เป็นแหล่งกำเนิดความเจ็บ อาการปวดของพื้นที่หลอดเลือดเป็นปรากฏการณ์ที่ได้รับการยอมรับอย่างดีทางคลินิก แม้ว่าธรรมชาติของการกระตุ้นต้องการสร้างอาการเจ็บที่ไม่ต้องเข้าใจทั้งหมด อย่างไรก็ตาม อาการปวดเกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อหลอดเลือด บางทีก็เป็นเพราะการชักกระตุ้นของกล้ามเนื้อเองเช่นกันหรือผลจากฮิสตีเมียภาวะขาดเลือดของเนื้อเยื่อ มันสามารถสร้างได้อย่างเป็นการทดลองในกล้ามเนื้อโดยอาการบาดเจ็บที่ด้านในหลอดเลือดแดงของการระคายเคืองทางคลินิก เช่นแบบเรียมคลอไรด์อิมิตัว มีหลักฐานที่ดีที่อาการเจ็บจากภาวะขาดเลือดถูกส่งออกไปตามเส้นใยหลอดเลือดย่อยๆ ดังนั้นหลอดเลือดที่ Synovial Fold อาจเป็นแหล่งกำเนิดอาการเจ็บเนื่องจากอาการปวดบริเวณหลอดเลือดเป็นปรากฏการณ์ที่ได้รับการยอมรับอย่างดีทางคลินิก แม้ว่าการกระตุ้นสำหรับอาการปวดที่ไม่เข้าใจทั้งหมด

ปรากฏการณ์เกิดซับซ้อนตรงทางชีววิทยาอย่างเป็นธรรมชาติถูกนำมาเกี่ยวข้องเนื่องจากการผลิตความเจ็บในความผิดปกติของหลอดเลือด สิ่งเหล่านี้รวม Bradykinin, 5-hydroxytryptamine, potassium และ Adenosine triphosphate และถูกรวมกลุ่มในทอม Vasoneuroactive substances



รูปที่ 2.6 Cranial view of a typical lumbar vertebra

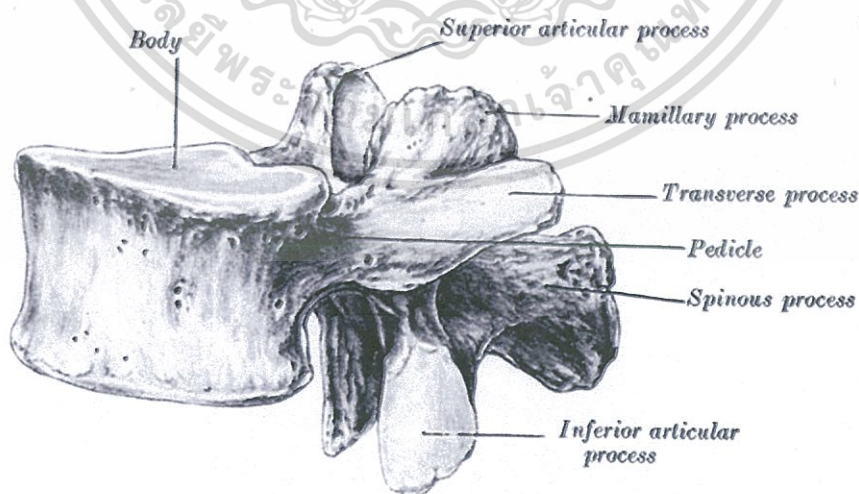
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 Posterior view of a typical lumbar vertebra

เป็นความจริงที่กระดูกไขสันหลังก่อตัวขึ้นจากข้อต่อ Synovial กับของเหลว Synovial (Superior ดำเนินการจากข้างล่างควบคู่กับ Inferior ดำเนินการจากด้านบน) และจุดประสงค์ของมันคือการรักษาสมดุลการเคลื่อนไหวระหว่างกระดูกสันหลังสองชิ้นกับประเด็นสองอย่าง ‘การเคลื่อนกับการบิด’ แต่ละข้อต่อถูกห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลเส้นใย

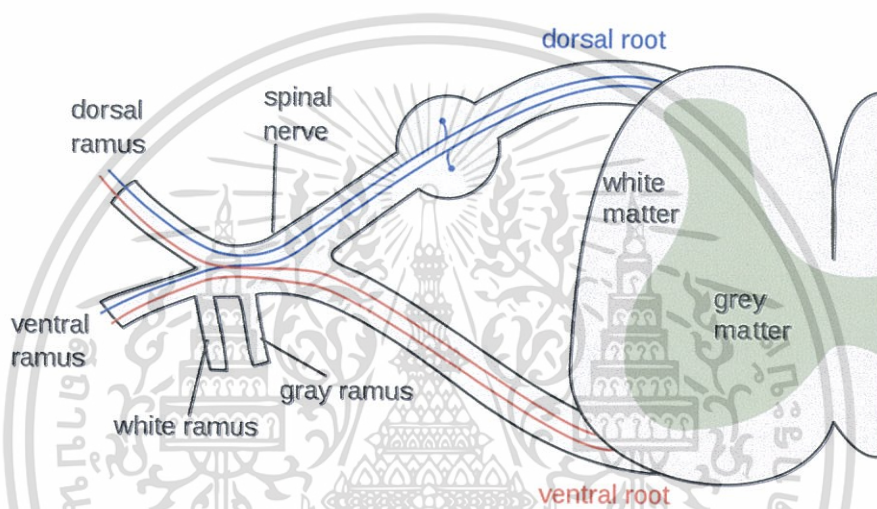
รากเส้นประสาทยื่นออกจากช่องว่างไขสันหลัง (Spinal canal) ผ่านช่องว่างระหว่างกระดูกสันหลัง (Intervertebral Foramina) แต่ละฟอรามาเน (ส่วนที่เป็นรูสำหรับหลอดโลหิต) ถูกสร้างขอบเขตโดยก้านส่วนบนและส่วนล่าง ส่วนด้านหน้าหรือก่อนฟอรามาเนสร้างขอบเขตโดยหมอนรองกระดูกกับบอดี้ของกระดูกไขสันหลัง และด้านหลังโดยลามิनाและมุมมองด้านหน้าของข้อฟาเซท พวกมันในแนวตั้งยาวกว่าในแนวนอนอีกอันกับพื้นที่ตัดขวางที่ใหญ่ที่สุดที่ฟอรามาเน L1-L2 และฟอรามาเนเล็กที่สุดที่ L5-S1



รูปที่ 2.8 Left Lateral view of a typical lumbar vertebra

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไขสันหลังสิ้นสุดที่ชั้น L1 เส้นทางของรากเส้นประสาทเป็นทางยาวและเยื้องมากเท่าที่พวกมันจะเข้าใกล้ส่วนที่ต่ำกว่าได้ ดังนั้นในบริเวณหลังส่วนล่าง รากประสาทอยู่ในตำแหน่งเหนือมุมมองของฟอราเมน รากเส้นประสาทข้ามหมอนรองกระดูกเฉียบพลันเหนือฟอราเมนและด้านในฟอราเมนข้างใต้ก้าน ออกจากฟอราเมน 1 ปล้องต่ำกว่าหมอนรองกระดูกที่สอดคล้องกัน เช่น รากประสาท L4 ยื่นออกจากฟอราเมนสร้างโดยบอดีกระดูกสันหลัง L4 และ L5 เส้นประสาทออกจากฟอราเมนในจุดที่ต่ำลงมาในทิศทางส่วนหน้าด้านข้าง ที่ขอบเขตด้านข้างของฟอราเมน ปมประสาทรากหลัง (Dorsal Root Ganglion) และ Anterior ramus (ส่วนแบ่งแยกด้านหน้าของเส้นประสาทไขสันหลัง) ไม่เข้าร่วมเพื่อต่อเส้นประสาทไขสันหลัง เส้นประสาทก่อตัวแค่ด้านข้างถึงฟอราเมน รากด้านหลัง (Sensory) คือความหนาสองเท่าของรากด้านหน้า (Motor) รากประสาทมอเตอร์อยู่ด้านหน้าและด้านล่างของฟอราเมน รากประสาทถูกหุ้มด้วย Arachnoid และ Dura



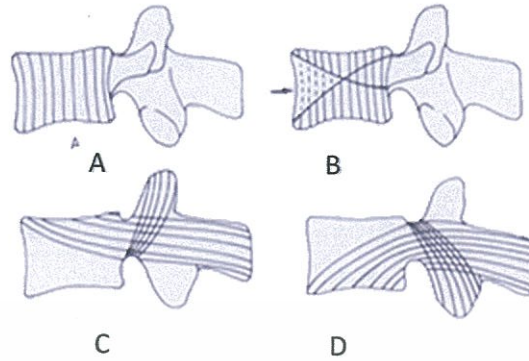
รูปที่ 2.9 The spinal nerve from the dorsal and ventral roots

Arachnoid หุ้มรากประสาทถึงชั้นของปมประสาทรากหลัง รอบนอกเยื่อ dura หุ้มรากผ่านฟอราเมนและลากยาวต่อเนื่องตามเส้นประสาทไขสันหลังเทียบเท่ากับเยื่อหุ้มมัดประสาท (Perineurium:มีส่วนสำคัญในการขนส่งสารประสาท) ภายในฟอราเมน เส้นประสาทและปลอกหุ้มของมันยึดครอง 35-40% ของพื้นที่ เส้นประสาทที่ใหญ่ที่สุดคือ L5 ที่อยู่ในฟอราเมนส่วนที่เล็กที่สุด ดังนั้นเส้นประสาท L5 จึงเป็นโครงสร้างช่องเส้นประสาทที่ทนต่อแรงบีบอัดได้น้อยที่สุด เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue), บริเวณพังผืด ของกระดูกสันหลัง (Ligamentum flavum), หลอดเลือดแดง, หลอดเลือดดำ, หลอดน้ำเหลือง (Lymphatic), และ Sinuvertebral Nerve เต็มช่องว่างที่ยังเหลืออยู่[4]

Spinal canal ในภาคตัดขวางถูกล้อมรอบด้วย Neural Arch ส่วนหลังและพื้นผิวด้านหลังของส่วนหน้าบอดีกระดูกสันหลัง รูปร่างของ Canal มันเองเป็นรูปสามเหลี่ยมกับฐานด้านหน้า มันค่อยๆขยายออกจาก L1 ไปยังกระดูกใต้กระเบนเหน็บ (Sacrum) อย่างไรก็ตามมุมด้านข้างของมุมสามเหลี่ยมนั้นเล็กกว่าบอดีของกระดูกไขสันหลังลำดับที่สี่และห้า เหล่านี้เป็นตำแหน่งของการกด Potential Nerve พื้นที่กระดูกใต้กระเบนเหน็บรวมเอา (Lumbosacral area)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Spinal Canal ประกอบด้วยกลุ่มรากประสาทคล้ายหางม้า (Cauda equina) ไขสันหลังสิ้นสุดที่ประมาณชั้นของขอบด้านล่าง (Inferior Margin) ของไขสันหลังส่วนหลังอันดับที่หนึ่ง



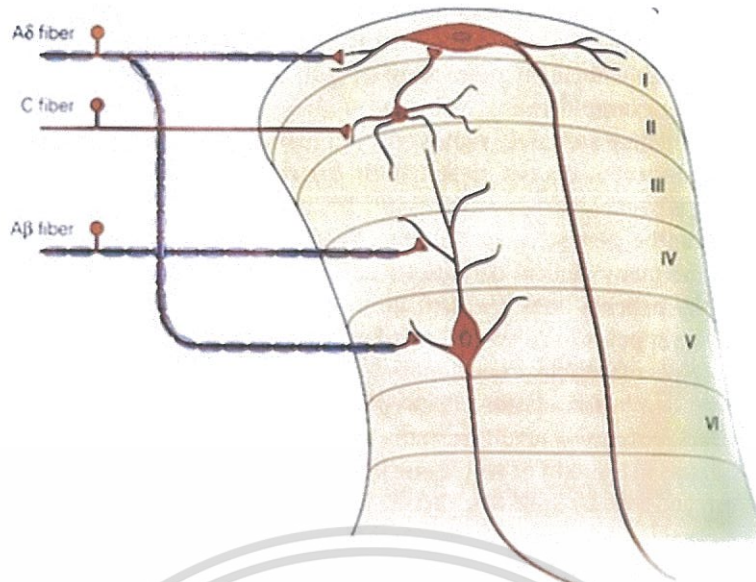
รูปที่ 2.10 แสดงเส้นแรงที่ส่วนล่างของ บอดี้ไขสันหลัง A) เส้นที่สัมพันธ์กับ Vertebral Endplates B) เส้นที่เกี่ยวข้องกับส่วนบน endplate กับก้าน , ส่วนบนของผิวข้อต่อ , spinous process C) เส้นที่เกี่ยวข้องกับส่วนล่าง Endplate กับส่วนล่างของผิวข้อต่อและ spinous process D) รอยหัวลูกศรถึงพื้นที่ที่เปราะที่สุดของบอดี้ของกระดูกไขสันหลัง, ตำแหน่งปกติสำหรับการแตกหักของกระดูกไขสันหลัง

#### 2.2.3.5 Central Nervous System Connection

ผลสรุปด้านอุณหภูมิมิเป็นเอกสารสนับสนุนสำหรับความไม่รู้ อาการปวด C-fibers ล่าช้าเป็นความแตกต่างในคุณภาพและความถูกต้องแม่นยำน้อยของการปล่อยออกมาจากความเร็วดังกล่าว รูปร่างของอาการปวดมาจากระดับกั้นที่ A-Delta ที่อยู่ระดับสูง อย่างไรก็ตาม C-fibers มีขนาดที่ไม่เป็นประโยชน์เท่าไรนัก มีความเด่นชัดในเชิงตัวเลขที่ดีกว่าอย่างอื่น ในเส้นประสาทเลี้ยงกระบังลมในแมวมีประมาณ 750 เส้นใยที่หุ้มด้วยเยื่อไมลิลินแต่อาจมีเส้นใยไม่หุ้มเยื่อไมลิลินถึง 2000 หรือมากกว่านั้น ปลายเส้นใยส่งกระแสประสาทเข้าส่วนกลางที่เล็กที่สุดในพื้นผิวของลามินาส่วนของปีกบนเซลล์ประสาทตัวรับรู้ความเจ็บ (Nociceptors Neuron) ในลามินาชนิดที่หนึ่งรับอินพุตแบบเฉพาะตัวจากเยื่อหุ้มไมลิลินและไม่หุ้มที่ส่งกระแสประสาทเข้าส่วนกลาง,ยิงออก,อย่างน้อยก็ในส่วนที่ส่งไปฮาลามัสและบริเวณก้านสมอง

หลักฐานล่าสุดที่การรับรู้ความเจ็บ (Nociception) สามารถได้รับการยืนยันอย่างแน่ชัดว่ามีคุณสมบัติของเซลล์ประสาทรับรู้ความรู้สึกเจ็บ (Nocispecific Neurons) เช่นที่อยู่ในลามินาชนิดที่หนึ่งที่ไขสันหลัง มีเส้นทางเส้นใยชนิด C ที่ส่งสัญญาณเข้าส่วนกลางขนาดกันสองเส้นทางนำพาข้อมูลที่รับรู้เหมือนกันไปยังพื้นที่ที่ต่างกันบนปีกบน (Dorsal horn) หลักฐานที่สนับสนุนข้อสมมติฐานที่ได้รับจากการเฝ้าสังเกตผิวหนัง แต่อาจพอกับที่ได้จากข้อต่อ กล้ามเนื้อและอวัยวะภายใน เหตุการณ์ในส่วนกลางและพยาธิวิทยาที่รองรับความเจ็บเฉียบพลันต้องนำเข้ารายงานส่วนรวมที่ต่างกัน กระทำโดยเส้นทางของเซนเซอร์รีซรีนเส้นใย C ที่มีองค์ประกอบด้วยเพปไทด์และนอลเพปไทด์ใน Nociception[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปแบบของ C-fiber และ A-fiber

#### 2.2.4 กายวิภาคของกระดูกสันหลัง

กระดูกสันหลังนอกจากเป็นโครงสร้างแข็งแรงที่ปกป้องแกนของไขสันหลังแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นจุดเกาะของกล้ามเนื้อของหลัง และยังเชื่อมต่อกับกะโหลกศีรษะ (Skull) กระดูกสะบัก (Scapula) กระดูกเชิงกราน (Pelvic bones) และกระดูกซี่โครง (Ribs) อีกด้วย

กระดูกสันหลังในคนปกติจะมี 33 ชิ้น ซึ่งจะจัดจำแนกตามตำแหน่งและรูปร่างลักษณะได้แก่

กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical vertebrae) ซึ่งมีจำนวน 7 ชิ้น อยู่ในช่วงลำคอ กระดูกสันหลังในส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นจุดเกาะของกล้ามเนื้อและเอ็นที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลำคอและศีรษะ

กระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic vertebrae) มีจำนวน 12 ชิ้น อยู่ในส่วนอก และมีลักษณะพิเศษคือจะมีจุดเชื่อมต่อสำหรับกระดูกซี่โครง ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญของช่องอก

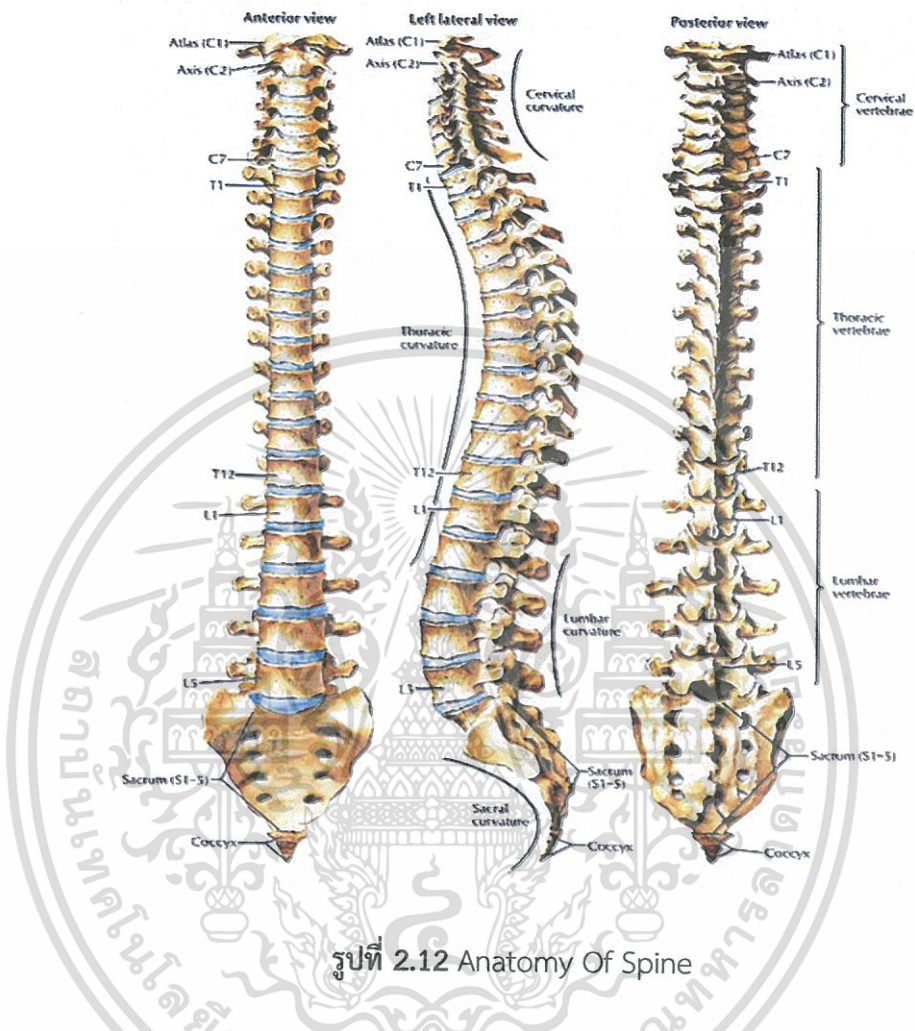
กระดูกสันหลังส่วนบั้นเอว (Lumbar vertebrae) มี 5 ชิ้น อยู่ในช่วงเอว และมีขนาดใหญ่เพื่อรองรับน้ำหนักของร่างกายตอนบน และมีส่วนเป็นจุดเกาะของกล้ามเนื้อที่เป็นผนังทางด้านหลังของช่องท้องอีกด้วย

กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacral vertebrae) ซึ่งเดิมมี 5 ชิ้น แต่จะเชื่อมรวมกันเป็นชิ้นเดียว และจะต่อกับกระดูกเชิงกราน (Pelvic Bone) โดยจะมีช่องเปิด (Sacral Foramina) เพื่อเป็นทางผ่านของเส้นประสาทที่ไปยังบริเวณเชิงกรานและขา

กระดูกสันหลังส่วนก้นกบ (Coccygeal Vertebrae) ซึ่งเดิมมี 4 ชิ้น ซึ่งจะเชื่อมกันเป็นกระดูกชิ้นเดียวเป็นกระดูกรูปสามเหลี่ยมที่ปลายด้านล่างสุด

หมอนรองกระดูก (Intervertebral disc) เป็นไฟโบรคาร์ติเลทที่อยู่ระหว่างลำตัวของกระดูกสันหลังทุกปล้อง ยกเว้นส่วนคอที่ 1, 2 ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ นิวเคลียสพัลโพซัส (nucleus pulposus) มีหน้าที่เป็นจุดหลักสำหรับการเคลื่อนไหว เมื่อมีแรงกดมากๆ โดยจะกระจายแรงนี้ไปรอบๆ เท่าๆ กันตลอด , เส้นใยแอนนูลัส (annulus fibrosus) และแผ่นกระดูกอ่อน (cartilage) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

plate) ทำหน้าที่เป็นช็อคแอบซอร์เบอร์ (shock absorber) ในท่าก้มหรือแอ่นหลังหากทำมากเกินไป มีโอกาสทำให้หมอนรองกระดูกยื่นออกมาทางด้านหลังเีียงไปด้านข้างจนไปกดทับเส้นประสาท ยิ่งถ้ามีการหดเกร็งของกล้ามเนื้อหลัง จะยิ่งทำให้หมอนรองกระดูกยื่นออกมามากขึ้น[2]



รูปที่ 2.12 Anatomy Of Spine

## 2.2.5 กายวิภาคของกระดูกสันหลังส่วนเอว (Anatomy of Lumbosacral Spine)

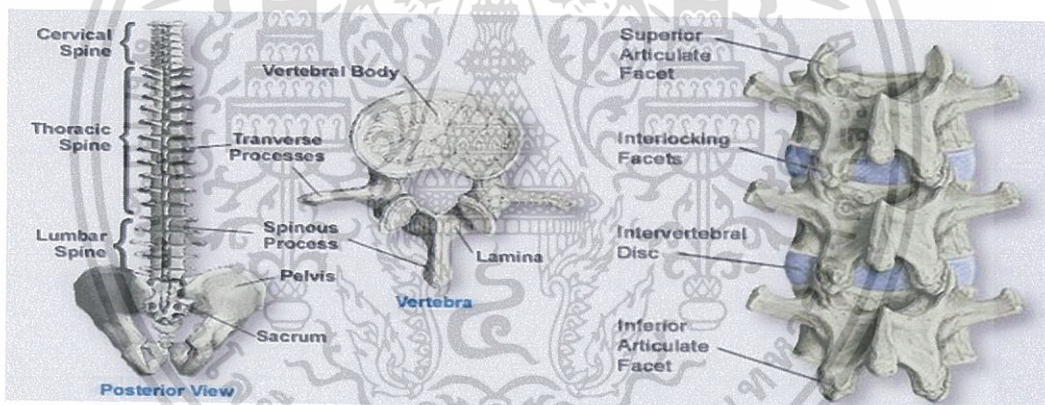
### 2.2.5.1 กระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lumbar Vertebrae)

ไขสันหลังส่วนเอว (Lumbar Spine) ประกอบด้วยกระดูกสันหลัง 5 ชั้นแต่ละชั้นมีองค์ประกอบสองส่วนหลักๆ คือ บอดี้ส่วนหน้ามีหน้าที่รับน้ำหนัก จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ neural arch ซึ่งเป็นโครงสร้างกระดูกที่ยื่นออกมาทางด้านหลังของส่วนบอดี้และล้อมรอบช่องว่างไขสันหลัง (Vertebral canal) ลักษณะของ neural arch จะมีก้านด้านข้างสองก้านกับตรงด้านหลังของลามินา (Lamina) นอกจากนี้ก็ยังมีส่วนประกอบย่อยอื่นๆ อย่างไขสันหลัง (Spinal cord) และ Cauda Equine (รากประสาทที่รวมกลุ่มคล้ายหางม้า) เป็นทางเดินหรือส่งผ่านสัญญาณและถูกปกป้องด้วยโครงสร้างรอบๆ ช่องว่างไขสันหลังหรือก็คือถูกปกป้องด้วย Neural arch และ Spinous process คือส่วนที่ยื่นออกมาข้างหลังจากส่วนลามินาในแนวกลาง และมักเป็นที่สังเกตเห็นชัดผ่านผิวหนัง ไม่เหลื่อมซ้อนกันมากเหมือน thoracic spine เช่นเดียวกับ Transverse process ที่เป็นส่วนที่ยื่นออกมาด้านข้างจากจุดเชื่อมของแต่ละก้านกับลามินา[5]

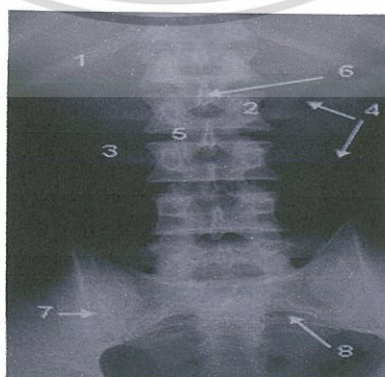
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวบอดี้ในกระดูกสันหลังแต่ละชั้นมีเปลือกนอกเป็นกระดูกขุ่น (Dense bony cortex) ล้อมรอบ Spongy Medulla ส่วนของ Cortical Bone ที่มีเนื้อกระดูกหนาแน่นอยู่บริเวณ Inferior aspects และ Superior aspects ของบอดี้ถูกเรียกว่า Vertebral plateaus. Plateaus ถูกหุ้มด้วยแผ่นโครงสร้างกระดูกอ่อน เส้นรอบวงเป็นส่วนที่ทำให้มีความหนา ก่อเกิดเป็นโครงสร้างขอบที่ต่างกันออกไป อันได้รับมาจากแผ่นสร้างกระดูกและกลายเป็นหลอมรวมกับส่วนบอดี้เมื่อมีอายุ 15 ปี ลายของกระดูกของกระดูกสπονจ์ในบริเวณส่วนล่างของบอดี้ได้ตามทางของแรงที่ลงบนกระดูก ในระนาบส่วนหน้า เส้นแนวตั้งเชื่อมต่อกับพื้นผิวส่วนบนและส่วนล่าง ส่วนเส้นแนวนอนลากไปพื้นผิวด้านข้าง; แนวเฉียงลากไปพื้นผิวส่วนบนด้วยกับพื้นผิวด้านข้าง ในระนาบตัดซ้ายขวา (Sagittal plane) เสียมกระดูกตามการจัดเรียงเป็นรูปร่างคล้ายพัด การจัดเรียงแบบแรกแปลงแรงจากผิวหน้าด้านบนไปยังก้านทั้งสอง พื้นผิวข้อต่อด้านบนและ Spinous process แปลงครั้งที่สองแปลงแรงจากพื้นผิวด้านล่างไปยังพื้นผิวข้อต่อด้านล่างและ Spinous process ลายกระดูกที่มีลักษณะซ้อนทับกันบนพื้นที่ตรงส่วนบนบางส่วนของบอดี้ของกระดูกสันหลังที่มีลายกระดูกน้อยพื้นที่ตรงนี้จะเกิดการแตกร้าวที่แรง 75% ที่จำเป็นเพื่อให้บางส่วนด้านหลังของบอดี้ของกระดูกสันหลังแตกร้าว

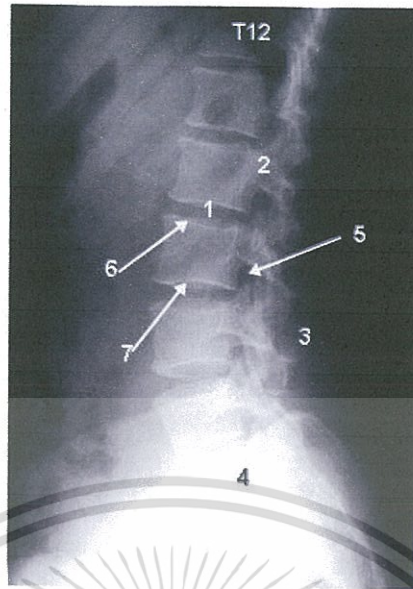
ข้อต่อฟาเซตประกอบด้วย Articular process ซึ่งไล่ขึ้นสูงจากกระดูกสันหลังที่ประกบติดกัน ยื่นออกไปด้านบนและด้านล่างจากจุดเชื่อมต่อของก้านและลามิना



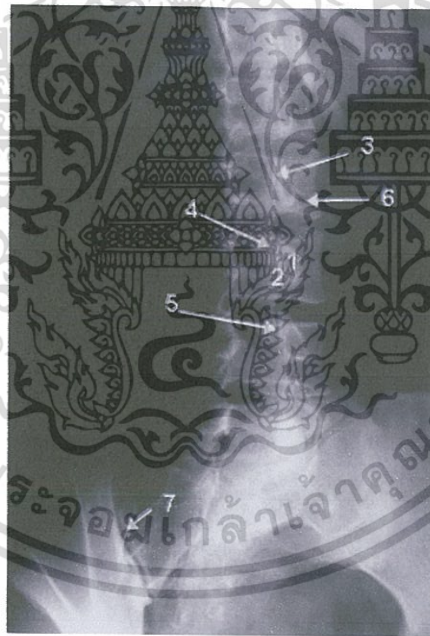
รูป 2.13 กระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lumbar Vertebrae)



รูปที่ 2.14 แสดง Lumbar spine ในท่า AP view



รูปที่ 2.15 แสดง lumbar spine ในท่า Lateral view



รูปที่ 2.16 แสดง lumbar spine ในท่า Oblique view

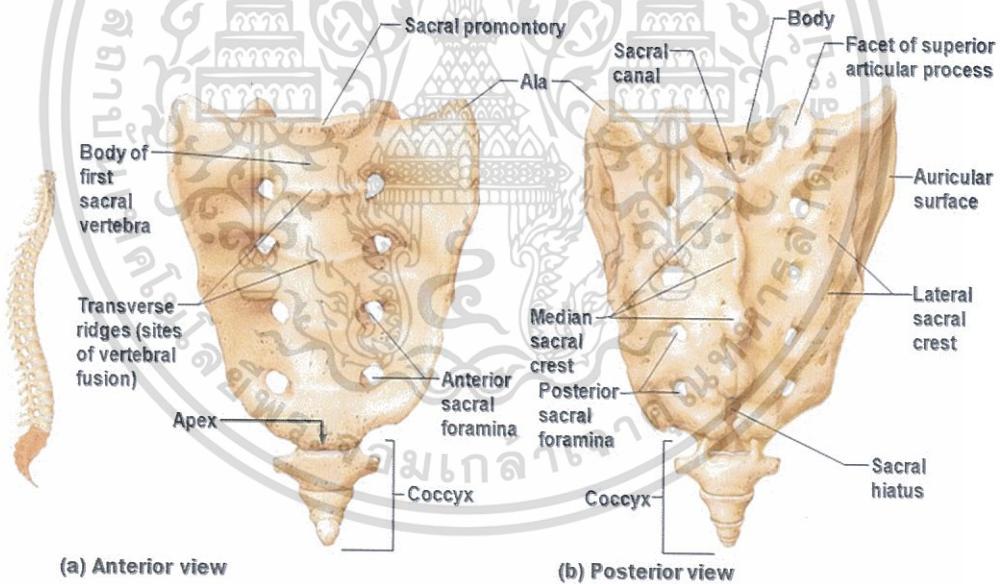
#### 2.2.5.2 Experimental Correlation between Fiber Size and Pain

ทฤษฎีของการเกิดอาการปวดและแพร่กระจายในร่างกายมนุษย์มีพื้นฐานบางส่วนบนการทดลองทางวิทยาศาสตร์กับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดำเนินการเพื่อหาว่าเส้นใยเส้นไหนที่รายงานข้อมูลเมื่อกระตุ้นความเจ็บ ผลสรุปคือเส้นใยที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยทั้งแบบมีเยื่อหุ้มและไม่มีขนาดเล็ก แม้ว่าจะไม่มีคำอธิบายของการตอบสนองของสัตว์ที่ได้รับมา

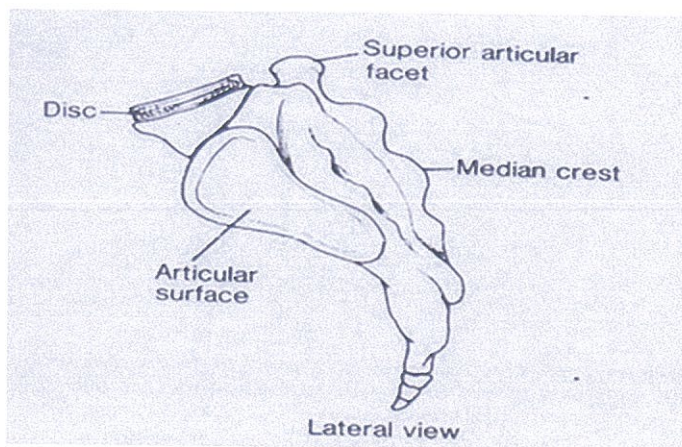
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.6 กายวิภาคกระดูกกระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ (Sacrum&Coccyx Anatomy)

กระดูกกระเบนเหน็บเป็นกระดูกทรงสามเหลี่ยมที่ใหญ่ที่สุด ประกอบด้วยกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ 5 ชั้นและถูกแทรกคล้ายลิ้มระหว่างกระดูกเชิงกรานสองชิ้น กระดูกใต้กระเบนเหน็บ (Sacral) และด้านข้างกระดูกปีกสะโพก (Iliac sides) ของข้อต่อกระดูกเชิงกรานที่เคลื่อนไหวได้น้อย (Sacroiliac amphiarthrodial joint) ถูกหุ้มด้วยthicker hyaline (1-3 mm) กับ Thinner fibrocartilage (1 mm) ตามลำดับในรูป 2.18 บริเวณช่องท้องหรือด้านหน้า บางส่วนของข้อต่อที่ถูกลากเส้นโดยเยื่อหุ้มไขข้อ (Synovial membrane) ที่ผลิตน้ำไขข้อโดยรวมเล็กๆ ข้างหลัง (Dorsal) หรือส่วนหลัง (Posterior) บางส่วนของข้อต่อไม่ได้บรรจุเนื้อเยื่อไขข้อและถูกให้เข้าร่วมด้วยการผูกติดเส้นใย (Fibrous attachment) ตามรูป 2.19 การเชื่อมต่อกันที่เป็นของส่วนรวมส่วนมากกับกระดูกเชิงกราน (ilium) รวมถึง S1,S2 และ S3 บางครั้ง L5 อาจเป็นส่วนแบ่งเชื่อมตัว ขณะที่ S4 และ L4 ยากที่จะถูกนำมาเกี่ยวข้อง กลุ่มกระดูกใต้กระเบนเหน็บส่วนน้อยมักถูกนำมาเกี่ยวพันในกระดูกเชิงกรานเพศหญิงบ่อยกว่าในกระดูกเชิงกรานเพศชาย สิ่งเหล่านี้คือหมอนรองกระดูกสันหลังรูปทรงลิ้มสอดแทรกระหว่างฐานของกระดูกใต้กระเบนเหน็บ (Sacrum) และท้ายกระดูกสันหลังส่วนล่าง (Lumbosacral Disc:หมอนรองกระดูกสันหลังระดับเอวหรือกระดูกใต้กระเบนเหน็บร่วมเอว) ช่องว่างไขสันหลังดำเนินต่อไปในกระดูกใต้กระเบนเหน็บ (Sacrum) และเส้นประสาทกระดูกใต้กระเบนเหน็บยื่นออกผ่านตำแหน่ง Bony foramina ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 2.17 ด้านหน้าด้านหลังและกระดูกกระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ (Anterior and posterior Sacrum&Coccyx)



รูปที่ 2.18 Lateral view showing the articular surface of the sacrum



รูปที่ 2.19 coronal view of Sacroiliac joint

รูปที่ 2.20 มุมมองในระนาบข้างของกระดูกสันหลังแสดงปริมาณความจุของช่องระหว่างข้อกระดูกสันหลัง(Intervertebral Foramens:รูที่รากประสาทผ่านออกมา)ในความสัมพันธ์กับหมอนรองกระดูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

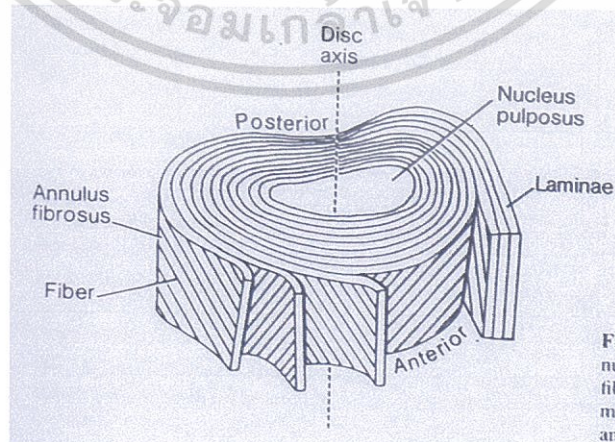
กระดูกก้นกบ ที่มักถูกอ้างถึงในฐานะกระดูกหาง (Tail Bone) มันถูกทำขึ้นด้วยกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Fused Sacral Vertebrae) ชิ้นเล็กสี่ชิ้น ต่อเชื่อมถึงจุดสิ้นสุดด้านล่างของกระดูกใต้กระเบนเหน็บและเป็นของแข็ง เหล่านี้ไม่ใช่ Spinal canal ในกระดูกก้นกบ

### 2.2.7 กายวิภาคหมอนรองกระดูกสันหลัง (Intervertebral Discs Anatomy)

หมอนรองกระดูกสันหลังคือโครงสร้างหลักเชื่อมต่อระหว่างกระดูกสันหลังที่ติดกัน รวมกันพวกมันสร้างขึ้น 33% ของความยาวของไขสันหลังส่วนเอว พวกมันทำงานเหมือนส่วนที่เป็นข้อต่อของเครื่องจักรกลไก การอนุญาตเคลื่อนไหวในระยะไกลระหว่างข้อต่อไขสันหลังได้ดีกว่าถ้าตัวข้อต่ออยู่ช่องทางสัมผัสโดยตรงกับแต่ละชั้นอื่นๆ หมอนรองกระดูกสันหลังแต่ละชั้นถูกทำขึ้นจากนิวเคลียสที่คล้ายวุ้นที่มีความยืดหยุ่น (gelatinous nucleus pulposus) รายล้อมด้วยลามิเนต (laminate: วงซ้อนกันหลายวง), เส้นใยวงแหวน (Annulus Fibrosus) หมอนรองกระดูกแต่ละชั้นตั้งอยู่ระหว่างชั้นบางๆ ของกระดูกอ่อนที่ค่อนข้างโปร่งใสในตำแหน่งระหว่าง Vertebral Endplate กับ Nucleus pulposus (Cartilaginous endplates: CEP) ของเนื้อและใต้ไขสันหลัง[4]



รูปที่ 2.21 มุมมองด้านข้างของไขสันหลังส่วนล่าง รวมข้อต่อกระดูกใต้กระเบนเหน็บรวมเอวหรือเรียกอีกอย่างว่ากระดูกสันหลังส่วนล่าง ที่ช่องว่าง L5-S1



รูปที่ 2.22 หมอนรองกระดูกไขสันหลัง (เส้นใยวงแหวน)

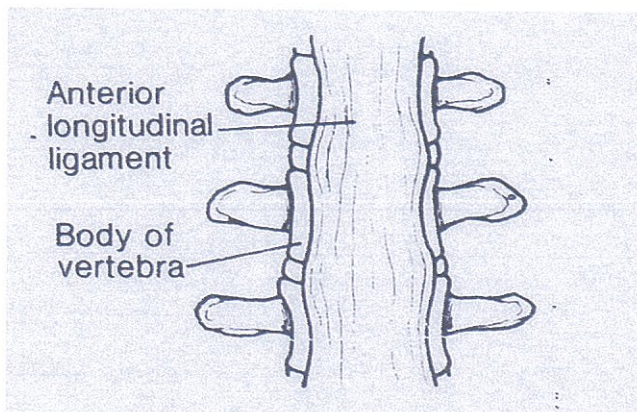
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nucleus Pulposus (นิวเคลียสที่มีลักษณะเหมือนวุ้นที่มีความยืดหยุ่น)คือส่วนกลางด้านบนตั้งอยู่ที่ภายในหมอนรองกระดูกและประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจนเล็กๆโยงโยงในเจลมิวโคโปรตีน (Mucoprotein Gel) นิวเคลียสคล้ายวุ้นดำรงอยู่ประมาณ 40% ของพื้นที่ภาคตัดขวางของหมอนรองกระดูก มันมีของเหลวที่บรรจุตอนเราเกิด(88%)มีกลไกที่ช่วยให้มันดูดซับความเค้นได้มาก อย่างไรก็ตาม อายุที่มากขึ้นจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของเหลวนี้น้อยลง ซึ่งสะท้อนกลับทั้งคู่ที่ลดลงอย่างแน่นนอนในโปรตีนโอไกลแคน (Proteoglycans) ที่มีอยู่และปรับเปลี่ยนในอัตราส่วนของความต่างของโปรตีนโอไกลแคน การฝังให้แห้งนี้ (สูญเสียน้ำ) ลดความสามารถในการทำงานของ Nucleus pulposus เพื่อต้านทานความเค้น (Stress)

เส้นใยวงแหวนก่อตัวสร้างขอบเขตด้านนอกของหมอนรองกระดูก มันประกอบด้วยเนื้อเยื่อ fibrocartilaginous (เนื้อเยื่อกระดูกอ่อนที่มีลักษณะโครงสร้างที่อยู่ระหว่าง hyaline cartilage และ dense fibers connective tissue) และเส้นใยโปรตีน ที่ถูกจัดเรียงในชั้นศูนย์กลางรวมกันหรือจัดเรียงกันเป็นชั้นๆ วงๆ (Lamellae) และวิ่งเฉียงจากกระดูกไขสันหลังหนึ่งไปยังอีกอันตามลำดับชั้นของเส้นใยเหล่านี้เอียงในทิศทางทางเล็กดั้งนั้นที่พวกมันข้ามทแยงกันและกันที่มุมต่างกันขึ้นอยู่กับแรงดันภายในหมอนรองกระดูกสันหลังของ Nucleus pulposus ดังนั้นเส้นใยวงแหวนสามารถดูดซับความเค้นโดยการขยายกว้างออกและการหดตัวเหมือน Japanese finger trap เส้นใยรอบนอกของมันข้ามเส้นขอบของ Cartilaginous endplates เพื่อทำให้รวมตัวกับกระดูกแต่ละบอดี้ของกระดูกไขสันหลังได้ เส้นใยชั้นพื้นผิวส่วนมากผสมผสานรวมกับเส้นเอ็น (Ligament) ตามแนวยาวส่วนหน้าและส่วนหลัง อายุเพิ่มขึ้นเส้นใยเหล่านี้ของเส้นใยวงแหวนจะเสื่อมสภาพลงกลายเป็นแยกหรือแตกในแบบเปิดเป็นทางแคบยาวๆ และสูญเสียสมรรถภาพของมันที่บรรจุ Nucleus Pulposus ถ้ามีความเค้นภายในเพียงพอ วัสดุ Nucleus Pulposus จะสามารถแทรกซึมผ่านวงแหวนและผลลัพธ์อาการบาดเจ็บก็คือ Herniated Disc (หมอนรองกระดูกทะลัก)

## 2.2.8 กายวิภาคเส้นเอ็นของไขสันหลังระดับเอว (Ligaments of the Lumbar Vertebral Column Anatomy)

บอดี้ของกระดูกสันหลังถูกสร้างขอบเขตด้านหน้าและหลังโดยสองเส้นเอ็น (Ligament) หลัก เส้นเอ็นตามยาวด้านหน้า (Anterior longitudinal ligaments) เป็นแผ่นพังผืดกว้างแข็งแรงแผ่คลุมและโยงยึดด้านหน้าของ body กระดูกสันหลังและหมอนรองกระดูกสันหลัง (รูป 2.23) หนาที่สุดตรงระดับ หมอนรองกระดูกแผ่ขึ้นไปจากผิวด้านหน้าของกระดูกกระเบนเหน็บไปยัง anterior tubercle ของ atlas กับกระดูก occiput ของกะโหลกศีรษะหน้าต่อ foramen magnum โยงของมันยึดแน่นอยู่กับหมอนรองกระดูกสันหลังและเยื่อหุ้มกระดูกของ body ทำหน้าที่ดำรงไว้ซึ่งความมั่นคงของข้อระหว่าง body และช่วยป้องกันการแอ่นเกินปกติ (hyperextension) ของลำกระดูกสันหลัง [5]

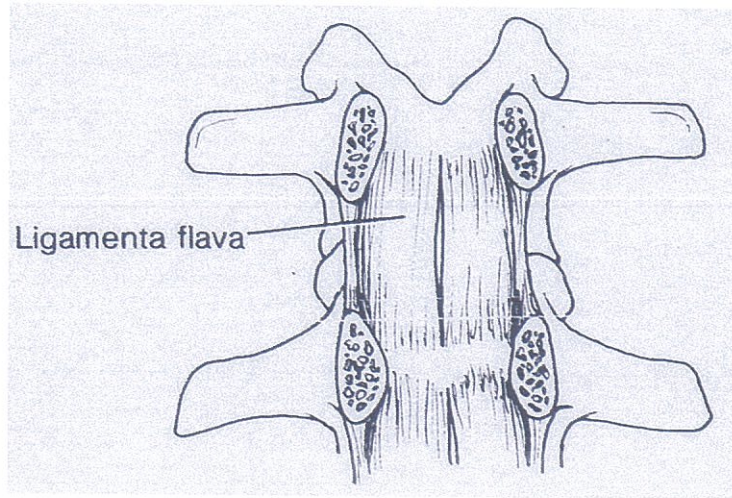


รูปที่ 2.23 ด้านหน้าของไขสันหลังที่เส้นเอ็นตามยาวคลุมพื้นที่ผิวข้างหน้า



รูปที่ 2.24 Posterior Longitudinal Ligament

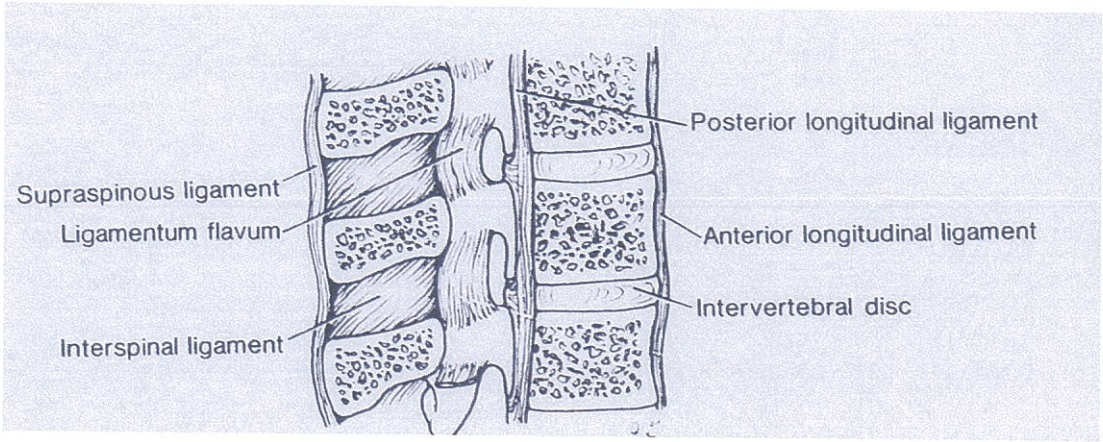
เส้นเอ็นตามยาวด้านหลัง (Posterior longitudinal ligaments) ขยายตามพื้นที่ผิวด้านหลังของกระดูกสันหลังส่วนบด (รูป 2.24) มันสร้างรูปแบบเขตแดนด้านหน้าของไขสันหลัง (Spinal Canal) ใน Lumbar canal เปลี่ยนเป็นช่องแคบเท่าที่มันผ่านในบอดี้ของกระดูกสันหลังแต่ละชั้นได้ และจากนั้นขยายออกด้านข้างที่มันจะผ่านหมอนรองกระดูกแต่ละชั้นไปได้ ดังนั้นมันใช้ในองค์ประกอบของอนุกรมของนาฬิกาทรายพร้อมด้วยการขยายด้านข้างให้เล็กลงตลอดหมอนรองกระดูกสันหลัง เริ่มด้วยที่อ่อนแอที่สุดและถูกทำลายง่ายที่สุดถึงการเลื้อนของหมอนรองกระดูกผิดปกติ เส้นเอ็นตามยาวที่อยู่ด้านหลังเริ่มที่พื้นที่แคบตรง L1 และกลายเป็นหนึ่งครั้งจากความกว้างดั้งเดิมของมันที่ช่องว่างระหว่าง L5 กับ S1 เส้นเอ็นอันดับที่สาม, เส้นเอ็นไขสันหลังด้านข้าง, ตั้งอยู่ระหว่าง Anterior และ Posterior และผ่านจากบอดี้ของกระดูกสันหลังไปยังขึ้นถัดไป การยึดมันแน่นหนาถึงหมอนรองกระดูกสันหลัง



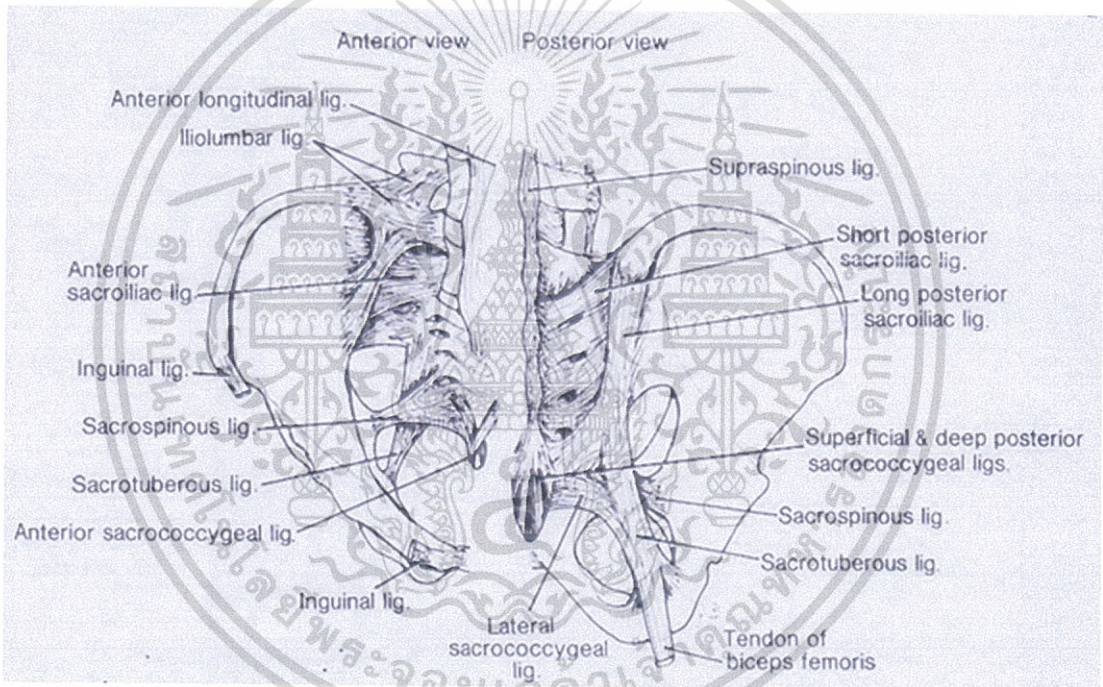
รูปที่ 2.25 ligament flava ที่เชื่อมติดกับพื้นที่ผิวด้านหลังของลามิना

Ligamenta Flava ลากยาวไปด้านหลังระหว่างลามิเน (laminae) ที่ติดกัน (รูป 2.25) เส้นเอ็นที่ยึดหยุ่นขยายออกจากฐานของ Articular Processes ด้านหนึ่งไปยังฐานของ Articular Processes ที่อยู่ฝั่งตรงข้าม ตลอดจนรอบข้างเข้าไปในโพรงaminaของไขสันหลัง พวกมันถูกยึดติดกับพื้นผิวด้านล่างกับด้านหน้าของลามิเน การจัดเรียงอันเป็นเอกลักษณ์นี้รวมเข้าด้วยกันกับการเรียงด้านหน้าของลามิเนและคุณสมบัติของความยืดหยุ่นของเส้นเอ็นที่ติดต่อการโก่ง จะมีผลกระทบของการสร้าง smooth posteroinferior wall อย่างมาก มันจะยังคงความราบและป้องกันองค์ประกอบของระบบประสาทแม้ว่าจะมีตำแหน่งอะไรก็ตามที่กระดูกไขสันหลังถูกทำให้โค้งหรือบิดเบี้ยว[4]

ในบางส่วนด้านหน้าของกระดูกสันหลัง ข้อต่อกระดูกไขสันหลังถูกทำให้แข็งแรงโดยอนุกรมของเส้นเอ็นที่พาดพิงระหว่าง Transverse Spinous Processes ที่ติดกัน (Intertransverse ligament) และ Spinous Processes (Interspinous and Supraspinous ligaments) (รูปที่ 2.26) บริเวณหลังส่วนล่าง เส้นเอ็นสพราสไปนัส (supraspinous ligament) ไม่ขัดเนื่องจากมันผสมเข้ากับกล้ามเนื้อระดับเอวส่วนหลัง (lumbodorsal muscles) ที่แทรกเข้ามา เส้นเอ็นเหล่านี้ช่วยลดแรงด้านหน้า(แรงเฉือน)ที่ลงบนกระดูกสันหลังช่วงเอวเพราะส่วนโค้งเว้าด้านหน้าและมุมของ Lumbosacral. Iliolumbar ligaments ที่ยึดติด Transverse processes เชื่อมต่อกระดูกสันหลังช่วง lumbar 2 ขึ้นล่างเข้ากับขอบของกระดูกเชิงกราน (Iliac crest), จำกัดการเคลื่อนไหวของข้อต่อกระดูกเชิงกราน (Sacroiliac Joint) ระหว่างการงอด้านข้าง, Iliolumbar ligaments ด้านตรงข้ามจะดึง อนุญาตให้ L4 เคลื่อนที่ได้แค่ 8 องศา สัมพันธ์กับกระดูกกระเบนเหน็บ (Sacrum) การงอ (Flexion) และการยืด (Extension) ของไขสันหลังส่วนล่างถูกจำกัดแต่อยู่ในระดับน้อยกว่าการงอด้านข้าง



รูปที่ 2.26 แสดงเส้นเอ็นที่พยางด้านหน้า(Anterior longitudinal ligaments, Posterior longitudinal ligaments)และด้านหลัง(Supraspinous,intraspinous)



รูปที่ 2.27 มุมด้านหน้าและด้านหลังของเส้นเอ็นข้อต่อกระดูกเชิงกราน

ความสมดุลของข้อต่อกระดูกเชิงกราน (Sacroiliac Joint) ไม่ได้ขึ้นกับการประสานของพื้นที่ผิวข้อต่อของกระดูกเชิงกรานกับกระดูกกระเบนเหน็บเท่านั้น แต่รวมถึงข้อต่อซึ่งล้อมรอบด้วยเส้นเอ็นเสริมขนาดใหญ่หลายเส้น เส้นเอ็นยึดติดกระดูกเชิงกรานกับกระดูกกระเบนเหน็บ (Anterior sacroiliac, posterior sacroiliac และ interosseous sacroiliac) และกระดูกกระเบนเหน็บกับกระดูกที่ก้น (Ischium) (sacrotuberous and sacrospinous) ความเกี่ยวพันความแข็งแรงของเส้นเอ็นเป็นความแตกต่างระหว่างเพศ หลังจากรวบรวมแล้ว ความแตกต่างของความแข็งแรงของเส้นเอ็นจะเพิ่มขึ้นในเพศชาย ส่วนเพศหญิงความแข็งแรงจะลดเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างที่ตั้งครรภ์และระหว่างกระบวนการคลอดบุตร[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.9 กายวิภาคหลอดเลือดของกระดูกสันหลังส่วนเอว (Blood Vessels Anatomy)

### 2.2.9.1 การจ่ายเลือดของกระดูกสันหลังส่วนเอว(Blood Supply of Lumbar Vertebrae)

การรู้มุมมองของการกระจายเส้นประสาทพาราเวซคิลล่าไปยังท่อเลือดเล็กๆ ซึ่งความสัมพันธ์ในเรื่องนี้จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์เกี่ยวกับความเจ็บปวดที่บริเวณหลอดเลือดเลือดที่มาเลี้ยงกระดูกสันหลังได้รับการอธิบายหลากหลายแนวทางซึ่งเลือดที่มาหล่อเลี้ยงที่ข้อฟาเซทก็ถูกอธิบายเช่นเดียวกัน

หลอดเลือดแดงที่กระดูกส่วนเอวซึ่งมักมีอยู่สี่คู่เกิดขึ้นจากผนังด้านหลังของเออร์ตาส่วนท้อง (Abdominal aorta) ตรงข้ามกับบอดี้ของกระดูกสันหลังส่วนเอวช่วงบนทั้งสี่ เส้นเลือดแดงแต่ละคู่ส่งผ่านด้านข้างรอบๆ ตัวกระดูกสันหลัง (Vertebral body) ไปยังด้านข้างของช่องกระดูกสันหลัง (Vertebral foramen) โดยตรง สามารถแบ่งกลุ่มแตกแขนงได้สามกลุ่มหลัก คือ The posterior spinal elements , the spinal canal และ the abdominal body wall คู่ที่ห้าของเส้นเลือดแดงที่กระดูกส่วนเอวมีขนาดเล็กกว่าเกิดจากเส้นแตกแขนง iliolumbar ของ หลอดเลือดอินเทอร์นอล อีลิแอค อาร์เทอรี 2 เส้น (internal iliac arteries) หรือบางครั้งเกิดจาก median sacral artery



รูปที่ 2.28 The arterial blood supply to a lumbar vertebra

- a) posterior spinal branch
- b) spinal canal branch
- c) abdominal body wall branch

### 2.2.9.2 เลือดที่มาเลี้ยงองค์ประกอบกระดูกสันหลังส่วนหลัง (Blood Supply of the Posterior Spinal Elements)

เส้นเลือดที่แตกแขนงมาโค้งตามรอบๆ ข้อต่อฟาเซท , Laminae และ Spinous process เส้นแตกย่อยจำนวนมากของหลอดเลือดแดงนั้นแตกแขนงที่ไขสันหลังด้านหลังหล่อเลี้ยงเยื่อหุ้มข้อต่อ, ไขมันเปลวใน Superior recess, ไขมันใน Inferior recess ของข้อต่อที่อยู่สูงถัดไป และเกี่ยวข้องถึง Synovial folds หลอดเลือดแบ่งตัวภายในเนื้อเยื่อข้อต่ออีกทอเป็นโครงข่ายซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบข้อต่อระหว่างแคปซูลกับ synovial membrane จากเครือข่ายนี้สายแตกแขนงเลี้ยงเลือดให้แคปซูล , เนื้อเยื่อ Subsynovial , Synovial lining membrane และ Enthuses (เอ็นกล้ามเนื้อและเอ็นยึดกระดูกกับกระดูกติดกับกระดูกรอบๆ ข้อกระดูก) หลอดเลือดชั้นผิวของเส้นเอ็นและแคปซูลเชื่อมติดต่อกับสิ่งเหล่านั้นของเยื่อหุ้มกระดูกแข็งด้านนอก ขณะที่ปลายของเส้นเลือดที่อยู่ลึกลงมาก็เช่นกันเท่ากับกระดูกที่กระดูกใหญ่หรือผิวกระดูกอ่อน Synovial membrane ส่งผ่านไปยังฐานแผ่นไขมันและริมขอบของข้อต่อโดยตรง โดยทั่วไปหลอดเลือดดำทอดตามหลอดเลือดแดง[6]

## 2.3 อาการปวดหลัง

แบ่งออกเป็น 3 ระยะตามระยะเวลาที่มีอาการปวดคือ

1. อาการปวดหลังส่วนล่างเฉียบพลัน(Acute low back pain) มักพบอาการปวดหลังน้อยกว่า 7 สัปดาห์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อตัวกระดูกต้นส่วนปลาย ตัวรับความรู้สึกปวด และการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ มักเกิดร่วมกับกิจกรรมบางอย่างที่ทำให้เกิดความเครียดของเนื้อเยื่อบริเวณหลังส่วนล่างเสมอ ไม่ปรากฏอาการในทันทีแต่จะเกิดอาการในภายหลังจากการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ(Ruda, 1992) ขณะปวดมีอาการรุนแรง มักทราบสาเหตุที่ทำให้ปวด ความรุนแรงมีตั้งแต่เล็กน้อยถึงรุนแรงและมีลักษณะและอาการชัดเจน เป็นเหมือนสัญญาณเตือนภัยเพราะสามารถกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก

2. อาการปวดหลังส่วนล่างกึ่งเฉียบพลัน (Subacute low back pain) หมายถึงอาการปวดหลังที่มีอย่างต่อเนื่องมากกว่า 6 สัปดาห์ แต่ไม่เกิน 3 เดือน

3. อาการปวดหลังส่วนล่างเรื้อรัง (Chronic low back pain) หมายถึงอาการปวดหลังที่มีอย่างต่อเนื่องมากกว่า 3 เดือน[8] หรือมีอาการซ้ำ 1 ครั้ง อาการปวดจะเกิดขึ้นทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง มีสาเหตุจากกระดูกสันหลังเสื่อมขาดการออกกำลังกาย อ้วนมากเกินไป โครงสร้างและท่าทางผิดปกติ การเกิดโรคร้ายในระบบของร่างกาย (systemic disease) และปัญหาทางอารมณ์สามารถนำไปสู่ปวดเรื้อรัง อมาการไม่ชัดเจน

### 2.3.1 สาเหตุของอาการปวดหลังที่พบบ่อย

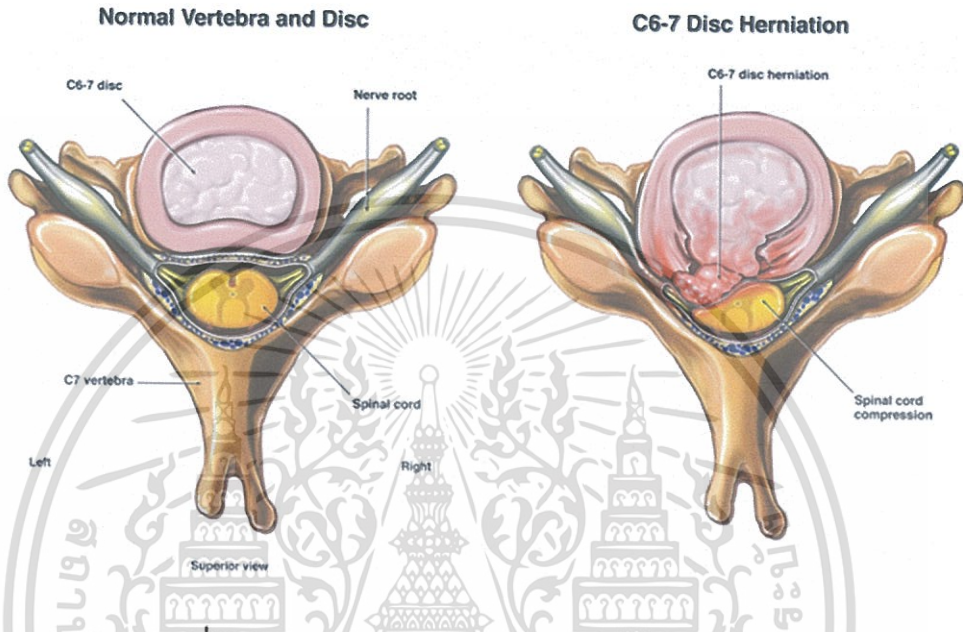
1. สาเหตุภายในร่างกายเกิดจากการมีพยาธิสภาพของร่างกาย (วิเชียร, 2541)

1.1 กล้ามเนื้อหลังเกร็งหรือเคล็ด (Back Muscle Strain หรือ Sprain) เป็นสาเหตุของอาการปวดหลังที่พบได้บ่อยที่สุด พบบ่อยในวัยทำงาน ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้อิริยาบถที่ไม่ถูกสุขลักษณะมากกว่าที่จะเกิดจากภาวะผิดปกติของกระดูกสันหลัง (เกิดจาก functional > structural) ผู้ป่วยมักจะปวดเมื่อย ๆ หลังจากทำงานอยู่ในท่าเดิมนาน ๆ อาการปวดเกิดจากกล้ามเนื้อหลังด้านใดด้านหนึ่งหดเกร็ง (Back muscle spasm) เนื่องจากขาดสมดุลในการทำงาน บางรายเกิดอย่างฉับพลันขณะที่กำลังก้มลงยกของหรือเอี้ยวตัวหีบของ พวกนี้จะปวดมากอาจร้ายไปทั้งแผ่นหลังจนขยับไม่ได้ อาการปวดจะรุนแรงมากที่สุดใน 1-2 วันแรก หลังจากนั้นจะค่อยๆ ดีขึ้นได้เองใน 10-14 วัน กลุ่มนี้มักเกิดจากกล้ามเนื้อหลังเคล็ด (back muscle sprain) เนื่องจากมี minor trauma ที่กล้ามเนื้อหลัง

1.2 หมอนรองกระดูกปลิ้น (Herniated Disc) ทำให้เกิดอาการปวดหลังแบบฉับพลันหรือเรื้อรังก็ได้ พวกปวดแบบเฉียบพลันมักเกิดในวัยทำงานโดยมีประวัติยกหรือลากของหนัก ก่อนที่จะมีอาการปวดหลัง ในคนสูงอายุเกิดจากการเสื่อมของ Anulus Fibrossus เมื่อมีการฉีกขาดของ Anulus Fibrosus ส่วนของ Nucleus Pulposus จะโป่งออกมาตรงๆ ทางด้านหลังกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Posterior Longitudinal Ligament ระยะนี้ผู้ป่วยจะปวดหลังตรงตำแหน่งที่มีพยาธิสภาพ ถ้าโรคยังดำเนินต่อไปเรื่อยๆ nucleus pulposus จะปลิ้นออกไปทางด้านข้างกระทั่งกดเบียดรากประสาท ถึงระยะนี้อาการปวดหลังจะทุเลาลงเปลี่ยนไปเป็นอาการปวดเสียวร้าวลงไปตามแนวเส้นประสาทแทน (root pain หรือ sciatica) ตำแหน่งที่พบบ่อยคือที่ระดับ L4 และ L5 ทำให้ผู้ป่วยขาที่บริเวณน่องด้านในและด้านนอกตามลำดับ อาการปวดจะเป็นมากขึ้นเมื่อไอหรือจาม และขณะที่อยู่ในที่นั่ง เพราะเป็นท่าที่หมอนรองกระดูกจะต้องรับน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น



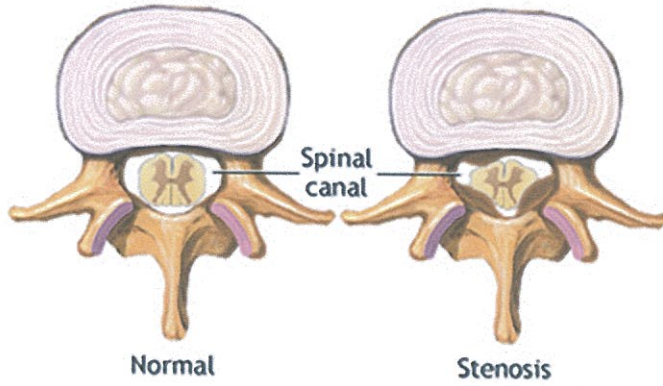
รูปที่ 2.29 Normal and Abnormal Vertebra and Disc

1.3 ข้อต่อกระดูกสันหลังเสื่อมในวัยสูงอายุ (Primary Degenerative Disease Of The Spine) พบในวัยสูงอายุ ผู้ป่วยมักมีอาการปวดหลังเรื้อรัง เป็นมากเมื่อเริ่มลุกจากที่นั่งหรือทำนอน เมื่อออกเดินไปสักพักอาการจะดีขึ้น แต่ถ้าเดินหรือยืนนานๆจะเริ่มปวดหลังอีก ถ้าได้นอนพักจะสบาย ตรวจพบ osteophyte หรือ spur ที่ข้อต่อกระดูกสันหลัง Joint Space ของ farcet joint จะแคบลง มักพบร่วมกับการเสื่อมของ annulus fibrosus

1.4 Spinal stenosis ส่วนมากจะเกิดตามหลังโรคอื่น Spinal canal จะแคบลงจากการกดเบียดของ Osteophyte หรือ Spur จากหมอนรองกระดูกปลิ้น จากการหนาตัวของ Ligament และจากการเสื่อมของข้อต่อกระดูกสันหลัง นอกจากนี้ อาจเกิดตามหลังการบาดเจ็บหรือการผ่าตัดกระดูกสันหลัง ผู้ป่วยอาจปวดหลังตลอดเวลาหรือปวดเป็นพักๆ ก็ได้ เมื่อให้แอนหลังจะปวดร้าวลงไปขา แต่จะดีขึ้นเมื่อนั่งโน้มตัวมาทางด้านหน้า และมักมี Claudication ร่วมด้วย

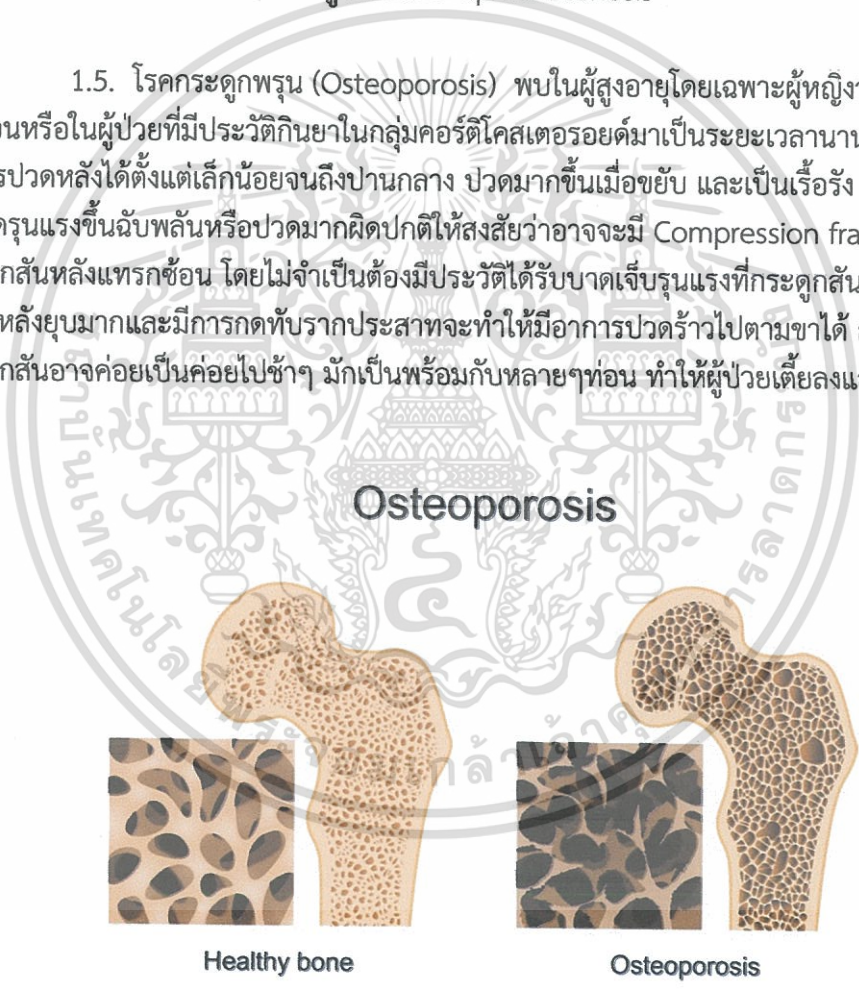
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spinal stenosis is a narrowing of the spinal canal



รูปที่ 2.30 Spinal Stenosis

1.5. โรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) พบในผู้สูงอายุโดยเฉพาะผู้หญิงวัยหลังหมดประจำเดือนหรือในผู้ป่วยที่มีประวัติกินยาในกลุ่มคอร์ติโคสเตอรอยด์มาเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ผู้ป่วยจะมีอาการปวดหลังได้ตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงปานกลาง ปวดมากขึ้นเมื่อขยับ และเป็นเรื้อรัง แต่ถ้ามีอาการปวดรุนแรงขึ้นฉับพลันหรือปวดมากผิดปกติให้สงสัยว่าอาจจะมี Compression fracture ของท่อนกระดูกสันหลังแทรกซ้อน โดยไม่จำเป็นต้องมีประวัติได้รับบาดเจ็บรุนแรงที่กระดูกสันหลัง ถ้ากระดูกสันหลังยุบมากและมีการกดทับรากประสาทจะทำให้มีอาการปวดร้าวไปตามขาได้ การยุบของท่อนกระดูกสันหลังอาจค่อยเป็นค่อยไปซ้ำๆ มักเป็นพร้อมกับหลายๆท่อน ทำให้ผู้ป่วยเตี้ยลงและหลังค่อม [7]



รูปที่ 2.31 Osteoporosis

2.3.2 ปัจจัยส่วนบุคคล

1. ปัจจัยเสี่ยงด้านร่างกาย (Physical Risk Factor) ในบุคคลที่มีรูปร่างสูง มีโอกาสปวดหลังได้มากกว่าคนทั่วไป เนื่องจากขณะทรงตัวในอิริยาบถต่างๆ โดยเฉพาะการก้มตัว การนั่ง การยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้ามเนื้อหลังต้องออกแรงมากกว่าคนทั่วไป เพราะแขนของแรงต้านทาน คือ ระยะทางจากกระดูกสันหลังส่วนเอวที่เป็นจุดหมุนไปยังลำตัว และแขนของบุคคลนั้นจะยาวมากทำให้ค่าแรงต้านทานสูงมาก แรงพยายามที่จะกระทำทำให้กล้ามเนื้อหลังต้องออกแรงมากขึ้นตามไปด้วย บุคคลที่มีรูปร่างอ้วน คนอ้วนจะมีกล้ามเนื้อหน้าท้องที่อ่อนแอ หน้าท้องที่ยื่นทำให้จุดศูนย์ถ่วงเลื่อนมาทางด้านหน้า กล้ามเนื้อหลังต้องออกแรงต้านเพื่อให้เกิดสมดุล กล้ามเนื้อหลังจึงต้องทำงานหนักอยู่ตลอดเวลาเกิดอาการปวดเมื่อยได้ง่าย น้ำหนักที่มากทำให้กล้ามเนื้อและกระดูกสันหลังต้องรับน้ำหนักตัวมากขึ้น หรือในหญิงตั้งครรภ์มีโอกาสปวดหลังได้มากกว่าบุคคลทั่วไปลักษณะเดียวกับคนอ้วน รวมทั้งภาวะการตั้งครรภ์ทำให้กลไกฮอร์โมนที่เรียกว่า Relaxin ซึ่งมีหน้าที่ทำให้ข้อต่อกระดูกและเส้นเอ็นมีความอ่อนตัวและยืดมากขึ้น เพื่อช่วยให้สะดวกในการคลอด เพื่อให้ทารกเคลื่อนตัวผ่านอุ้งเชิงกรานออกไปได้อย่างราบรื่น เมื่อเกิดฮอร์โมนขึ้นมันมีอิทธิพลทั้งร่างกาย ส่งผลถึงกระดูกและกล้ามเนื้อส่วนหลัง ที่นี้เมื่อกระดูกที่เคยเป็นหลักไม่แข็งแรงเหมือนเดิม หน้าที่ก็ไปตกลงที่กล้ามเนื้อ ให้ต้องออกแรงรั้งพยุงให้มากกว่าเดิม เป็นที่มาของการเกิดอาการปวดหลังในคนท้อง(9)

2. อายุ อาการปวดหลังส่วนล่างพบในทุกวัย พบมากในวัยผู้ใหญ่อายุระหว่าง 25-50 ปี และพบวาอายุมากขึ้น ความอ่อนแอของหลังจะมากขึ้นด้วย

3. แนวกระดูกสันหลังไม่อยู่ในแนวที่ถูกต้อง อาจเกิดจากความผิดปกติแต่กำเนิด (Congenital Disorders) หรือระหว่างการเจริญเติบโต หรือจากการเสื่อมของกระดูกสันหลัง เช่น กระดูกสันหลังแอ่น หลังคด (Scoliosis) หรือหลังโก่ง (Kyphosis) ทำให้แรงกดบนหมอนรองกระดูกไม่สม่ำเสมอ เอ็นและกล้ามเนื้อต้องรับน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการเสื่อมและทำลายเนื้อเยื่อต่างๆจึงเกิดอาการปวดหลัง

4. กล้ามเนื้อหลังอ่อนแอ เกิดจากกล้ามเนื้อหลังถูกใช้งานมาก หรือกระดูกสันหลังแอ่นมาก (hyperextend) สาเหตุมักมาจากการทรงตัวของร่างกายไม่เกิดการอ่อนแอของกล้ามเนื้อและเอ็นรอบ ๆ กระดูกสันหลัง ทำให้เกิดการยืด (strain) ของกล้ามเนื้อและเอ็นยึดกระดูก มีการเคลื่อนที่ไปมาได้มากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงจากภายนอกและแรงที่ซ้ำ ๆ กันของกระดูกสันหลังลดลง กล้ามเนื้ออ่อนแอไม่สามารถควบคุมการทำงานของหลังได้อย่างปกติจะมีผลรบกวนเนื้อเยื่อจะทำให้เกิดอาการปวดหลังได้

5. ลักษณะในการทำงาน ลักษณะงานที่มีความเครียด กิจกรรมของงานที่ถูกจำกัด เช่น การยืนและเดินนานกว่า 2 ชั่วโมง ยกหรือเคลื่อนย้ายของที่มีน้ำหนักมากกว่า 25 ปอนด์และลักษณะงานที่ทำจะซ้ำกัน คือ การเคลื่อนย้าย ยก พยุงผู้ป่วย จะทำให้เกิดอาการปวดหลังมาก เนื่องจากมีการฉีกขาด เลือดออกหรือการระคายเคืองกล้ามเนื้อหรือเอ็นต่าง ๆ ส่วนการนั่ง การยกของ การเอี้ยวบิดตัวเป็นปัจจัยที่ทำให้มีอาการปวดหลังรุนแรงขึ้น และอาชีพที่ทำให้เกิดอาการปวดหลัง ได้แก่ ขวานา ขาวสวน ขาวไร่ กรรมกรแบกหาม พนักงานขับรถ เป็นต้นอาชีพขับรถ เป็นอาชีพที่มีแรงสั่นสะเทือน (vibration) กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังตลอดเวลาทำให้เพิ่มแรงดันภายในหมอนรองกระดูกสันหลัง (intradiscal pressures) หมอนรองกระดูกสันหลังขาดอาหาร และเกิดภาวะการฉีกขาดหรือการโป่งยื่นของหมอนรองกระดูกสันหลังได้บ่อยกว่าคนทั่วไป ซึ่งลักษณะของงานดังกล่าวเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ทำอันตรายต่อหลัง

6. การเล่นกีฬาบางชนิดที่มีอันตรายต่อกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลังได้แก่ กอล์ฟ เทนนิส ยิมนาสติก ฟุตบอล เนื่องจากกีฬาดังกล่าวต้องใช้กล้ามเนื้อและกระดูกสันหลังส่วนบนเอวในการหมุน หรือบิดตัวที่เร็วและแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การสูบบุหรี่เป็นสาเหตุของการเกิดอาการปวดหลังเรื้อรัง ผู้ที่สูบบุหรี่มากมีแนวโน้มที่จะปวดหลังมากกว่าคนไม่สูบบุหรี่ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการไอเรื้อรังจากการสูบบุหรี่ ซึ่งจะรบกวนสภาพปกติของกระดูกสันหลัง เนื่องจากการไอแต่ละครั้งจะมีการเพิ่มความดันภายในช่องท้อง ทำให้เกิดแรงกดภายในหมอนรองกระดูกสันหลังมากอาจกระทบกระเทือนและกระตุ้นให้อาการปวดหลังเพิ่มความรุนแรงขึ้น หรืออาจเป็นผลของสารนิโคตินก่อพยาธิสภาพต่อหมอนรองกระดูกสันหลังโดยตรง ทำให้ออกซิเจนในเลือดลดลงจึงขัดขวางกระบวนการซ่อมแซมของหมอนรองกระดูกสันหลัง ทำให้เกิดการเสื่อมก่อนเวลาอันควร และปวดหลังได้

โดยสรุปอาการปวดหลังส่วนล่างมีสาเหตุมาจากหลายอย่าง ซึ่งอาจมาจากองค์ประกอบของกระดูกสันหลังเอง หรือมาจากอวัยวะอื่น หรือมาจากสภาวะด้านจิตใจของผู้ป่วยส่วนใหญ่มีอาการปวดหลังส่วนล่างจากการใช้ท่าทางและอิริยาบถที่ไม่ถูกต้อง และที่ต้องมารับการรักษาตัวที่โรงพยาบาลส่วนใหญ่มีสาเหตุจากหมอนรองกระดูกสันหลัง[2]

### 2.3.3 กลไกการเกิดอาการปวดหลังส่วนล่าง

เนื่องจากกระดูกสันหลังช่วงบั้นเอวตั้งแต่มุมระดับบั้นเอวท่อนที่ 1 เป็นช่วงที่ต้องแบกรับภาระหนักที่สุดในการทำงานของร่างกาย และมีการเคลื่อนไหวได้มากกว่าช่วงอื่น เวลาแก้มหลังลงทำให้มีการงอ (Flexion) ของโครงกระดูกสันหลัง การเคลื่อนไหวนี้ต้องอาศัยความยืดหยุ่นของหมอนรองกระดูกสันหลังเป็นส่วนใหญ่ในอิริยาบถต่าง ๆ กันจะมีแรงผ่านหรือแรงกระทำต่อกระดูกสันหลังไม่เท่ากัน ดังนั้นอิริยาบถใดก็ตามที่ทำให้แนวโค้งของน้ำหนักตัวห่างจากกระดูกสันหลังออกไป ก็จะทำให้กระดูกสันหลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อกระดูกสันหลังต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็นเวลานานๆก็จะทำให้เกิดความเสื่อมของโครงสร้างกระดูกสันหลังช่วงบั้นเอว มีการเคลื่อนไหวมากเกินไปและขาดความมั่นคงทำให้เกิดอาการปวดหลังได้ เมื่อมีอายุประมาณ 25 ปีขึ้นไป จะเริ่มมีการเสื่อมของหมอนรองกระดูกสันหลัง และจะมีการเปลี่ยนแปลงไปทางเสื่อมมากขึ้นตามอายุ จะเกิดการแตกกระแหงในเนื้อของเส้นใยแอนนูลัส ทำให้ความสามารถในการเก็บนิวเคลียสพัลโพซัสไว้ภายในลดลง ดังนั้นถ้ามีแรงจากภายนอกกระทำให้เกิดการทะลักของนิวเคลียสพัลโพซัสออกไปทางรอยฉีกขาดในเนื้อเส้นใยแอนนูลัสมากขึ้น และเกิดการโป่งยื่นออกไปตรงตำแหน่งที่มีการฉีกขาด ที่เรียกว่าหมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อน (Disc Herniation หรือ Prolapse Disc) ถ้าหมอนรองกระดูกสันหลังโป่งยื่นออกไปกดทับเนื้อเยื่อที่อยู่ข้างเคียงที่มีเส้นประสาทไปเลี้ยง เช่น เอ็นยาวทางด้านหลัง หรือเยื่อหุ้มดुरา (Dura) เป็นต้น ก็จะเกิดอาการปวดหลัง และถ้ายื่นไปตรงตำแหน่งของรากประสาท ก็จะเกิดการกดรากประสาททำให้มีอาการปวดร้าว หรืออาการชาและกล้ามเนื้ออ่อนแรงได้[2]

## 2.4 การตรวจทางห้องปฏิบัติการ(Laboratory investigation)

การตรวจค้นเพิ่มเติมทางห้องปฏิบัติการนั้นมีความจำเป็นเมื่อสงสัยว่าผู้ป่วยจะเป็นโรค systemic disease, infectious disease or malignancy ซึ่งอาจจำเป็นต้องตรวจ CBC, ESR, CRP, urine analysis, tumor marker ต่างๆ, rheumatoid factor, HLA-B27, calcium, phosphorus, Bence-Jones protein, protein electrophoresis เป็นต้น

### 2.2.1 การตรวจทางรังสี (Radiographic Investigation)

ผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังส่วนล่างไม่มีความจำเป็นที่ต้องรับการตรวจภาพถ่ายทางรังสีทุกราย โดยเฉพาะผู้ป่วยซึ่งเพิ่งมีอาการมาไม่นาน และไม่รุนแรง โดยจากการศึกษาในผู้ป่วยที่มีอาการ

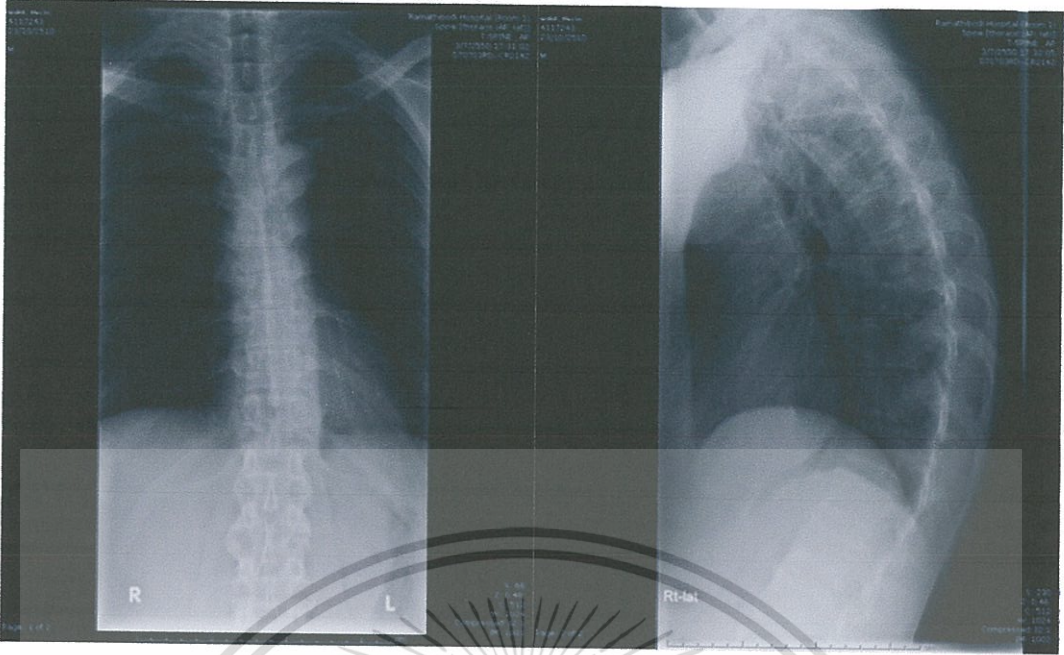
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปวดหลังน้อยกว่า 1 เดือน พบว่าการทำ plain x-ray ให้ประโยชน์กับผู้ป่วยเพียงร้อยละ 2.47 ดังนั้น การตรวจภาพถ่ายทางรังสีจึงควรส่งเมื่อมีข้อบ่งชี้ ภาพถ่ายทางรังสีแต่ละชนิดจะให้ข้อมูลและ ประโยชน์กับผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างต่างกันไป

(1) Plain radiograph การถ่ายเอกซเรย์ธรรมดา ควรจะเป็นการตรวจค้นทางรังสีขั้นแรก ที่ควรส่งตรวจ เนื่องจากสะดวก ราคาถูก และสามารถให้ข้อมูลได้พอสมควร โดยเฉพาะเกี่ยวกับ โครงสร้างของกระดูกสันหลัง ลักษณะผิดปกติต่างๆ และเนื่องจากสามารถถ่ายภาพได้ทั้งในท่ายืน ก้ม เงยหรือในมุมเฉียง ซึ่งต่างจากการตรวจอื่นๆซึ่งมักต้องตรวจในท่านอนหงาย ดังนั้นการข้ามขั้นตอนไป จึงอาจทำให้การวินิจฉัยไม่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามก็ภาพเอกซเรย์ธรรมดา ไม่สามารถดูความผิดปกติของ หมอนรองกระดูก เส้นประสาท และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ในรายที่มีความสงสัยจึงต้องทำการตรวจ เพิ่มเติมตัวอย่างภาพถ่ายทางรังสีที่แสดงความผิดปกติได้แก่[8]

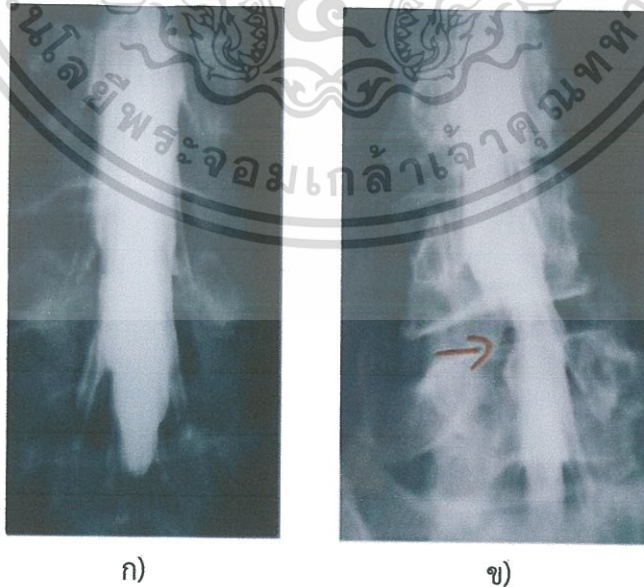


รูปที่ 2.32 แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ธรรมดา ก) เป็นรูป lateral view of LS Spine จะพบว่าที่ กระดูก L4-L5 มีลักษณะเป็น pars defect ซึ่งพบในโรค Spondylolysis ข) เป็นรูป oblique view of LS Spine จะเห็นลักษณะของ pars ชัดที่สุด โดยเปรียบเทียบเหมือนกับคอของสุนัข (Scotty's dog) ค) ในผู้ป่วยที่มี pars defect ในรูป oblique จะเห็นว่าคอของสุนัขหายไป ดังลูกศรในภาพ



**รูปที่ 2.33** แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ธรรมดา Thoracic spine AP and lateral ของผู้ป่วย Ankylosing spondylitis พบว่ามีการเกาะของหินปูนที่ขอบนอกของ annulus fibrosus ทำให้เห็นกระดูกสันหลังเชื่อมติดกันซึ่งเรียกว่า bamboo spine

(2) Myelography คือการใช้เข็มแทงเข้าไปใน Subarachnoid Space แล้วฉีดสารทึบรังสี จากนั้นจึงถ่ายภาพเอกซเรย์ ในปัจจุบันมีที่ใช้กันน้อยลง เนื่องจากมี MRI เข้ามาแทนที่และสามารถดูได้ชัดเจนกว่า นอกจากนี้ Myelography ยังเป็นหัตถการที่ผู้ป่วยต้องเจ็บตัว (invasive) และต้องใช้สารทึบรังสีจำนวนมาก อาจมีปัญหาในรายที่ผู้ป่วยแพ้สารทึบรังสี[8]



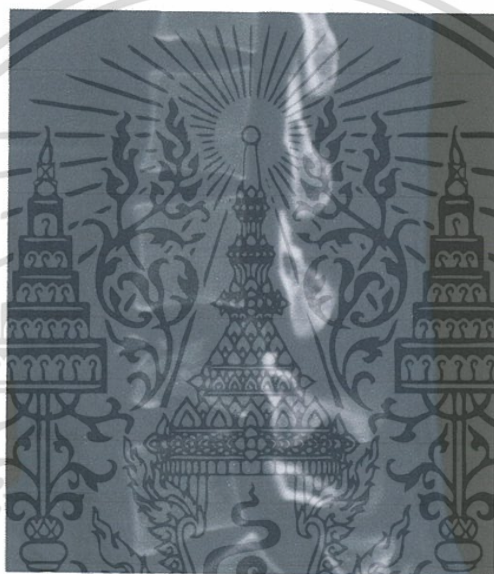
**รูปที่ 2.34** แสดงภาพถ่าย Myelography คนปกติจะเห็นสีเคลือบไปตาม nerve root sleeve ครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุกเส้น รูปข แสดงภาพ myelography ของผู้ป่วยจะเห็นว่าสีไม่สามารถเคลือบไป ตาม nerve root sleeve (ลูกศรสีแดง) แสดงถึงมีการกดทับบริเวณ nerve root

ปัญหาในรายที่ผู้ป่วยแพ้สารทึบรังสี ข้อบ่งชี้ในการทำคือในรายที่ผู้ป่วยได้รับการผ่าตัดหลังส่วนล่างมาแล้วมีการตามเหล็ก การทำ MRI จะเกิดสัญญาณรบกวนทำให้เห็นภาพไม่ชัดจึงต้องทำ myelography แทน

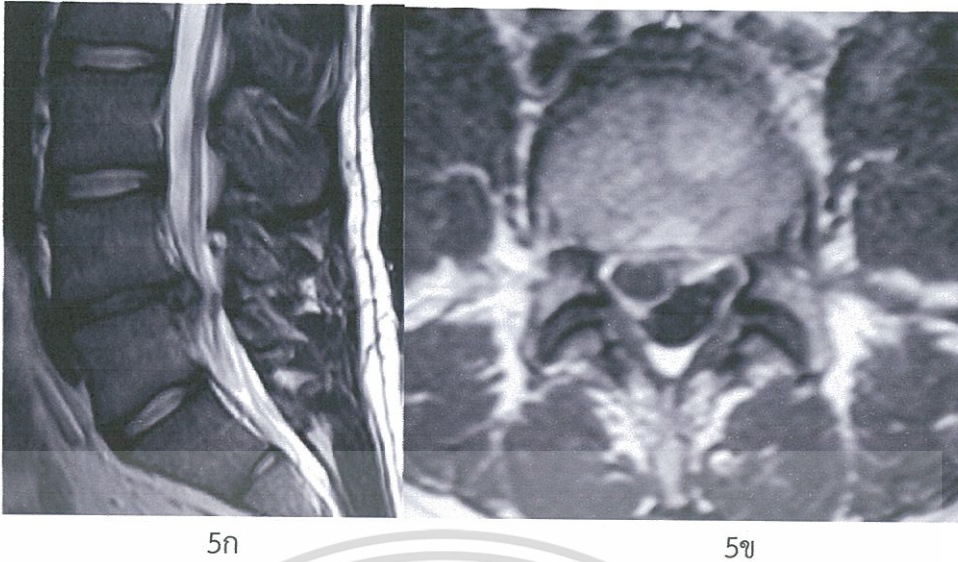
(3) Computer Tomography (CT Scan) ภาพถ่ายทางรังสีด้วยวิธี CT Scan ใช้ดูโครงสร้างของกระดูกคล้ายกับการดู Plain Film แต่มีความละเอียดดีกว่ามาก และมีการตัดภาพของแต่ละส่วนในระนาบต่างๆทำให้เห็นพยาธิสภาพของกระดูกได้ชัดเจนนอกจากนี้ยังสามารถประมวลภาพในแต่ละระนาบทำให้เกิดเป็นรูปสามมิติซึ่งหมุนดูได้ทุกด้าน อย่างไรก็ตามข้อเสียของ CT Scan คือการดูเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน รวมถึงหมอนรองกระดูกจะมีความคมชัดน้อยกว่าMRI[8]



รูปที่ 2.35 แสดงภาพถ่าย CT Scan ผู้ป่วยที่มีกระดูกหักและเคลื่อนของ L4 จะเห็นขอบเขตของกระดูกและลักษณะกระดูกที่หักและเคลื่อนอย่างชัดเจน

(4) Magnetic Resonance Imaging (MRI) การถ่ายภาพกระดูกสันหลังด้วยเอกซเรย์คลื่นสนามแม่เหล็ก เป็นการส่งตรวจที่ให้ความละเอียดสูงสุดและสามารถให้มุมมองภายในของกระดูกสันหลังในทุกระนาบ สามารถดูได้ทั้งหมดรองกระดูก, กล้ามเนื้อ, เส้นประสาท, กระดูก, น้ำไขสันหลัง รวมทั้งสามารถบอกพยาธิสภาพได้เช่น มีการอักเสบ, ทนong, เลือด เป็นต้น การตรวจ MRI เป็นการตรวจที่ดีที่สุดในการค้นหาความผิดปกติและช่วยวินิจฉัยโรคที่อยู่บริเวณกระดูกสันหลัง[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 แสดงภาพถ่าย MRI ของผู้ป่วย lumbar disc herniation L4-L5 ภาพรูป5ก แสดงภาพ MRI รูป sagittal view หมอนรองกระดูก L4-L5 มีลักษณะสีดำขึ้นและยื่นนูนออกไปด้านหลัง ทำให้มีการกดทับเส้นประสาท รูป5ข แสดงภาพ MRI รูป axial view พบมีหมอนรองกระดูกแตกออกที่บรากเส้นประสาททางด้านขวา (ลูกศร)



รูปที่ 2.37 แสดงภาพถ่าย MRI ของผู้ป่วย lumbar spinal stenosis L3-L5 ภาพรูป6ก แสดงภาพ MRI รูป sagittal view พบโพรงไขสันหลังตีบแคบมากที่สุดที่ L3-L4 และ L4-L5 โดยมีการตีบแคบทั้งด้านหน้าและด้านหลังของโพรงไขสันหลัง ทำให้มีการกดทับเส้นประสาท รูป6ข แสดงภาพ MRI รูป ก axial view พบมีการตีบของโพรงไขสันหลังทั้งตรงกลางแลด้านข้าง (central and foraminal stenosis) รูปร่างของโพรงไขสันหลังเปลี่ยนจากรูป oval shape (ข) เป็น triangular shape(ค).

## 2.5 วิธีการรักษาอาการปวดหลังส่วนล่าง

การรักษาที่มีเป้าหมายคือ บรรเทาความปวด คงหน้าที่ไว้ให้ปกติเพิ่มความสามารถในการทำกิจกรรมและป้องกันความเสื่อมของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นอีกในอนาคต ประกอบด้วย 2 วิธีใหญ่ๆ คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

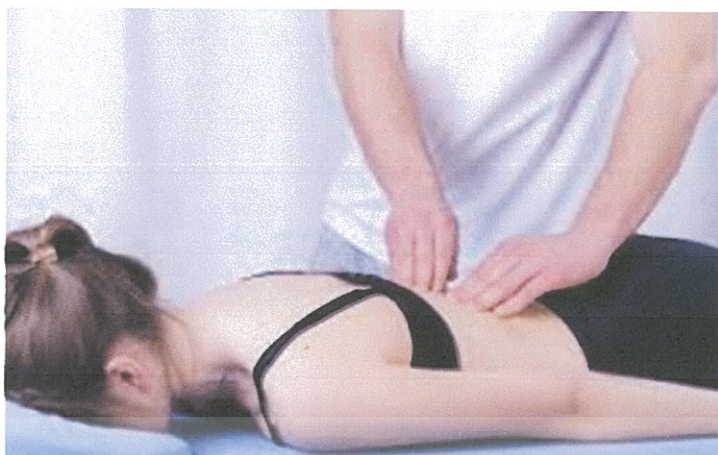
วิธีอนุรักษ์และวิธีผ่าตัดสำหรับการพิจารณาเลือกการรักษาด้วยวิธีใดนั้นแพทย์จะพิจารณาจากสาเหตุของการเกิดอาการปวดหลังตลอดจนความรุนแรงของโรคที่เป็น หากผู้ป่วยไม่เคยได้รับการรักษาอย่างถูกต้องมาก่อน ควรเริ่มการรักษาด้วยวิธีอนุรักษ์ (conservative treatment) มีดังนี้

(1) การนอนพัก (rest) เป็นวิธีที่ปลอดภัยและได้ผลดีสำหรับผู้ป่วยปวดหลังโดยเฉพาะในระยะเฉียบพลันระหว่างที่รอให้ขบวนการอักเสบบรรเทาลง โดยการนอนพักระยะสั้น ๆ ประมาณ 2-3 วันที่นอนควรแข็งพอสมควร เช่น พูกที่นอนที่อัดแน่น นอนในท่าที่ผู้ป่วยรู้สึกว่าสบายที่สุดไม่ก่อให้เกิดความปวดมากขึ้น เช่น ถ้านอนหงายให้เอาหมอน 1-2 ใบ รองใต้เข่าทั้ง 2 ข้าง ให้เข่าและสะโพกงอ ประมาณ 20-30 องศา หรือนอนโดยเอาปลายเท้าวางบนเก้าอี้ซึ่งทำให้เข่าและสะโพกงอ ประมาณ 90 องศา นอนตะแคง ให้ตะแคงด้านไม่ปวด งอสะโพกและเข่าทั้ง 2 ข้าง ใช้หมอนหนุนระหว่างเข่า 2 ข้างหรือใช้หมอนข้าง หรือนอนแบบขาล่างเหยียดตรงและขาบนงอสะโพกและเข่าเล็กน้อย เมื่ออาการดีขึ้น เริ่มกระตุ้นให้ผู้ป่วยเดินระยะใกล้ ๆ และค่อย ๆ เพิ่มกิจกรรมที่ทาเพิ่มการเคลื่อนไหวในขนาดที่ไม่ทำให้ปวดมากขึ้น เป็นการส่งเสริมความแข็งแรงของกระดูกและกล้ามเนื้อ และเพิ่มระดับของเอ็นดอร์ฟิน การนอนพักนานเกินสองสัปดาห์มีผลเสียต่อร่างกายมากกว่าผลดีโดยทำให้ โครงสร้างต่าง ๆ โดยเฉพาะกระดูกและกล้ามเนื้ออ่อนแอลง มีการสูญเสียแคลเซียมออกมากับปัสสาวะ กระดูกโปร่งบาง ข้อต่อเอ็นกล้ามเนื้อยึดจากการไม่ได้ใช้งานตามปกติเป็นต้น และยังนำไปสู่ภาวะซึมเศร้า (depression) ขาดงานและมีความยุ่งยากในการเริ่มการฟื้นฟูสมรรถภาพ

(2) การบริหารยา เป็นส่วนหนึ่งของการรักษา เพื่อช่วยควบคุมอาการ ยาที่ใช้มี 3 ประเภท คือ ยาแก้ปวด (Analgesics) ยาต้านการอักเสบ (Antiinflammatory drugs) และยาคลายกล้ามเนื้อ (Muscle Relaxants)

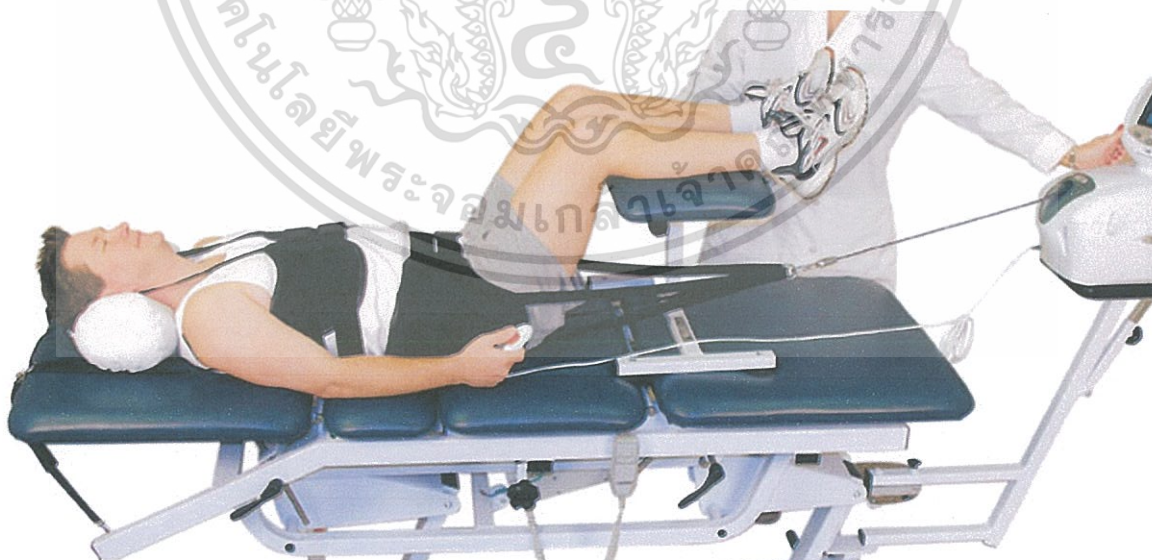
(3) การใช้วิธีทางกายภาพบำบัด (Physical therapy) มีประโยชน์มากโดยเฉพาะในรูปของการให้ความร้อนลึก (Deep heat) คลื่นความถี่สูง (Ultrasound) การนวด (Massage) และการดึงหลัง (Lumbar traction) ซึ่งช่วยให้ผู้ป่วยรู้สึกสบาย หายปวดได้เร็วถึงแม้ว่าผลที่ได้จะคงอยู่ไม่นาน และไม่มีผลในระยะยาว ตัวอย่างวิธีทางกายภาพ เช่น

(3.1) การดัด (Manipulation, Mobilization) การดัดกระดูกสันหลังทำในกรณีที่แนวกระดูกสันหลังผิดไปจากปกติ (Malalignment) ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุของอาการปวด การดัดช่วยให้ผู้ป่วยหายปวดได้ในทันทีแต่ไม่มีผลในระยะยาว บางคนเชื่อว่าการดัดสามารถทำให้หมอนรองกระดูกสันหลังที่เคลื่อนนั้นกลับเข้าที่ได้ การดัดกระดูกสันหลังต้องกระทำโดยผู้มีความชำนาญเท่านั้น ไม่ควรทำใน ผู้ป่วยที่มีอาการจากการกดทับรากประสาทอย่างเฉียบพลัน (Acute Radiculopathy) เพราะอาจทำให้เพิ่มความเสียหายต่อระบบประสาท



รูปที่ 2.38 การดัด (Manipulation, Mobilization)

(3.2) การดึง (Traction) ช่วยให้กล้ามเนื้อและเอ็นส่วนหลังยืดและผ่อนคลาย (วรรณะ, 2541) ลดอาการปวด เชื่อว่าการดึงเอวอาจจะช่วยแยกตัวกระดูกสันหลังออกจากกัน ช่วยลดแรงกดดันต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง และอาจช่วยให้หมอนรองกระดูกสันหลังที่เคลื่อนออกมากลับเข้าไปในตำแหน่งปกติวิธีการดึงอาจจะดึงอยู่กับที่ (Static) หรือดึงผ่อนเป็นระยะสลับกัน (intermittent) น้ำหนักที่ใช้ดึงเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะเวลาคือ ถ้าน้ำหนักมากระยะเวลาดึงก็สั้น ถ้าน้ำหนักน้อยระยะเวลาดึงก็นาน โดยที่พยายามใช้น้ำหนักน้อยที่สุดแล้วได้ผล แรงดึงที่มากเกินไปอาจทำให้อาการปวดมากขึ้นน้ำหนักที่ใช้ ประมาณ 50-100 ปอนด์ ใช้เวลา 30-60 นาทีการดึงแบบคงที่บนเตียงนอน ด้วยน้ำหนักน้อยๆ ประมาณ 25-30 ปอนด์จะไม่มีผลต่อกระดูกสันหลัง แต่ดึงเพื่อให้ผู้ป่วยได้ นอนพักอยู่บนเตียงซึ่งจำเป็นในบางครั้ง



รูปที่ 2.39 การดึง (Traction)

(3.3) การนวด (Massage) เป็นการกระตุ้นโยประสาทขนาดใหญ่ให้หลังสารเคมีที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤทธิ์คล้ายมอร์ฟินภายในร่างกายไปควบคุมความปวด นอกจากนี้การนวดช่วยให้กล้ามเนื้อคลายตัว ลดอาการบวมและอักเสบ เพิ่มการไหลเวียนโลหิต ช่วยจัดสารของเสียของเมตาบอลิซึม ที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ



### รูปที่ 2.40 การนวด (Massage)

(3.4) การรักษาด้วยความเย็น มีวิธีใช้หลายอย่าง เช่น การถูด้วยน้ำแข็ง (ice massage) การประคบด้วยถุงใส่น้ำแข็ง (ice packs) ถุงเย็น (cold packs) และการพ่นยาเคมี บางอย่างที่ทำให้ความรู้สึกเย็น (vapocoolant spray) ถ้าใช้ ถุงเย็น ควรใช้ผ้าขนหนูชั้นๆ ห่อก่อนจะวางบริเวณที่ปวด ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาทีเสร็จแล้วมักจะใช้เครื่องมืออื่นต่อ

(3.5) การรักษาด้วยความร้อน ความร้อนที่ใช้ ในการรักษามีหลายรูปแบบ ทั้งความร้อนต้น และความร้อนลึก มักจะไม่ใช้ความร้อนมากกว่าหนึ่งชนิดในการรักษาแต่ละครั้ง ความร้อนต้น เช่น ถุงผ้าร้อน (moisthot pack) วางบริเวณที่ปวดประมาณ 20-30 นาทีช่วยผ่อนคลายและให้ความรู้สึกสบายทั่ว ๆ ไป ขณะที่ความร้อนลึก จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น (viscoelastic properties) ของเนื้อเยื่อ เช่น เครื่องอัลตราซาวนด์ มีผลต่อเนื้อเยื่อที่ระดับลึก ช่วยเพิ่มเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อ เพิ่มการไหลเวียนโลหิต และลดอาการปวด ช่วยลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ ลดความตึงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) จึงสามารถยืดส่วนที่ตึงหรือหดสั้นได้ง่ายขึ้นโดยการบริหาร การตัด หรือการดึง

(3.6) แสงเลเซอร์ (Laser therapy) สามารถเพิ่มการหลั่งเอ็นดอร์ฟิน ลดความปวดต้านการอักเสบและการบวม ช่วยเพิ่มการไหลเวียนโลหิต

(3.7) การกระตุ้นปลายประสาทด้วยไฟฟ้าผ่านผิวหนัง (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation: TENS) เพื่อลดอาการปวด ผ่านทฤษฎีควบคุมประตู (gate control theory) หรือการหลั่งเอ็นดอร์ฟิน



รูปที่ 2.41 การกระตุ้นปลายประสาทด้วยไฟฟ้าผ่านผิวหนัง (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation: TENS)

(3.8) การฉีดยาเฉพาะที่ตรงตำแหน่งที่เจ็บหรือปวด ยาที่ฉีดคือ สเตียรอยด์ผสมกับยาไซโลเคนมักจะได้ผลในกรณี ที่มี จุดที่ไวต่อการกระตุ้นของกล้ามเนื้อ หรือเยื่อพังผืดเพียงจุดเดียว (trigger points) เชื่อว่ายาฉีดสามารถลดการอักเสบเฉพาะที่ได้ โดยเฉพาะการฉีดตรงตำแหน่งที่เจ็บใช้เพื่อเสริมให้การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มพิสัยการเคลื่อนไหว กำล้างและสมดุลของกล้ามเนื้อกลับคืนสู่ปกติมากกว่าเจตนาที่จะลดปวดเป็นประการหลัก

(3.9) การฉีดยาสเตียรอยด์เข้าช่องไขสันหลัง (lumbar epidural steroid injection) โดยการใส่สารสเตียรอยด์ลงไปในช่องอีพิดูรัลมีเป้าหมายหลักในการบรรเทาปวด โดยลดการอักเสบ การบวมของรากประสาท มีผลให้ผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังเรื้อรัง มีอาการดีขึ้น สามารถฟื้นฟูสมรรถภาพได้เร็ว

(3.10) การฝังเข็ม (acupuncture) เป็นการกระตุ้นใยประสาทขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ประตูดุ เปิดทำให้พลังประสาทนำความปวดไม่สามารถถูกส่งผ่านไขสันหลังไปยังสมอง และยังกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารเอ็นดอร์ฟินที่ช่วยบรรเทาความปวดและช่วยคลายกล้ามเนื้อที่หดเกร็ง ทำให้เลือดไหลเวียนสะดวกอวัยวะต่างๆ ที่ต้องอาศัยหรือหล่อเลี้ยงจะกลับทำงานเป็นปกติหรือสมดุล



รูปที่ 2.42 การฝังเข็ม (acupuncture)

(3.11) ไครโอแพรคติก (Chiropractic) ศาสตร์การจัดกระดูก ไครโอแพรคติกเกิดเพื่อฟูขึ้นมาตั้งแต่ปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 ในอเมริกา ไม่ใช่เหตุบังเอิญแต่เป็น เพราะโรคที่เกิดกับผู้คนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุคนั้นล้วนเป็นโรคที่สืบเนื่องมาจากวิถีชีวิตผิดๆ จนเป็นเหตุให้ผู้คนป่วยเรื้อรังจนต้องหันมาพึ่งโครแพรกติก อาการป่วยที่มาจากวิถีชีวิตเกิดได้ง่ายดายอย่างไม่น่าเชื่อ เช่น ปัญหาของกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงานหน้าจคอมพิวเตอร์ (นานเกินไป) การบาดเจ็บที่เกิดจากการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม อุบัติเหตุจากรถยนต์ รวมไปถึงการขาดการออกกำลังกายและมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น เหล่านี้ล้วนเป็นผลรวมจากวิถีชีวิตสมัยใหม่ทั้งสิ้น ดร.มาร์ค ลีโอนี แพทย์ด้านโครแพรกติก ซึ่งเปิดทำการรักษาในเมืองไทยมา 4-5 ปี พูดถึงประสบการณ์ในการรักษาคนไข้ส่วนใหญ่ที่มาใช้บริการว่า “ส่วนใหญ่คนไข้มาด้วยอาการปวดหลัง บางคนเป็นพวกที่ต้องยกของหนักอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้มีอาการปวดหลังเรื้อรังเราอาจแนะนำให้เขา เปลี่ยนงาน ไม่ใช่ทำแบบเดิมอยู่ตลอดเวลา เพราะไม่เช่นนั้นก็จะกลับไปใช้ชีวิตเดิมๆ ซึ่งจะทำให้กลับมาเป็นอีกหรือบางคนต้องเปลี่ยนเรื่องอาหาร เพราะว่าในบางกรณีการปรับจัดกระดูกอย่างเดียวไม่เพียงพอ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงในหลายด้านร่วมกันด้วย”

โรคที่ไม่ใช่โรคหลายประเภทล้วนเกิดจากการปล่อยปละละเลยตัวเอง อาการปวดของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกในหลายจุดอาจมาจากวิถีแห่งบริโศค นิยมที่ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มเป็นทวีคูณ ดร.รุจน์ โรจนาศรีรัตน์ โครแพรกเตอร์ไทยอีกคนหนึ่งให้ข้อมูลในเรื่องนี้ “ปัญหาที่ผมเห็น ส่วนใหญ่คือโครงสร้างผิดปกติหรือการทำตัวเองให้ผิดปกติ อย่างเช่นคนไข้ที่มีอาการปวดเข้ามา ลองดูสภาพสี น้ำหนักเกือบร้อยกิโลกรัม นั่นคือส่วน ที่ทำให้เกิดแรงกดทับมาก ต้นตอของปัญหาจากการที่คนไข้ไม่ดูแลรักษาตัวเองให้ดีด้วย”



รูปที่ 2.43 โครแพรกติก (Chiropractic)

และถึงแม้แพทย์จะอธิบายถึงสาเหตุแห่งปัญหา รวมทั้งแนะนำการรักษาตัวเองแบบผสมผสานในหลายด้านไปด้วยก็วิสัย แต่คนไข้บางคนก็ยังเพิกเฉย ดร.มาร์ค ยกตัวอย่างกรณีเหล่านี้ว่า “คนไข้บางกลุ่มก็ต้องการคำแนะนำอื่นๆ แต่บางกลุ่มไม่ต้องการเลย เขาเพียงแต่ต้องการมาทำ manipulate (การจัดปรับกระดูก) เท่านั้นเพราะบางที่เราเพียงแต่ปรับจัดกระดูกให้เขาก็ดีขึ้น เพราะฉะนั้นเขาจะไม่สนใจเรื่องอาหารหรือออกกำลังกาย แต่เราต้องบอกเขาทุกครั้ง บางคนต้องเปลี่ยนแปลงอาหาร บางคนต้องลดการทำงานลง หรือบางคนต้องเปลี่ยนงานไปเลยก็มี”

(4) การบริหารร่างกาย การบริหารสำหรับผู้ป่วยปวดหลัง มีวัตถุประสงค์เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4.1) เพิ่มความแข็งแรง (Strength) และความทนทาน (endurance) ของกล้ามเนื้อหน้าท้องและกล้ามเนื้อส่วนหลัง ซึ่งเชื่อว่าการที่กล้ามเนื้อหน้าท้องแข็งแรงขึ้น จะช่วยเพิ่มแรงดันภายในช่องท้องช่วยรับน้ำหนักตัวไปบางส่วน จึงลดแรงกดต่อหมอนรองกระดูกสันหลังได้ และการที่กล้ามเนื้อส่วนหลังแข็งแรงคงทนช่วยให้สามารถอยู่ในอิริยาบถต่างๆ และทำงานได้นานขึ้นโดยไม่ปวดหลัง

(4.2) เพิ่มความยืดหยุ่น (Flexibility) เพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวร่างกายและเปลี่ยนอิริยาบถ ได้คล่องแคล่ว ถ้ามีการจำกัดการเคลื่อนไหวของร่างกายจากการหดสั้นของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น เยื่อซิง หรือการยึดติดของข้อ จะทำให้มีอาการปวดเมื่อเคลื่อนไหวเกินขอบเขตของการหดสั้นหรือยึดติดส่วนที่มักจะมีการหดสั้นคือ กล้ามเนื้อหลังส่วนเอว กล้ามเนื้อแฮมสตริงค์ (Hamstring) แกสทอคนีเมียส (Gastrocnemius) อิลิโอโซแนส (Iliopsonas) การยืดกล้ามเนื้อเหล่านี้ ออกจะช่วยลดอาการปวดและป้องกันการปวดหลัง

(4.3) ลดความแอ่นของหลัง (Lumbar Lordosis) การที่หลังแอ่นมากทำให้เกิดความเครียดที่ข้อพับเข่ามากขึ้น และแรงเฉือน (Shearing Force) ระหว่างกระดูกสันหลังส่วนบนเอวที่ 5 กับกระดูกกระเบนเหน็บที่ 1 มากขึ้น ผู้ป่วยที่หลังแอ่นมากจึงควรบริหารกล้ามเนื้อหน้าท้องและกลูเตียแมกซิมัส (Gluteus Maximus) ให้แข็งแรง เพื่อลดความแอ่นที่หลังโดยการท่าเพลวิก ทิลทิง เอ็กเซอร์ไซส์ (Pelvic Tilting Exercise)

(4.4) การผ่อนคลายกล้ามเนื้อ (Relaxation) เนื่องจากความปวดทำให้กล้ามเนื้อหดเกร็งและการหดเกร็งของกล้ามเนื้อนาน ๆ ก็ทำให้ปวดมากขึ้น จึงต้องหัดผ่อนคลายกล้ามเนื้อ หลังจากทีลดอาการปวดโดยวิธีต่างๆ มาแล้วอาจใช้เครื่องมือไบโอฟีดแบค (Biofeedback) ช่วยให้ได้ผลดีขึ้น

(4.5) การคงสมรรถภาพของร่างกายทั่วไป (Conditioning exercise) เพื่อเพิ่มสมรรถภาพ ของหัวใจและหลอดเลือดด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เช่น การเดินเร็ว ๆ การวิ่งเหยาะ ๆ การปั่นจักรยาน การวิ่งในน้ำ ช่วยให้กล้ามเนื้อและความยืดหยุ่นของร่างกายดีขึ้น

(5) กายอุปกรณ์ มีข้อบ่งชี้เมื่อมีการเคลื่อนไหวทำให้เจ็บมาก ช่วยพยุงหลัง ลดการทำงานของกล้ามเนื้อและลดการเคลื่อนไหว กายอุปกรณ์พยุงหลังที่ใช้บ่อยคือ ลัมโบเซครัล ซัพพอร์ต (Lumbosacral Support) ซึ่งไม่สามารถจำกัดการเคลื่อนไหวได้จริง เพียงแต่เป็นสิ่งเตือนใจผู้ป่วยไม่ให้ก้ม ๆ เหยย ๆ มากประโยชน์อีกอย่างคือ เพิ่มความดันในช่องท้อง ช่วยลดความดันในหมอนรองกระดูกสันหลัง จึงช่วยลดอาการปวดได้ในผู้ป่วยบางคน แต่ควรจะใช้เพียงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่ออาการปวดหลังลดลงแล้วควรจะลดชั่วโมงที่ใส่ลงเรื่อย ๆ จนหยุดใส่ ภายใน 4-6 สัปดาห์และต้องบริหารกล้ามเนื้อหน้าท้องและกล้ามเนื้อหลังให้แข็งแรงด้วย ในทางปฏิบัตินิยมใช้ในกรณีปวดหลังอย่างเฉียบพลันจากหมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อน หรือใช้เป็นครั้งคราวที่คิดว่าผู้ป่วยจะเสดงต่อการปวดหลัง เช่น นั่งรถนานๆ หรือกลับไปทำงานที่ต้องยกของหนัก



รูปที่ 2.44 lumbosacral support

(6) การสอนแนะนำการดูแลสุขภาพหลัง (Back School) เนื่องจากสาเหตุส่วนหนึ่งของความปวดเกี่ยวเนื่องกับการใช้หลังหรืออิริยาบถที่ไม่เหมาะสม การสอนผู้ป่วยให้ เข้าใจถึงโครงสร้างสาเหตุ และพยาธิของหลังตลอดจนการปรับอิริยาบถเพื่อหลีกเลี่ยงความปวด หรือป้องกันความปวดที่อาจเกิดขึ้นใหม่ เพื่อให้ผู้ป่วยเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการใช้หลังให้ถูกวิธีทั้งขณะทำกิจวัตรประจำวัน และขณะทำงาน เน้นที่วิธีการยกของโดยถือของให้ ชิดตัวมากที่สุด และหลีกเลี่ยงการก้มมาก และนานเกินไป[2]

## 2.6 การจัดการกับความปวดในผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างที่บ้าน

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม การจัดการกับความปวดในผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างขณะอยู่ที่บ้าน มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 3 ประการคือ 1) บรรเทาความปวด 2) เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และ 3) ป้องกันอาการปวดซ้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.6.1 การบรรเทาปวดโดยการใช้ยาและไม่ใช้ยา

(1) การใช้ยา ยาที่ใช้ได้แก่ ยาแก้ปวด เช่น อะเซตามิโนเฟน (Acetaminophen) ซึ่งมีราคาไม่แพง ใช้บรรเทาอาการปวดระดับปานกลาง ขนาดของยาที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับผู้ใหญ่รับประทานครั้งละ 500-1,000 มิลลิกรัม ไม่เกิน 4 กรัมต่อวัน อาการข้างเคียง เช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน หูอื้อ ตาพร่ามัว ทำให้เกิดพิษต่อตับได้ ถ้ารับประทานยามากกว่า 10 กรัมในครั้งเดียว ผู้ป่วยควรหลีกเลี่ยงการดื่มแอลกอฮอล์ขณะใช้ยา และยาต้านการอักเสบที่ไม่ผสมสารสเตียรอยด์ เช่น แอสไพริน (Aspirin) ไดโคลฟีเนค (Diclofenac) ไอบูโพรเฟน (Ibuprofen) แนโพลเซน โซเดียม (Naproxen sodium) และคีโตโพรเฟน (Ketoprofen) ยานี้มี ผลเสียต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ และมีเลือดออกง่ายโดยยับยั้งการจับตัวกันของเกล็ดเลือด เพิ่มความเสี่ยงของการมีเลือดออกง่าย (Matassarini-Jacobs, 1997) นอกจากนี้ยังมีอาการข้างเคียงอย่างอื่น เช่น มีเสียงอื้อในหู ปวดศีรษะ เชื่องช้า มองเห็นพร่ามัว และท้องเสีย ผู้ป่วยใช้ยานี้จะเกิดผลในกระเพาะได้จึงต้องใช้ยาด้วยความระมัดระวัง โดยการรับประทานหลังอาหารทันที และควรสังเกตสีของอุจจาระว่ามีสีดำหรือไม่ ยากลุ่มอื่นที่อาจมีประโยชน์ ได้แก่ ยากล่อมกล้ามเนื้อ เช่น เบนโซไดอะซีปีน (Benzodiazepine) แอนติฮิสตามีน (Antihistamines) และยากล่อมประสาท เช่น อะมิทริปไทลีน (Amitriptyline) โอิมิพลาไมค์ (Imipramine) และทราโซโดน (Trazodone) ซึ่งจะช่วยให้ผู้ป่วยพักผ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีขึ้น อาจทำให้วังซิม จึงต้องระมัดระวังในคนที่ต้องทำงานกับเครื่องจักร หรือคนขับรถ จากการศึกษาของปราณี ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษาทำความเข้าใจความปวด และพฤติกรรมการเผชิญความปวดของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง โดยศึกษากับผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่ามีอาการปวดหลังที่ไม่ได้เกิดจากการกดของเส้นประสาท และหมอนรองกระดูกเคลื่อนจากแผนกโรคหน่วยผู้ป่วยนอก หน่วยเวชศาสตร์ฟื้นฟูและหน่วยกายภาพบำบัด โรงพยาบาลศิริราช 121 คน ผลการวิจัยพบว่าพฤติกรรมเผชิญความปวดของผู้ป่วยที่มี อาการปวดหลังที่ใช้มากที่สุดเมื่อมีอาการปวดมาก คือ การรับประทานยาแก้ปวด และจากการศึกษาพฤติกรรมการรักษาของชุมชนเมื่อมีอาการปวดข้อและกล้ามเนื้อเพื่อสำรวจเกี่ยวกับพฤติกรรมในการใช้ยาชุดของคนที่มีอาการปวดข้อและกล้ามเนื้อพบว่า มากกว่าร้อยละ 50 ของผู้ที่เคยมีอาการปวดเคยรับประทานยาชุด นั่นคือ ประชากรไทยประมาณ 15 ล้านคน เคยซื้อยาชุดรับประทานเพื่อบรรเทาอาการปวดข้อและกล้ามเนื้อ โดยร้อยละ 90 ยอมรับว่ารับประทานเป็นครั้งคราวเวลาปวดที่รับประทานทุกวันมีร้อยละ 10 ของคนที่มีอาการปวดข้อและกล้ามเนื้อหรือเท่ากับประชากร 1.5 ล้านคนที่ซื้อยาชุดรับประทานเป็นประจำซึ่งยาชุดเป็นยาตั้งแต่ 2 ชนิดนี้ รวมกันอยู่ในซองเดียวกันเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าตามอาการ โดยไม่ได้มีการระบุชื่อยาหรือขนาดยาข้างซอง

## (2) การบรรเทาปวดที่ไม่ใช่ยา มีหลายวิธีดังนี้

(2.1) การนอนพัก ผู้ป่วยปวดหลังมักใช้วิธีการนอนพักเมื่อมีความปวด เป็นวิธีการที่ดีที่สุดขณะที่มีอาการปวดรุนแรงหรือมีอาการปวดหลังเฉียบพลัน ควรนอนพักไม่เกิน 1-3 วัน กรณีที่มีอาการปวดหลังร่วมกับมีอาการปวดร้าวหรือปวดเสียวลงขา ให้นอนพักประมาณ 7-10 วันควรนอนพักในท่านอนงอเข่าและสะโพก (hip and knee flex) ท่านอนหงายควรจะมีหมอนรองใต้เข่า เพื่อให้ความแอ่นของหลังลดลง ท่านอนตะแคงควรจะมีหมอนข้าง หมอนหนุนสูงพอเหมาะพุงคอไว้พอดีหลีกเลี่ยงการนอนคว่ำ เพราะจะทำให้หลังแอ่นมากเกินไปก่อให้เกิดความเครียดบริเวณหลังส่วนล่างได้ (Ruda, 1992) การนอนพักมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อกระดูกพรุนข้อต่อ เอ็น กล้ามเนื้อยึดจากการไม่ได้ใช้งานตามปกติ และที่นอนควรจะมีนุ่ม ยุบตัวน้อยที่สุด ไม่ควรใช้ฟูกฟองน้ำหรือเตียงสปริงเพราะจะทำให้หลังจมอยู่ในแอ่งตามรอยยุบ ทำให้กระดูกสันหลังแอ่นและเกิดปวดหลังได้ สอดคล้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษาทำความเข้าใจความปวดและพฤติกรรมการเผชิญความปวดของผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังของปราณี (2538) โดยศึกษากับผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์

(2.2) การประคบความเย็น ภายหลังจากบาดเจ็บจะมีอาการอักเสบของเนื้อเยื่อต่างๆ ระบบไหลเวียนจะเพิ่มขึ้นในบริเวณที่มีการอักเสบเป็นอย่างมาก การใช้ความเย็นในระยะ 24-48 ชั่วโมงแรกเพื่อลดอาการอักเสบ ลดอาการปวด ลดอาการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ โดยการใช้น้ำแข็ง น้ำแข็ง ถู เยลลี่แช่แข็งและน้ำแข็งประคบตรงตำแหน่งการอักเสบหรือบริเวณที่ปวดไม่เกิน 20 นาที ต่อครั้ง วันละ 2-3 ครั้งหรือเมื่อมีอาการปวด จะช่วยทำให้หลอดเลือดมีการหดตัวเฉพาะที่ซึ่งช่วยลดปริมาณโลหิตและการคั่งของสารน้ำบริเวณเนื้อเยื่อบริเวณนั้นทำให้ลดการบวมและการอักเสบลง นอกจากนี้ความเย็นยังช่วยเพิ่มระดับขีดกันความปวด (Pain Threshold) โดยไปลดความไวของการรับความรู้สึกและการนำส่งพลังประสาทของใยประสาทลง ลดความปวด ลดจุดเลือดออก และลดอาการบวม ซึ่งเป็นผลจากการอักเสบ การใช้ความเย็นในการบรรเทาอาการปวดหลังสามารถนำมาใช้ได้ทั้งในระยะเฉียบพลันและระยะเรื้อรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.3) การใช้ความร้อน จะใช้ในระยะเวลาหลังเฉียบพลันประมาณ 2-3 วัน ห้ามใช้ในภาวะที่มี การอักเสบและ / หรือถ้อยันตรายเฉียบพลัน ภาวะบวม โดยใช้แผ่นประคบหรือกระเป๋าน้ำร้อนแล้วใช้ ผ้าขนหนูห่อวางบนบริเวณที่ปวดหรือตรงที่กล้ามเนื้อมีการเกร็งตัวมาก ๆ ควรประคบนาน 20-30 นาทีวันละ 2-3 ครั้งหรือเมื่อมีอาการปวด ทำให้หลอดเลือดขยายตัว มีการไหลเวียนโลหิตและถ่ายเทของเสียดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยคลายความตึงตัวของกล้ามเนื้อ มีผลให้ผู้ป่วยสบายขึ้นและลดความปวดลง[9] โดยความร้อนจะไปกระตุ้นตัวรับอุณหภูมิบริเวณผิวหนัง ให้เกิดการนำสัญญาณประสาททางใยประสาทขนาดใหญ่ ที่สามารถยับยั้งสัญญาณประสาทเกี่ยวกับความปวดที่นำโดยใยประสาทขนาดเล็ก ส่งผลให้มีสัญญาณประสาทผ่านเข้าสู่สมองบริเวณรับรู้ความปวดน้อยลง นอกจากนี้บางส่วนของสัญญาณประสาทจะไปเชื่อมต่อสัญญาณประสาทบริเวณเรติคูลาร์ฟอร์เมชันและผ่านเข้าสู่ไฮโปทาลามัสและไปสิ้นสุดบริเวณลิมบิกในสมองส่วนหน้า กระตุ้นให้มีการหลั่งสารเอ็นดอร์ฟินที่มีฤทธิ์ในการลดปวดและเพิ่มระดับขีดกันความปวดอีกด้วย ดังการศึกษาของพยอม ผลของการประคบร้อนด้วยสมุนไพรต่ออาการปวดข้อ ข้อฝืด และความลำบากในการทำกิจกรรมในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมจำนวน 30 ราย ที่มารับบริการที่ห้องตรวจกระดูกและข้อโรงพยาบาลนครพิงค์ จังหวัดเชียงใหม่ เลือกแบบเจาะจงและสุ่มเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมจำนวนเท่ากัน โดยกลุ่มทดลองได้รับการประคบร้อนด้วยสมุนไพรและกลุ่มควบคุมได้รับการประคบร้อนด้วยกระเป๋าน้ำร้อน ผู้วิจัยติดตามเยี่ยมที่บ้านของตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม รวม 8 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีคะแนนอาการปวดข้อ ข้อฝืดและความลำบากในการทำกิจกรรมน้อยกว่าก่อนได้รับการประคบและยังพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการประคบร้อนด้วยมีคะแนนอาการปวดข้อ ข้อฝืดและความลำบากในการทำกิจกรรมลดลงมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการประคบร้อนเพียงอย่างเดียว ( $p < .05$ )

(2.4) การนวด มีประโยชน์มากในรายที่มีอาการปวดหลังจากการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อถ้ามีอาการปวดหลังจากการบาดเจ็บไม่ควรนวด การนวดเป็นการกระทำโดยการใช้มือกดและเคลื่อนไหวไปบนผิวหนังอย่างเป็นจังหวะของการสัมผัสต่อเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยใช้มือทั้งสองข้างลูบเบา ๆ ร่วมกับการใช้ฝ่ามือคลึง บีบยก ม้วน สับหรือสั่นตามกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย บริเวณที่ใช้ขนาดบ่อย ๆ คือ หลัง ไหล่ มือและเท้า เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย การนวดจะไปกระตุ้นเส้นใยประสาทขนาดใหญ่ เป็นการเพิ่มการทำงานของเซลล์เอสจี มีผลให้มีการยับยั้งกระแสประสาทที่จะมากระตุ้นเซลล์ที่ทำให้ปิดประตู ความปวด ทำให้ไม่มีการนำกระแสความปวดขึ้นสู่สมอง สมองจึงลดการรับรู้ต่อความปวด ส่วนในระบบควบคุมส่วนกลาง การนวดเป็นสิ่งเร้าทางอารมณ์ (motivative-affective component) ซึ่งเป็นผลของการทำงานของไฮโปทาลามัสและระบบลิมบิก ทำให้ผู้ป่วยสงบและผ่อนคลาย ทำหน้าที่ควบคุมความปวดโดยส่งกระแสประสาทย้อนกลับไปยังกลไกควบคุมความปวดในระดับไขสันหลัง ขณะเดียวกันเชื่อว่าการนวดทำให้มีการหลั่งเอ็นดอร์ฟิน ที่มีคุณสมบัติคล้ายมอร์ฟิน แต่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย มีผลทำให้ความปวดลดลงและรู้สึกผ่อนคลายแล้วยังมีผลผ่อนคลายกล้ามเนื้อ และกระตุ้นการไหลเวียนของโลหิต บริเวณที่นวดและบริเวณใกล้เคียง ช่วยขจัดสารของเสียของเมตาบอลิซึมที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ เนื่องจากการนวดมือได้หลายวิธีมาจากหลายประเทศ แต่ที่นิยมใช้ในประเทศไทยคือ การนวดสัมผัส แบบสวีเดน และการนวดกดจุดแบบแผนไทย ดังการศึกษาของนฤมล วิชัย และอภิวัฒน์ ผลของการนวดไทยต่อความอดทนต่อการล่าของกล้ามเนื้อหลังในผู้ป่วยโรคปวดหลังส่วนล่างเรื้อรัง ซึ่งบ่งชี้โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหดตัวแบบความยาวคงที่ โดยศึกษาในผู้ป่วยโรคปวดหลังส่วนล่างเรื้อรังทั้งชายและหญิง

จำนวน 14 ราย ผู้ป่วยได้รับการนวดไทยจำนวน 2 ครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ ครั้งละ 2 ชั่วโมง พบว่าผู้ป่วยได้รับการนวดไทย กล้ามเนื้อหลังมีระยะที่ใช้ ในการหดตัวแบบความยาวคงที่เพิ่มขึ้นมากกว่า ช่วงที่นอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่า การนวดไทยมีผลต่อการทำงานของ กล้ามเนื้อหลังในผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างเรื้อรัง โดยเพิ่มความอดทนต่อการล่าของกล้ามเนื้อหลัง

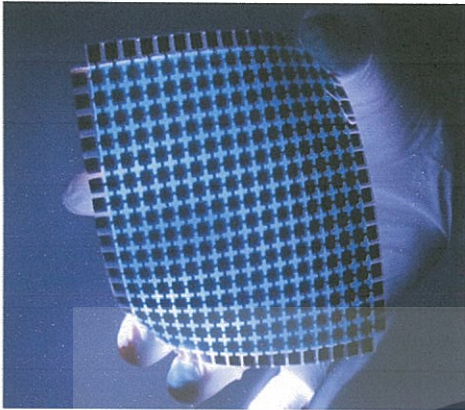
(2.5) การใช้เครื่องช่วยพยุงหลัง มีข้อบ่งชี้เมื่อมีการเคลื่อนไหวทำให้ปวดมาก เครื่องช่วยพยุงหลังสามารถจำกัดการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง โดยจำกัดการก้ม การแอ่น และการเอียงลำตัวไปด้านข้าง ช่วยลดแรงกระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง จึงสามารถใช้ในผู้ป่วยที่มี หมอนรองกระดูกเคลื่อนและใช้ในผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลัง รวมทั้งช่วยลดการแอ่นของกระดูกสันหลัง ส่วนเอวได้ แต่การใช้ เป็นเวลานาน ๆ โดยละเลยการบริหารกล้ามเนื้อหลัง จะทำให้กล้ามเนื้อรอบ ๆ กระดูกสันหลังอ่อนแรง ผู้ป่วยจึงต้องบริหารกล้ามเนื้อรอบ ๆ กระดูกสันหลังให้แข็งแรง เพื่อสร้าง เป็นเครื่องช่วยพยุงหลังของผู้ป่วย ดังการศึกษาของสมิท และคณะ ประสิทธิภาพของเข็มขัดพยุงหลัง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าท้องต่อความสามารถในการยกของผู้หญิงที่มี สุขภาพสมบูรณ์ ผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักสูงสุดที่ถูกยกผันแปรตามความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าท้อง เข็มขัด พยุงหลังไม่ได้มีประสิทธิผลสำหรับผู้ที่มีกล้ามเนื้อหน้าท้องอ่อนแอมากกว่าผู้ที่มีกล้ามเนื้อหน้าท้อง แข็งแรง

(2.6) โยคะ เป็นการผสมผสานด้านร่างกาย จิตใจและจิตวิญญาณ ในการส่งเสริม สุขภาพและความผาสุกในชีวิต ผู้ปฏิบัติมีความเชื่อว่าการฝึกโยคะสามารถงัวซึ่งภาวะจิตที่ดีและ ความสมบูรณ์ของร่างกาย ทำให้ร่างกายสมส่วน กล้ามเนื้อมีความสมดุลและความยืดหยุ่นดี ช่วยลด อาการปวดเกร็งของกล้ามเนื้อ อีกทั้งยังมีการผสมผสานการหายใจ การผ่อนคลายและการทำสมาธิ ระหว่างการฝึกด้วย ผลทางจิตวิญญาณคือ การเตรียมพร้อมสำหรับการทำสมาธิและสร้างความ แข็งแกร่งจากภายใน เชื่อว่าเทคนิคโยคะเสมือนการผ่อนคลายและส่งเสริมการไหลเวียนพลังงานใน ร่างกายเรียกว่าปราณ

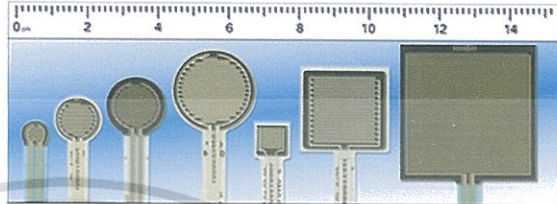
และจากการศึกษาของแวน พ็อพเพล และคณะ (van Poppel, Koes, Van der Ploeg, & Smid, 1998) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เสื้อพยุงหลังและการให้ความรู้สำหรับการป้องกัน อาการปวดหลังส่วนล่างในทางอุตสาหกรรม พบว่าการใช้เสื้อพยุงหลังหรือการให้ความรู้ไม่ได้ลด อุบัติการณ์ของอาการปวดหลังส่วนล่างหรือระดับอาการปวด และการใช้เครื่องเสื้อพยุงหลังไม่ได้เป็น การป้องกันอาการปวดหลัง

โดยสรุปจากการทบทวนวรรณกรรมอาการปวดหลังส่วนล่าง จัดเป็นอาการปวด เรื้อรังที่มีผลกระทบต่อบุคคลทั้งทางด้านร่างกาย อารมณ์ จิตสังคมและเศรษฐกิจ การที่ผู้ป่วยต้อง เผชิญกับความปวดเป็นระยะเวลาาน ส่งผลให้เกิดความทุกข์ทรมานจากการที่ไม่สามารถควบคุม หรือบรรเทาอาการปวดได้ การปวดหลังเป็นเวลานานทำให้ร่างกายเกิดภาวะจำกัดความสามารถ ผู้ป่วยไม่สามารถระทำกิจกรรมได้ดังเดิม การพัฒนาความสามารถในการจัดการกับความปวดที่บ้าน ให้ครบองค์รวมทั้งด้านร่างกาย จิต สังคมและจิตวิญญาณ จึงมีความจำเป็น การพัฒนารูปแบบการ จัดการกับความปวดที่บ้าน โดยการนำแนวคิดเกี่ยวกับความปวด และระเบียบวิธีการวิจัยเชิง ปฏิบัติการ จะนำไปสู่การพัฒนาวิธีการจัดการกับความปวดของผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างต่อไป [2]

## 2.7 Pressure Sensor Arrays หรือ FSR sensor



ก.



ข.

รูปที่ 2.45 ก. Pressure Sensor Arrays / FSR sensor ข. sensor ในรูปแบบและขนาดต่างๆ

FSR sensor (force-sensitive resistor sensor) เป็นวัสดุที่ความต้านทานเปลี่ยนเมื่อมีแรงมากระทำ เซนเซอร์วัดแรงดันแบบอาร์เรย์ (Pressure Sensor Arrays) เป็นตารางแทคเทล (Tactels : องค์ประกอบที่รับรู้ด้วยการสัมผัส) ขนาดใหญ่ แต่ละแทคเทลมีความสามารถในการตรวจจับ / รับรู้ธรรมชาติแรงทั่วไป พื้นฐานของเซนเซอร์แบบแทคเทลพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างภาพที่มีความละเอียดสูงจากการสัมผัสพื้นผิว ระบบอินทิเกรตปัญหาที่ควบคู่กับความละเอียดเชิงพื้นที่กับความไวในการรับรู้แรงอย่างการเขียนและการกำหนดเส้นทางสัญญาณ คือ จุดสำคัญ ตัวเซนเซอร์มีลักษณะเป็นแผ่นบาง มักถูกใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ในกระบวนการผลิตและกระบวนการวิจัยเชิงวิศวกรรมและเชิงเทคนิค และยังถูกปรับสำหรับการใช้ในเชิงการควบคุมด้วย

### 2.7.1 คุณสมบัติของ Pressure Sensor Arrays หรือ FSR sensor

เซนเซอร์ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นสื่อหน้าที่เปลี่ยนความต้านทานในลักษณะที่สามารถคาดเดาตามแอมพลิจูดของแรงที่พื้นผิว ปกติจะถูกจัดเป็นแผ่นพอลิเมอร์หรือหมึกที่สามารถทำงานด้วยสกรีนหน้าจอ ในส่วนของแผ่นตรวจวัดจะประกอบด้วยอนุภาคที่นำไฟฟ้าและอนุภาคที่ไม่นำไฟฟ้าอยู่ในเมทริกซ์ ตัวอนุภาคมีขนาดย่อยเท่าไมโครเมตรและถูกสร้างให้มีคุณสมบัติลดการผกผันตามอุณหภูมิ พัฒนาคูสมบัติทางกลและเพิ่มความทนทานของพื้นที่ผิว การใส่แรงลงไปในพื้นที่ผิวในส่วนของตรวจจับเป็นเหตุให้อนุภาคสัมผัสกับอิเล็กโทรด เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแผ่นตรวจจับ (The Sensing Film) ก็คล้ายคลึงกับเซนเซอร์วัดแรงต้านทานทั่วไป FSR จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับส่วนอินเตอร์เฟซง่าย ๆ และทำงานในระดับที่น่าพอใจในสภาพแวดล้อมระดับปานกลาง เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ชนิดอื่นๆ ข้อดีของ FSRs คือ ขนาดความหนาที่น้อยกว่า 0.5 มม. ราคาถูก และความต้านทานต่อการขีดข่วน แต่ข้อเสียคือความแม่นยำต่ำ อาจแตกต่างกันถึง 10%

### 2.7.2 โครงสร้างทั่วไปของเซนเซอร์แบบ Array

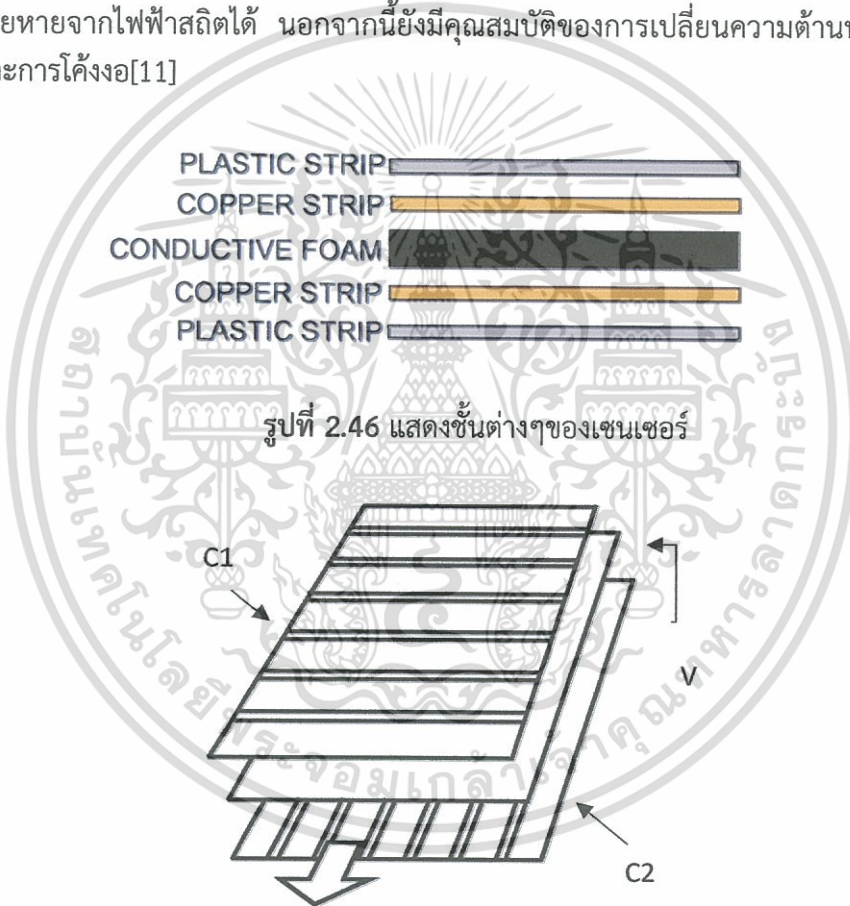
เซนเซอร์อาร์เรย์ประกอบด้วย ชั้น 3 ชั้นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Housing เป็นส่วนนอกสุดที่เป็นวัสดุประเภทฉนวน เช่น ผ้า พลาสติกใส กระดาษ เป็นต้น

2. Sensing Electrodes โดยส่วนใหญ่จะใช้ทองแดงสำหรับวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปตรงจุดไขว้ทับกัน หรือ จุดที่อิเล็กโทรดสัมผัสกันนั่นเอง เพราะเป็นวัสดุตัวนำไฟฟ้าสูงที่มีค่าความต้านทานกระแสไฟต่ำทำให้ความไวต่อกระแสไฟ/ความต้านทานที่เปลี่ยนไป การส่งผ่านกระแสอยู่ในระดับที่ตีเหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งทองแดงเองก็มีหลายรูปแบบ อย่าง เป็นผ้า เทป แผ่นแข็ง แผ่นอ่อน เป็นต้น ลักษณะการวางจะไขว้ตั้งฉากกัน

3. Conductive Material เป็นชั้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสำหรับวัสดุที่เลือกต้องมีความเป็นตัวนำไฟฟ้า โดยมักใช้วัสดุที่เรียกว่า ‘Velostst’ เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากพอลิเอทิลีน (Polyolefines) ซุปด้วยคาร์บอนสีดำที่ทำให้มันนำไฟฟ้า สามารถกันความเสียหายจากไฟฟ้าสถิตได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติของการเปลี่ยนความต้านทานทั้งแบบความดันและการโค้งงอ[11]



รูปที่ 2.47 แสดงลักษณะการวางชั้น Sensing Electrodes ประกอบชั้น Velostate

### 2.7.3 ลักษณะการเก็บค่า

ในรูปที่ 2.48 แสดงวงจรสำหรับการกวาดภาพของเซนเซอร์อาร์เรย์ ที่สามารถรวมอยู่ในหน่วยข้อมูลแคมป์ที่สอดคล้องกับการแสดงภาพให้เห็น conductive bus แต่ละตัวที่ชั้นของ sensing electrode ชั้นล่าง(C2ในรูปที่ 9) เชื่อมต่อถึง ADC (Analog-to-Digital converter) โดยอาศัยสวิทช์โมดูลัสอนาล็อก (S1) และไปกราวด์ด้วย offset resistor ส่วนชั้น C1 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟผ่านสวิทช์โมดูลัสอนาล็อก (S2) โมดูลัส S1 และ S2 ทำงานร่วมกันเพื่อค้นหาแอสเตรสแบบพิเศษ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซนเซอร์แรงดัน และกวาดลำดับภาพที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกรวมเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยข้อมูลแซมปิ้ง เช่นเมื่อ S2 เชื่อมต่อกับ บัส i ที่อยู่ชั้นบนถึงแหล่งจ่ายไฟ และ S1 เชื่อมต่อกับ บัส j ถึง ADC ตัว ADC สามารถอ่านค่าโวลต์โดยผ่านตำแหน่งเซนเซอร์ความดันที่ติดกันที่บัส i กับ j

วงจรที่ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์จะทำการสุ่มอย่างเหมาะสมเพื่ออ่านค่าในเซนเซอร์อาร์เรย์ เช่นเดียวกันกับสัญญาณ ADC ที่สามารถแชร์ระหว่างเซนเซอร์หลายชนิดด้วยวิธีลดขั้นตอนการทำงาน และทำให้แอปพลิเคชันรับส่งสเกลขนาดใหญ่สะดวกขึ้นสอดคล้องกับการนำทางเลือกไปปฏิบัติแทนเซนเซอร์แต่ละอันที่มี ADC แยกกันเพื่อแซมเป็นค่าเอาท์พุท ในระหว่างการอ่านหรือเมื่อช่อง S1 กับ S2 ถูกทำให้ทำงานไม่ได้ กราวด์หรือโวลต์อีกอันที่หาได้ดีที่สามารถถูกจ่ายไปยังสายแถมกับคอลัมน์ที่ต่ออยู่



รูปที่ 2.48 วงจรที่พ่วงอยู่กับคอมพิวเตอร์สำหรับการอ่านแบบวแกนนิ่งของเซนเซอร์อาร์เรย์

Offset : แรงดันเริ่มต้นในเซนเซอร์ควรเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามโครงสร้างที่คล้ายแซนวิชประกอบด้วย offset ความดันเริ่มต้นเปลี่ยนไปตามสถานการณ์และค่าของมันสามารถขึ้นอยู่กับวิธี particular assembling method ของเซนเซอร์อาร์เรย์ ถ้าชั้นทั้งสามบีบตัวแน่นค่าออฟเซตจะสูง แต่ถ้าหย่อนค่าจะต่ำ

Scaling : คุณลักษณะของเซนเซอร์แบบอาร์เรย์สามารถยอมยอการเปลี่ยนแปลงความต้านทานขนาดใหญ่ได้ แม้แรงเหมือนกันถูกจ่ายไปที่เซนเซอร์สองอัน ค่าเอาท์พุทของพวกมันไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน ผลก็สามารถต่างกันดี

Crosstalk : ผลของคอสทอล์คเป็นหนึ่งในผลความท้าทายความสามารถที่สุดและถูกประกาศอย่างเจาะจงว่าให้ค่าต่อเนื่องหรือธรรมชาติหนึ่งเดียวของแผ่นเซนเซอร์ เนื่องจากระยะที่ใกล้ระหว่างเซนเซอร์สามารถถูกเชื่อมต่อกันอย่างแมคคานิก

(1) การเตรียมการข้อมูลสำหรับ Crosstalk คือ กลุ่มพื้นฐานที่สามารถส่งผลต่อข้อมูลเกือบทั้งหมด เป็นที่เข้าใจว่ามี n เซนเซอร์ที่เกิดจากการไขว้กันของชั้นเทพทองแดง ท่ามกลาง n เซนเซอร์เหล่านั้นสามารถแสดงออกมาเป็น :

$$F_{1xn}C_{n \times n} = D_{1xn} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่  $D_{1xn}$  หมายถึงค่า n เซนเซอร์ F แทนแรงที่จ่ายให้เซนเซอร์ และ C แทน การขนถ่ายค่าเมทริกซ์จาก F ไป D ที่เกิดจากผลกระทบของ Crosstalk เมื่อ แรง ถูกจ่ายบน เซนเซอร์แกน i กระทบกับเซนเซอร์ในแกน j จำนวนโดย:

$$F_i C_{ij} = D_j \tag{2.2}$$

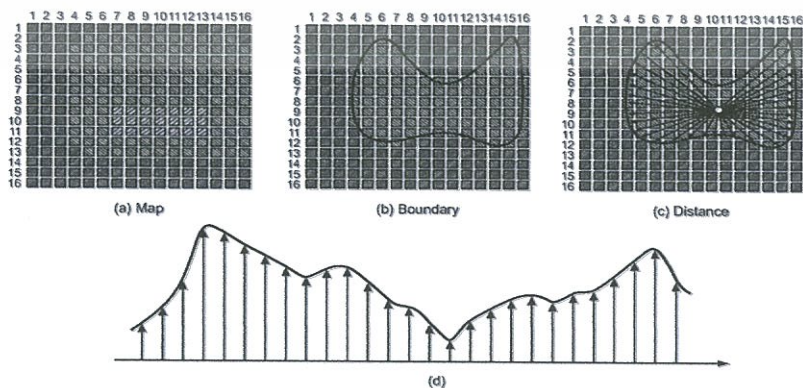
กำหนดผลของ Crosstalk เป็นแรงที่จ่ายให้ sensor แกะ l อันเดียว เป็นตัวแปร  $F_{ei}$  และ  $D_{ei}$  แสดงออกเป็นเวกเตอร์ 1xn

พื้นฐานการวัดถูกสังเกตว่าเป็นการเปลี่ยนรูปเมทริกซ์ Cnxn ที่มีน้อยเป็นแบบฉบับ และองค์ประกอบส่วนมากหรือทั้งหมดบนเส้นทแยงมุมคือแบบบอล-ซีโร เพราะฉะนั้น อินเวอร์สของ Cnxn สามารถคำนวณและแผนที่แรงดัน ยกเว้น Crosstalk สามารถกำหนดโดยกายใส่เมทริกซ์ไม่เชื่อมต่อกันที่กล่าวมาตามการเปลี่ยนรูป

(2) การแทนข้อมูล (Data Representation) เพื่อให้การจดจำทำได้สะดวกขึ้น ขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการแทนค่าข้อมูลถูกทำให้มีผลสำหรับการแสดงให้เห็นเป็นรูปร่างบางแบบเท่านั้น แทนกระบวนการแผนที่แรงดันโดยตรง แผนที่ความดันสามารถถูกเปลี่ยนความเชื่อในโครงสร้างแรงดันหรือลำดับ โดยทั่วไปประโยชน์ของตัวเลขสามารถให้ผลจากการดำเนินการข้อมูลลำดับหนึ่งมิติ(one-dimensional sequential data.) เริ่มด้วยการลดข้อมูลด้วยวิธีที่ซับซ้อนและทำให้ความเร็วของขั้นตอนการจดจำทางเพิ่มขึ้นเหมือนกับการเปรียบเทียบการดำเนินการของภาพแรงดันสองมิติ ขั้นที่สอง สามารถทำให้การแก้ปัญหาการหมุนง่ายขั้นตอนดำเนินการข้อมูลลำดับหนึ่งมิติและกับข้อมูลลำดับ,การบิดเบือนที่แน่ชัด,รวมทั้งค่าoffset และ สเกลลิ่งด้วย สามารถลดหรือประมาณผ่านการทำให้เป็นมาตรฐาน

$$x_n' = x_n - \mu \sigma \tag{2.3}$$

$\mu$  แทนค่าข้อมูลเชิงลำดับ และ  $\sigma$  แทนการเปลี่ยนแปลงของค่าเชิงลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นก็ถูกพิจารณาว่าการจดจำนั้นสามารถสำเร็จได้ด้วยการดำเนินการโดยตรงของแผนที่แรงดัน (Pressure Map)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.49: Data representation procedure ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 วัสดุวิศวกรรม(Engineering materials)

### 2.8.1 อลูมิเนียม และอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum and Aluminum Alloys)

เป็นโลหะผสมที่ ประกอบด้วยธาตุ ทองแดง (Cu), แมกนีเซียม (Mn), แมงกานีส (Mg), ซิลิกอน (Si) และสังกะสี (Zi) อลูมิเนียมอัลลอย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักดังนี้

1. อลูมิเนียมประสมเหนียว (Wrought Alloys) ใช้รีดหรือดึงเป็นแผ่น แแถบ แท่ง ท่อ โลหะ ลวด เป็นต้น

2. อลูมิเนียมประสมหล่อ (Casting Alloys) จะถูกใช้หล่อให้เป็นชิ้นส่วนต่างๆโดยใช้แบบหล่อทราย (G) แบบหล่อถาวร (GK) แบบหล่ออัด (GD)

ปัจจุบัน ประมาณ 85% ของอลูมิเนียมใช้ทำแผ่นรีดพอยล์ และบีดอัดเป็นท่อน (Extrusions) อลูมิเนียมผสมอัลลอย (Casting Alloys) เป็นผลิตภัณฑ์ที่คุ้มค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่โดยปกติจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า อลูมิเนียมผสมอัลลอย (Wrought Alloys) และที่สำคัญที่สุดของระบบผสมอัลลอยคือ ปริมาณของอลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) ที่ระดับสูงของซิลิกอน (4.0% ถึง 13%) นำไปสู่การหล่ออลูมิเนียมที่มีคุณภาพดี โดยมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมโครงสร้าง และชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการ ความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงน้ำหนักเบา

อัลลอยโลหะผสมส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์จากโลหะที่น้ำหนักเบา 2 ชนิด คือ อลูมิเนียม และแมกนีเซียมอัลลอยที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ (Aerospace Manufacturing) เนื่องจาก อลูมิเนียม-แมกนีเซียมเป็นอัลลอยโลหะผสมที่มีทั้งเบากว่าโลหะผสมอลูมิเนียมอื่นๆ และทำปฏิกิริยากับไฟน้อกว่าโลหะผสมชนิดอื่นที่มีแมกนีเซียมผสมอยู่ในปริมาณสูงมากๆ พื้นผิวของอลูมิเนียมผสมอัลลอย(Aluminum Alloy Surfaces) มีความเงางามชัดเจนแม้ในสภาพแวดล้อมที่แห้งเนื่องจากการก่อตัวของผิวเคลือบที่ป้องกันอลูมิเนียมออกไซด์ ในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้นการกัดกร่อนของกรดทางเคมีและปฏิกิริยาทางไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเมื่อโลหะผสมอลูมิเนียมถูกใช้เป็นสื่อผ่านของกระแสไฟฟ้ากับโลหะอื่นๆ ที่มีศักย์ภาพเชิงลบ และการกัดกร่อนมากกว่าอลูมิเนียมทั่วไป

อลูมิเนียมผสมอัลลอย(Aluminum Alloys) ที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถนำมาใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างต่างๆ โดยมีการใช้มาตรฐานเทียบของอเมริกา (ANSI) เยอรมัน/ยุโรป (DIN) นานาชาติ (UNS/ISO) เป็นต้น การคัดเลือกอัลลอยให้ถูกต้องตามลักษณะการใช้งานปกติจะพิจารณาระดับ ความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength) ความหนาแน่น (Density) ความเหนียว (Ductility) ความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) ความสามารถในการทำงาน (Workability) ความสามารถในการเชื่อม (Weldability) ความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) เป็นต้น ปัจจุบันมีการใช้อลูมิเนียมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการบิน เนื่องจากมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่เหมาะสม ในขณะที่ อลูมิเนียมบริสุทธิ์อ่อนเกินไปสำหรับการใช้งาน และขาดความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength) ที่จำเป็นสำหรับ เครื่องบิน และ เฮลิคอปเตอร์

## 2.8.2 อลูมิเนียมผสมอัลลอย กับ ประเภทของเหล็ก (Aluminum Alloys versus Type of Steels)

อลูมิเนียมผสมอัลลอยโดยทั่วไปมักจะมีค่ายืดหยุ่นโมดูลัส (Elastic Modulus) ประมาณ 70GPa ซึ่งประมาณหนึ่งในสามของ เหล็กและเหล็กอัลลอย ในตลาดมีค่ายืดหยุ่นโมดูลัสที่ผ่านองค์ประกอบนี้ ดังนั้น ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ทำจากอลูมิเนียมผสมอัลลอยมีโอกาสยืดตัวได้มากกว่า เมื่อเทียบกับชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้าที่มีขนาดและรูปร่างเดียวกัน แต่อลูมิเนียมผสมอัลลอยบางชนิดมีค่าความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength) ที่สูงกว่าเหล็กกล้าบางชนิดและถูกใช้ทดแทนมีการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์โลหะ ด้วยการใช้เทคโนโลยีใหม่ในการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคการอัดขึ้นรูปที่เป็นกระบวนการสำคัญในกลุ่ม อลูมิเนียม (Aluminum/Al) แมงกานีส (Manganese/Mg) ซิลิกอน (Silicon/Si) สามารถผ่านกระบวนการบีบอัด (extruded) เพื่อสร้างรูปแบบที่ซับซ้อนได้

โดยทั่วไป การออกแบบโลหะที่แข็ง และเบาสามารถเกิดขึ้นได้กับอลูมิเนียมผสมอัลลอยมากกว่าจะเกิดขึ้นกับเหล็ก เช่น การตัดท่อผนังที่บาง ความเครียดจะลดลงสำหรับขนาดที่ใหญ่ขึ้น การเพิ่มสัดส่วนและรัศมีความหนาของผนังจะเป็นการเพิ่มรัศมี (และน้ำหนัก) โดย 26% เพื่อสามารถลดความเครียดผนัง ด้วยเหตุนี้ โครงจักรยานที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยจะใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าท่อเหล็ก หรือไททาเนียมเพื่อให้ได้ความเหนียวและความแข็งแรง ในงานวิศวกรรมยานยนต์ รถที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยใช้ตัวถังที่ทำจากวัสดุที่ใช้ในยานอวกาศ ที่ผ่านการบีบอัดโครงสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งได้เปลี่ยนแปลงวิธีการออกแบบรถเหล็กปัจจุบันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของตัวถังที่ถูกออกแบบเป็นชิ้นเดียว

อลูมิเนียมอัลลอยถูกใช้อย่างแพร่หลายในวิศวกรรมเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บล็อกเครื่องยนต์ (Cylinder Blocks) และห้องจุดระเบิด (Crankcases) เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักได้จริงเนื่องจากอลูมิเนียมอัลลอยถูกตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับความทนทานต่อการงอที่อุณหภูมิสูง ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญ เทคนิคในการผลิตและความก้าวหน้าโลหะถูกนำออกมาใช้และประสบความสำเร็จอย่างสูงในอุตสาหกรรมรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็น หัวสูบ (Cylinder Heads) และ ห้องจุดระเบิด (Crankcases) ข้อจำกัดทางโครงสร้างที่สำคัญของอลูมิเนียมอัลลอย คือความทนทานต่อการล้าต่ำเมื่อเทียบกับเหล็ก ในสภาพห้องปฏิบัติการควบคุมเหล็กแสดงอาการล้า ซึ่งเป็นระดับความเครียดต่ำโดยไม่มี ความผิดพลาดเกิดขึ้น อลูมิเนียมอัลลอย จึงถูกใช้อย่างระมัดระวังเฉพาะในส่วนที่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อการล้าได้อย่างแน่นอน

## 2.8.3 ประเภทของอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum Alloys)

(1) กลุ่มไม่สามารถทำ Heat Treatment (Non-Heat-Treatable Aluminum Alloys)

- AA 1050 / 1080 / 1200 อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Aluminum) ทนทานต่อสารเคมีและสภาพอากาศ สามารถเชื่อมได้ง่าย แต่เป็นเกรดที่มีความแข็งต่ำที่สุด เหมาะกับงานทั่วไป เช่น อุปกรณ์ทางเคมี งานที่ต้องการความสะอาดบริสุทธิ์ หรือเครื่องอัดต่างๆ
- AA 1350 เป็น Electrical Quality Alloy ใช้กับงานไฟฟ้า
- AA 3003 / 3103 (Aluminum Sheets and Plates) ทนทานต่อการกัดกร่อน และเชื่อมได้ มีความแข็งแรง เหมาะทำเป็น ถังกักเก็บ (Storage tanks) อุปกรณ์ทางเคมี (Chemical equipment) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

equipment) งานเชื่อม(Brazing Applications) ตัวถังรถตู้และการใช้งานในอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic)

- AA 5005 เหมาะกับงานเคลือบสี (Anodised Coating) ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า 3003 / 3103 ใช้ได้ดีกับงานละเอียดซับซ้อน งานตกแต่ง งานโครงสร้าง และอุปกรณ์โรคทั่วไป

- AA 5052 (2.5% Mag common in USA) / 5251 (2% Mag for UK only) / 5754 (3% Mag an EU standard) สภาพพร้อมอบคืนไฟ ทนทานต่อการกัดกร่อนและเชื่อมได้ดี เหมาะกับงานทนแรงดันของเรือ (Pressure Vessels) ถัง (Tanks) อุปกรณ์เชื่อมต่อ (Fittings) งานที่ต้องการความแข็งแรง เช่น เรือลากจูง ตัวถังรถยนต์

- AA 5083 (Similar to 5154) เหมาะกับงานเชื่อมที่ต้องการความแข็งแรงของจุดเชื่อม เช่น รางขนถ่าย อุปกรณ์ชิ้นส่วนในเรือ สะพาน เคน การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic) สามารถเชื่อมและทนทานต่อการกัดกร่อนดีเยี่ยม ไม่เหมาะกับงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 65.5°C

- AA 5086 (Common in USA) เหมาะกับงานเชื่อมโครงสร้าง เรือลากจูง โครงสร้างขนาดมหึมา รถบรรทุก สามารถทนแรงดันของเรือ อุปกรณ์ และโครงสร้างเรือที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic) ทนต่อการสิ้นสะสมความร้อน (Energy Absorption) ไม่เหมาะกับงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 65.5°C

- AA 5454 เหมาะกับงานเชื่อมโครงสร้าง ผ่าน ASME Approved เพื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 204.4°C เช่น รถบรรทุกขนำมะตอยร้อนเพื่อทำ ถนน (Hot Asphalt Tankers) ตัวถังรถขนถ่าย (Dump Body) สามารถทนแรงดันของเรือ (Pressure Vessels) และโครงสร้างกลางทะเล

(2) กลุ่มสามารถทำ Heat Treatment (Heat-Treatable Aluminum Alloys)

- AA 2014 / 2024 เป็น High Strength Alloys สามารถตัดแต่งชิ้นงานได้ดีเยี่ยม เพื่อทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ในเครื่องบิน (Aircraft) มีข้อจำกัด ด้านการขึ้นรูป ทนการกัดกร่อนในอุณหภูมิสูงได้บ้าง ไม่แนะนำให้เชื่อมด้วยวิธี Fusion Welding เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น เครื่องบิน และเครื่องจักร เพื่อง ข้อต่อ ตัวถังรถยนต์ เป็นต้น

- AA 6082 (สภาพจำหน่ายเป็น Heat Treated) / 6061 (Common in USA) ใช้กับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรง น้อย-ปานกลาง สามารถขึ้นรูป/เชื่อม/ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี มีความแข็งแรงหลังทำ Heat Treatment เนื่องจากสูญเสียความแข็งแรงระหว่างการเชื่อม

- AA 7020 สามารถตัดแต่งได้ดี เหมาะกับการใช้งานบนพื้นดิน

- AA 7075 (Aircraft Alloy) แข็งแรง สามารถตัดแต่งดี ไม่เหมาะกับงานเชื่อม และสภาวะกัดกร่อน

(3) กลุ่ม Tooling Plate

- Rolled Plate คือ 5000 series เป็นเกรด Super Annealed มีความเสถียรและความเที่ยงตรงสูง

- AA 5558 ออกแบบเพื่อใช้เป็นงานเครื่องมือ โดยเฉพาะฐานเครื่องจักร สามารถเชื่อมขัดเงา เคลือบสี

- Cast Plate ผ่านการอบคลายเครียด (Stress Relieved) มาแล้ว เหมาะกับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง (Precision Applications) เช่น แผ่นยึดอุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อม/เคลือบสีและมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ไม่เหมาะกับการขึ้นรูป (No Forming)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mould / Rolled Tooling Plate มีความทนทาน เหมาะทำเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักร  
แม่พิมพ์พลาสติก เครื่องรีด งานกลึง (Turning Operation)

ตารางที่ 2.1 ตารางคุณสมบัติของอลูมิเนียมอัลลอยด์

Physical Properties	Value	Unit
Density	2.7	g/cm <sup>3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	2.3e-005	C <sup>-1</sup>
Reference Temperature	22	°C
<b>Mechanical Properties</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>
Hardness, Brinell	95	-
Hardness, Knoop	120	-
Hardness, Rockwell A	40	-
Hardness, Rockwell B	60	-
Hardness, Vickers	107	-
Bulk modulus	71	GPa
Poisson's ratio	0.33	-
Young's modulus	69.6	GPa
Ultimate Tensile Strength	310	MPa
Tensile Yield Strength	276	MPa
Elongation at Break	12	%
Elongation at Break	17	%
Modulus of Elasticity	68.9	GPa
Notched Tensile Strength	324	MPa
Ultimate Bearing Strength	607	MPa
Bearing Yield Strength	386	MPa
Fatigue Strength	96.5	MPa
Fracture Toughness	29	MPa-m
Machinability	50	%
Shear Modulus	26	GPa
Shear Strength	207	MPa
Ultimate Tensile Strength	310	MPa
<b>Electrical Properties</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>
Electrical Resistivity	3.99e-006	ohm-cm
<b>Thermal Properties</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ตารางคุณสมบัติของอลูมิเนียมอัลลอยด์

Physical Properties	Value	Unit
CTE, linear 68F	23.6	m/m-C
CTE, linear 250C	25.2	m/m-C
Specific Heat Capacity	0.896	J/g-C
Thermal Conductivity	167	W/m-K
Melting Point	582 - 652	C
Solidus	582	C
Liquidus	652	C
Processing Properties	Value	Unit
Solution Temperature	529	C
Aging Temperature	160 - 177	C

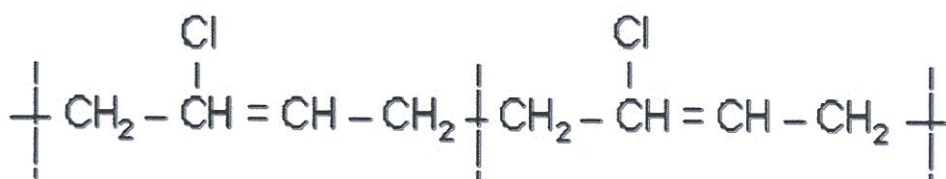
#### 2.8.4 ยางคลอโรพรีนหรือยาง CR (Chloroprene Rubber)



รูปที่ 2.50 Neoprene Rubber

ยางคลอโรพรีนมีชื่อทางการค้าว่า ยางนีโอพรีน (Neoprene) เป็นยางสังเคราะห์จากคลอโรพรีนโมโนเมอร์ (Chloroprene Monomer) โมเลกุลของยางคลอโรพรีนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ยางชนิดนี้จึงสามารถตกผลึกได้เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นยางคลอโรพรีนจึงมีค่าความทนต่อแรงดึงสูง (โดยที่ไม่ใส่สารตัวเติม) นอกจากนั้นยังมีความทนต่อการฉีกขาดและการขีดถูสูงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.51 สูตรโครงสร้างของยาง CR

ยางคลอโรพรีนที่อยู่ในรูปของแข็งแบ่งออกเป็นประเภทใช้งานทั่วไปและประเภทใช้งานพิเศษ ประเภทใช้งานทั่วไป ได้แก่ เกรด G W T และประเภทใช้งานพิเศษ ได้แก่ เกรด AC AD AG และ FB เป็นต้น ซึ่งใช้สำหรับงานเฉพาะ เช่น ทำคาวยาง ยางใช้เคลือบ (Coating) และ Sealants โครงสร้างของยางคลอโรพรีนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการโพลิเมอไรซ์และมีผลโดยตรงต่อกระบวนการตกผลึกหรือต่อความยืดหยุ่นของยาง ถ้าอุณหภูมิการโพลิเมอไรซ์สูงขึ้นจะได้อย่างที่มีโครงสร้างที่สม่ำเสมอหน่อยลง มีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่ปกติ ทำให้อัตราการตกผลึกของยางต่ำลง ในทางตรงกันข้ามยางคลอโรพรีนที่ได้จากการโพลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำจะยังมีอัตราการตกผลึกสูง ซึ่งสมบัติเช่นนี้เป็นที่ต้องการของการผลิตกาวที่ต้องการความเหนียวติดทนที่ อย่างไรก็ตามเกรดนี้ไม่เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพราะยางจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วและสูญเสียความยืดหยุ่น ดังนั้นยางคลอโรพรีนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไปจึงต้องเป็นเกรดที่ตกผลึกได้น้อย

ยางคลอโรพรีนมีสมบัติคล้ายยางธรรมชาติ คือ มีความเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี ทำให้สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบจากหลายชิ้นส่วนได้ดี ยางคลอโรพรีนยังสามารถไหลเข้ามาเชื่อมกันได้ไม่ก่อให้เกิดปัญหารอยต่อของชิ้นงานในระหว่างการขึ้นรูปในบ้าพิมพ์ เนื่องจากยางคลอโรพรีนเป็นยางที่มีขี้เพราะประกอบด้วยอะตอมของคลอรีน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางที่ไม่มีขี้พบว่ายางคลอโรพรีนจะทนต่อการบวมพองในน้ำมันได้ดี (แต่ยังด้อยกว่ายาง NBR) นอกจากนี้อะตอมของคลอรีนยังทำให้ยางคลอโรพรีนมีสมบัติที่ดีในด้านการทนต่อเปลวไฟ สภาพอากาศ และโอโซน อย่างไรก็ตามอะตอมของคลอรีนก็มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของยาง กล่าวคือ ทำใหยางนำไฟฟ้าได้มากขึ้น ยางคลอโรพรีนจึงจัดอยู่ในกลุ่ม “Antistatic” ไม่ใช่กลุ่มที่เป็นฉนวน ดังนั้นยางชนิดนี้จึงไม่สามารถใช้เป็นฉนวนของสายเคเบิลได้แต่อาจใช้เป็นยางปลอกนอกของสายเคเบิลได้

ยางคลอโรพรีนเกรดที่สามารถตกผลึกได้เล็กน้อยถึงปานกลางจะถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อการติดไฟ ทนต่อน้ำมัน สภาพอากาศทั่วไป และโอโซน ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ยางซีล ท่อยางเสริมแรง ยางพันลูกกลิ้ง สายพานยาง สายพานรูปตัววี (V-belt) ยางกันกระแทก (Bearing) ยางบุ (Lining) พื้นรองเท้า และผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา และยางปลอกสายเคเบิล ส่วนยางคลอโรพรีนเกรดที่ตกผลึกได้มากจะนิยมใช้ในการผลิตกาวยาง

ตารางที่ 2.2 ตารางคุณสมบัติของยางนีโอพรีน

Physical Properties	Value	Unit
Temperature Range	-25 - 90	<sup>0</sup> C
Abrasion	400	mm <sup>3</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ตารางคุณสมบัติของยางนีโอพรีน

Physical Properties	Value	Unit
Adhesion to Metal	25	lbs
Mechanical Properties	Value	Unit
Hardness	65 <sup>0</sup> +/- 5 <sup>0</sup>	-
Tensile Strength	7	MPa
Tear Strength	20	N/mm
Specific Gravity	1.35	g/cm <sup>3</sup>
Elongation	300	%
Compression Set	32	%

### 2.8.5 ซุปเปอร์ลีน (SUPERLENE NYLON)



รูปที่ 2.52 ซุปเปอร์ลีน (SUPERLENE NYLON)

ซุปเปอร์ลีน (SUPERLENE NYLON) คือ พลาสติกวิศวกรรมชนิดหนึ่ง มีลักษณะทางกายภาพเป็นวัตถุทึบแสง มีสีขาวค่อนข้างใส คุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความแข็ง เหนียว ไม่เสียรูปทรงง่าย เหมาะสำหรับงานรับแรงมากๆ ทนต่อการกัดกร่อนและทนต่อการเสียดสี ไม่ทนต่อสารเคมีที่เป็นกรดเข้มข้น

(1) Nylon [PA6] คือ พลาสติกเทคนิคประเภท ไนลอน 6 มีลักษณะทางกายภาพเป็นวัตถุทึบแสง คุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความแข็งเหนียว ไม่เสียรูปทรงง่าย เหมาะสำหรับงานรับแรงมากๆ ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสี Nylon 6 เหมาะสมกับการนำมาใช้งานประเภททำเฟือง ล้อ ลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Polyacetal [ POM ] คือ พลาสติกเทคนิคประเภท โพลีอะซิทัล มีลักษณะทางกายภาพเป็นวัสดุทึบแสง มีค่า Tensile strength และ Stiffness ที่สูงมาก มีความแข็ง ลื่น มีสปริงทนต่อการเสียดสี และยืดหยุ่นได้ดีในอุณหภูมิที่สูงและต่ำ ซึ่งเป็นปมเด่นของการคงสภาพรูปทรงที่ดี ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ทดแทนเหล็ก โดยเฉพาะของเกียร์ ฟันเฟือง ซึ่งมักจะทำจากโลหะ โดยมีข้อเสียที่มีน้ำหนักมาก เสียดสี และต้องการหล่อลื่นตัวน้ำมัน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการเปราะเปื้อน และง่ายต่อการสึกกร่อน

(3) Teflon [PTFE] คือ พลาสติกเทคนิคประเภท เทฟลอน มีน้ำหนักโมเลกุล 9,000,000 กรัม/ลบ.ซม3 เทฟลอนเหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องทนทานอุณหภูมิสูงๆ อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ได้อย่างต่อเนื่อง คือ 260 °C และใช้สูงกว่านี้ได้ในระยะสั้น อุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้ได้คือ - 290 °C เทฟลอน นำไปใช้งานที่ต้องทนการกัดกร่อนของสารเคมี และใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปได้ เช่น หน้าแปลน ซีลบอลวาล์ว ซีลไฮดรอลิก ที่รับแรงดันสูงหรือมีความร้อน เช่น ไฮดรอลิกทรานส์แอคเตอร์ รถยก เครื่องฉีดพลาสติก บูชที่ต้องการความลื่นตัวและทนต่อความร้อนสูง ชิ้นส่วนของเครื่องกรอง หัวฉีด ฟันสี

(4) Polythylene [UHMW – PE 1000] คือ พลาสติกเทคนิคชนิดหนึ่งประเภท โพลีเอททิลีน ชนิดมีความหนาแน่นของโมเลกุล มีลักษณะทางกายภาพเป็นวัสดุทึบแสง ปกติจะมีสีขาวขุ่น ผิวมีลักษณะลื่นคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ มีความหนาแน่นของโมเลกุลสูงถึง 6,000,000 โมล/กรัม จึงส่งผลให้ UHMW – PE 1000 มีความทนทานต่อการสึกหรอสูงมาก เหมาะกับงานที่ต้องการความทนทานต่อแรงกระแทกและเสียดสี นอกจากนี้แล้วยังคงทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีด้วย

โดยคุณสมบัติพื้นฐานแล้ว UHMW – PE 1000 เป็นสารไม่มีพิษ ไม่ละลายเจือปนกับน้ำหรืออาหาร จึงใช้ในงานที่ต้องสัมผัสกับอาหารได้ โดยได้รับการรับรองคุณสมบัตินี้จากกระทรวงสาธารณสุข แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันการนำ UHMW – PE 1000 ไปใช้จะเหมาะสมกับการใช้งานดังต่อไปนี้ แท่นรอง กระจกสวย ลูกกรอกเครื่องขนถ่ายสินค้าลิ้นวาล์ว ลูกกรอกนำสายพานลำเลียง ลูกล้อรถเข็น สลิปเปอร์ลิฟท์ บูชชิ้นงานที่ต้องการความลื่นตัวสูง ดับลูกปืนบูชเรือเดินทะเล เรือประมง รางเลื่อน เขียงรองรับใบมีด รวมทั้งงานที่ต้องการเสียดสีตลอดเวลา

(5) CAST NYLON (คาสต์ ไนลอน) ชื่อทางเคมีคือ Cast Polyamides (PA 6C) ที่ได้มาจากกระบวนการ Polymerization (โพลีเมอร์ไรเซชัน) และถูกหล่อในแม่พิมพ์ที่มีสภาพความดันอากาศสูง ทำให้ได้ Superlene Nylon (ซูเปอร์ลีนไนลอน) ที่มีคุณสมบัติสูงกว่าซูเปอร์ลีนไนลอนทั่วไป เช่น มีความแข็งแรงมากกว่า ทนอุณหภูมิสูงได้มากกว่า เราเรียกซูเปอร์ลีนไนลอนประเภทนี้ว่า CAST NYLON (คาสต์ ไนลอน) CAST NYLON (คาสต์ ไนลอน) ยังมีการเพิ่มสารเติมแต่ง(Filler & Additive) โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ (Molybdenum Disulphide MoS2) ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก แรงเสียดทาน คงสภาพในความร้อน (Heat Stability) ฯลฯ ได้มากขึ้น

#### (5.1) คุณสมบัติของ CAST NYLON (คาสต์ ไนลอน) แผ่น

- ทนการกัดกร่อนสูง
- ทนสารเคมี
- ทนแรงกระแทก แรงเสียดทาน เสียดสี แรงเฉือน
- มีน้ำหนักเบา ประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อน
- ใช้งานในความร้อนได้สูงขึ้น นานขึ้น

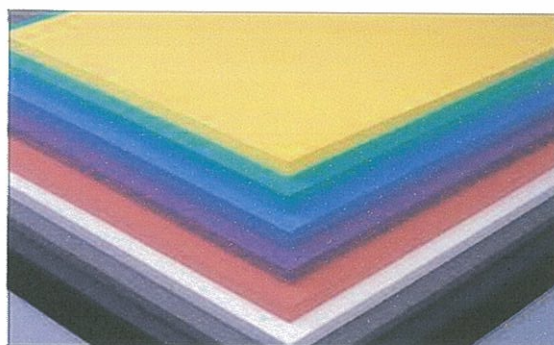
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5.1) ลักษณะการใช้งาน CAST NYLON (คาสต์ ไนลอน) แผ่นใช้ทำใบพัด ลูกกลิ้ง บูช เกียร์ แผ่นรองกันสีก แผ่นรองเลื่อน วาล์ว ซีล รอก ชุดบังคับเครน ชิ้นส่วนสายพาน ลำเลียง ชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 ตารางคุณสมบัติของซูเปอร์ลีน

Physical Properties	Value	Unit
Specific gravity	1.13	g/cm <sup>2</sup>
Water absorption	3	%
upper temperature limit	85	c
lower temperature limit	-40	c
Density	1.14	g/cm <sup>3</sup>
Mechanical Properties	Value	Unit
Breakage stress	75	Mpa
Ball indentation hardness	150	N/mm <sup>2</sup>
Elongation at break	60	%
Notchaed impact strength	5	kJ/m <sup>2</sup>
Electrical Properties	Value	Unit
Breakthrough resistance	25	kV/mm
Thermal/Other Properties	Value	Unit
Water absorption(in water at 23c)	9	%
Thermal conductivity	0.25	W/(K m)
Melting point	220	C
Service temperature	40 - +90	c
Short time temperature resistance	up to +160	c

### 2.8.6 ยาง EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 2.53 ยาง EVA อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVA เป็นพอลิเอทิลีนของอะซิเตทและไวนิล น้ำหนักร้อยละไวนิลอะซิเตทมักจะแตกต่างกันไป 10-40% กับเอทิลีนเป็นส่วนที่เหลือ มีระดับสูงของสารเคมีข้ามการเชื่อมโยง ผลที่ได้คือผลิตภัณฑ์กึ่งแข็งที่มีโครงสร้างเซลล์ปรับรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในหลากหลายสถานการณ์และการประยุกต์ใช้

มันเป็นโพลิเมอร์ที่วิธีการทดสอบวัสดุประเภทยางในความนุ่มนวลและมีความยืดหยุ่นและยังสามารถดำเนินการได้เช่นพลาสติกอื่น ๆ วัสดุที่มีความชัดเจนที่ดีและความมันเงา, คุณสมบัติ, barrier, ความทนทานอุณหภูมิต่ำความต้านทานต่อความเครียด crack, กาวน้ำร้อนละลายคุณสมบัติของหลักฐานและการทนต่อรังสียูวี EVA มีกลิ่นน้อยหรือไม่มีเลยและสามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ยางและเรซินในการใช้งานไฟฟ้าจำนวนมาก

### (1) การประยุกต์ใช้งานยาง EVE

กาวร้อนละลาย, sticks กาวร้อนมักจะทำจาก EVA, มักจะมีสารเติมแต่งเช่นซีฟี่ง์และเม็ดพลาสติก EVA ยังใช้เป็นสารเติมแต่ง clingingness - เพิ่มใน wraps พลาสติก

EVA ยังใช้ในการประยุกต์ใช้วิศวกรรมชีวการแพทย์เป็นอุปกรณ์นำส่งยา โพลีเอทิลีนจะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (เช่นคลอไรด์เมทิลีน) ยาผงและบรรจุ (โดยปกติ น้ำตาลเจือย) มีการเพิ่มเพื่อแก้ปัญหาสภาพคล่องและผสมอย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนผสมของยาเสพติดฟิลเลอร์เมอร์เป็นแล้วโยนลงในแม่พิมพ์ที่ -80 องศาและแช่แข็งจนกว่าจะแห้งแข็ง อุปกรณ์เหล่านี้ใช้ในการวิจัยเพื่อการส่งมอบยาเสพติดค่อยๆปล่อยสารในช่วงเวลา ในขณะที่ลิเมอร์จะไม่ย่อยสลายได้ภายในร่างกายก็จะเฉื่อยมากและเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาน้อยหรือไม่มีการฝังดังต่อไปนี้

EVA เป็นหนึ่งในวัสดุที่รู้จักกันแพร่หลายเป็น 'ยางขยาย' หรือ 'ยางโฟม' โฟม EVA ใช้เป็นช่องว่างในอุปกรณ์สำหรับการเล่นกีฬาต่างๆเช่นรองเท้าสกี, ฮอกกี้, มวย, ศิลปะการต่อสู้ผสม, รองเท้า Wakeboard, รองเท้า waterski และทบประมง มันจะใช้มักจะเป็นโซ้คัพในรองเท้ากีฬา ตัวอย่างเช่น นอกจากนี้เนื่องจากของการพุงของ EVA ได้ทำทางลงผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่แบบดั้งเดิมเช่นแว่นตาลอย นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมพลังแสงอาทิตย์พลังเป็นวัสดุห่อหุ้มเซลล์ซิลิคอนในการผลิตของโมดูลไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ รองเท้า EVA และรองเท้าแตะในปัจจุบันที่นิยมมากเพราะจากคุณสมบัติเช่นน้ำหนักเบาต่อการแม่พิมพ์, กลิ่น, เป็นเงา, และราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ ในแท่งประมงจะใช้ในการสร้างการจัดการในปลายคั่นกัน -

อีมีลชั่น EVA เป็นโคโพลิเมอร์โพลีไวนิล (PVAc) acetate อยู่บนพื้นฐานของไวนิลอะซิเตท (VAM) plastized ภายในกับไวนิลอะซิเตท ethylene (VAE) PVAc copolymer เป็นกาวที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์สิ่งทอ,, การทำปกหนังสือสำหรับพันธะฟิล์มพลาสติก, โลหะ, กระดาษเคลือบ

### (2) การใช้งาน

กายอุปกรณ์ , บุหรี่ปลอดภัยไฟไหม้ , กระดานโต้คลื่นและแผ่นดูด Skimboard และสำหรับการผลิตของดอกไม้ประดิษฐ์บางอย่าง นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเติมแต่ง Clingingness - เพิ่มใน Wraps พลาสติก, Improver ไทลเย็นสำหรับน้ำมันดีเซลและ Separater ในแผ่นกรอง HEPA EVA ถูกตัดได้อย่างง่ายดายจากแผ่นและแม่พิมพ์ให้กับรูปร่าง นอกจากนี้ยังใช้เพื่อให้เทอร์โม mouthguards ที่อ่อนตัวลงในน้ำเดือดเป็นแบบเฉพาะของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางคุณสมบัติของEVA

Properties	Value	Unit
Density	0.96	g/cm <sup>3</sup>
Dielectric Constant (Relative Permittivity)	2.8	
Dielectric Strength (Breakdown Potential)	21	kV/mm
Elastic (Young's, Tensile) Modulus	0.015	GPa
Elongation at Break	800	%
Melting Onset (Solidus)	55	°C
Specific Heat Capacity	1400	J/kg-K
Strength to Weight Ratio	3	kN-m/kg
Tensile Strength: Ultimate (UTS)	3	MPa
Thermal Conductivity	0.34	W/m-K
Vicat Softening Temperature	45	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

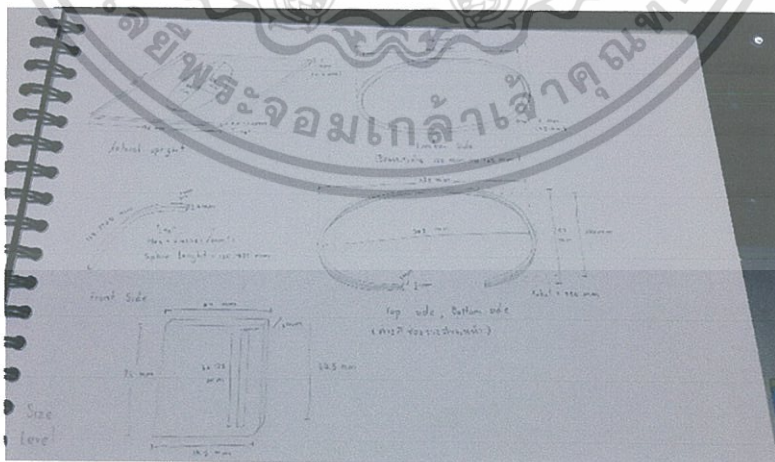
## 3.1 ออกแบบอุปกรณ์

### 3.1.1 ส่วนโครง

เราเริ่มจากออกแบบโดยการสเก็ตซ์ภาพบนกระดาษก่อนแล้วค่อยวาดแบบในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SpaceClaim 2014 จากนั้นโปรแกรม KISSlicer64 เพื่อปรับขนาดคุณสมบัติ และตั้งค่าต่างๆ สำหรับการทำงานของเครื่อง 3D Printer ใช้พลาสติกชนิด PLA เป็นวัสดุในการทำ

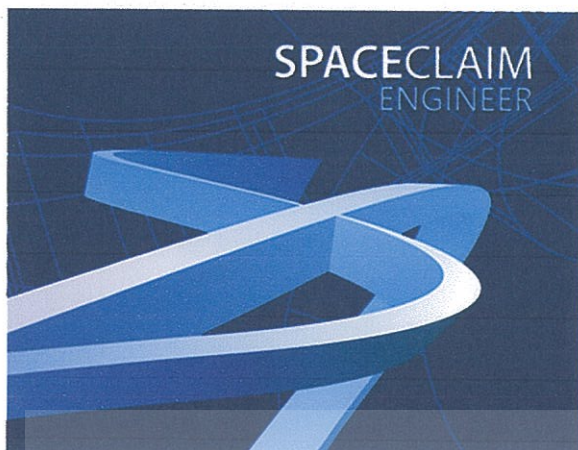


ก1



ก2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข



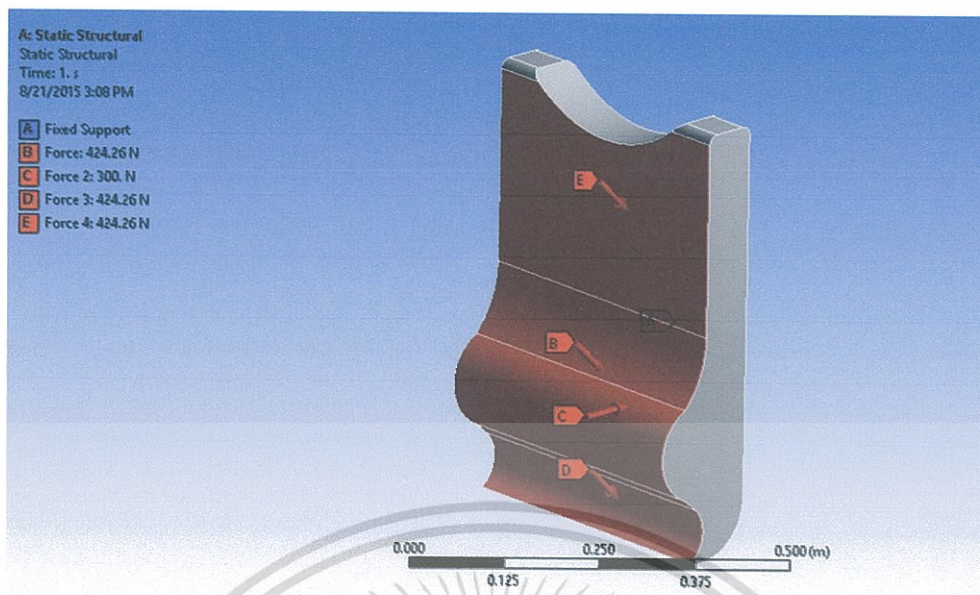
ค

รูปที่ 3.1 ก(1,2) ภาพสเก็ตอุปกรณ์ช่วยพุง ข) โปรแกรม Spaceclaim กับ Model ที่ครอบ ค) โปรแกรม KISSlicer

### 3.1.2 เบาะเสริมพุงบริเวณหลังส่วนล่าง

ออกแบบตัวเบาะจำลองด้วยโปรแกรม SpaceClaim 2014 แล้วใช้โปรแกรม ANSYS จำลองการรับแรง 300 N (45% ของน้ำหนัก 66kg) ตามตำแหน่งรูปที่ 3.2 คุณสมบัติของวัสดุในแบบจำลองเลือกใช้ยาง (ruber) เป็นตัวจำลอง

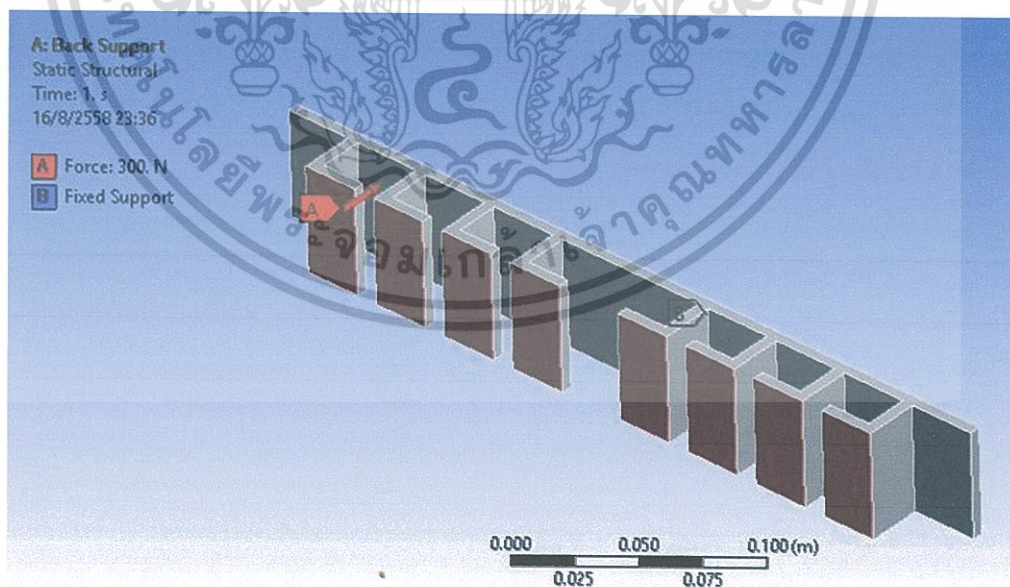
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของเบาะเสริมบริเวณหลังส่วนล่าง

### 3.1.3 เบาะเสริมพยางสะบัก

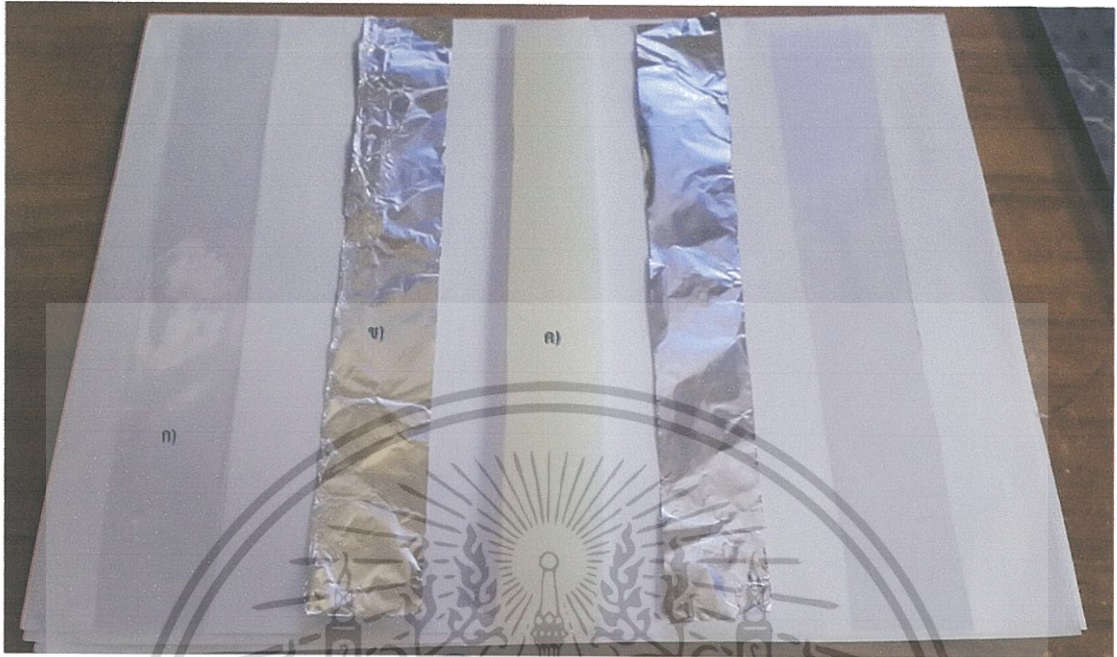
ออกแบบตัวเบาะจำลองด้วยโปรแกรม SpaceClaim 2014 แล้วใช้โปรแกรม ANSYS จำลองการรับแรง 300 N (45% ของน้ำหนัก 66kg) ตามตำแหน่งรูปที่ 3.3 คุณสมบัติของวัสดุในแบบจำลองเลือกใช้ลูมิเนียมอัลลอยเป็นตัวจำลอง



รูปที่ 3.3 แบบจำลองของเบาะเสริมบริเวณสะบัก

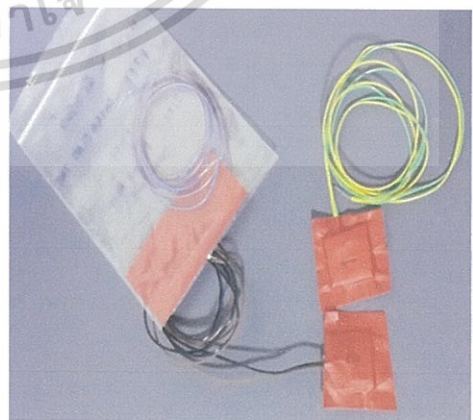
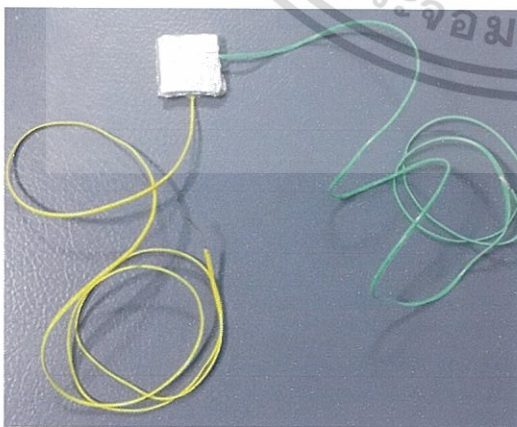
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ออกแบบ Flex Sensor และ Force Sensor



รูปที่ 3.4 Sensor Materials ก) พลาสติกใส ข) อะลูมิเนียมฟอยล์ ค) ซิลิโคน

ตัวเซนเซอร์ทำขึ้นจากแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ติดกับพลาสติกใสสองแผ่น นำมาประกบโดยคั่นกลางด้วยแผ่นซิลิโคน และอีกแบบใช้กระดาษแทนซิลิโคน ตัวกำหนดคุณสมบัติว่าตัวเซนเซอร์วัดค่า Force หรือวัดค่าโค้งงอคือวัสดุในชั้นกลางนี้ หากเป็นวัสดุที่มีความหนาและยืดหยุ่นคืนรูปได้จะเป็นเซนเซอร์ชนิดอ่านค่าแรงหรือ Force Sensor ส่วน Flex Sensor ใช้วัสดุที่มีลักษณะบาง โค้งงอได้ซึ่งโครงสร้างนี้แม้ใช้วัสดุบางก็รับค่าแรงกดได้แต่ไม่เหมาะสมเท่าใช้วัสดุที่มีความหนา วัสดุที่นิยมใช้เพื่อการทดลองและนำมาใช้ในโปรเจกต์นี้

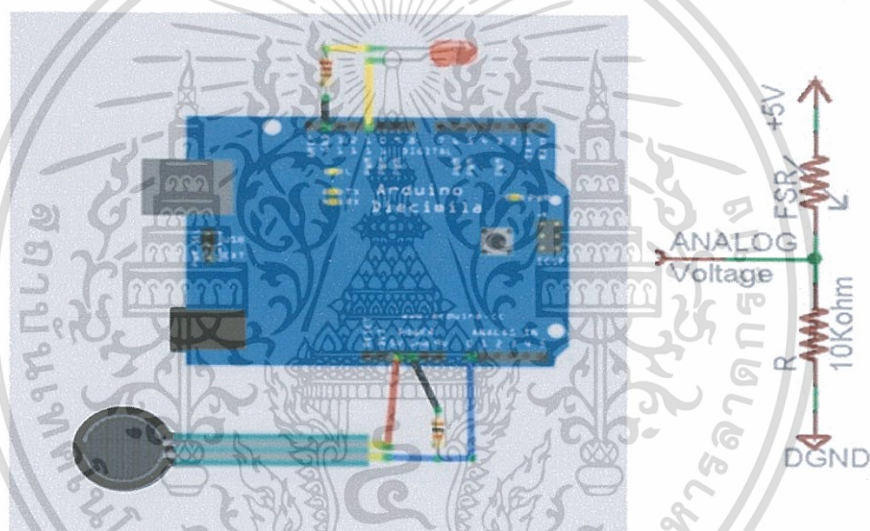


รูปที่ 3.5 Flex Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งเซนเซอร์ไว้ที่อุปกรณ์บริเวณหลังส่วนล่าง เริ่มที่วงจร Wien Bridge Oscillator ทำหน้าที่สร้างสัญญาณ Sine Wave สัญญาณขาออกจากวงจรนี้จะส่งต่อไปยังเซนเซอร์โดยตรง เซนเซอร์วัดแรงจากการก้มหรืองอหลัง ค่าเอาต์พุตที่ได้ส่งต่อไปยัง วงจร Current to Voltage กระแสที่ไหลผ่านเซนเซอร์จะถูกแปลงให้เป็นแรงดัน (เพราะ Port A2D ของไมโครคอนโทรลเลอร์วัดระดับแรงดันอนาล็อก) สัญญาณที่ออกจากวงจร current to voltage ยังเป็นกระแสสลับอยู่เลยต้องแปลงมันให้กลายเป็นกระแสตรงด้วยวงจร Full-wave Precision rectifier และสุดท้ายด้วยวงจร Non-Inverting DC gain เพื่อขยายสัญญาณให้อยู่ในช่วงแรงดันที่วัดได้ แต่ในกรณีเราจะใช้เพียงวงจรพื้นฐานในการอ่านค่าเท่านั้นเนื่องจากวัตถุประสงค์ของมันสำหรับงานวิจัยนี้ใช้มันเป็นเพียงเป็นเซนเซอร์ตรวจจับการโก่งหลังเกินกำหนดเท่านั้น หากต้องการ plot graph หรืออ่านค่าเฉพาะต้องใช้วงจรรวมด้านบนเพื่อคัดกรองให้ได้สัญญาณที่ถูกต้องแม่นยำกว่า

### 3.3 วงจร Read sensor Arduino (Simple demonstration of use)



รูปที่ 3.6 วงจร Read sensor Arduino

#### 3.3.1 โค้ดสำหรับอ่านค่าด้วยโปรแกรม Arduino และโค้ด Plot Graph ด้วย MATLAB

Arduino รับค่าจากตัวเซนเซอร์มาเข้า Port A0 โดยประกาศชื่อตัวคงที่ ADC (Read the Analog to Digital converter) ใช้คำสั่งอ่านค่าคือ `analogRead(pin)` เมื่อได้ค่าเป็นตัวเลขออกมาก็ส่งค่าเหล่านั้นไปยัง MATLAB โดยใช้คำสั่ง `comport` รับค่า ซึ่งต้องกำหนดซีเรียลเพื่อรับ `numberPort` เดียวกับที่ Arduino ใช้รับและค่า `Baud` เดียวกันเพื่อรับค่าในอัตราเร็วเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code Arduino for testing sensor:

```

int fsrPin = 0;
int fsrReading;
void set up(void){
    Serial.begin(9600);
}
void loop(void) {
    fsrReading = analogRead(fsr);
    serial.print("Analog reading = ");
    serial.print(fsrReading);
    if (fsrReading<10) {
        Serial.println(" - No pressure");
    } else if (fsrReading < 200) {
        Serial.println(" - Light touch");
    } else if (fsrReading < 500) {
        Serial.println(" - Light squeeze");
    } else if (fsrReading < 800) {
        Serial.println(" - Medium squeeze");
    } else {
        Serial.println(" - Big squeeze");
    }
    Delay(1000);
}

```

Code Arduino for Reading :

```

#define ADC1 A0
int SensorValue;
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
}
void loop()
{
    SensorValue = analogRead(ADC1);
    Serial.println(SensorValue);
    delay(100);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

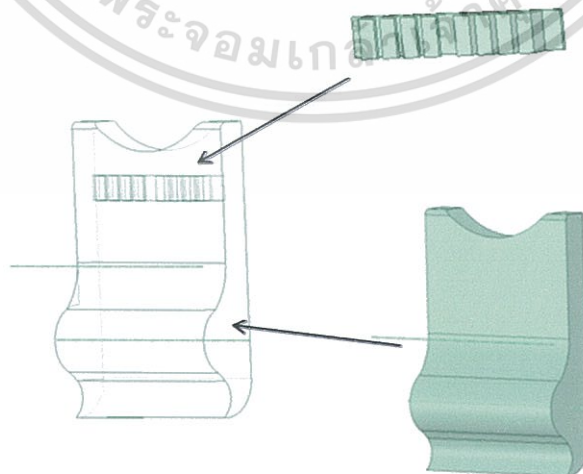
Code MATLAB :

```

clc;
clear all;
comport = serial('COM3', 'BaudRate', 115200);
fopen(comport);
x=0;
while(x<200)
    x=x+1;
    y1(x)=fscanf(comport, '%d');
drawnow;
plot(y1,'r--','linewidth',3)
grid on;
hold on;
title(Polt Graph Real Time);
xlabel('Time in seconds');
ylabel('Digital Value');
pause(0.1);
end
fclose(comport);
delete(comport);

```

## 3.4 รวบรวมองค์ประกอบสองชิ้นของเบาะแบบแรก

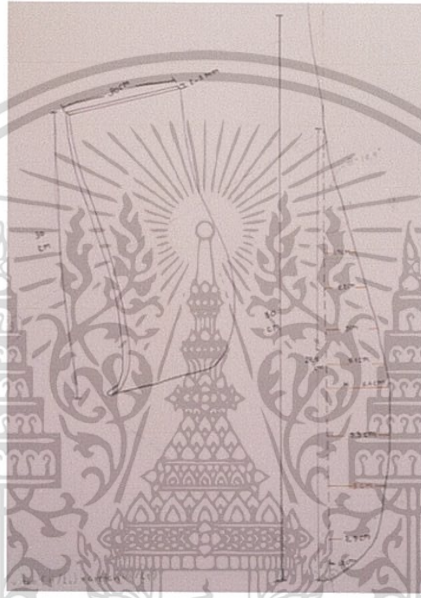


รูปที่ 3.7 ภาพรวมของเบาะแบบแรกหลังใช้คำสั่งcombine

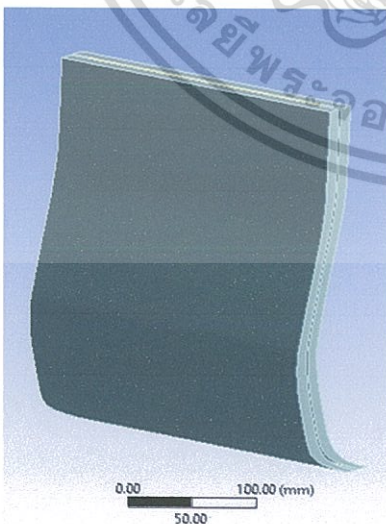
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการสร้างแบบส่วนประกอบทั้งสองแล้วก็ใช้คำสั่ง combine ในโปรแกรม SpaceClaim เลือกตัวเบาที่ทำจากยางนีโอพรีน (Neoprene rubber) เป็น component และส่วนที่เลือกเป็นแบบตัดเพื่อสร้างช่องภายในตัวเบา คือ ส่วนที่ใช้วัสดุโลหะอะลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys) ตั้งค่าแรงและจุดฟิก(Fixed)แบบเดียวกับใส่ตอนทดลองเฉพาะชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเพื่อจำลองการรับแรงในเวลาเดียวกัน

### 3.5 แบบเบาที่สอง (Second design) และกำหนดค่าการจำลอง



รูปที่ 3.8 แบบร่างของเบาที่สอง

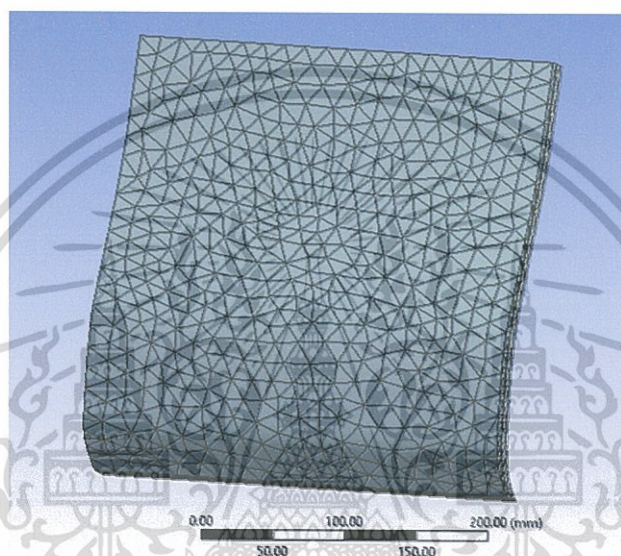


รูปที่ 3.9 แบบเบาที่สองในโปรแกรม SpaceClaim

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่สองทำการลดขนาดเพื่อเพิ่มความคล่องตัวยามเคลื่อนไหวโดยคงความโค้งไว้ตาม สรีระร่างกายด้วยแกนใน ซึ่งเลือกพิจารณาระหว่างอลูมิเนียมแบบผสมกับ superlene (พลาสติกที่ ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดๆ) รูปแบบส่วนโค้งวัดมาจากบุคคลจริง (Object) ส่วนสูงและกว้างประมาณ 30 cm ทั้งนี้อาจมีการพิจารณาปรับเปลี่ยนเพื่อให้เข้ากับผู้ใช้ มากขึ้น

ส่วนการตั้งค่า ถ่ายโอนแบบที่สร้างด้วยโปรแกรม Spaceclaim เข้าโปรแกรมวิเคราะห์ Ansys แล้วประมวลตัว solid ให้อยู่ในรูปแบบ Mesh ที่ดีที่สุดโดยกำหนด Element Size ที่ 15 มิลลิเมตร ความละเอียดอยู่ที่ Fine ดังรูปที่ 3.10



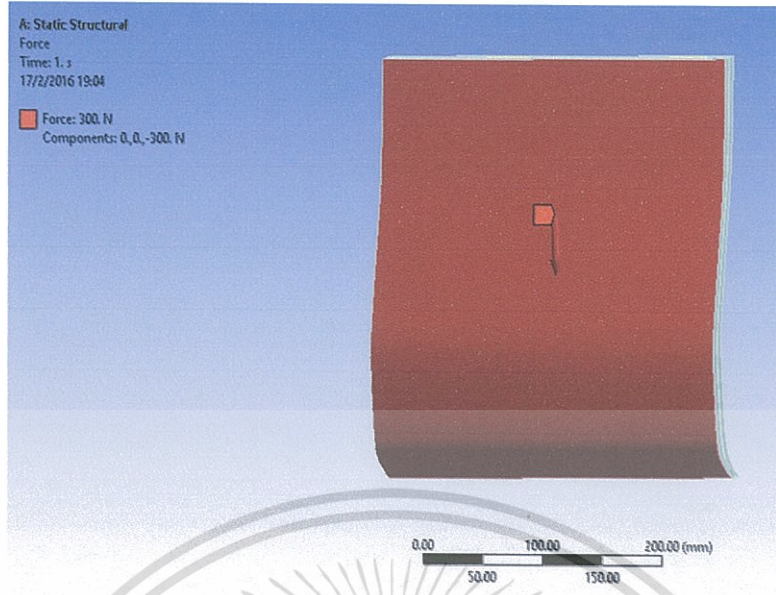
รูปที่ 3.10 เบาะพยางหลังหลังเปลี่ยนเป็นแบบ Mesh

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของ Mesh

Type	Tetrahedral
Nodes	19848
Elements	9474

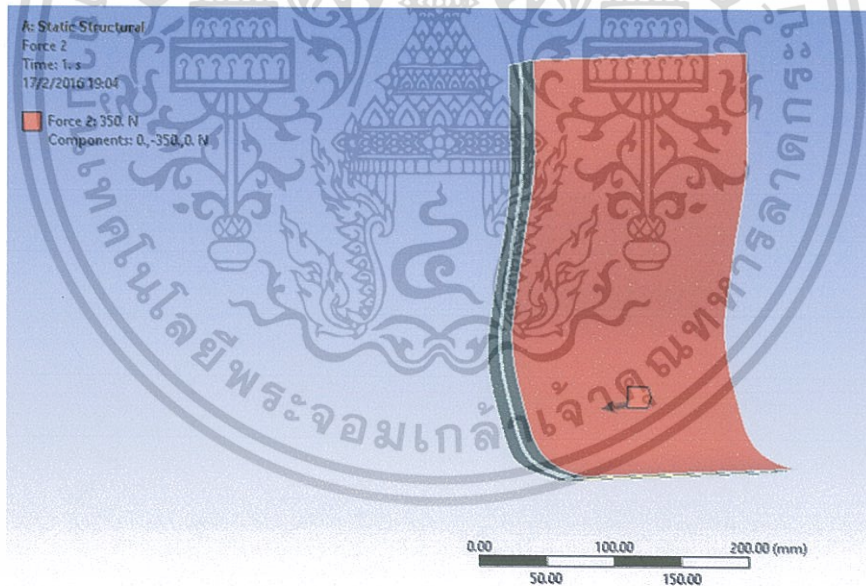
ค่าแรงที่ใส่ไปเพื่อการคำนวณใช้หลักการสมมติเหมือนครั้งที่แล้วคือกระจายแรงน้ำหนักมวลใน เวกเตอร์ต่างๆ ตามกิริยา สำหรับการจำลองครั้งนี้ใช้ท่าทางยามเอนหลังเป็นสถานการณ์พิจารณา โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แรงที่ 1

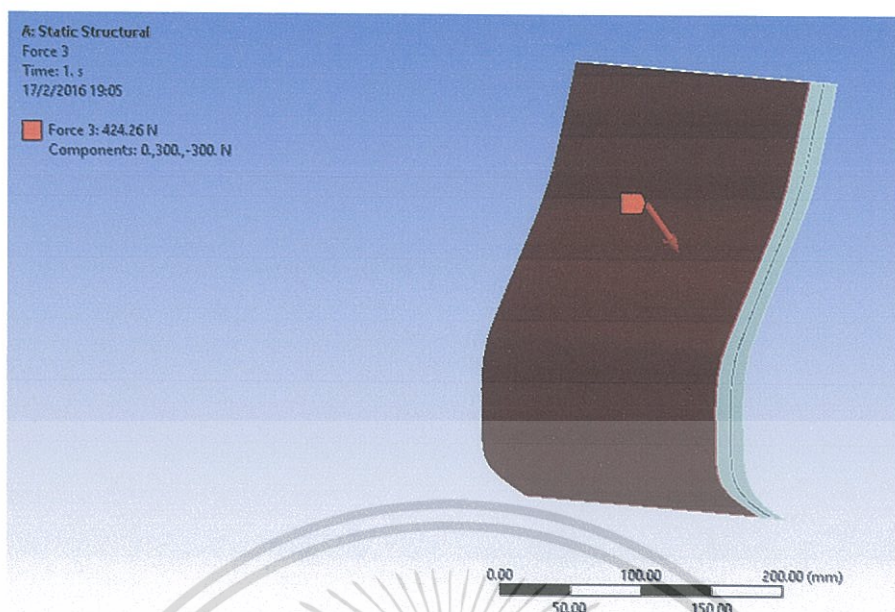
300 นิวตันในทางตรงข้ามแกน Z อิงจากน้ำหนักมวลที่ส่วนมุมโค้งรับเพื่อช่วยพยุง



รูปที่ 3.12 แรงที่ 2

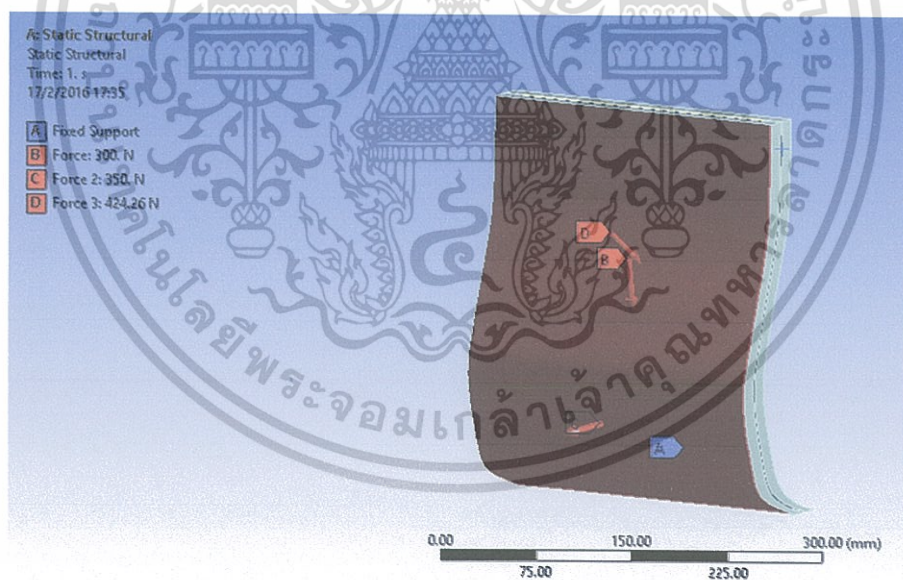
350N (แรงสมมติ) แรงจากผ้าคาดที่พันรอบเอวเนื่องจากต้องรั้งไม่ให้หลุดจึงใส่เข้าไปมากกว่าแรงจากน้ำหนักมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แรงที่ 3

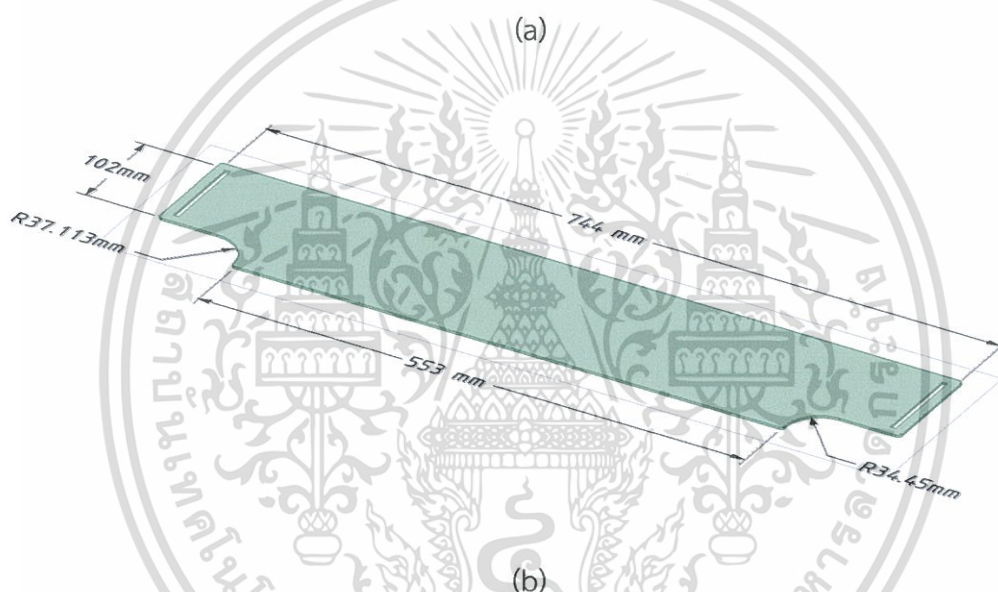
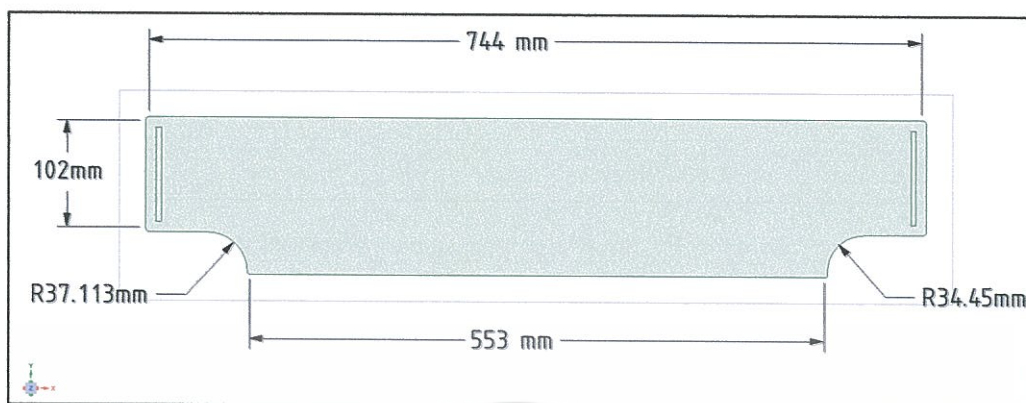
300N ตามแกนและตรงข้ามแกน Z อ้างอิงว่าเป็นแรงเอนหลัง



รูปที่ 3.14 ค่าแรง Input รวม และจุด Fixed ที่พื้นที่ผิวด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 แบบคาดเฮวที่สอง (Second design)



รูปที่ 3.15 แบบจำลองที่คาดเฮวที่สองโดยโปรแกรม SpaceClaim a) ขนาด b) ความหนา

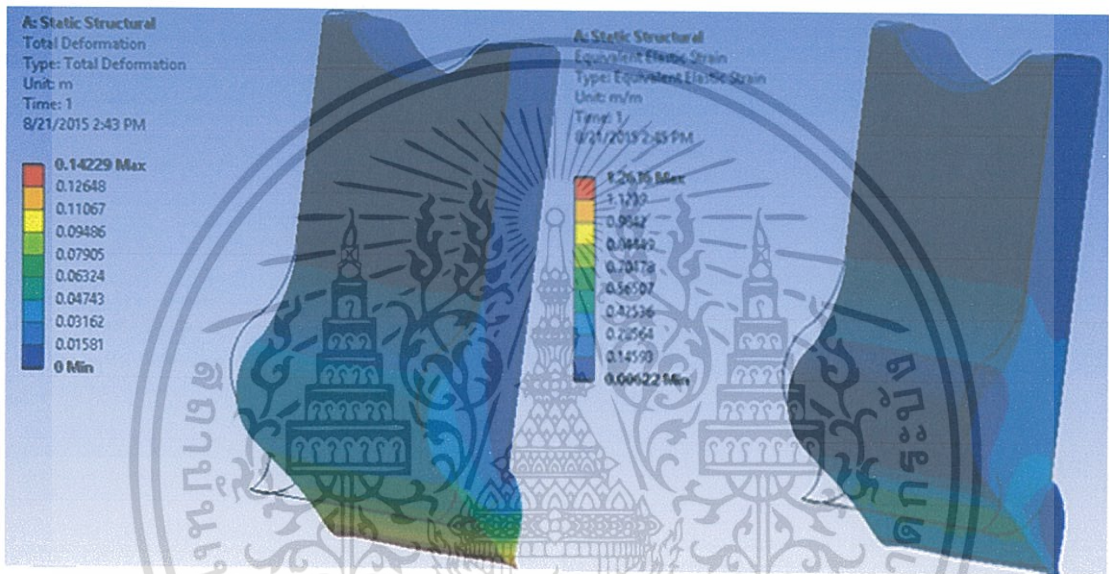
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

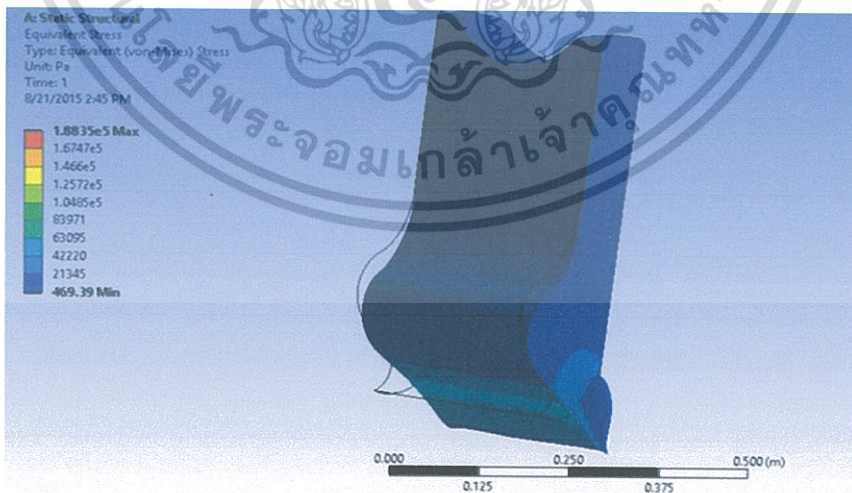
## ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.1 ผลจากการ simulation

ผลที่เลือกใช้มีทั้งหมดสามค่า ได้แก่ ค่า Deformation เป็นค่าแสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลองเมื่อได้รับแรง 300 N , Equivalent of Elastic Strain แสดงค่าสามารถในการคืนรูปเมื่อวัตถุเกิดการเสียรูปหลังได้รับแรง และ Equivalent Stress แสดงค่าความเครียดที่จะเกิดเมื่อรับแรงรุด้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่



ก



ข

รูปที่ 4.1 ก) Deformation กับ Equivalent of Elastic Strain ข) Equivalent Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

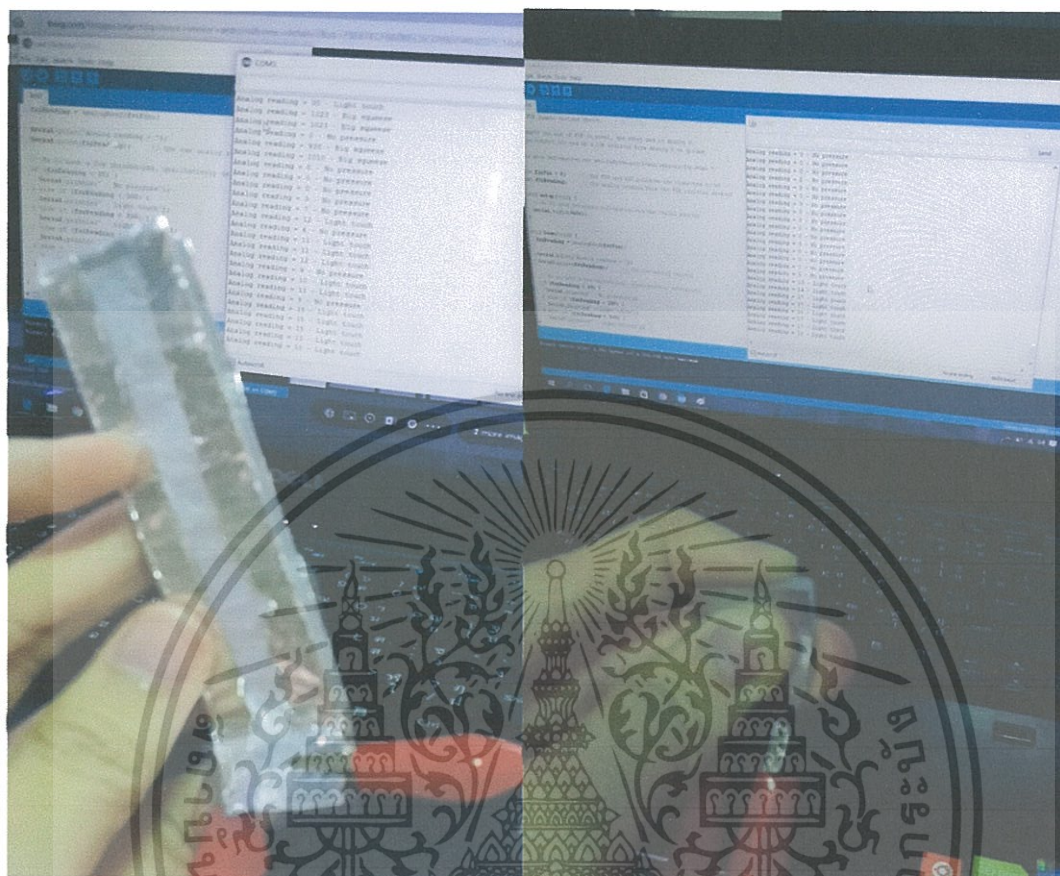
ตาราง 4.1 ตารางค่าแถบสีหลัง Simulation

แถบ สี	ค่า Deformation (m)	แถบสี	ค่า Equivalent of Elastic Strain (m/m)	แถบสี	ค่า Equivalent Stress (Pa)
	0.14229-0.12648		1.2636-1.1239		1.8835e5-1.6747e5
	0.12648-0.11067		1.1239-0.9842		1.6747e5-1.466e5
	0.11067-0.09486		0.9842-0.84449		1.466e5-1.2572e5
	0.09486-0.07905		0.84449-0.70478		1.2572e5-1.0485e5
	0.07905-0.06324		0.70478-0.56507		1.0485e5-83971
	0.06324-0.04743		0.56507-0.42536		83971-63095
	0.04743-0.03162		0.42536-0.28564		63095-42220
	0.03162-0.01581		0.28564-0.14593		42220-21345
	0.01581-0		0.14593-0		21345-469.39

จากภาพแรก ก) แสดงการเปลี่ยนรูปทรง จุดที่เปลี่ยนมากที่สุดเป็นส่วนปลายสุดของเบาะ ในช่วง 0.14229-0.12648 m ภาพ ข) เอร์รี่ที่มีสีฟ้าอ่อนจนอมเขียวคือเอร์รี่ของเบาะที่ทำการคืนรูปหลังแรงกระทำหายไป ค่าอยู่ในช่วง 0.56507-0.28564 m/m และ ภาพ(ค) จุดเอร์รี่ตรงกลางส่วนปลายคือจุดที่มีความเค้นสูงที่สุดอยู่ในช่วง 63095-83971 Pa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดสอบ Flex Sensor



ก)

ข)

### รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบ Flex Sensor

ก) ผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์และซิลิโคนขนาด 160x20 mm ความหนา 4 mm

ข) ผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์และซิลิโคนขนาด 20x20 mm ความหนา 4 mm การทดสอบเซนเซอร์ขนาด 160x20 mm และ 20x20 mm แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ทดสอบเซนเซอร์ขนาด 160x20 mm และ 20x20 mm

เซนเซอร์ขนาด 160x20 mm		เซนเซอร์ขนาด 20x20 mm	
Analog Reading	ระดับการกด	Analog Reading	ระดับการกด
30	Light	0	No pressure
1023	Big	0	No pressure
1023	Big	0	No pressure
0	No pressure	5	No pressure
938	Big	13	Light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ทดสอบเซนเซอร์ขนาด 160x20 mm และ 20x20 mm

เซนเซอร์ขนาด 160x20 mm		เซนเซอร์ขนาด 20x20 mm	
Analog Reading	ระดับการกด	Analog Reading	ระดับการกด
1010	Big	14	Light
0	No pressure	17	Light
0	No pressure	17	Light
0	No pressure	18	Light
3	Light	17	Light
7	Light	17	Light
12	Light	13	Light
6	Light	16	Light
11	Light	19	Light
11	Light	10	Light
12	Light	23	Light
9	No pressure	25	Light
10	Light	0	No pressure
13	Light	0	No pressure
9	No pressure	10	Light
15	Light	0	No pressure
15	Light	17	Light
15	Light	17	Light
10	Light	12	Light

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ขนาด 160x20 mm มีความผันผวนและไม่แน่นอนของค่าสัญญาณ หลังทำการทดสอบโดยการกดตัวเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ปรากฏว่าในจุดที่ห่างจากสายไฟที่ต่อกับอะลูมิเนียมฟอยล์ค่าจะไม่ Big หรือ High pressure เสมอไปและบ่อยครั้งที่ค่าออกมาเท่ากับ 0 หรือ No pressure แต่ถ้างอหรือกดลงบริเวณที่ใกล้กับสายไฟค่าจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่าและสูงกว่ากรณีตรงกลาง ส่วนเซนเซอร์ขนาด 20x20 mm ค่าจะไม่สูงส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ แต่ค่าจะค่อยข้างเป็นมาตรฐานและคาดเดาได้ ด้วยผลทั้งสองสามารถสรุปได้ว่าขนาดของเซนเซอร์มีผลต่อการอ่านค่า

```

test$
int fsrPin = 0; // the FS
int fsrReading; // the an

void setup(void) {
  // We'll send debugging info
  Serial.begin(9600);
}
void loop(void) {
  fsrReading = analogRead(fsrPin);

  Serial.print("Analog reading: ");
  Serial.print(fsrReading);

  // We'll have a few thresholds
  if (fsrReading < 10) {
    Serial.println(" - No pressure");
  } else if (fsrReading < 200) {
    Serial.println(" - Light touch");
  } else if (fsrReading < 500) {
    Serial.println(" - Light touch");
  } else if (fsrReading < 800) {
    Serial.println(" - Medium touch");
  } else {
    Serial.println(" - Big squeeze");
  }
  delay(1000);
}

```

```

COM3
Analog reading = 45 - Light touch
Analog reading = 45 - Light touch
Analog reading = 43 - Light touch
Analog reading = 42 - Light touch
Analog reading = 42 - Light touch
Analog reading = 41 - Light touch
Analog reading = 41 - Light touch
Analog reading = 40 - Light touch
Analog reading = 40 - Light touch
Analog reading = 39 - Light touch
Analog reading = 38 - Light touch
Analog reading = 38 - Light touch
Analog reading = 37 - Light touch
Analog reading = 39 - Light touch
Analog reading = 39 - Light touch
Analog reading = 39 - Light touch
Analog reading = 39 - Light touch
Analog reading = 38 - Light touch
Analog reading = 38 - Light touch
Analog reading = 37 - Light touch
Analog reading = 36 - Light touch
Analog reading = 35 - Light touch
Analog reading = 35 - Light touch
Analog reading = 34 - Light touch
Analog reading = 34 - Light touch

```

ค)

```

test$
int fsrPin = 0; // the FS
int fsrReading; // the an

void setup(void) {
  // We'll send debugging info
  Serial.begin(9600);
}
void loop(void) {
  fsrReading = analogRead(fsrPin);

  Serial.print("Analog reading: ");
  Serial.print(fsrReading);

  // We'll have a few thresholds
  if (fsrReading < 10) {
    Serial.println(" - No pressure");
  } else if (fsrReading < 200) {
    Serial.println(" - Light touch");
  } else if (fsrReading < 500) {
    Serial.println(" - Light touch");
  } else if (fsrReading < 800) {
    Serial.println(" - Medium touch");
  } else {
    Serial.println(" - Big squeeze");
  }
  delay(1000);
}

```

```

COM3
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 1023 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 1023 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 1023 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 1008 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 1023 - Big squeeze
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure
Analog reading = 0 - No pressure

```

ง)

#### รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบ Flex Sensor

ค) ผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมฟอยล์และซิลิโคนขนาด 20x20 mm ความหนา 1.5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

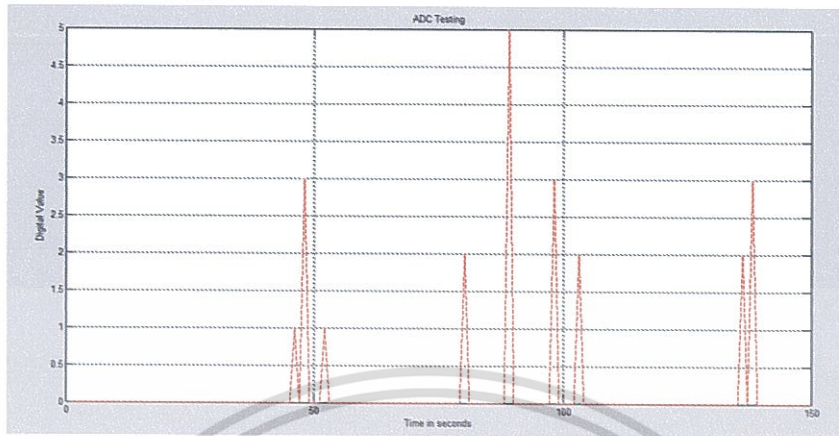
ง) ผลทดสอบเซนเซอร์จากอะลูมิเนียมพอยท์กับกระดาษขนาด 160x20 mm การทดสอบระหว่างเซนเซอร์หนา 1.5 mm กับเซนเซอร์ที่ใช้กระดาษแทนซิลิโคนแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ทดสอบระหว่างเซนเซอร์หนา 1.5 mm กับเซนเซอร์ที่ใช้กระดาษแทนซิลิโคน

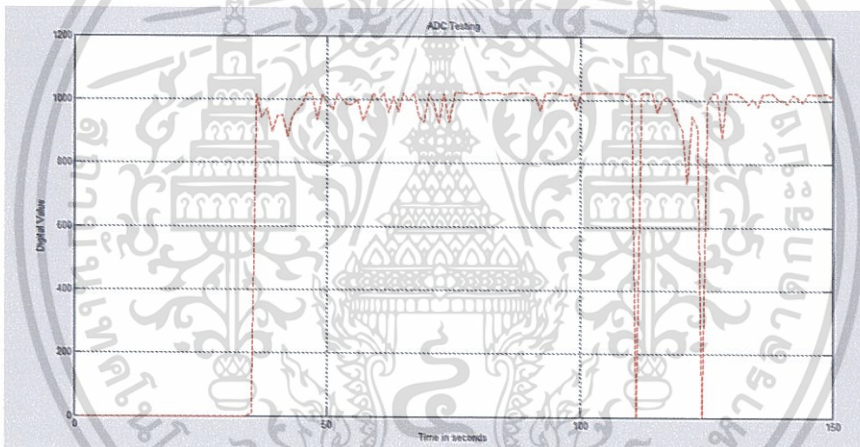
เซนเซอร์ขนาด 20x20 mm ความหนา 1.5 mm		เซนเซอร์ที่ใช้กระดาษแทนซิลิโคน	
Analog Reading	ระดับการกด	Analog Reading	ระดับการกด
45	Light	0	No pressure
45	Light	1023	Big
43	Light	0	No pressure
42	Light	0	No pressure
42	Light	1023	Big
41	Light	0	No pressure
40	Light	0	No pressure
40	Light	0	No pressure
39	Light	0	No pressure
39	Light	1023	Big
39	Light	0	No pressure
39	Light	0	No pressure
38	Light	0	No pressure
38	Light	0	No pressure
37	Light	0	No pressure
36	Light	1023	Big
35	Light	0	No pressure
35	Light	0	No pressure
34	Light	0	No pressure
34	Light	0	No pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

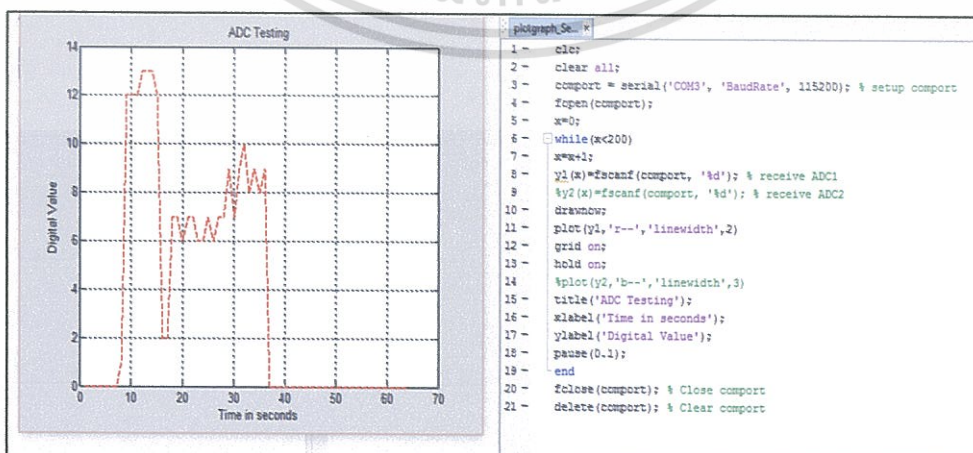
## 4.2.1 ผลลัพท์กราฟ



รูปที่ 4.4 กราฟค่าจากเซนเซอร์ที่ใช้กระดาษ

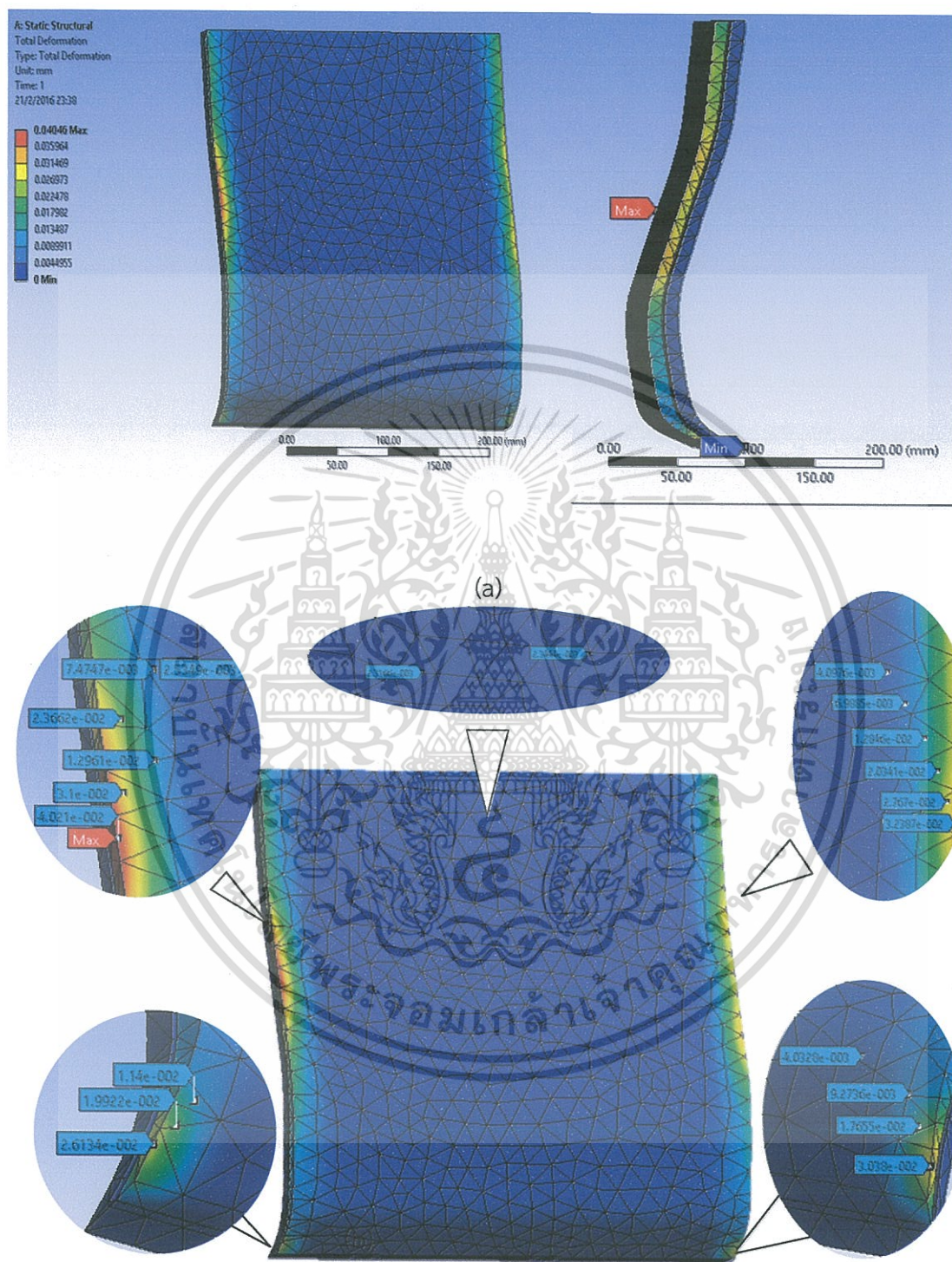


รูปที่ 4.5 กราฟค่าจาก silicon ความหนา 0.5 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่บริษัทเรองานนี้เพื่อประโยชน์ของผู้ถือหุ้นและผู้บริหารที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

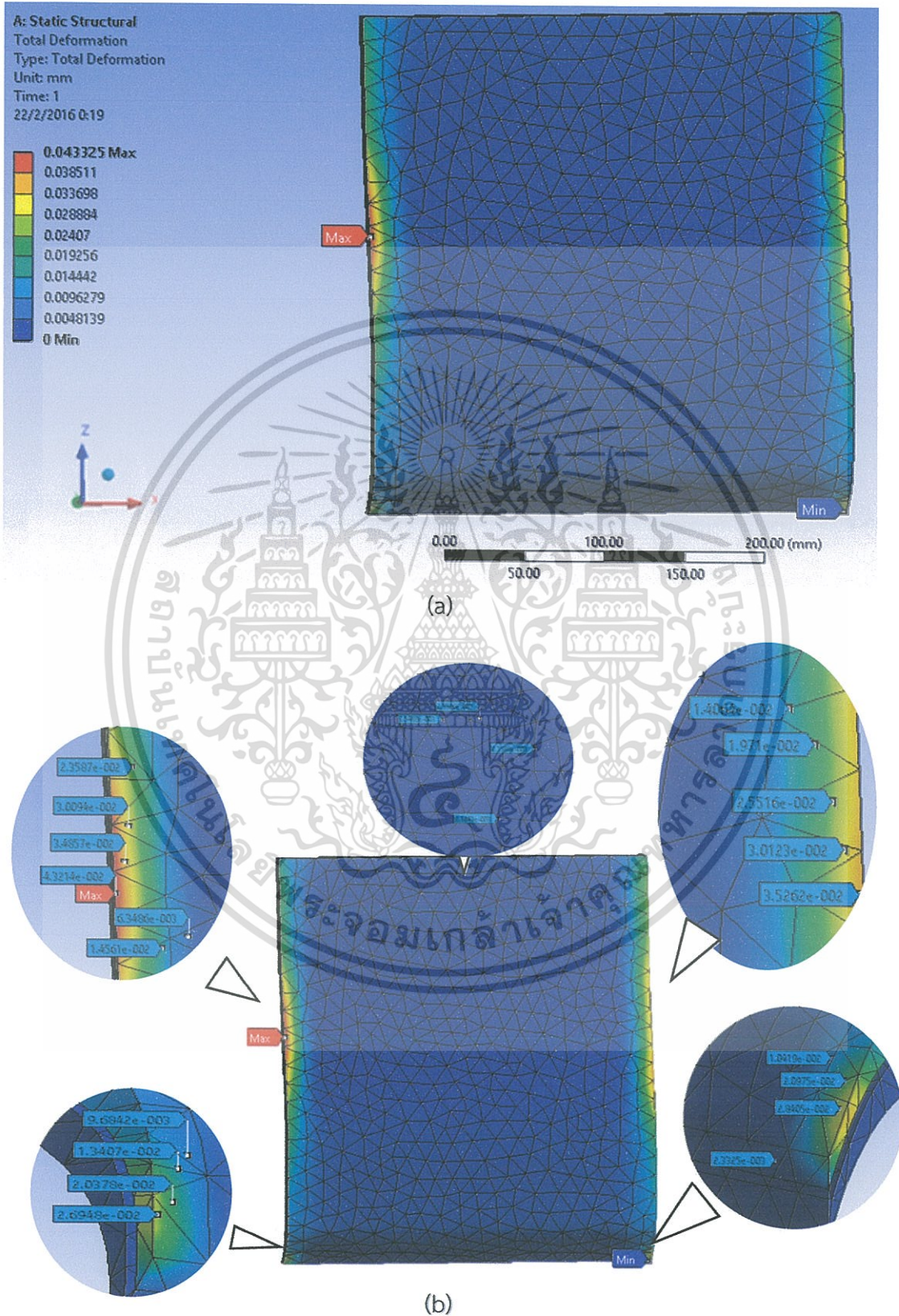
### 4.3 ผลคำนวณ Deformation of EVA&Aluminium



รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์ Deformation ของEVA&Aluminium (a) ภาพด้านหน้าและด้านข้าง (b) แสดงค่าในจุดต่างๆ

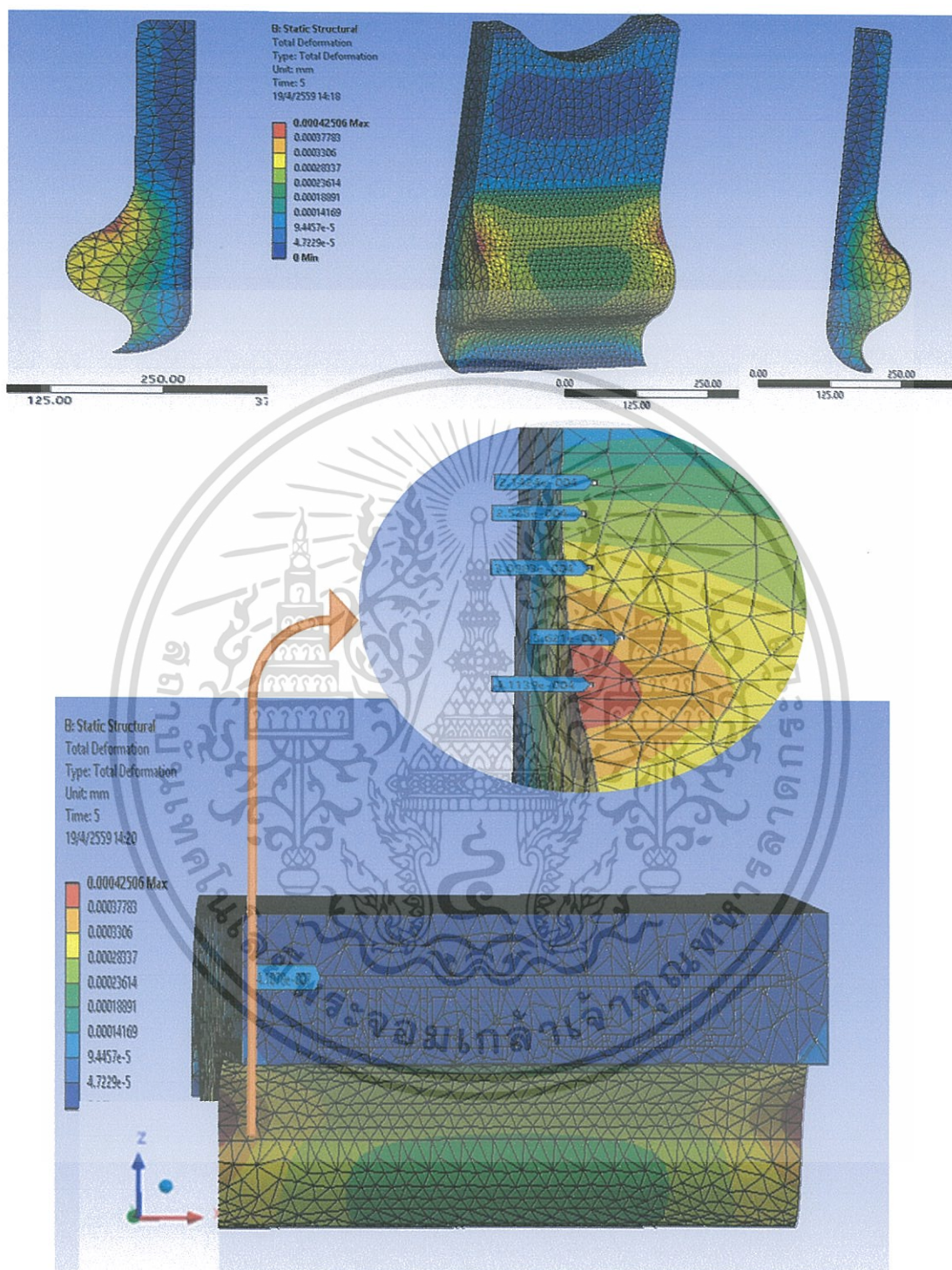
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลคำนวณ Deformation of EVE&superlene



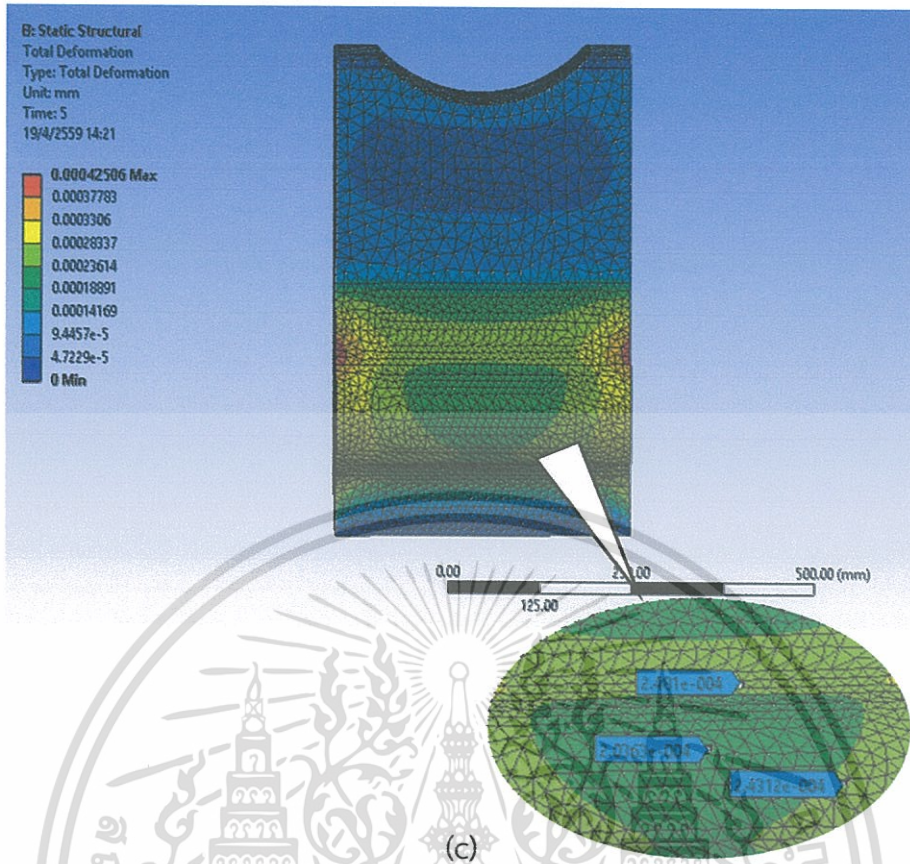
เอกสารรูปที่ 4.8 ผลลัพธ์ Deformation ของ EVA&Superlene (a) ภาพด้านบน (b) แสดงค่าในจุดต่างๆ การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลคำนวณ Deformation of Aluminum Alloy&Neoprene rubber



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์ Deformation ของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber

(a) ภาพด้านหน้าและด้านข้าง (b) แสดงค่าตรงเบาะนอน (c) แสดงลักษณะเบาะจากมุมมองด้านหน้า

ประมวลผลด้วยโปรแกรม Ansys ในหัวข้อ Total Deformation กับแบบจำลองทั้งสาม (EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber) ในระยะเวลา 5 s ได้ค่า Maximum แสดงตามตารางที่ 4.4 ในขณะที่ค่า Minimum ของแบบจำลองทั้งสามได้เท่ากับ 0

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Maximum Total Deformation

Maximum Total Deformation (mm)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy& Neoprene rubber
0.125	0.0010831	0.0010115	0.000010626
0.25	0.0021663	0.0020230	0.000021253
0.375	0.0032494	0.0030345	0.000031879
0.5	0.0043325	0.0040460	0.000042506
0.625	0.0054156	0.0050574	0.000053132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Total Deformation

Maximum Total Deformation (mm)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy& Neoprene rubber
0.75	0.0064988	0.0060689	0.000063759
0.875	0.0075819	0.0070804	0.000074385
1	0.0086650	0.0080919	0.000085011
1.125	0.0097481	0.0091034	0.000095638
1.25	0.010831	0.010115	0.00010626
1.375	0.011914	0.011126	0.00011689
1.5	0.012997	0.012138	0.00012752
1.625	0.014081	0.013149	0.00013814
1.75	0.015164	0.014161	0.00014877
1.875	0.016247	0.015172	0.0001594
2	0.017330	0.016184	0.00017002
2.125	0.018413	0.017195	0.00018065
2.25	0.019496	0.018207	0.00019128
2.375	0.020579	0.019218	0.0002019
2.5	0.021662	0.020229	0.00021253
2.625	0.022745	0.021241	0.00022315
2.75	0.023828	0.022252	0.00023378
2.875	0.024911	0.023264	0.00024441
3	0.025994	0.024275	0.00025503
3.125	0.027078	0.025287	0.00026566
3.25	0.028161	0.026298	0.00027629
3.375	0.029244	0.027310	0.00028691
3.5	0.030327	0.028321	0.00029754
3.625	0.03141	0.029332	0.00030817
3.75	0.032493	0.030344	0.00031879
3.875	0.033576	0.031355	0.00032942
4	0.034659	0.032367	0.00034005
4.125	0.035742	0.033378	0.00035067
4.25	0.036825	0.03439	0.0003613
4.375	0.037908	0.035401	0.00037192
4.5	0.038991	0.036412	0.00038255
4.625	0.040074	0.037424	0.00039318

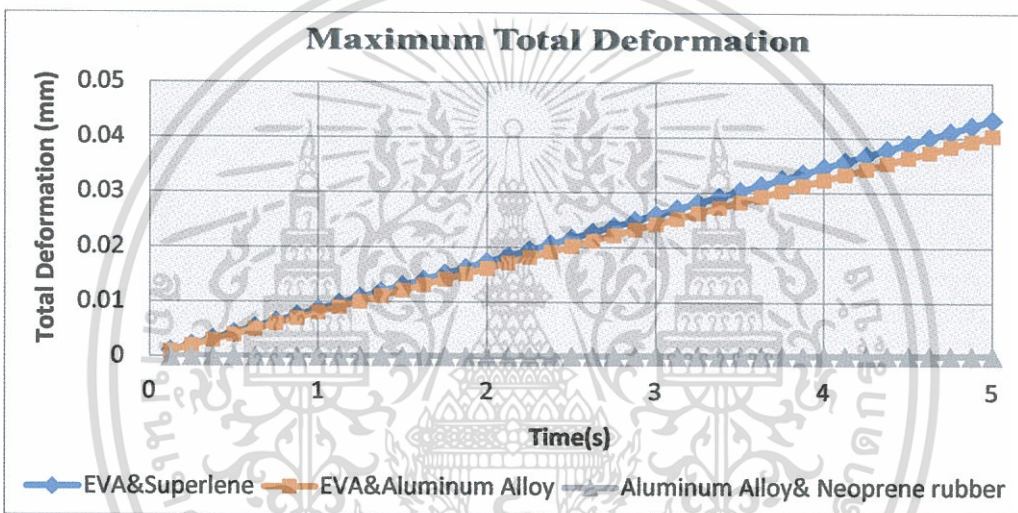
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ โดยนิตยสารใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

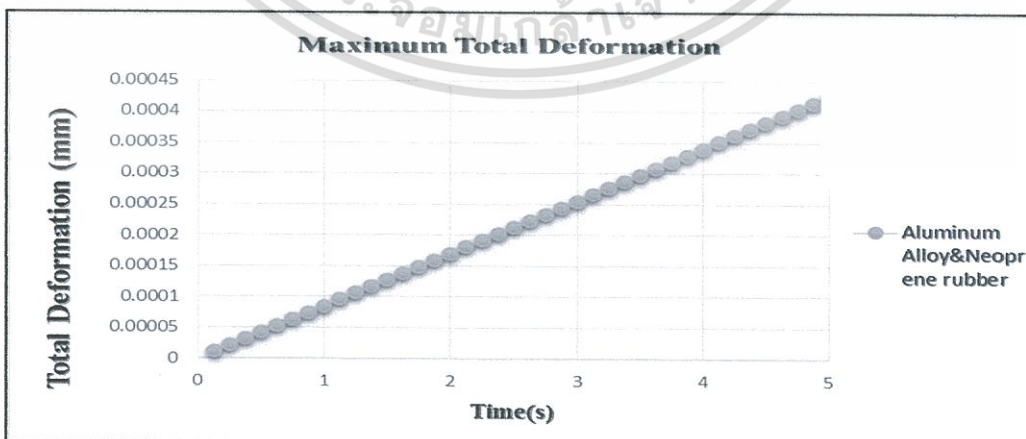
ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Total Deformation

Maximum Total Deformation (mm)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy& Neoprene rubber
4.75	0.041157	0.038435	0.0004038
4.875	0.04224	0.039447	0.00041443
5	0.043323	0.040458	0.00042506

กราฟเปรียบเทียบผล Maximum Total Deformation ระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber



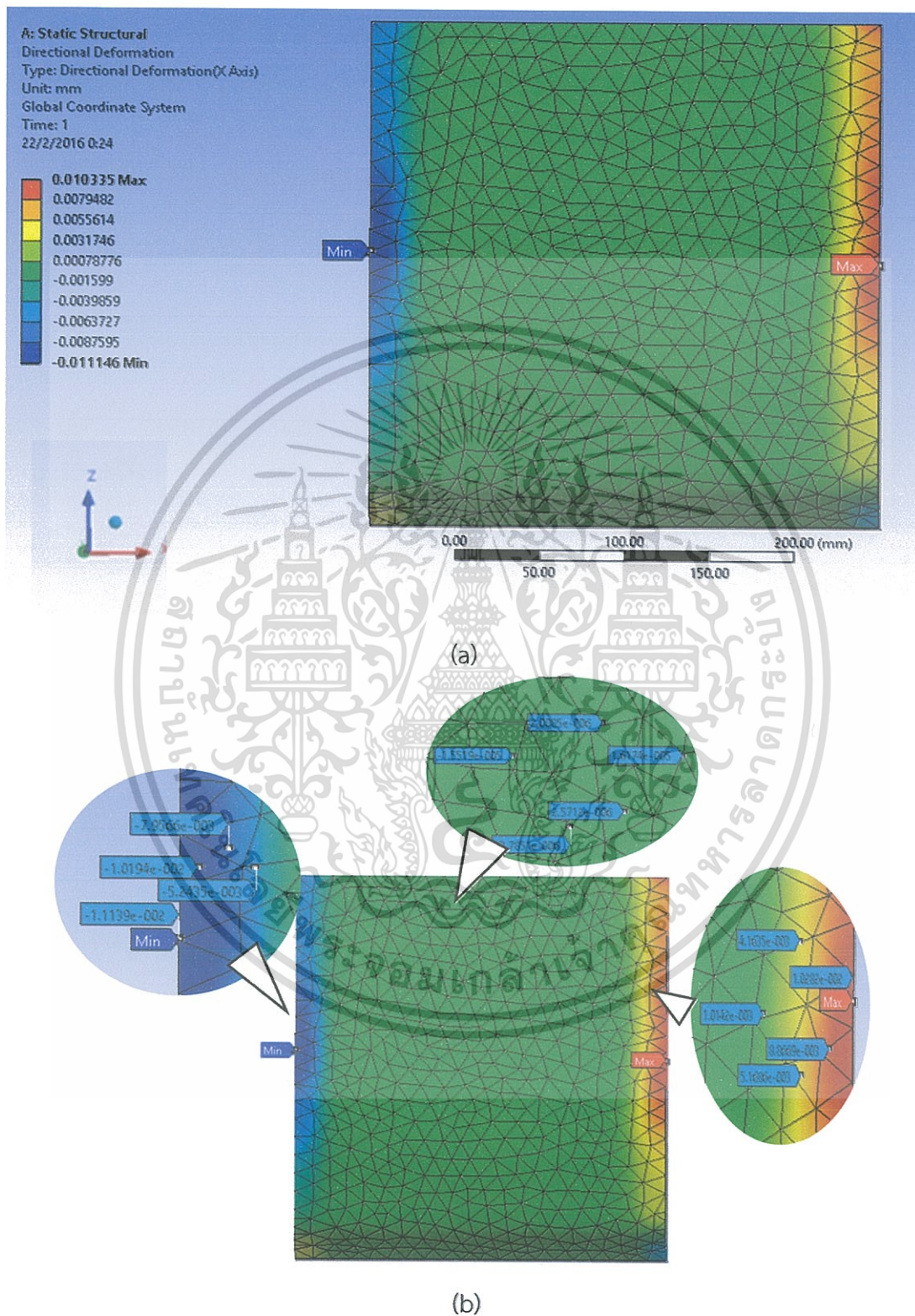
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1)



รูปที่ 4.11 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber(เบาะพวงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลคำนวณ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Superlene

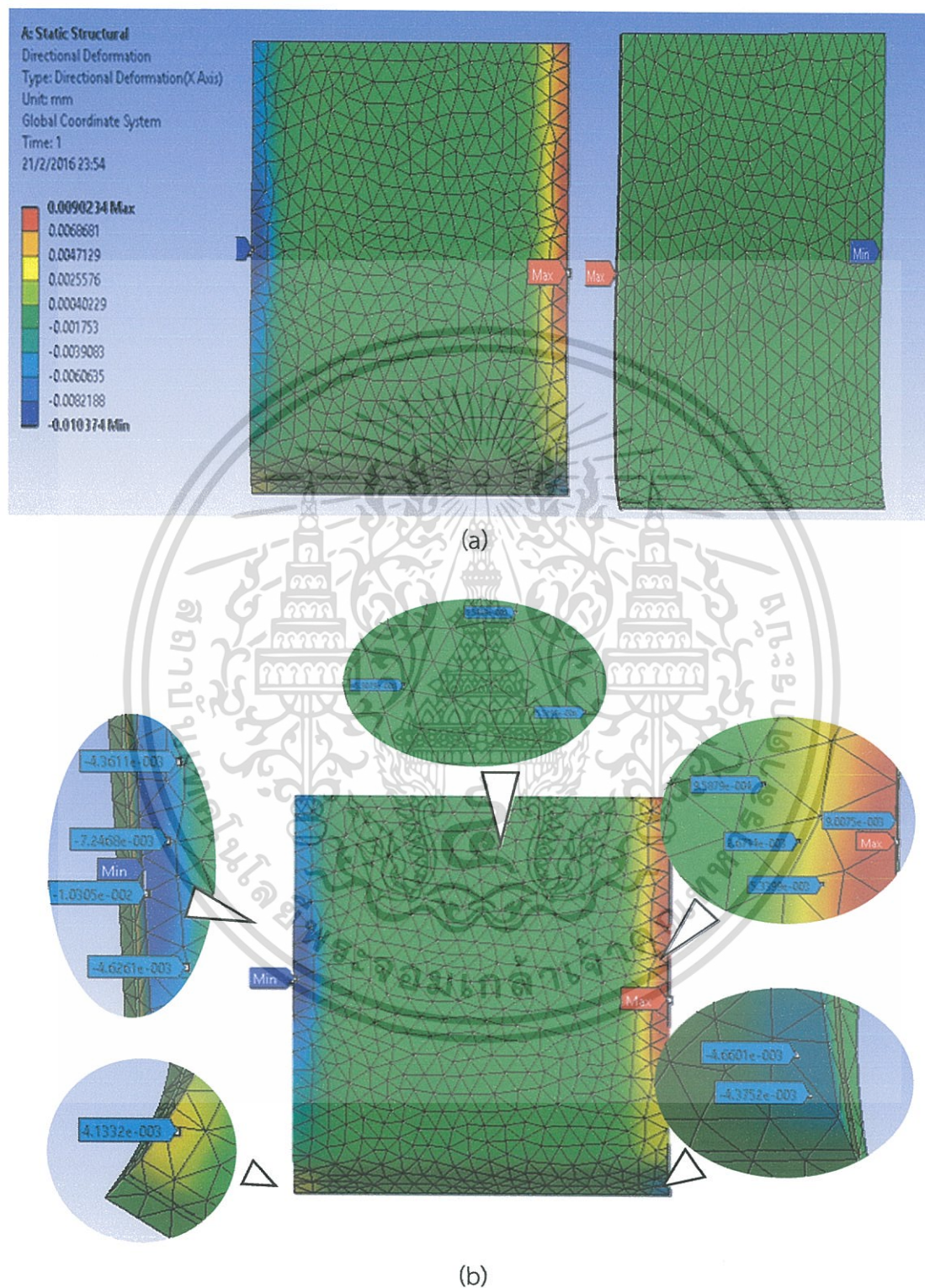


รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminum Alloy

(a)ภาพด้านหน้า (b) แสดงค่าในจุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ผลคำนวณ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminum Alloy

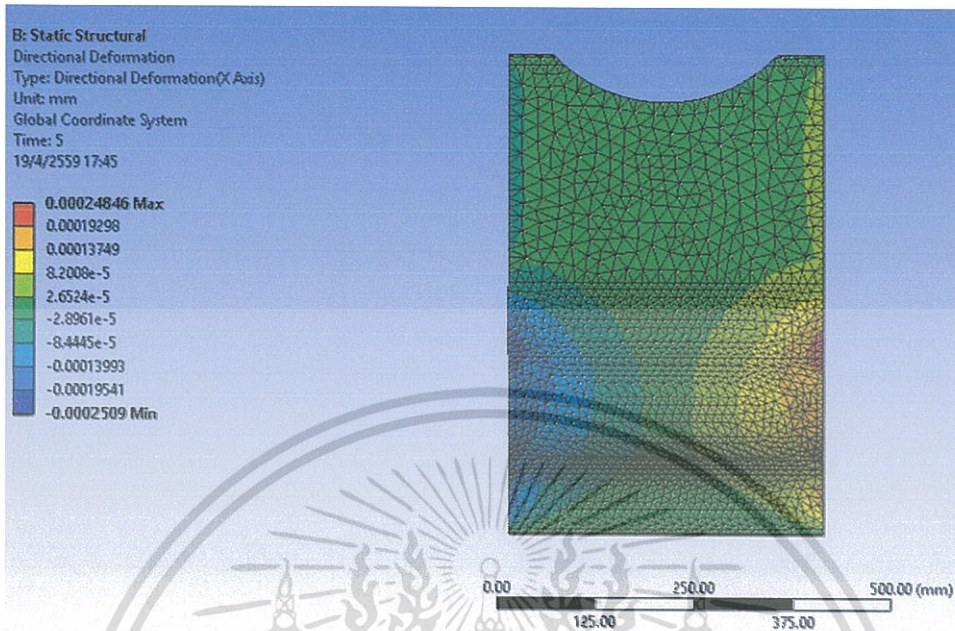


รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminum Alloy

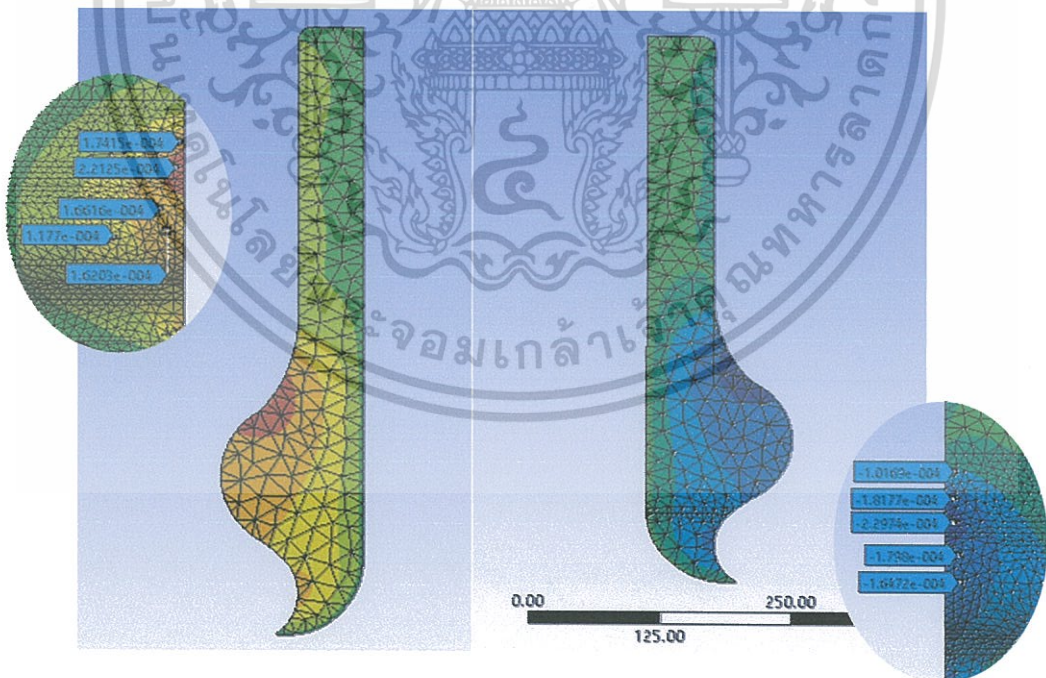
(a)ภาพด้านหน้าและด้านหลัง (b) แสดงค่าในจุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ผลคำนวณ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Neoprene rubber

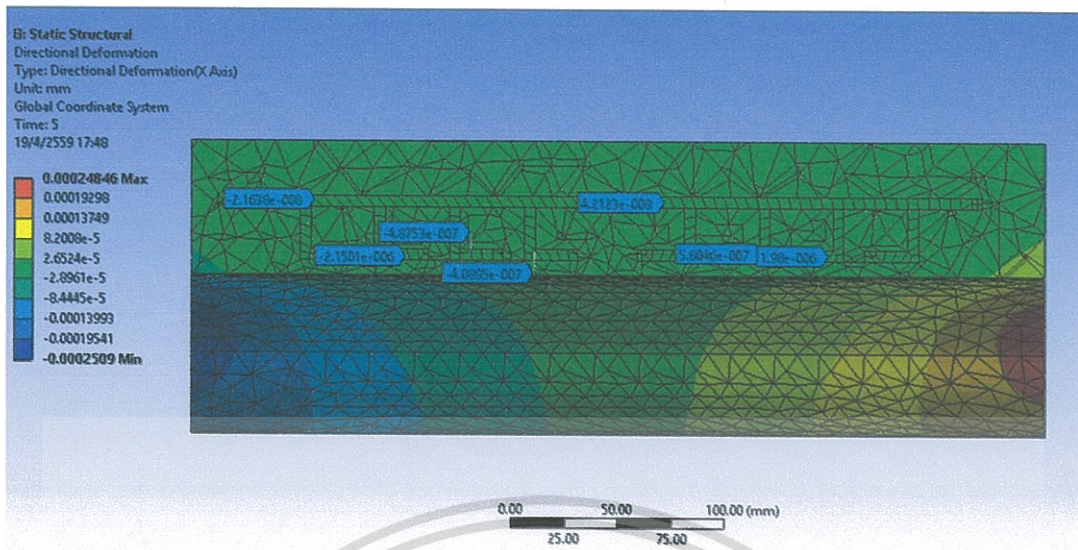


(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

#### รูปที่ 4.14 ผลลัพธ์ Direction Deformation(X-Axis) of EVA&Aluminum Alloy

- (a) ภาพด้านหน้า (b) แสดงภาพด้านข้างทั้งสองข้างและค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง  
(c) ภาพตัดขวางแสดงให้เห็นส่วนพุงสะบัก

ประมวลผลด้วยโปรแกรม Ansys ในหัวข้อ Total Deformation กับแบบจำลองทั้งสาม (EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber) ในระยะเวลา 5 s ได้ค่า Minimum ตารางที่ 4.5 และ ค่า Maximum แสดงตามตารางที่ 4.6

#### ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Minimum Direction Deformation(X-Axis)

Minimum Direction Deformation(X-Axis)(mm)			
Time	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
0.125	-0.00027866	-0.00025935	-0.000062725
0.25	-0.00055731	-0.00051870	-0.000012545
0.375	-0.00083597	-0.00077805	-0.000018817
0.5	-0.0011146	-0.0010374	-0.000025090
0.625	-0.0013933	-0.0012968	-0.000031362
0.75	-0.0016719	-0.0015561	-0.000037635
0.875	-0.0019506	-0.0018154	-0.000043907
1	-0.0022292	-0.0020748	-0.000050180
1.125	-0.0025079	-0.0023341	-0.000056452
1.25	-0.0027865	-0.0025935	-0.000062725
1.375	-0.0030652	-0.0028528	-0.000068997
1.5	-0.0033438	-0.0031122	-0.000075269

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงค่า Minimum Direction Deformation(X-Axis)

Minimum Direction Deformation(X-Axis)(mm)			
Time	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
1.625	-0.0036225	-0.0033715	-0.000081542
1.75	-0.0039011	-0.0036309	-0.000087814
1.875	-0.0041798	-0.0038902	-0.000094087
2	-0.0044584	-0.0041496	-0.00010036
2.125	-0.0047371	-0.0044089	-0.00010663
2.25	-0.0050157	-0.0046682	-0.00011290
2.375	-0.0052944	-0.0049276	-0.00011918
2.5	-0.0055730	-0.0051869	-0.00012545
2.625	-0.0058517	-0.0054463	-0.00013172
2.75	-0.0061303	-0.0057056	-0.00013799
2.875	-0.0064090	-0.0059650	-0.00014427
3	-0.0066876	-0.0062243	-0.00015054
3.125	-0.0069662	-0.0064836	-0.00015681
3.25	-0.0072449	-0.0067430	-0.00016308
3.375	-0.0075235	-0.0070023	-0.00016936
3.5	-0.0078022	-0.0072617	-0.00017563
3.625	-0.0080808	-0.0075210	-0.00018190
3.75	-0.0083594	-0.0077803	-0.00018817
3.875	-0.0086381	-0.0080397	-0.00019445
4	-0.0089167	-0.0082990	-0.00020072
4.125	-0.0091954	-0.0085583	-0.00020699
4.25	-0.0094740	-0.0088177	-0.00021326
4.375	-0.0097526	-0.0090770	-0.00021954
4.5	-0.010031	-0.0093363	-0.00022581
4.625	-0.010310	-0.0095957	-0.00023208
4.75	-0.010589	-0.009855	-0.00023835
4.875	-0.010867	-0.010114	-0.00024463
5	-0.011146	-0.010374	-0.00025090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Maximum Direction Deformation(X-Axis)

Maximum Direction Deformation(X-Axis)			
Time	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
0.125	0.00025838	0.00022559	0.0000062115
0.25	0.00051674	0.00045116	0.000012423
0.375	0.00077511	0.00067674	0.000018635
0.5	0.0010335	0.00090231	0.000024846
0.625	0.0012918	0.0011279	0.000031058
0.75	0.0015502	0.0013535	0.000037269
0.875	0.0018086	0.0015790	0.000043481
1	0.0020669	0.0018046	0.000049692
1.125	0.0023253	0.0020302	0.000055904
1.25	0.0025837	0.0022558	0.000062115
1.375	0.0028420	0.0024813	0.000068327
1.5	0.0031004	0.0027069	0.000074538
1.625	0.0033588	0.0029325	0.000080750
1.75	0.0036171	0.0031580	0.000086962
1.875	0.0038755	0.0033836	0.000093173
2	0.0041339	0.0036092	0.000099385
2.125	0.0043922	0.0038348	0.00010560
2.25	0.0046506	0.0040603	0.00011181
2.375	0.0049089	0.0042859	0.00011802
2.5	0.0051673	0.0045115	0.00012423
2.625	0.0054257	0.0047370	0.00013044
2.75	0.0056840	0.0049626	0.00013665
2.875	0.0059424	0.0051882	0.00014287
3	0.0062007	0.0054138	0.00014908
3.125	0.0064591	0.0056393	0.00015529
3.25	0.0067175	0.0058649	0.00016150
3.375	0.0069758	0.0060905	0.00016771
3.5	0.0072342	0.006316	0.00017392
3.625	0.0074925	0.0065416	0.00018013
3.75	0.0077509	0.0067672	0.00018635
3.875	0.0080092	0.0069927	0.00019256
4	0.0082676	0.0072183	0.00019877
4.125	0.0085259	0.0074439	0.00020498

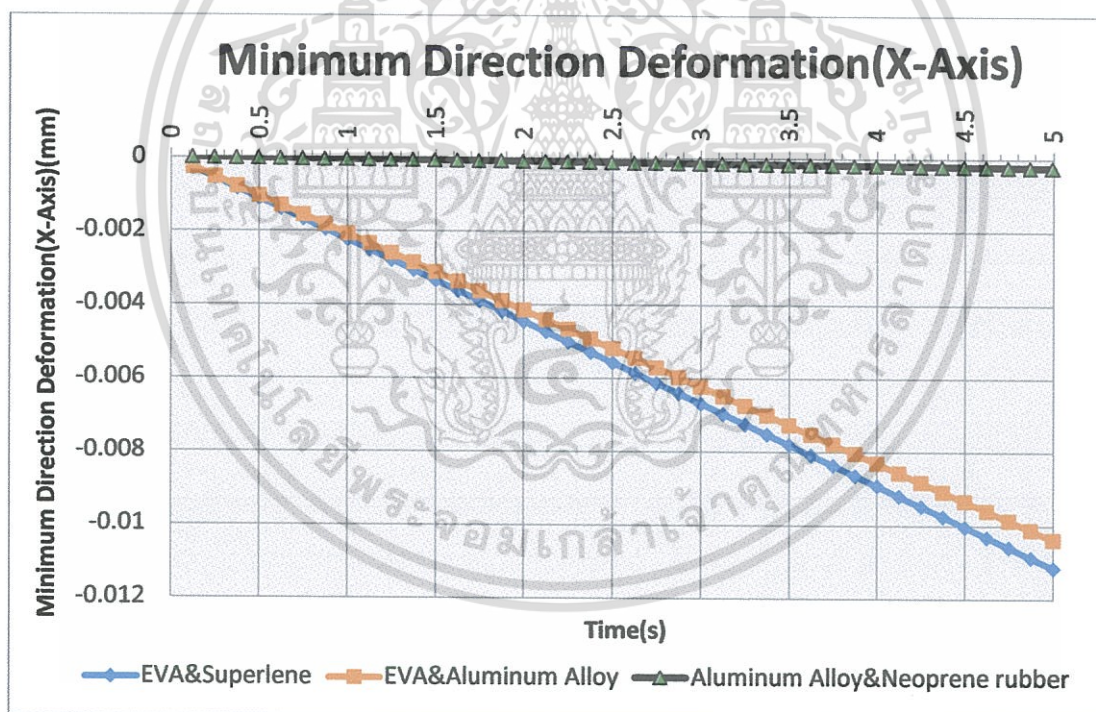
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Direction Deformation(X-Axis)

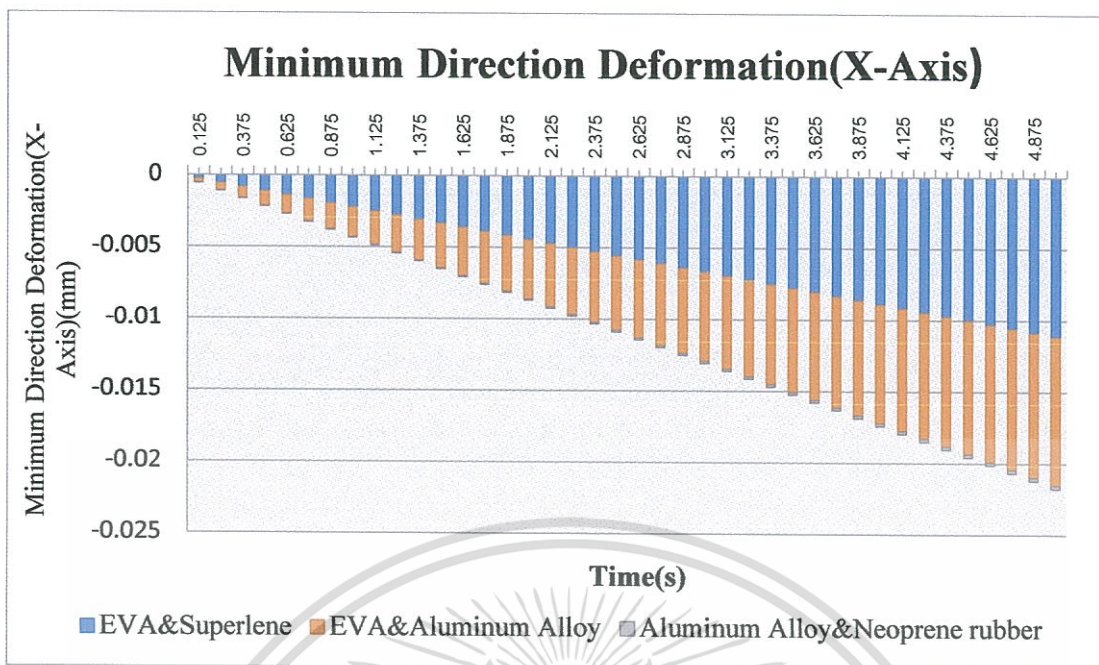
Maximum Direction Deformation(X-Axis)			
Time	EVA&Supertlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
4.25	0.0087843	0.0076694	0.00021119
4.375	0.0090427	0.0078950	0.00021740
4.5	0.0093010	0.0081206	0.00022362
4.625	0.0095594	0.0083461	0.00022983
4.75	0.0098177	0.0085717	0.00023604
4.875	0.010076	0.0087973	0.00024225
5	0.010334	0.0090228	0.00024846

กราฟเปรียบเทียบผล Minimum Direction Deformation(X-Axis) ระหว่าง EVA&Supertlene &EVA&Aluminum Alloy&Aluminum Alloy&Neoprene rubber

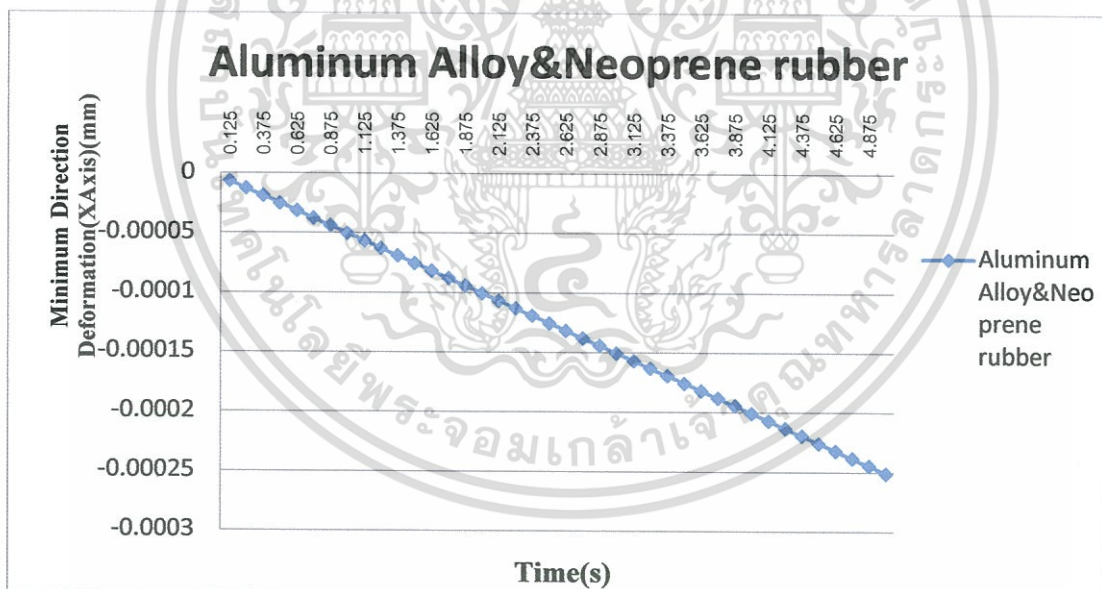


รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Supertlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



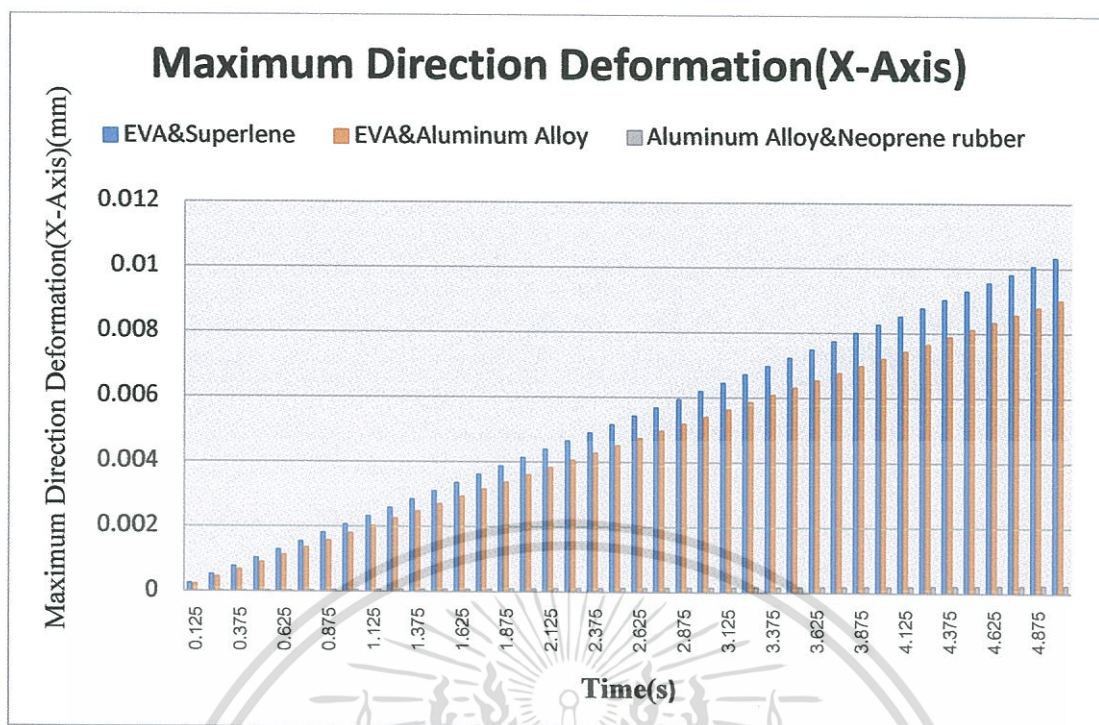
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2)



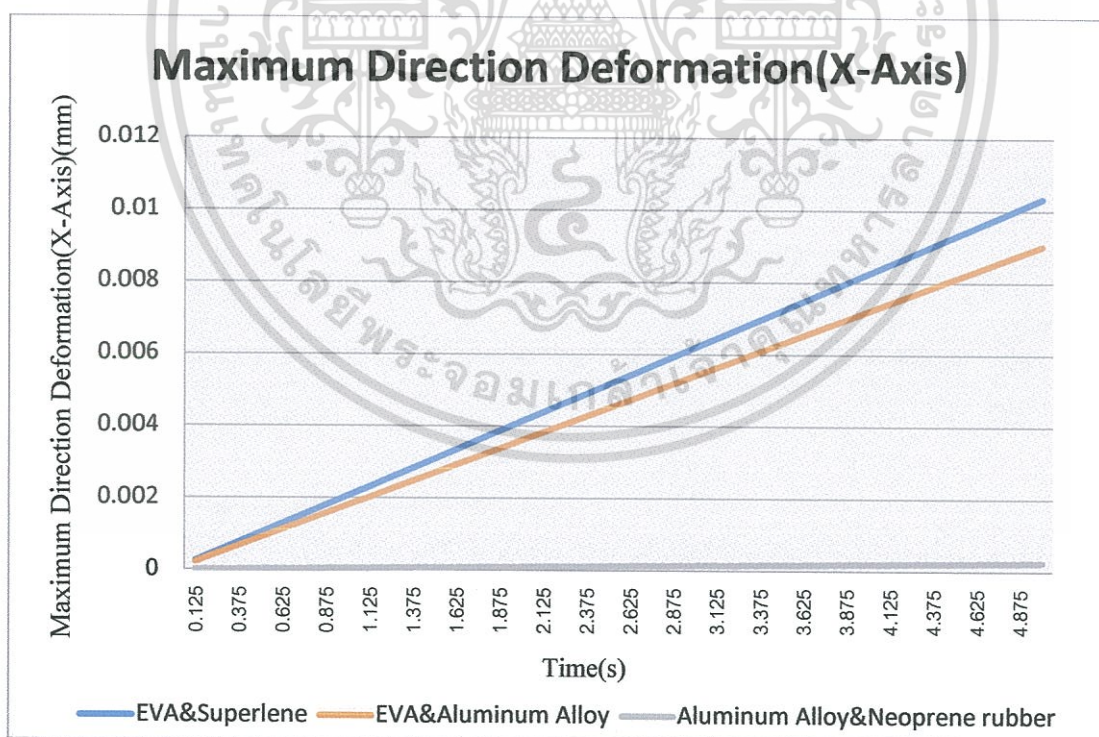
รูป 4.17 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber(เบาเซพุงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว)

กราฟเปรียบเทียบผล Maximum Direction Deformation(X-Axis) ระหว่าง EVA&Superlene &EVA&Aluminum Alloy&Aluminum Alloy&Neoprene rubber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

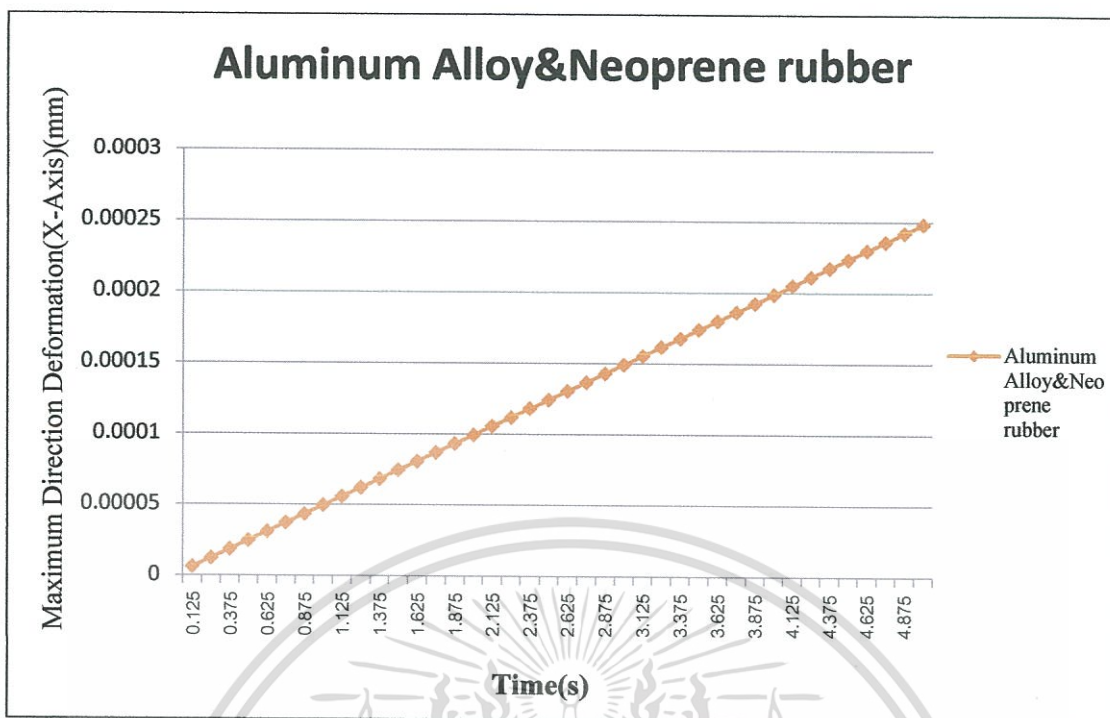


รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1)



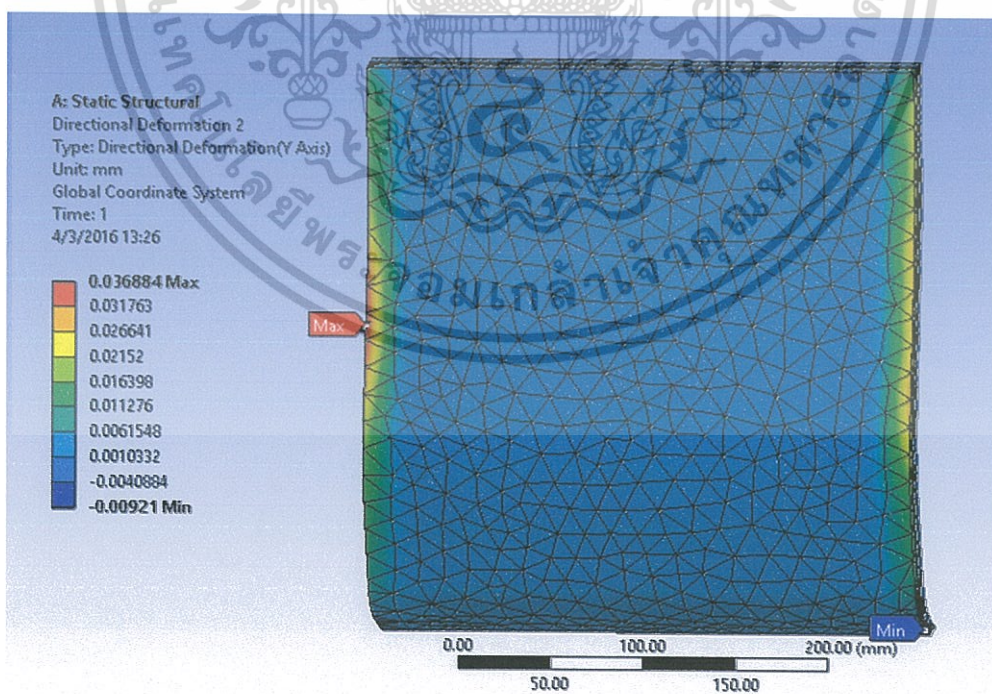
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



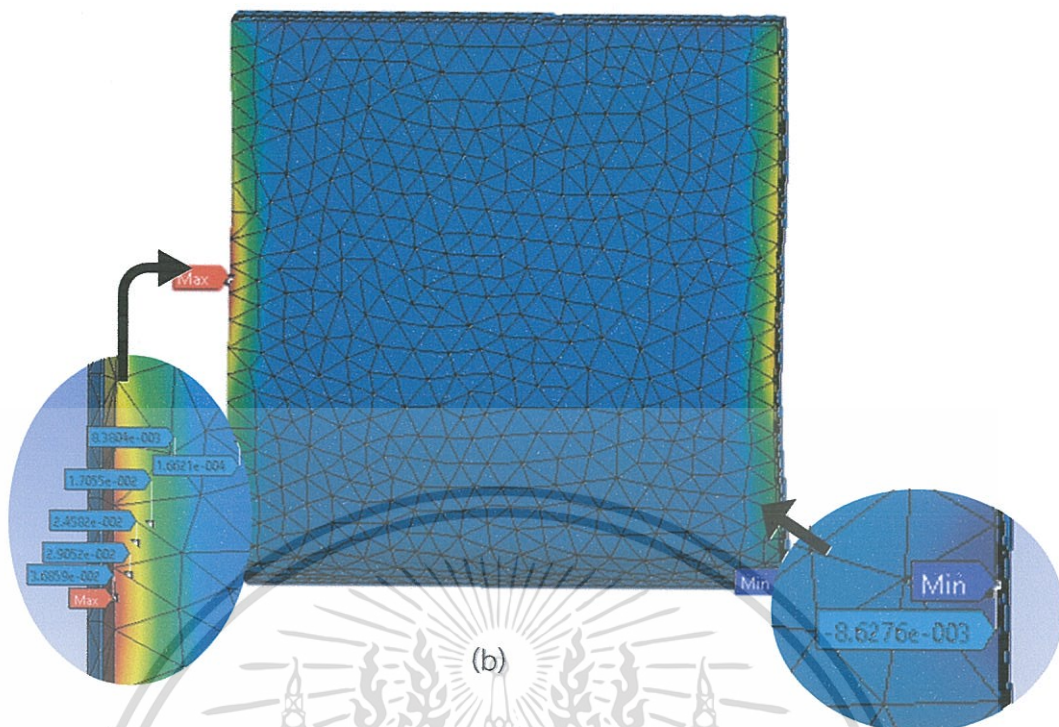
รูปที่ 4.20 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (เบาๆพุงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว)

#### 4.9 ผลคำนวณ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA&Superlene



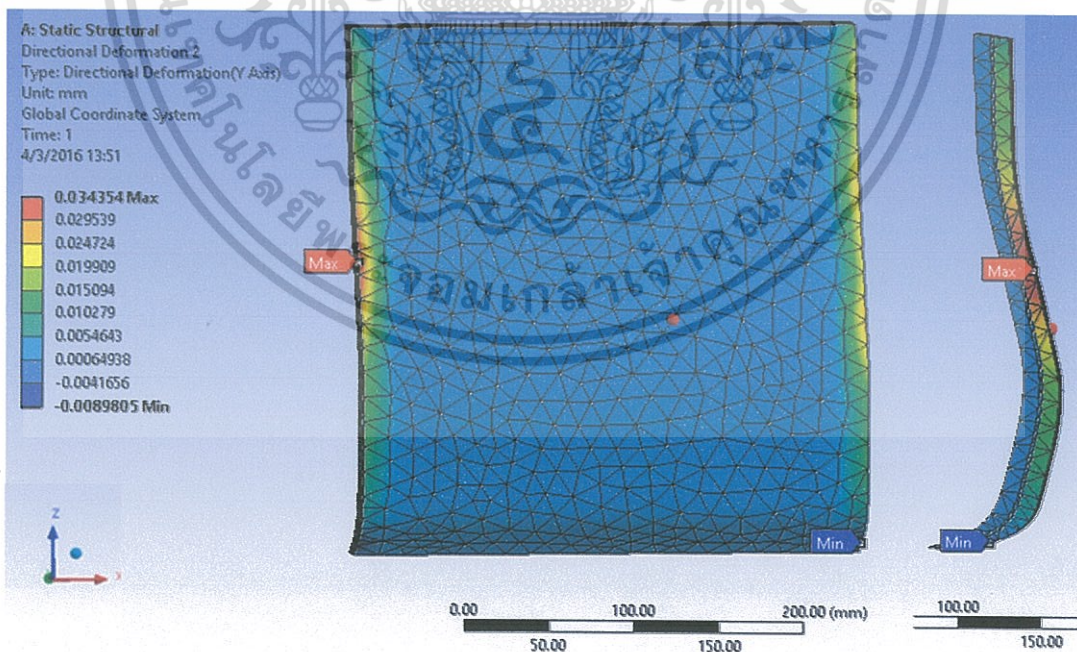
(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



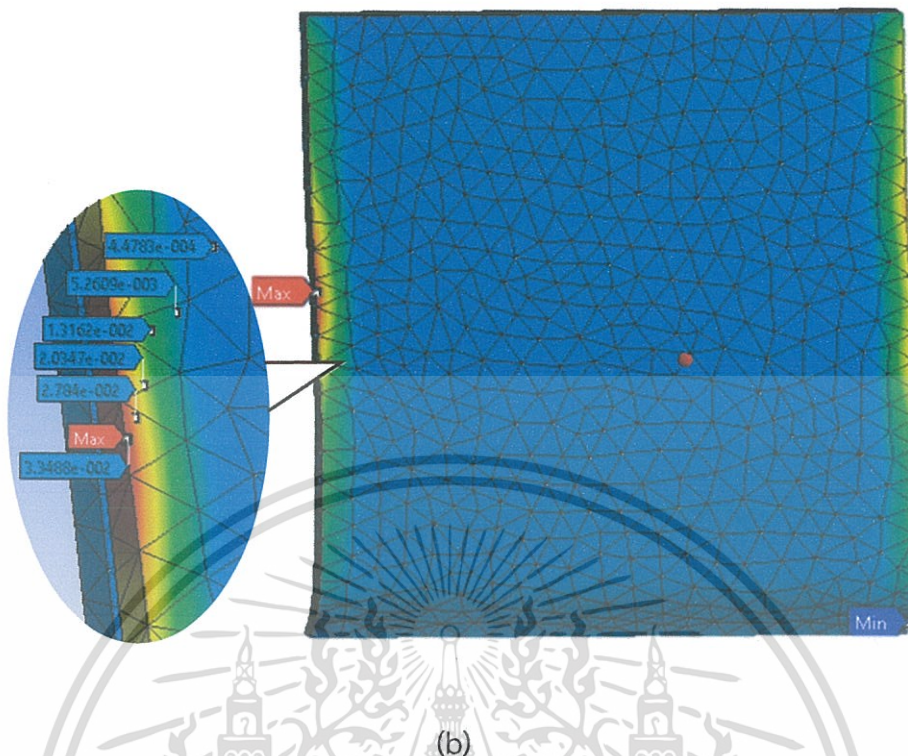
รูปที่ 4.21 ผลลัพธ์ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA& Superlene  
 (a)ภาพด้านหน้า (b) แสดงค่าในจุดต่างๆ

4.10 ผลคำนวณ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA&Aluminum Alloy



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ผลลัพธ์ Direction Deformation(Y-Axis) of EVA&Aluminum Alloy  
(a)ภาพด้านหน้าและด้านข้าง (b) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Minimum Direction Deformation(Y-Axis)

Minimum Direction Deformation(Y-Axis)(mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
0.125	-0.00023021	-0.00022447
0.25	-0.00046047	-0.00044899
0.375	-0.00069073	-0.00067351
0.5	-0.00092098	-0.00089803
0.625	-0.0011512	-0.0011225
0.75	-0.0013815	-0.0013471
0.875	-0.0016118	-0.0015716
1	-0.0018420	-0.0017961
1.125	-0.0020723	-0.0020206
1.25	-0.0023025	-0.0022451
1.375	-0.0025328	-0.0024697
1.5	-0.0027630	-0.0026942
1.625	-0.0029933	-0.0029187

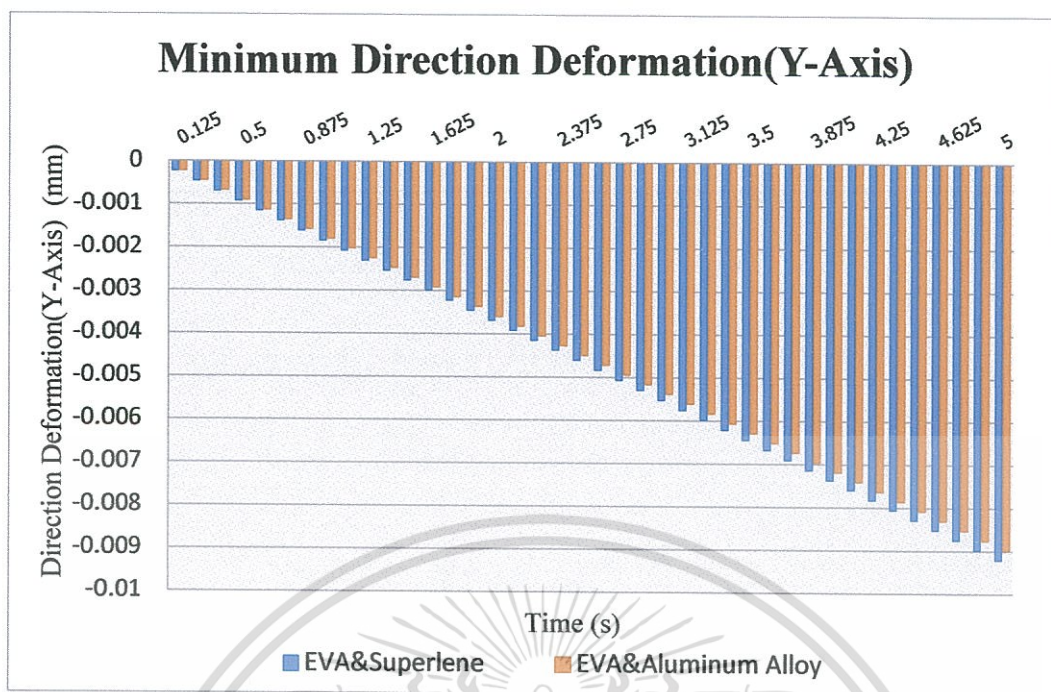
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงค่า Minimum Direction Deformation(Y-Axis)

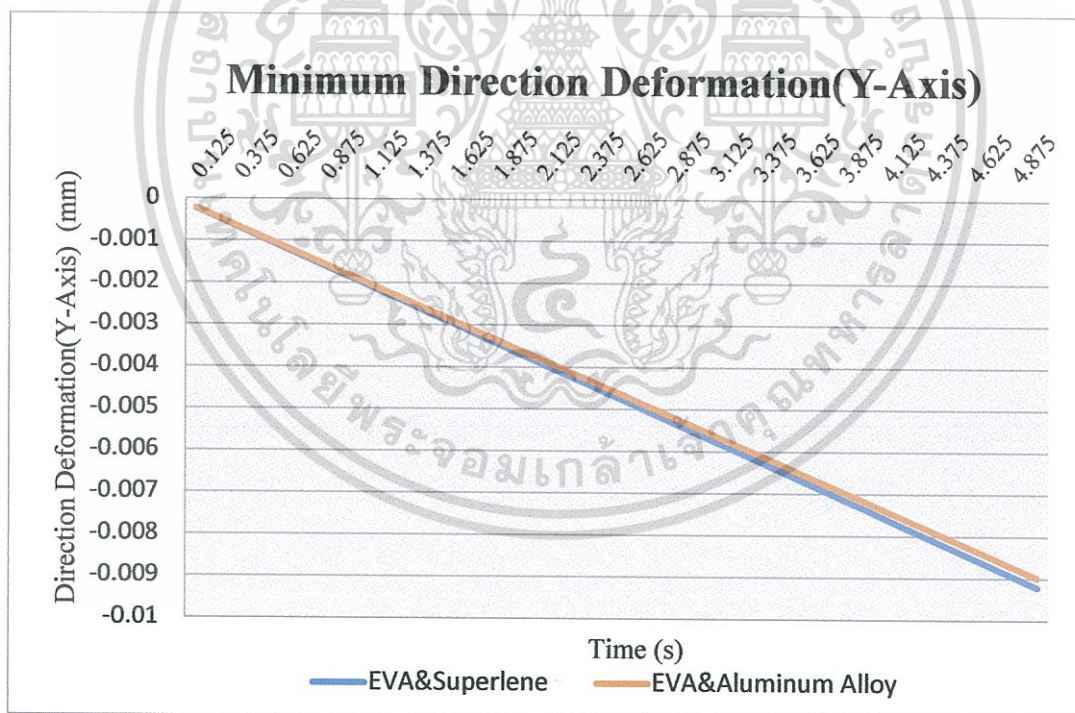
Minimum Direction Deformation(Y-Axis)(mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
1.75	-0.0032236	-0.0031432
1.875	-0.0034538	-0.0033677
2	-0.0036841	-0.0035923
2.125	-0.0039143	-0.0038168
2.25	-0.0041446	-0.0040413
2.375	-0.0043748	-0.0042658
2.5	-0.0046051	-0.0044903
2.625	-0.0048354	-0.0047149
2.75	-0.0050656	-0.0049394
2.875	-0.0052959	-0.0051639
3	-0.0055261	-0.0053884
3.125	-0.0057564	-0.0056129
3.25	-0.0059866	-0.0058375
3.375	-0.0062169	-0.0060620
3.5	-0.0064471	-0.0062865
3.625	-0.0066774	-0.0065110
3.75	-0.0069077	-0.0067355
3.875	-0.0071379	-0.0069600
4	-0.0073682	-0.0071846
4.125	-0.0075984	-0.0074091
4.25	-0.0078287	-0.0076336
4.375	-0.0080589	-0.0078581
4.5	-0.0082892	-0.0080826
4.625	-0.0085195	-0.0083072
4.75	-0.0087497	-0.0085317
4.875	-0.0089800	-0.0087562
5	-0.0092102	-0.0089807

กราฟเปรียบเทียบผล Maximum Direction Deformation(Y-Axis) ระหว่าง  
EVA&Superlene และEVA&Aluminum Alloy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (1)



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Maximum Direction Deformation(Y-Axis)

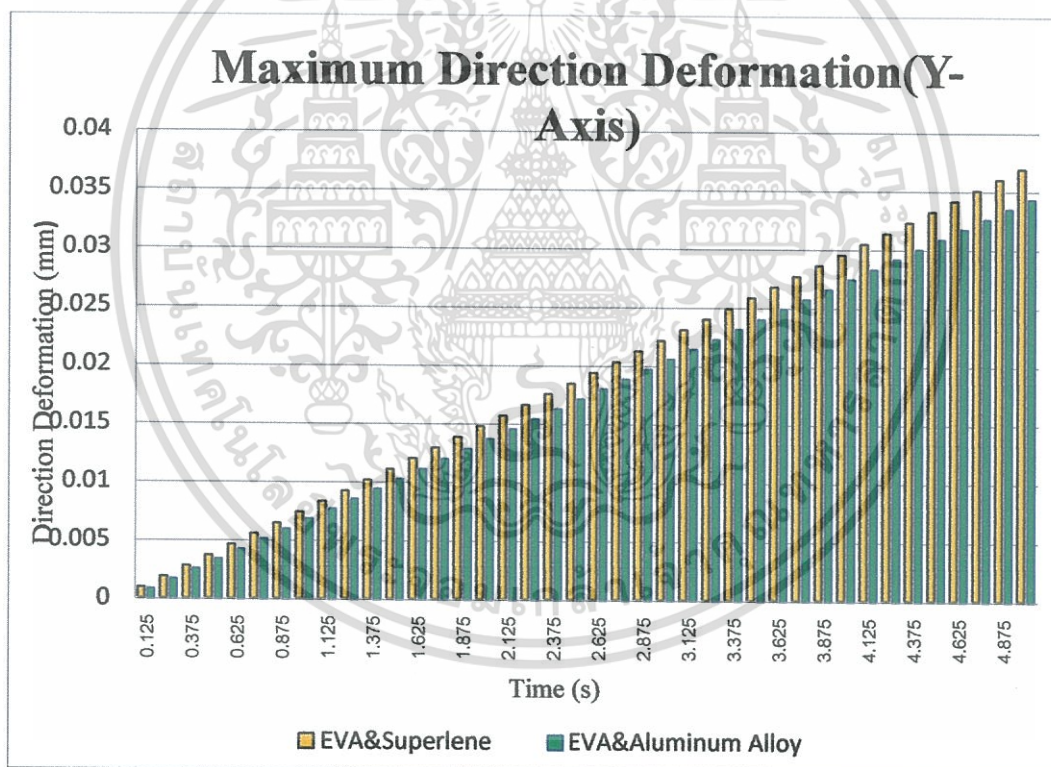
Maximum Direction Deformation(Y-Axis)(mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
0.125	0.00092215	0.00085889
0.25	0.0018443	0.0017178
0.375	0.0027664	0.0025766
0.5	0.0036886	0.0034355
0.625	0.0046107	0.0042944
0.75	0.0055329	0.0051533
0.875	0.0064550	0.0060121
1	0.0073771	0.0068710
1.125	0.0082993	0.0077299
1.25	0.0092214	0.0085887
1.375	0.010144	0.0094476
1.5	0.011066	0.010306
1.625	0.011988	0.011165
1.75	0.012910	0.012024
1.875	0.013832	0.012883
2	0.014754	0.013742
2.125	0.015676	0.014601
2.25	0.016598	0.015460
2.375	0.017520	0.016318
2.5	0.018443	0.017177
2.625	0.019365	0.018036
2.75	0.020287	0.018895
2.875	0.021209	0.019754
3	0.022131	0.020613
3.125	0.023053	0.021471
3.25	0.023975	0.022330
3.375	0.024897	0.023189
3.5	0.025819	0.024048
3.625	0.026741	0.024907
3.75	0.027663	0.025766
3.875	0.028586	0.026624
4	0.029508	0.027483
4.125	0.030430	0.028342

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Direction Deformation(Y-Axis)

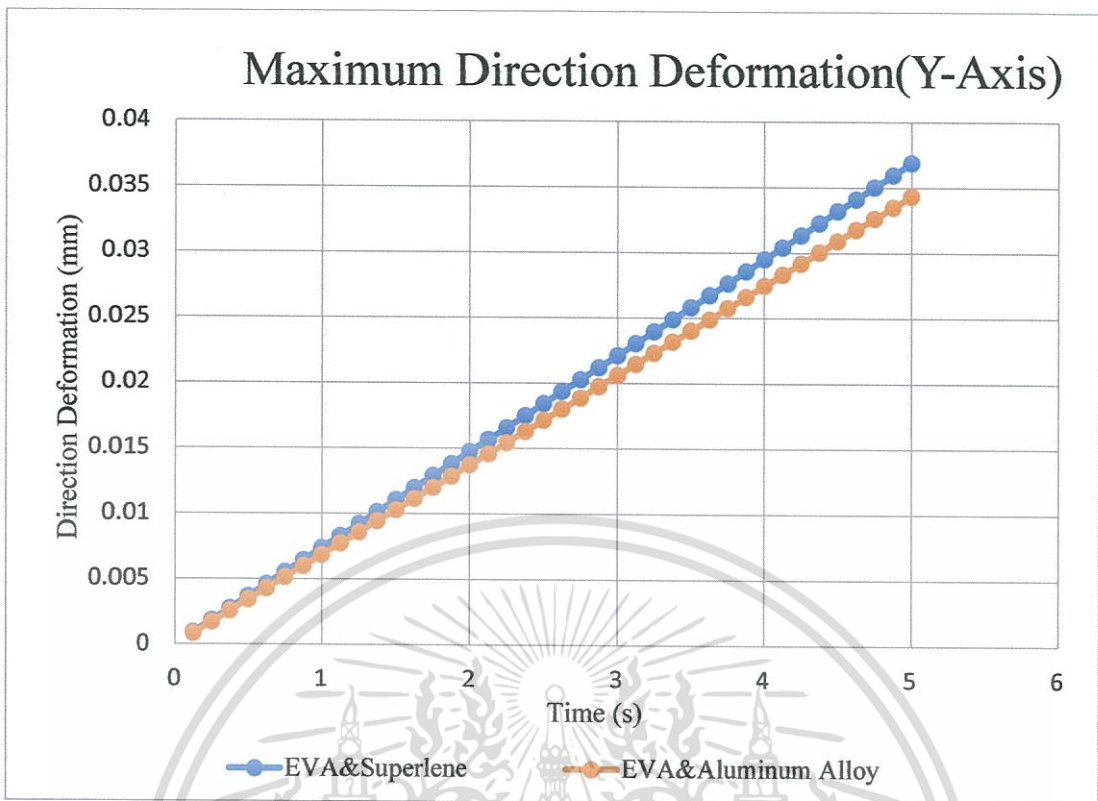
Maximum Direction Deformation(Y-Axis)(mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
4.25	0.031352	0.029201
4.375	0.032274	0.030060
4.5	0.033196	0.030919
4.625	0.034118	0.031777
4.75	0.035040	0.032636
4.875	0.035962	0.033495
5	0.036884	0.034354

กราฟเปรียบเทียบผล Maximum Direction Deformation(Y-Axis) ระหว่าง EVA&Superlene และEVA&Aluminum Alloy



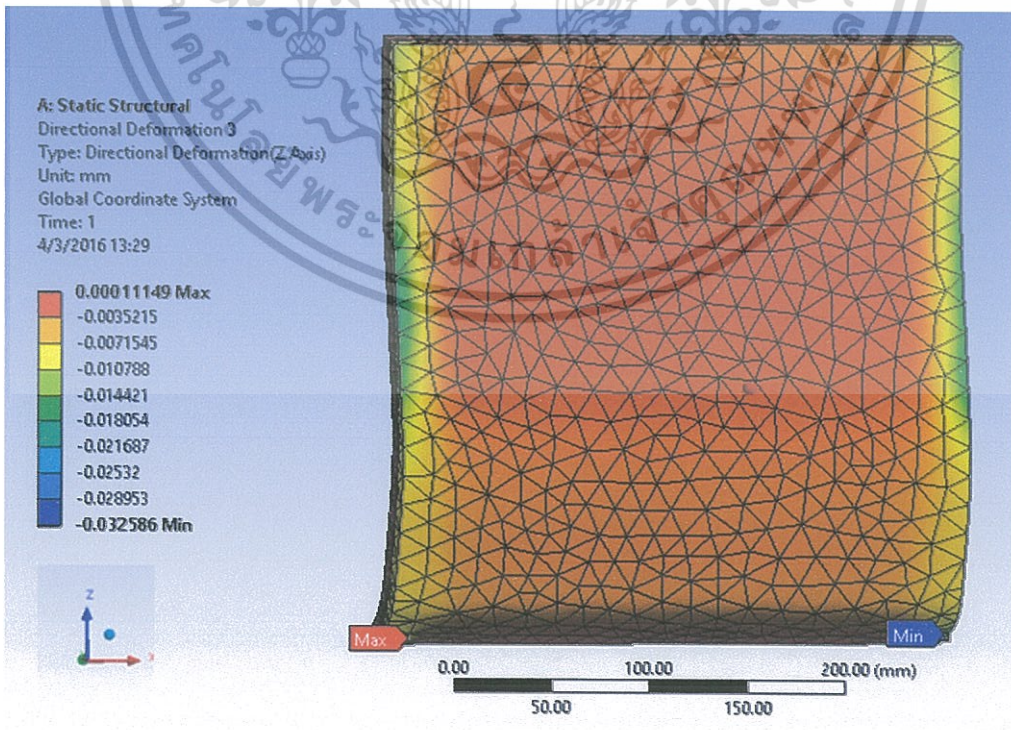
รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



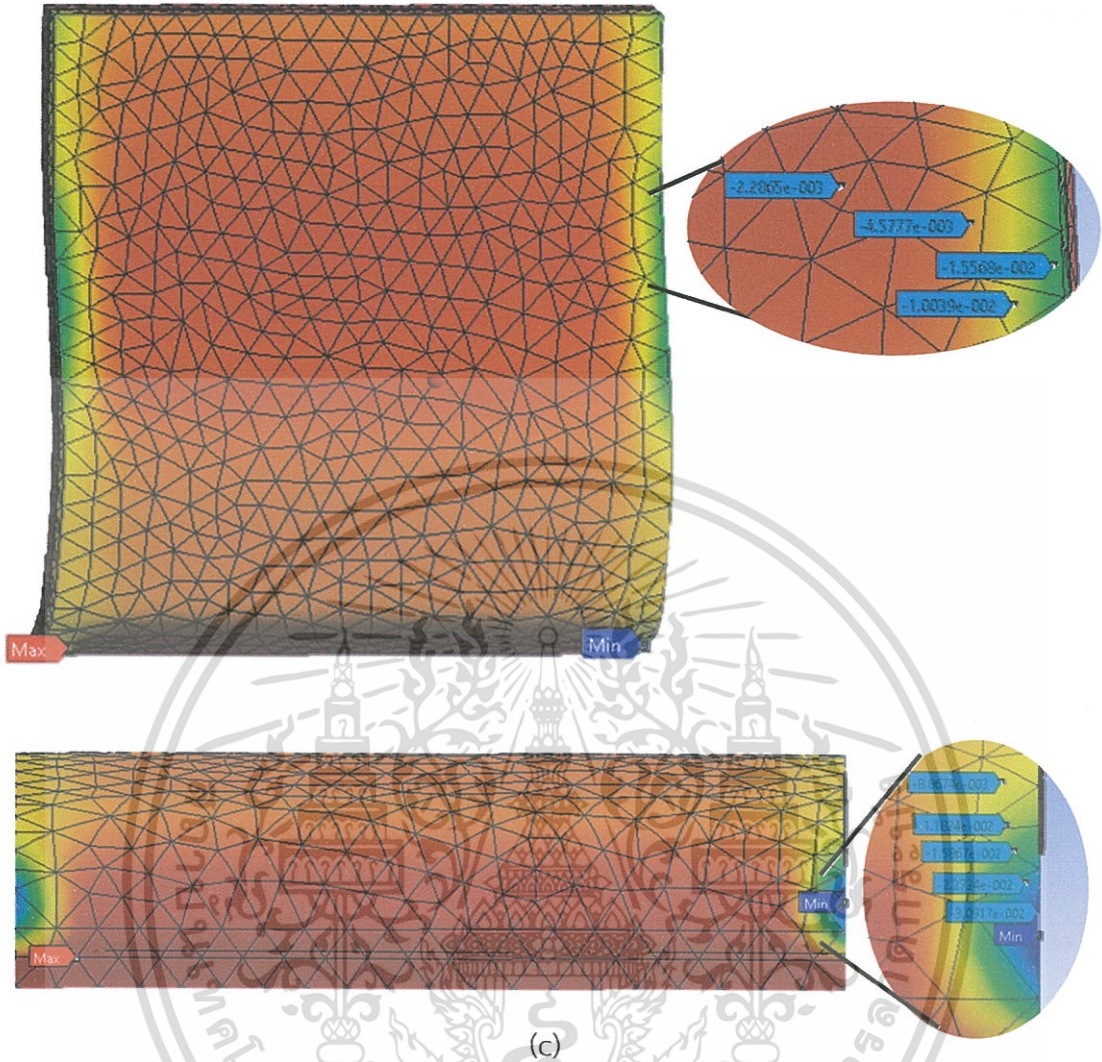
รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy (2)

#### 4.11 ผลคำนวณ Direction Deformation(Z-Axis) EVA&Superlene



(a)

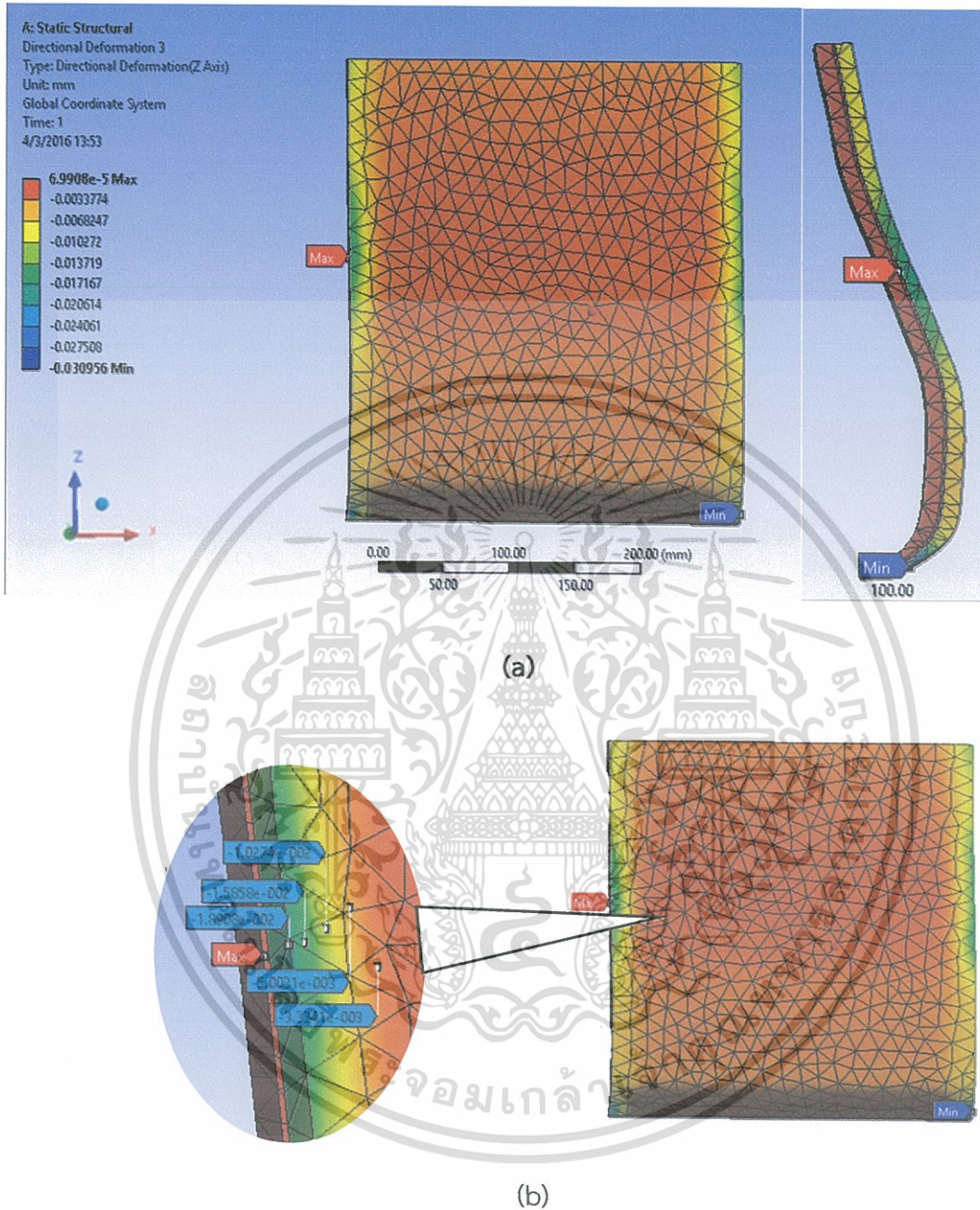
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ผลลัพธ์ Direction Deformation(Z-Axis) of EVA& Superlene (a)ภาพด้านหน้า (b) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง(ด้านข้าง) (c) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (ส่วนปลายเบาะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.12 ผลคำนวณ Direction Deformation(Z-Axis) EVA&Aluminum Alloy



รูปที่ 4.28 ผลลัพธ์ Direction Deformation(Z-Axis) of EVA&Aluminum Alloy  
(a)ภาพด้านหน้าและด้านข้าง (b) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง( ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Minimum Direction Deformation(Z-Axis)

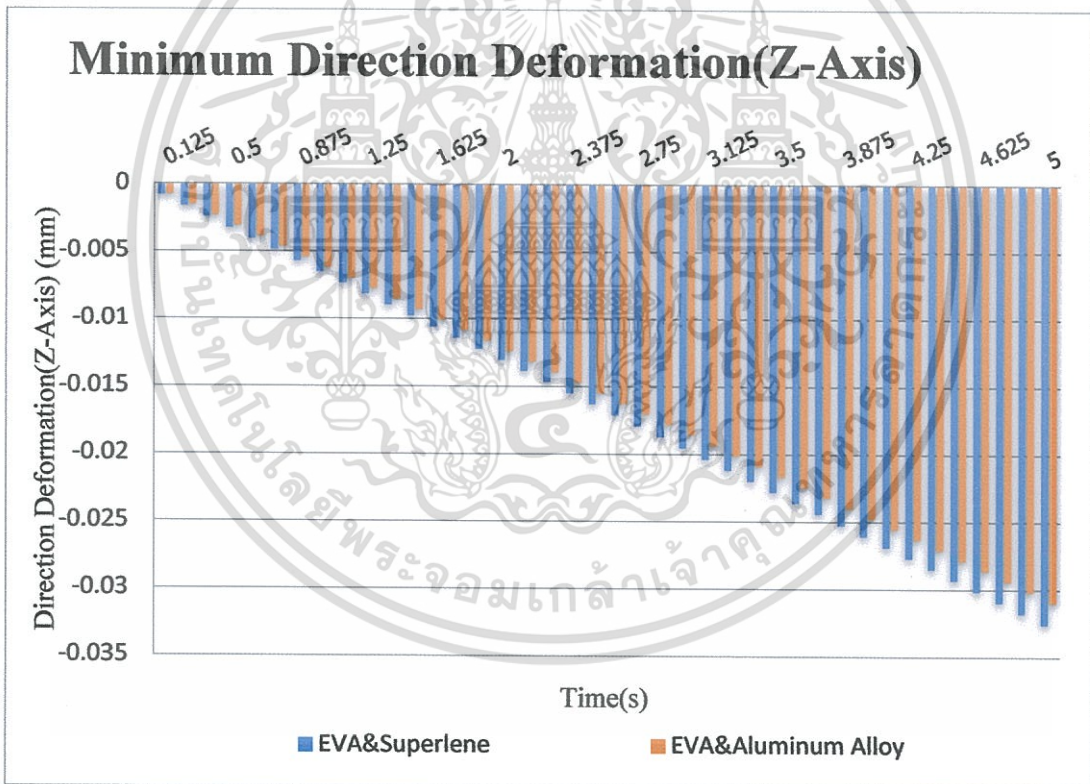
Minimum Direction Deformation(Z-Axis) (mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
0.125	-0.00081459	-0.00077384
0.25	-0.0016292	-0.0015477
0.375	-0.0024439	-0.0023216
0.5	-0.0032585	-0.0030955
0.625	-0.0040732	-0.0038694
0.75	-0.0048878	-0.0046433
0.875	-0.0057025	-0.0054172
1	-0.0065171	-0.0061911
1.125	-0.0073318	-0.0069650
1.25	-0.0081464	-0.0077389
1.375	-0.0089611	-0.0085129
1.5	-0.0097757	-0.0092868
1.625	-0.01059	-0.010061
1.75	-0.011405	-0.010835
1.875	-0.012220	-0.011608
2	-0.013034	-0.012382
2.125	-0.013849	-0.013156
2.25	-0.014664	-0.013930
2.375	-0.015478	-0.014704
2.5	-0.016293	-0.015478
2.625	-0.017108	-0.016252
2.75	-0.017922	-0.017026
2.875	-0.018737	-0.017800
3	-0.019552	-0.018574
3.125	-0.020366	-0.019347
3.25	-0.021181	-0.020121
3.375	-0.021995	-0.020895
3.5	-0.022810	-0.021669
3.625	-0.023625	-0.022443
3.75	-0.024439	-0.023217
3.875	-0.025254	-0.023991
4	-0.026069	-0.024765
4.125	-0.026883	-0.025539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงค่า Minimum Direction Deformation(Z-Axis)

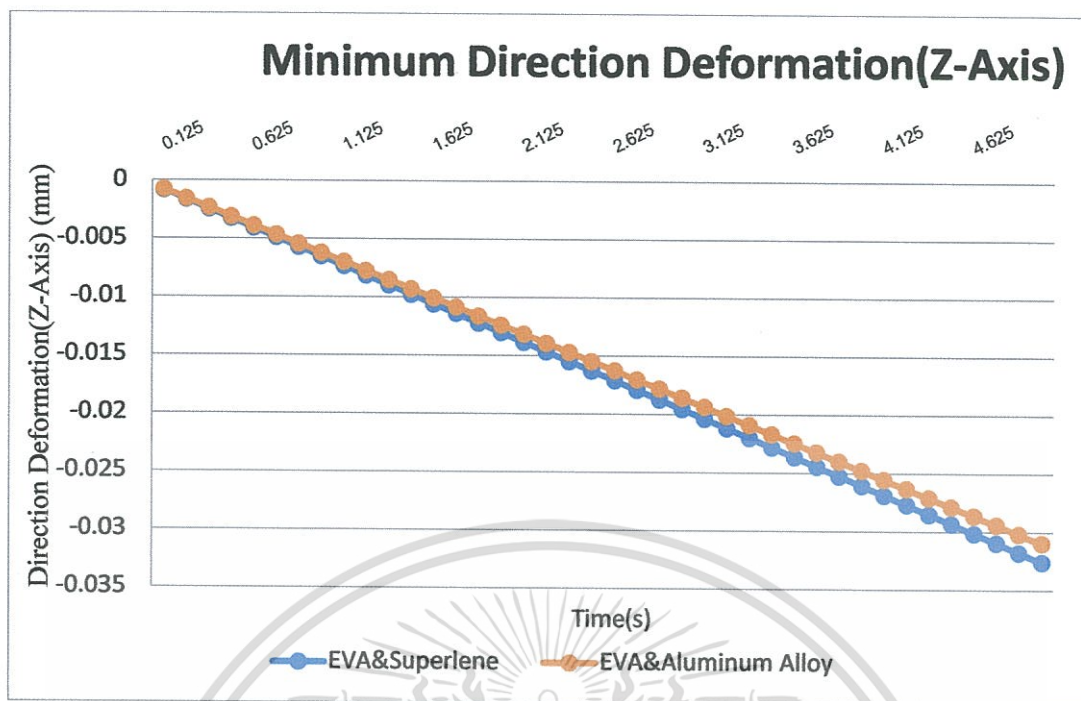
Minimum Direction Deformation(Z-Axis) (mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
4.25	-0.027698	-0.026313
4.375	-0.028513	-0.027086
4.5	-0.029327	-0.027860
4.625	-0.030142	-0.028634
4.75	-0.030957	-0.029408
4.875	-0.031771	-0.030182
5	-0.032586	-0.030956

กราฟเปรียบเทียบผล Minimum Direction Deformation(Z-Axis) ระหว่าง EVA & Superlene และ EVA & Aluminum Alloy



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (2)

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า Maximum Direction Deformation(Z-Axis)

Maximum Direction Deformation(Z-Axis)(mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
0.125	0.0000027878	0.0000017477
0.25	0.0000055753	0.0000034955
0.375	0.0000083628	0.0000052433
0.5	0.000011150	0.0000069910
0.625	0.000013938	0.0000087388
0.75	0.000016725	0.000010487
0.875	0.000019513	0.000012234
1	0.000022300	0.000013982
1.125	0.000025088	0.000015730
1.25	0.000027875	0.000017478
1.375	0.000030662	0.000019225
1.5	0.000033450	0.000020973
1.625	0.000036237	0.000022721
1.75	0.000039025	0.000024469
1.875	0.000041812	0.000026216
2	0.000044599	0.000027964

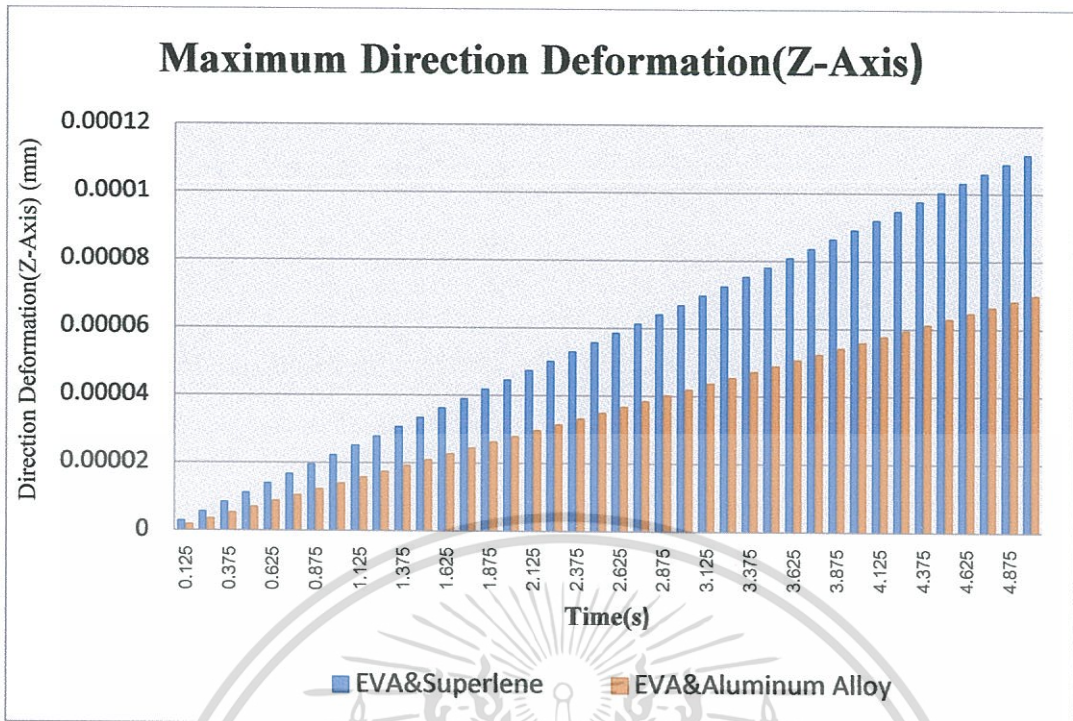
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Direction Deformation(Z-Axis)

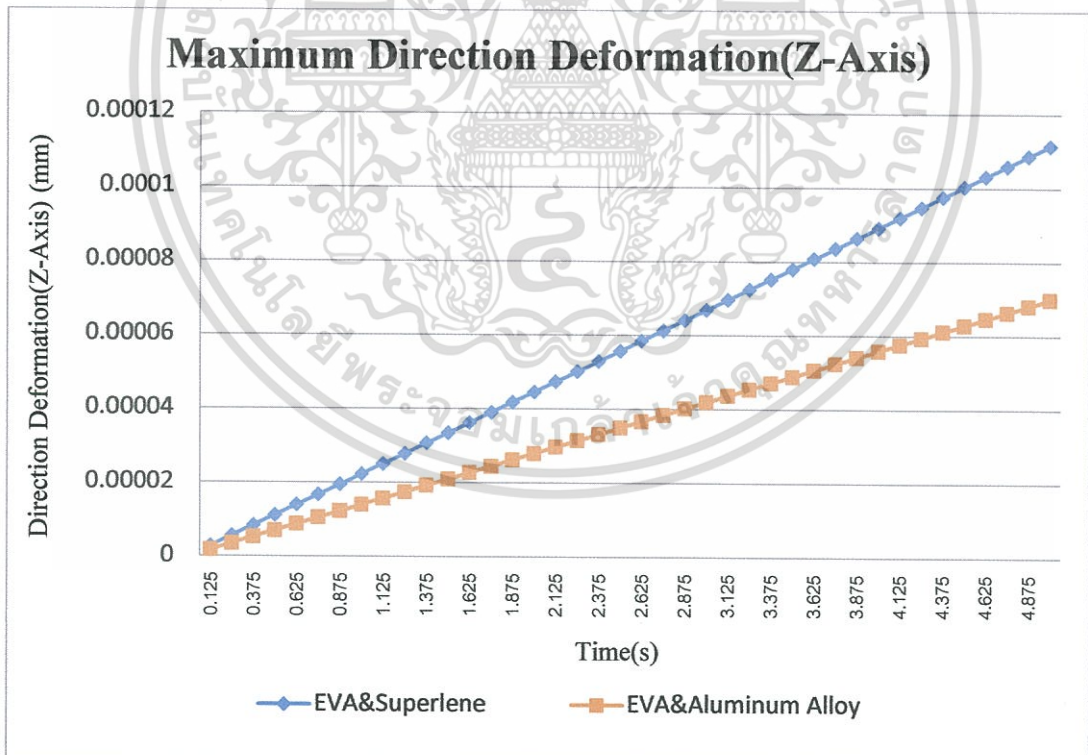
Maximum Direction Deformation(Z-Axis)(mm)		
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy
2.125	0.000047387	0.000029712
2.25	0.000050174	0.000031460
2.375	0.000052961	0.000033207
2.5	0.000055749	0.000034955
2.625	0.000058536	0.000036703
2.75	0.000061323	0.000038450
2.875	0.000064110	0.000040198
3	0.000066898	0.000041946
3.125	0.000069685	0.000043693
3.25	0.000072472	0.000045441
3.375	0.000075259	0.000047189
3.5	0.000078047	0.000048936
3.625	0.000080834	0.000050684
3.75	0.000083621	0.000052432
3.875	0.000086408	0.000054179
4	0.000089195	0.000055927
4.125	0.000091982	0.000057675
4.25	0.000094770	0.000059422
4.375	0.000097557	0.000061170
4.5	0.00010034	0.000062918
4.625	0.00010313	0.000064665
4.75	0.00010592	0.000066413
4.875	0.00010871	0.000068161
5	0.00011149	0.000069908

กราฟเปรียบเทียบผล Maximum Direction Deformation(Z-Axis) ระหว่าง EVA&Superlene และEVA&Aluminum Alloy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



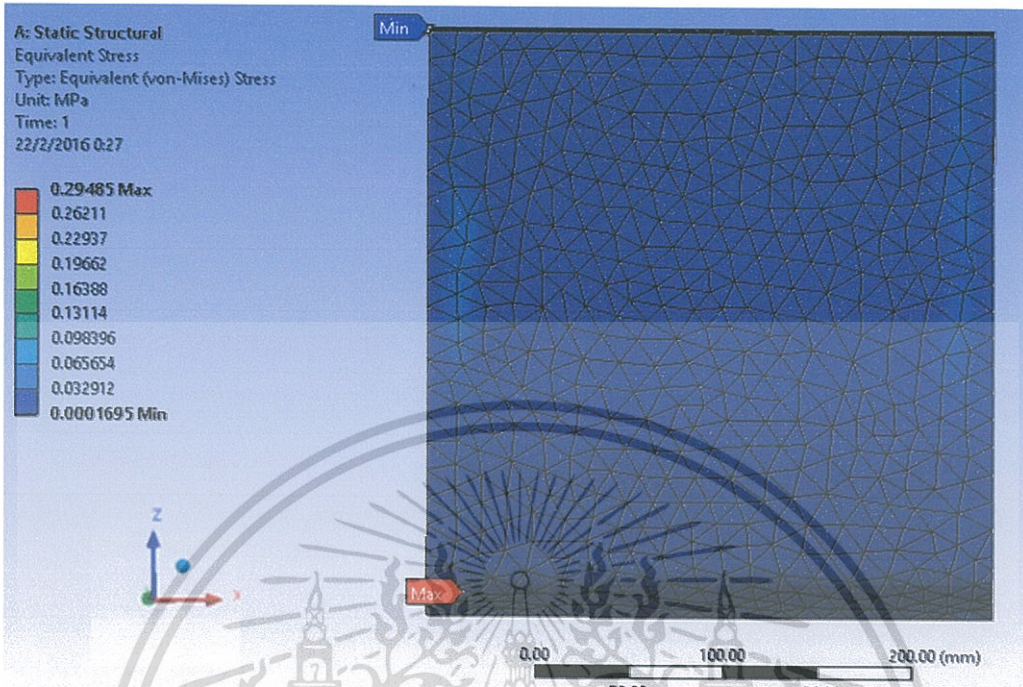
รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (1)



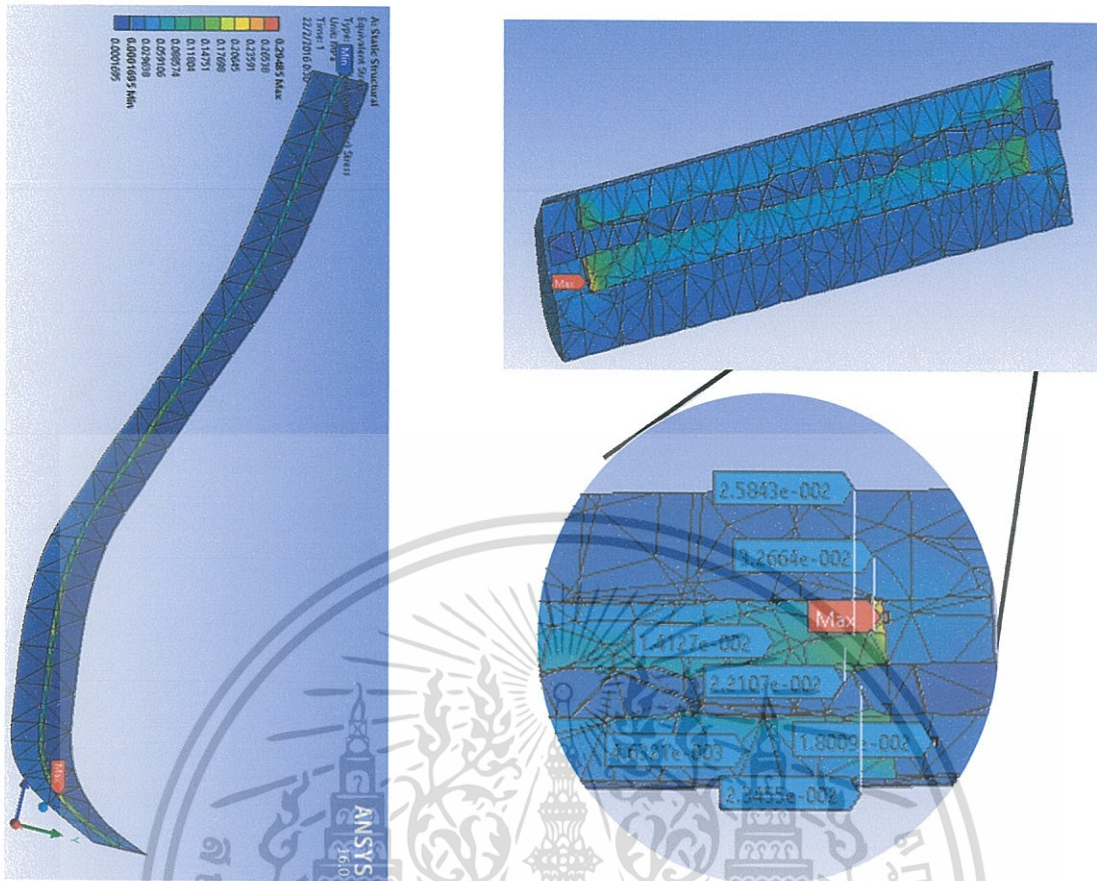
รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

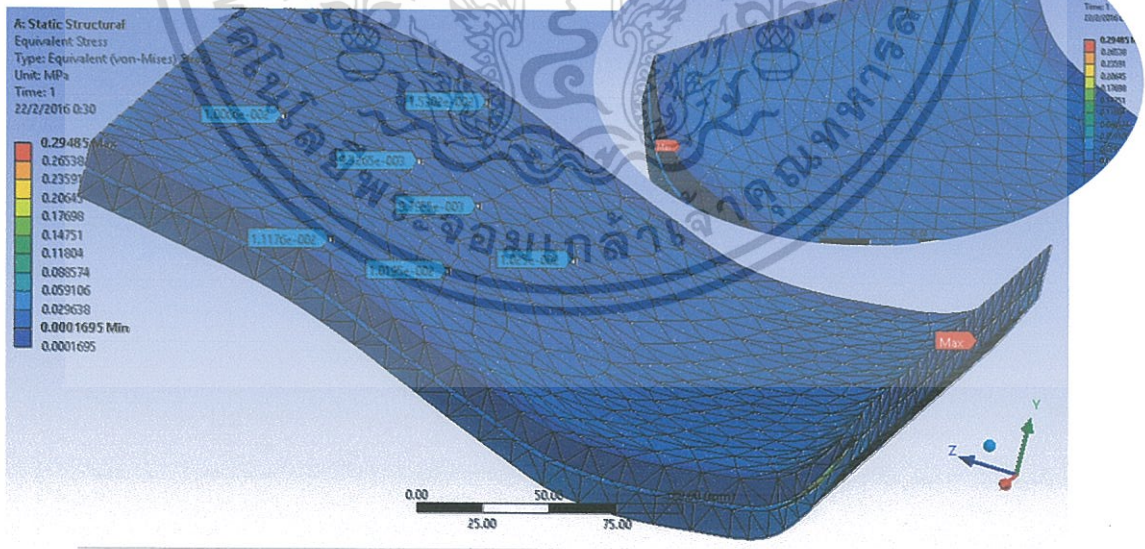
#### 4.13 ผลค่านาน Equivalent Stress of EVA&Superlene



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



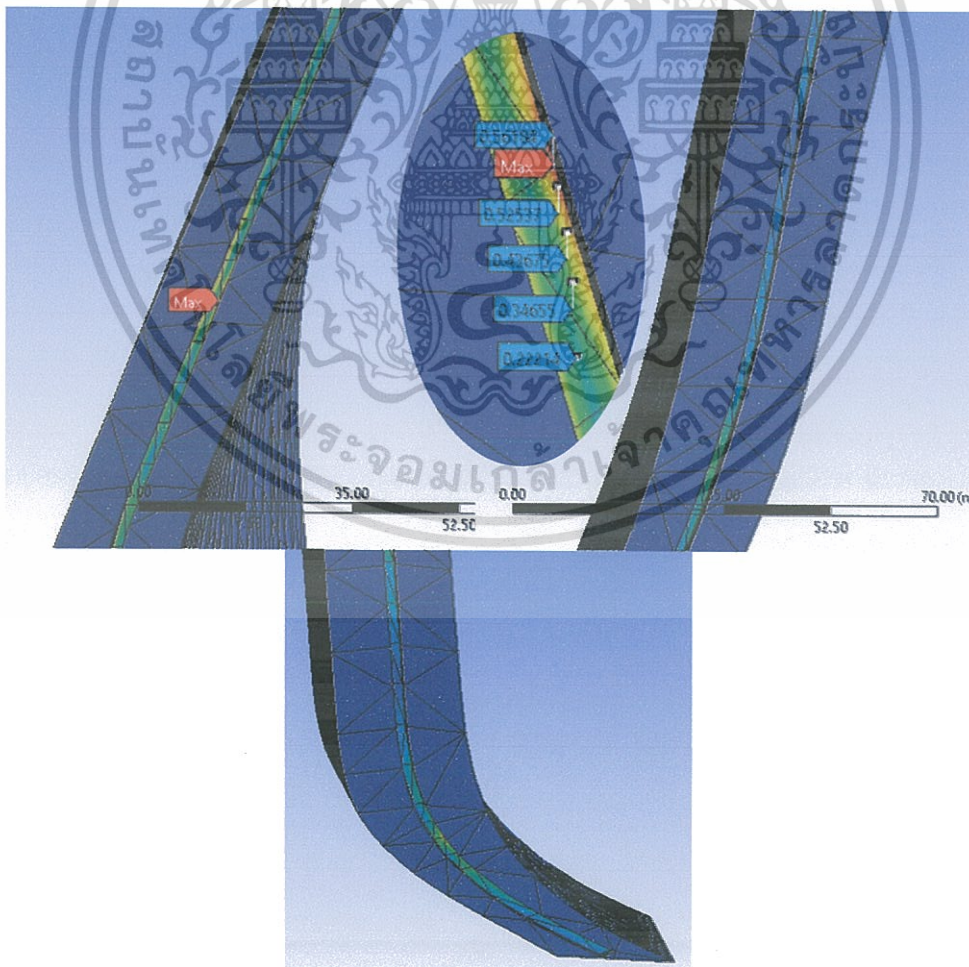
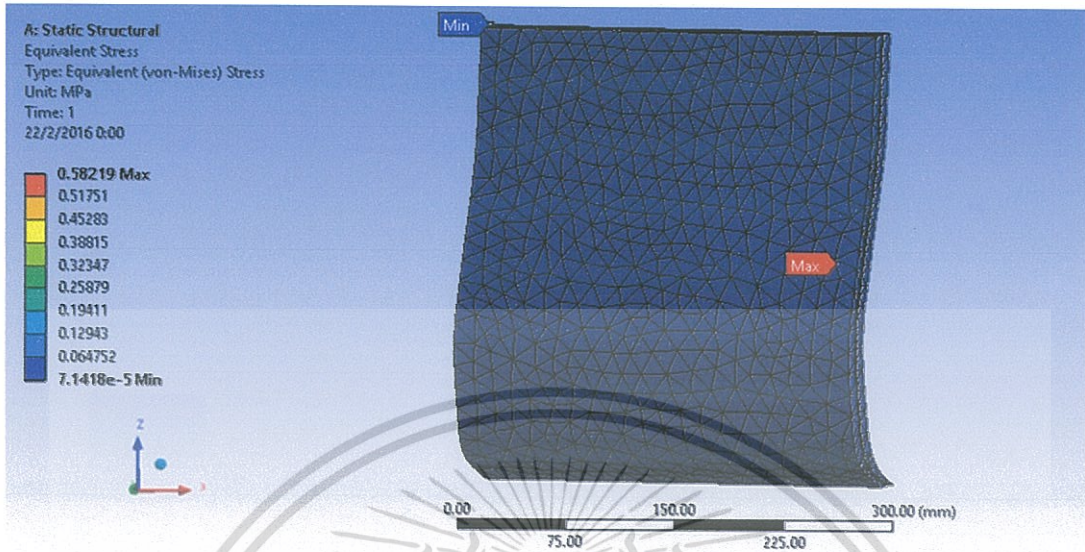
(d)

รูปที่ 4.33 ผลลัพธ์ Equivalent Stress of EVA&Superlene

(a)ภาพด้านหน้า (b) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง(ด้านข้าง) (c) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง(แกน Superlene) (d)แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง(ด้านหลัง)

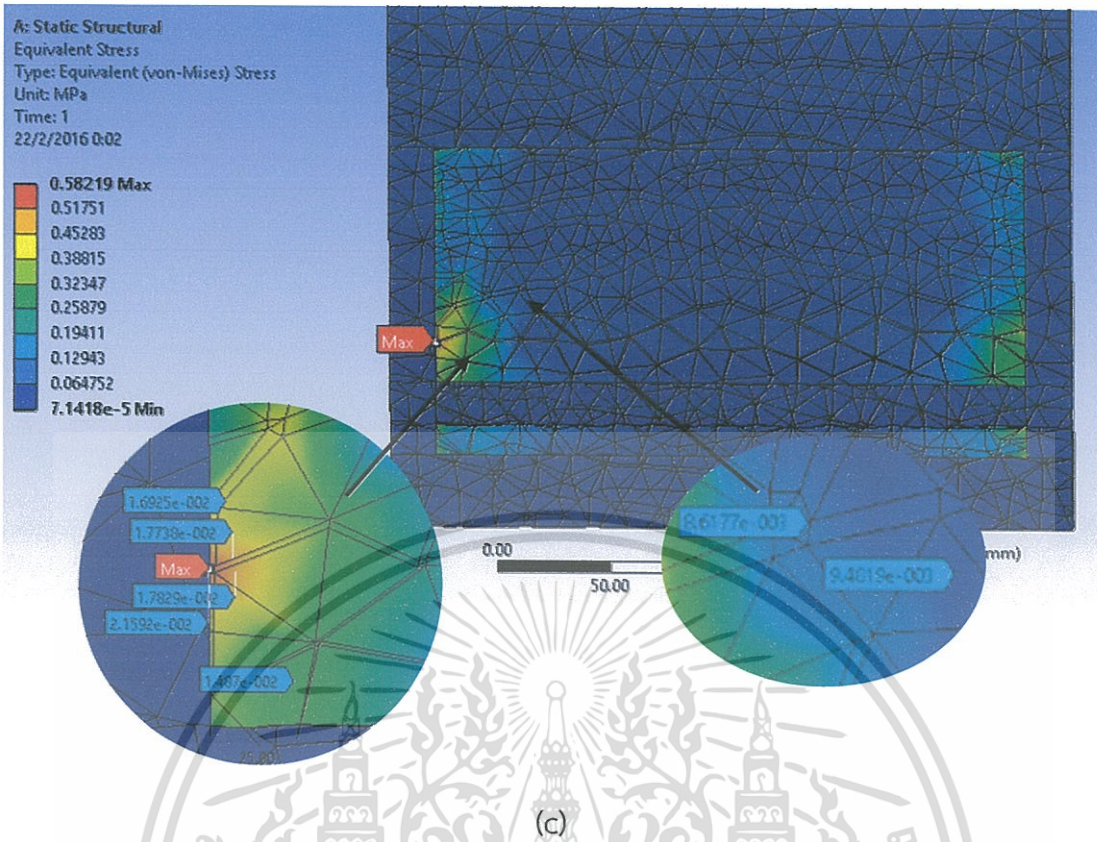
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.14 ผลคำนวณ Equivalent Stress of EVA&Aluminum Alloy



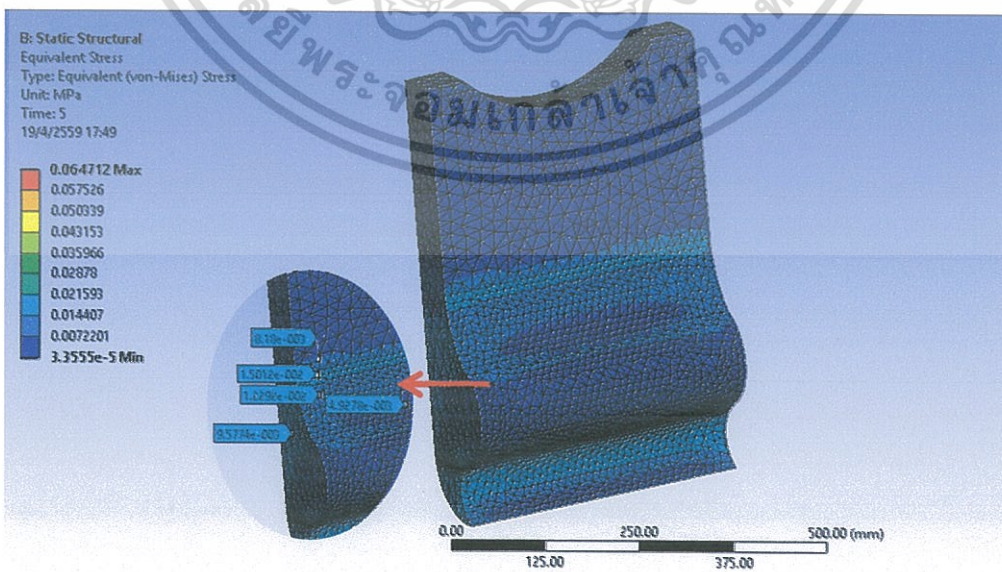
(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

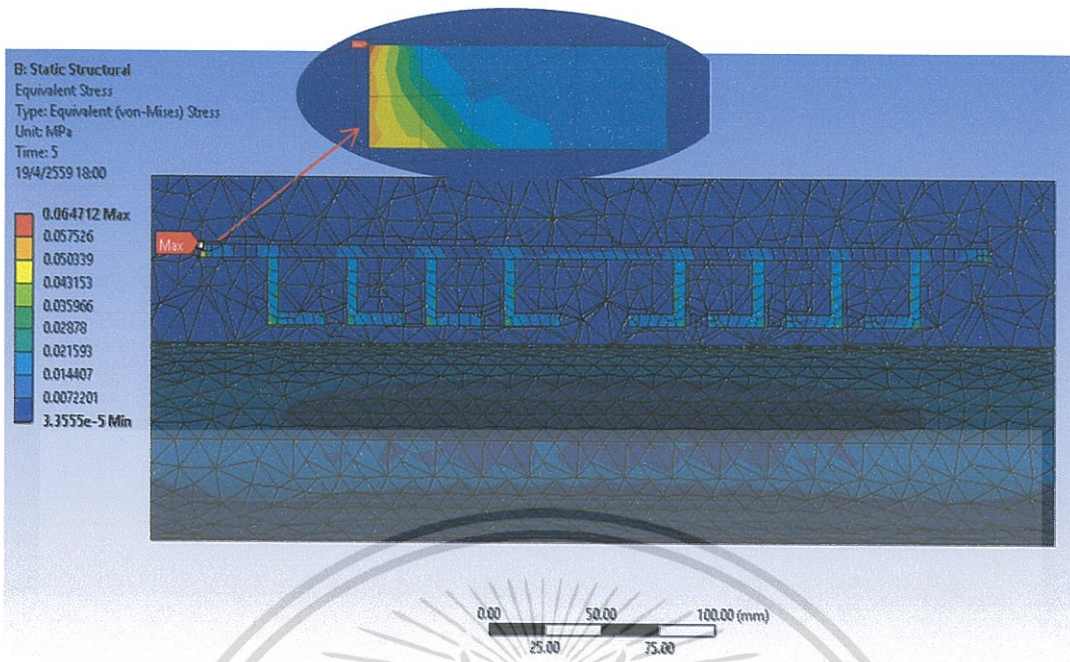


รูปที่ 4.34 ผลลัพธ์ Equivalent Stress of EVA&Aluminum Alloy  
 (a)ภาพด้านหน้า (b) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในมุมมอดด้านข้าง(แกนใน) (c) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในภาคตัดขวาง(แกน Aluminum Alloy)

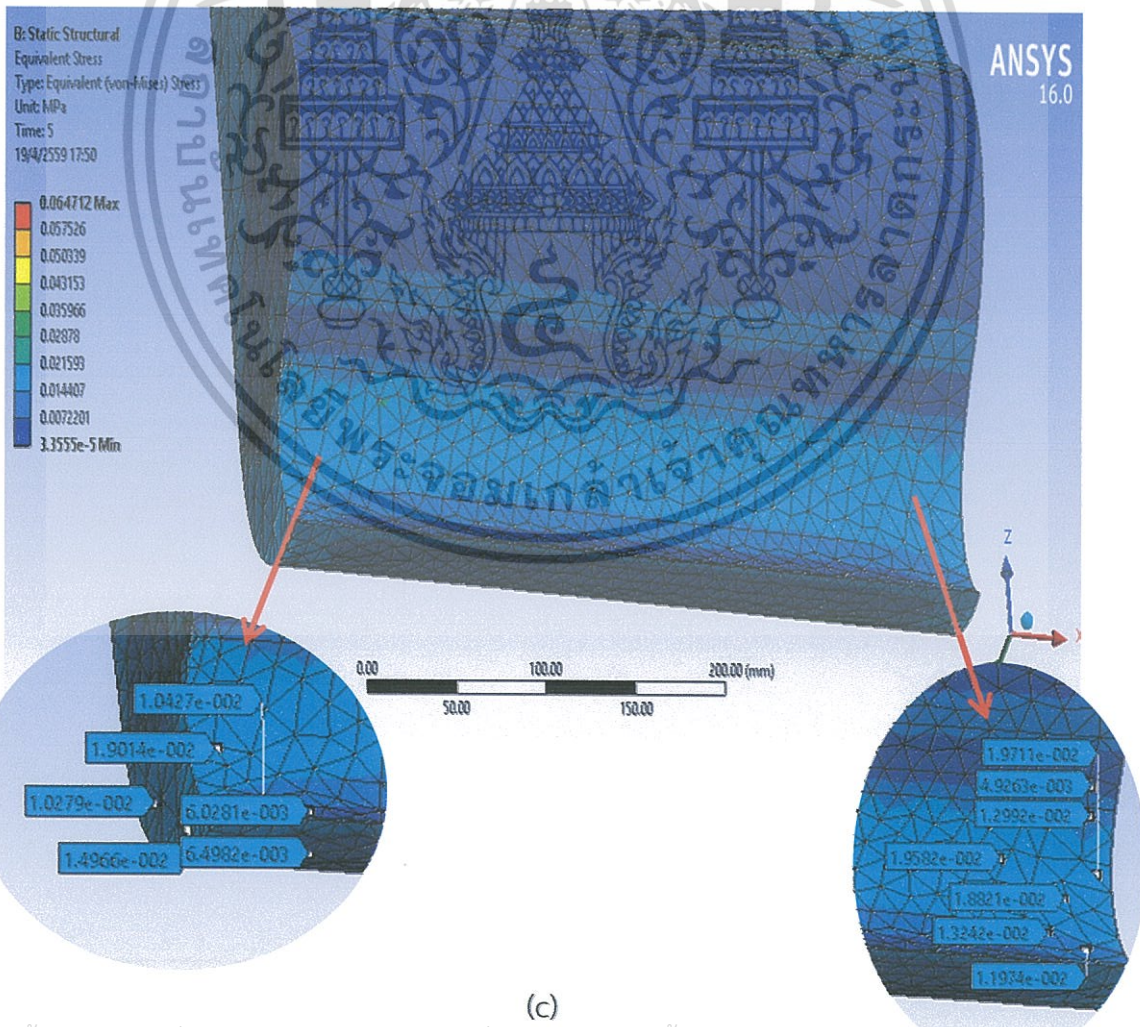
4.15 ผลคำนวณ Equivalent Stress of Aluminum Alloy&Neoprene rubber



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

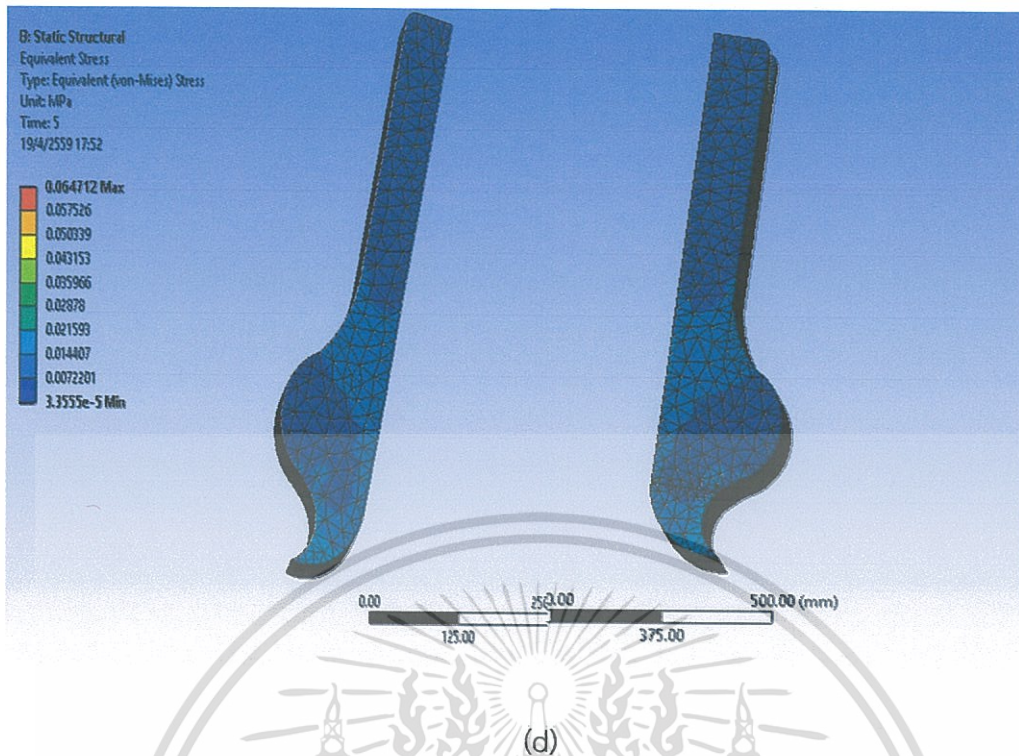


(b)



(c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ผลลัพธ์ Equivalent Stress of Aluminum Alloy&Neoprene rubber  
(a)ภาพด้านหน้า (b)แสดงแถบค่าในส่วนพยางสะบักภายในเบาะ (c)แสดงค่าที่ส่วนปลาย  
ของเบาะพยางหลัง (d)แสดงลักษณะด้านข้าง

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า Minimum Equivalent Stress

Minimum Equivalent Stress (MPa)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
0.125	0.0000042376	0.0000017855	0.00000083889
0.25	0.0000084750	0.0000035709	0.0000016778
0.375	0.000012712	0.0000053563	0.0000025167
0.5	0.000016950	0.0000071417	0.0000033555
0.625	0.000021187	0.0000089271	0.0000041944
0.75	0.000025424	0.000010712	0.0000050333
0.875	0.000029662	0.000012498	0.0000058722
1	0.000033899	0.000014283	0.0000067111
1.125	0.000038136	0.000016069	0.0000075500
1.25	0.000042373	0.000017854	0.0000083889
1.375	0.000046611	0.000019639	0.0000092277
1.5	0.000050848	0.000021425	0.000010067

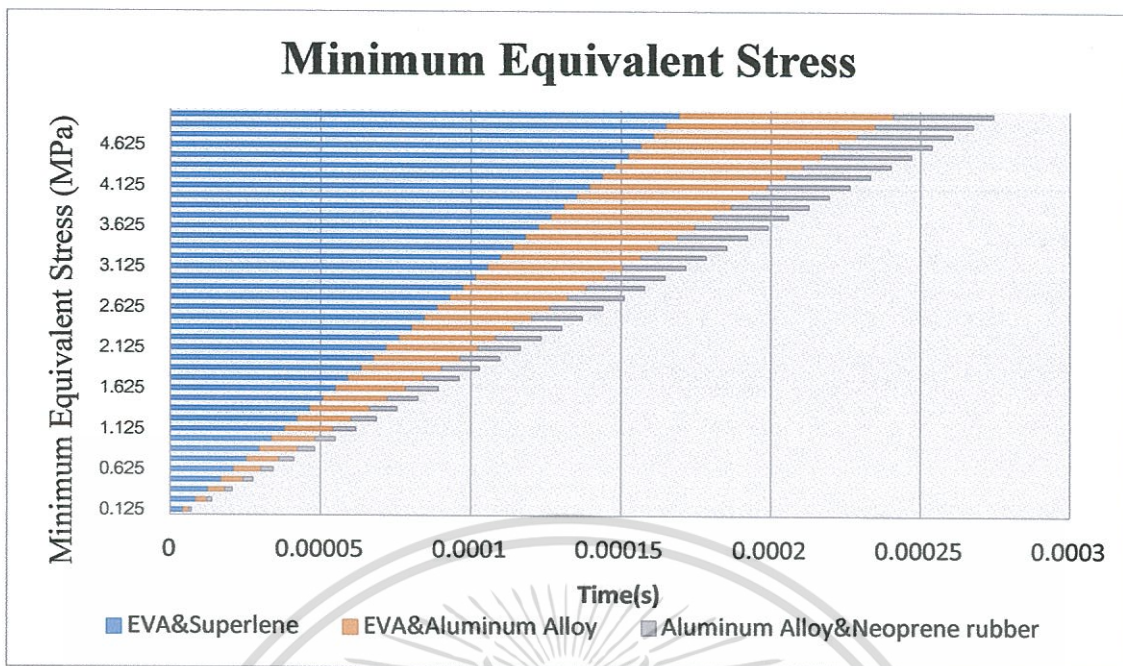
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงค่า Minimum Equivalent Stress

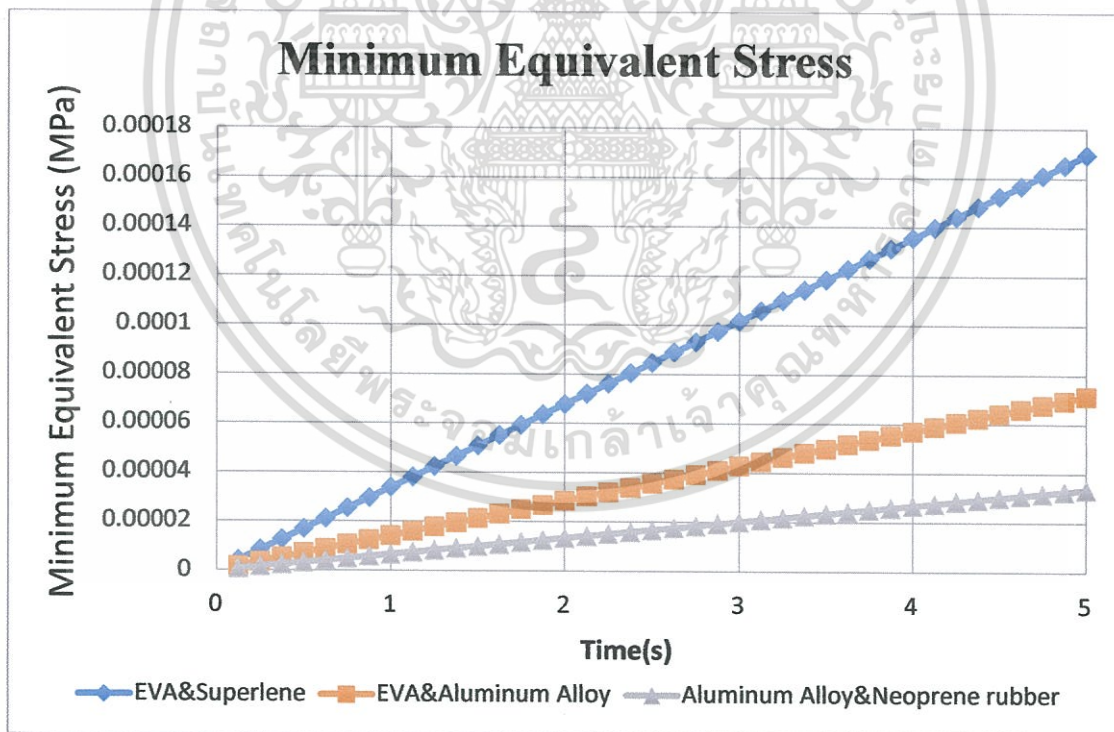
Minimum Equivalent Stress (MPa)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
1.625	0.000055085	0.000023210	0.000010906
1.75	0.000059322	0.000024995	0.000011744
1.875	0.000063559	0.000026781	0.000012583
2	0.000067797	0.000028566	0.000013422
2.125	0.000072034	0.000030351	0.000014261
2.25	0.000076271	0.000032137	0.000015100
2.375	0.000080508	0.000033922	0.000015939
2.5	0.000084745	0.000035707	0.000016778
2.625	0.000088982	0.000037493	0.000017617
2.75	0.000093219	0.000039278	0.000018455
2.875	0.000097456	0.000041063	0.000019294
3	0.00010169	0.000042848	0.000020133
3.125	0.00010593	0.000044634	0.000020972
3.25	0.00011017	0.000046419	0.000021811
3.375	0.00011440	0.000048204	0.000022650
3.5	0.00011864	0.000049989	0.000023489
3.625	0.00012288	0.000051775	0.000024328
3.75	0.00012711	0.000053560	0.000025167
3.875	0.00013135	0.000055345	0.000026005
4	0.00013559	0.000057130	0.000026844
4.125	0.00013982	0.000058916	0.000027683
4.25	0.00014406	0.000060701	0.000028522
4.375	0.00014830	0.000062486	0.000029361
4.5	0.00015254	0.000064271	0.000030200
4.625	0.00015677	0.000066056	0.000031039
4.75	0.00016101	0.000067842	0.000031878
4.875	0.00016525	0.000069627	0.000032717
5	0.00016948	0.000071412	0.000033555

กราฟเปรียบเทียบ Minimum Equivalent Stress ระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Suprlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1)



รูปที่ 4.37 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Suprlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า Maximum Equivalent Stress

Maximum Equivalent Stress (MPa)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
0.125	0.0073713	0.014555	0.0016178
0.25	0.014758	0.029109	0.0032356
0.375	0.022144	0.043664	0.0048534
0.5	0.029531	0.058218	0.0064712
0.625	0.036917	0.072772	0.0080890
0.75	0.044303	0.087326	0.0097069
0.875	0.051690	0.10188	0.011325
1	0.059076	0.11643	0.012942
1.125	0.066463	0.13099	0.014560
1.25	0.073849	0.14554	0.016178
1.375	0.081236	0.16010	0.017796
1.5	0.088622	0.17465	0.019414
1.625	0.096009	0.18921	0.021032
1.75	0.10340	0.20376	0.022649
1.875	0.11078	0.21831	0.024267
2	0.11817	0.23287	0.025885
2.125	0.12555	0.24742	0.027503
2.25	0.13294	0.26197	0.029121
2.375	0.14033	0.27653	0.030738
2.5	0.14771	0.29108	0.032356
2.625	0.15510	0.30564	0.033974
2.75	0.16249	0.32019	0.035592
2.875	0.16987	0.33474	0.037210
3	0.17726	0.34930	0.038827
3.125	0.18465	0.36385	0.040445
3.25	0.19203	0.37840	0.042063
3.375	0.19942	0.39296	0.043681
3.5	0.20681	0.40751	0.045299
3.625	0.21419	0.42207	0.046916
3.75	0.22158	0.43662	0.048534
3.875	0.22897	0.45117	0.050152
4	0.23635	0.46573	0.051770
4.125	0.24374	0.48028	0.053388

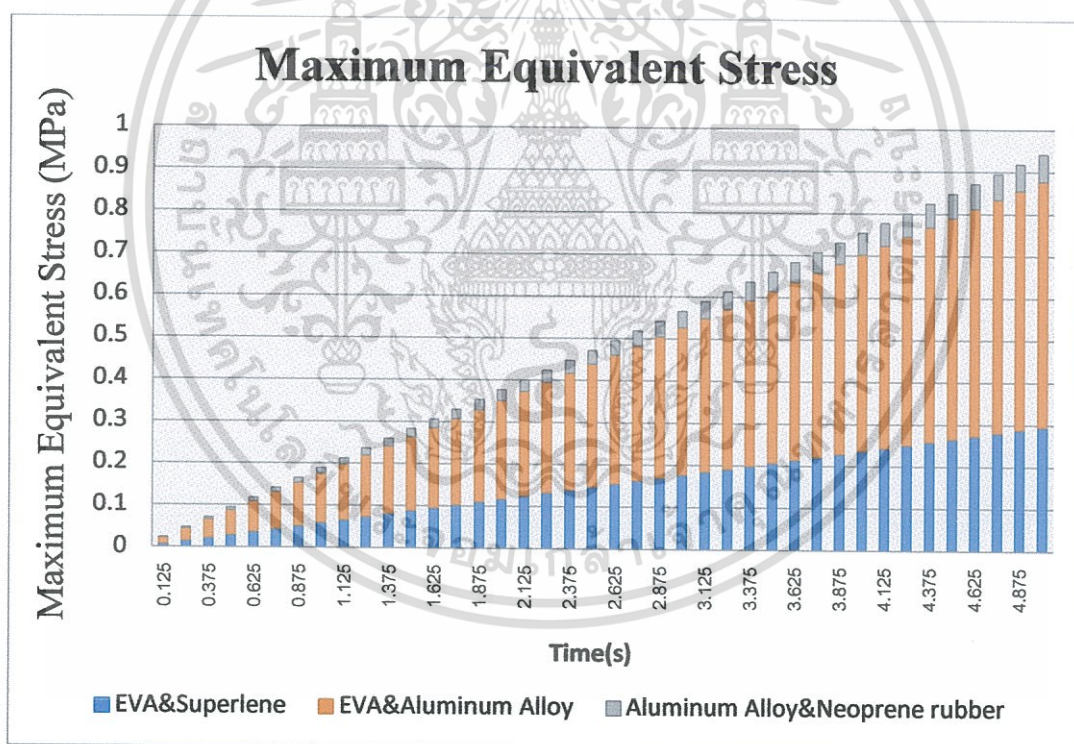
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Equivalent Stress

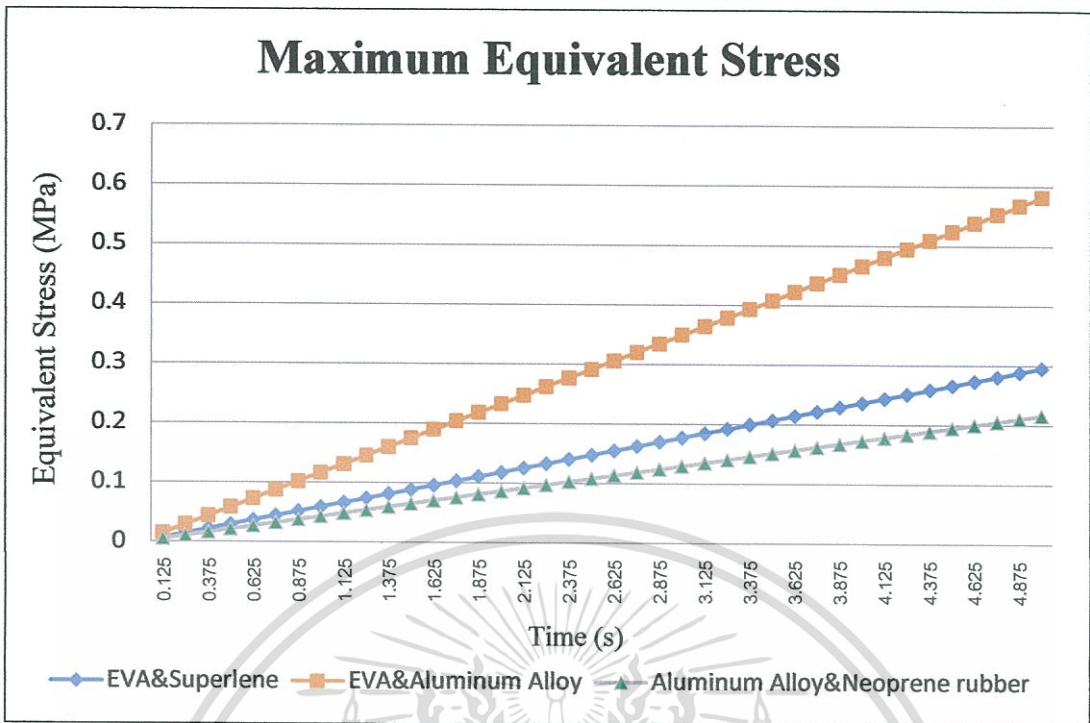
Maximum Equivalent Stress (MPa)			
Time(s)	EVA&Supertlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
4.25	0.25112	0.49483	0.055006
4.375	0.25851	0.50939	0.056623
4.5	0.26590	0.52394	0.058241
4.625	0.27328	0.53849	0.059859
4.75	0.28067	0.55305	0.061477
4.875	0.28806	0.56760	0.063095
5	0.29544	0.58215	0.064712

กราฟเปรียบเทียบ Maximum Equivalent Stress ระหว่าง EVA&Supertlene และ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber



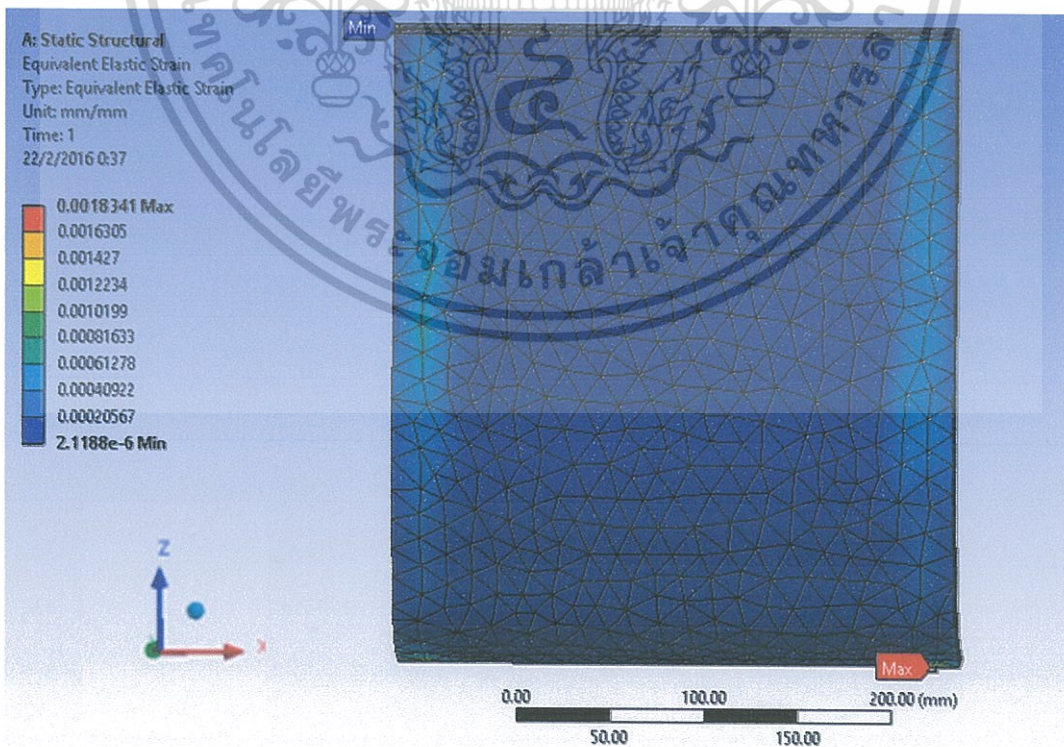
รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Supertlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



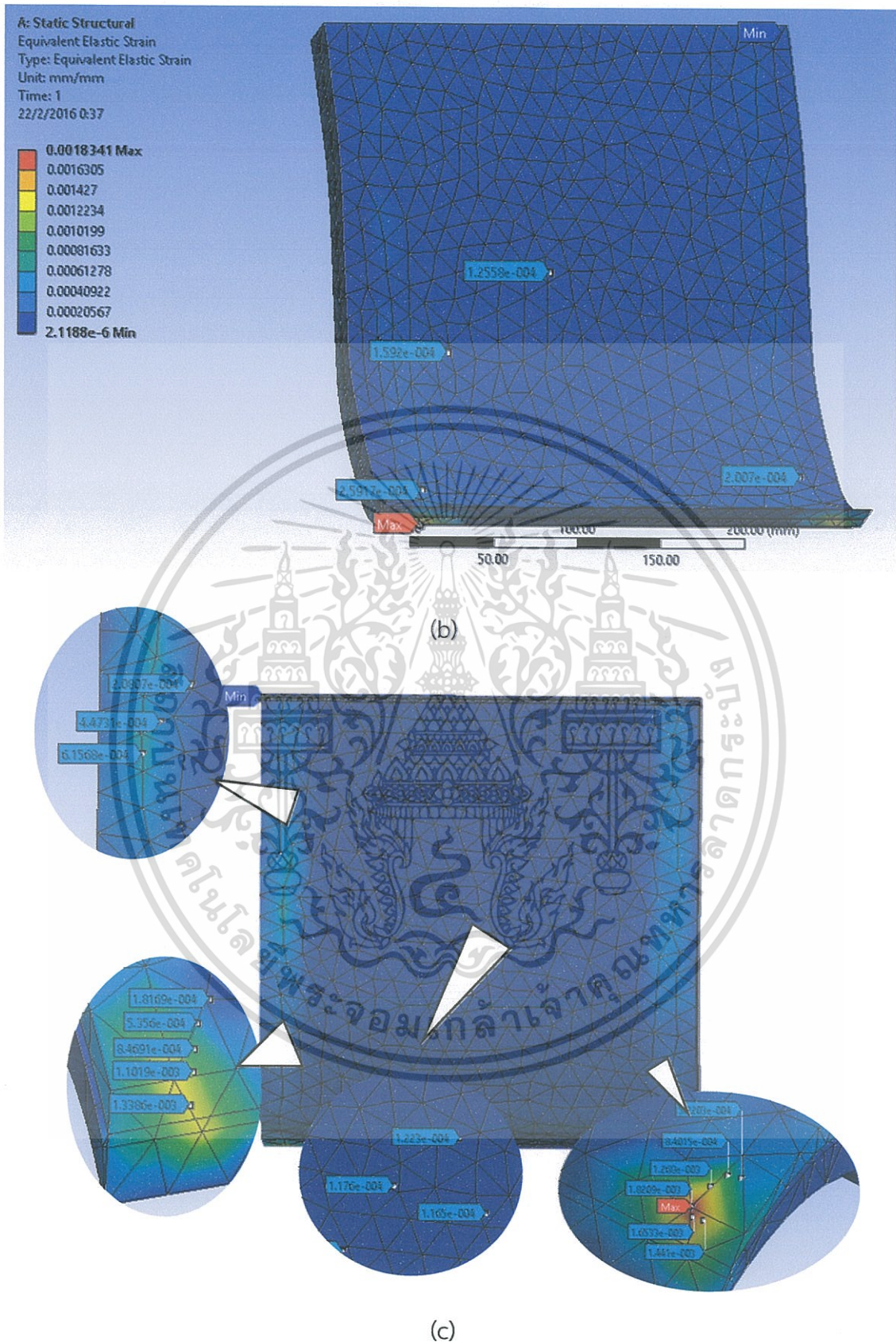
รูปที่ 4.39 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Suprelene และEVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber (2)

4.16 ผลคำนวณ Equivalent Elastic Strain of EVA&Suprelene



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

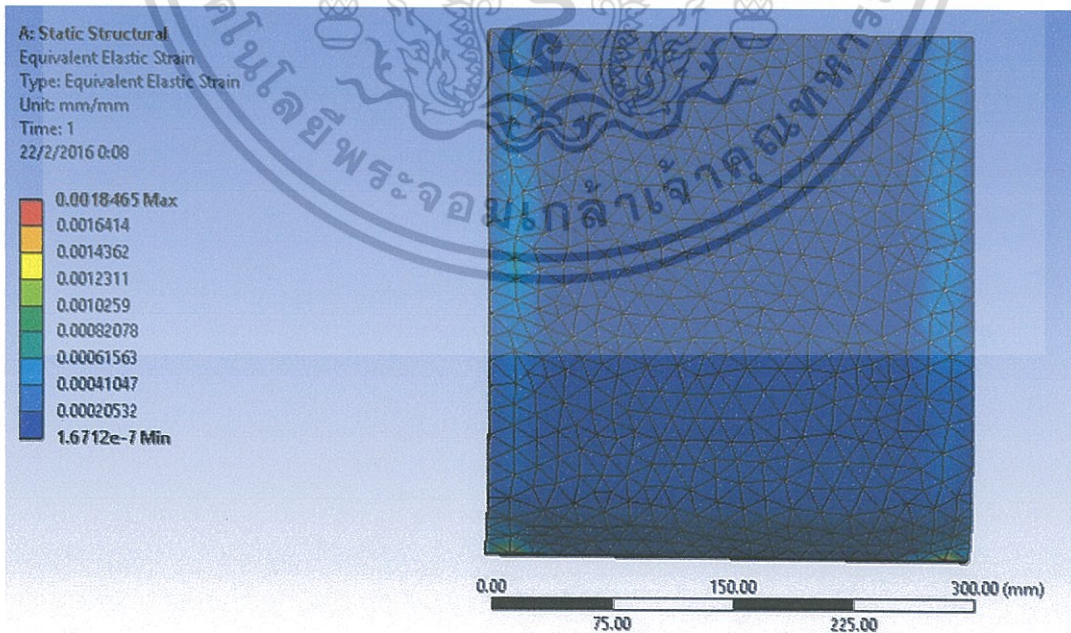
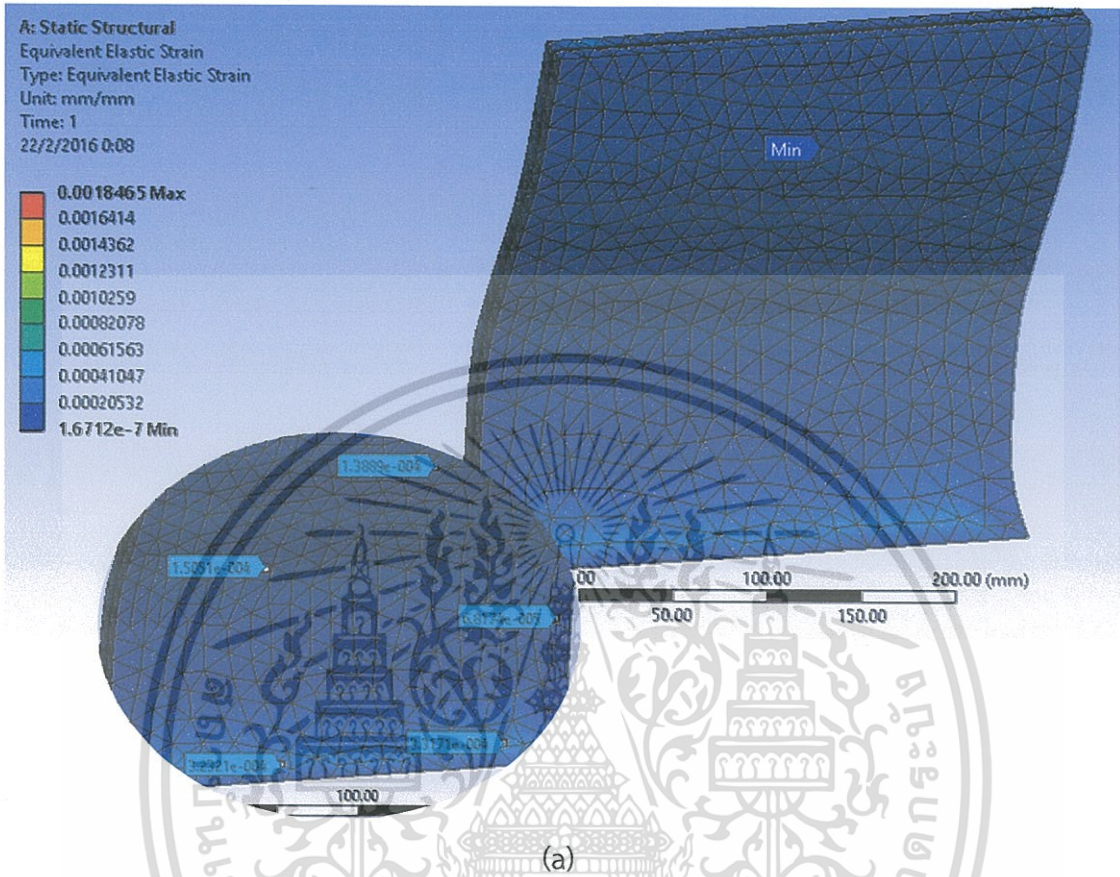


รูปที่ 4.40 ผลลัพธ์ Equivalent Elastic Strain of EVA&Superlens

(a) ภาพด้านบน (b) ภาพด้านหลัง (c) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

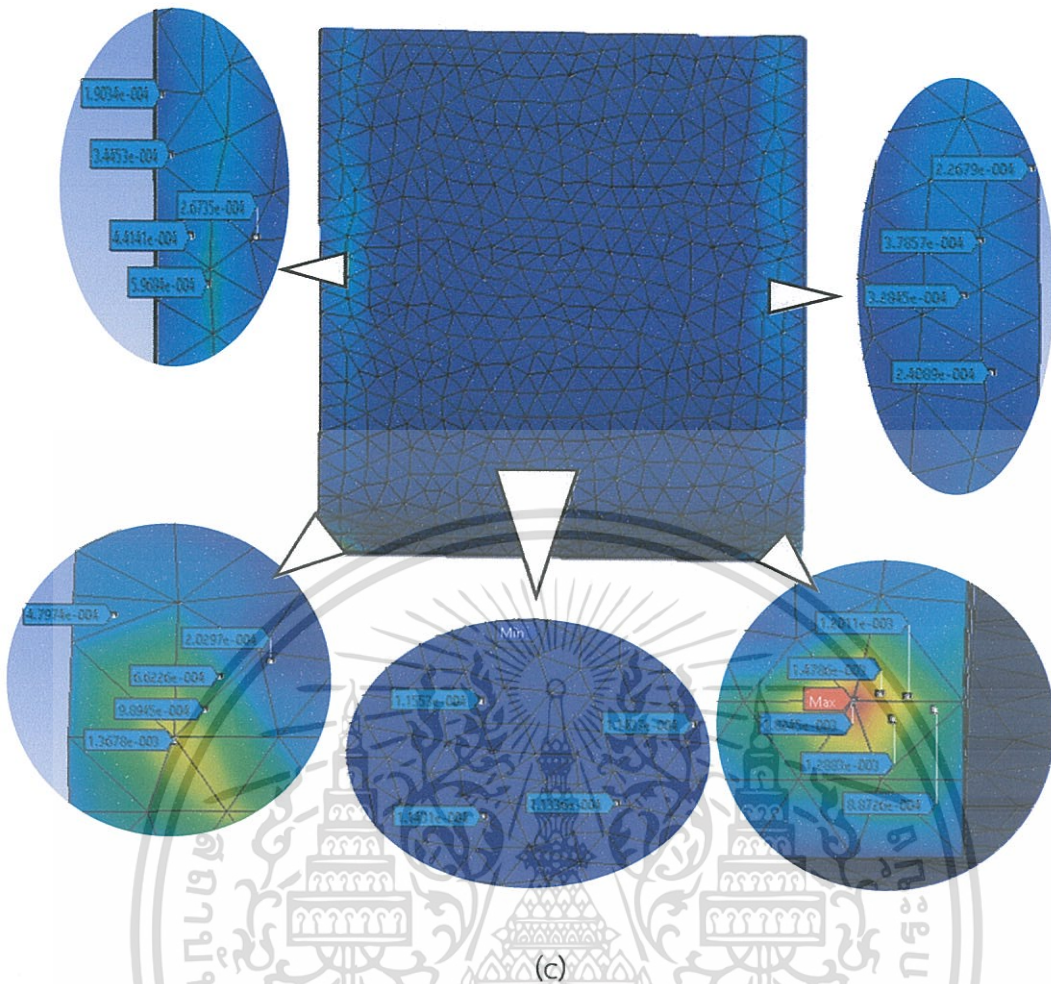
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.17 ผลคำนวณ Equivalent Elastic Strain of EVA&Aluminum Alloy



(b)

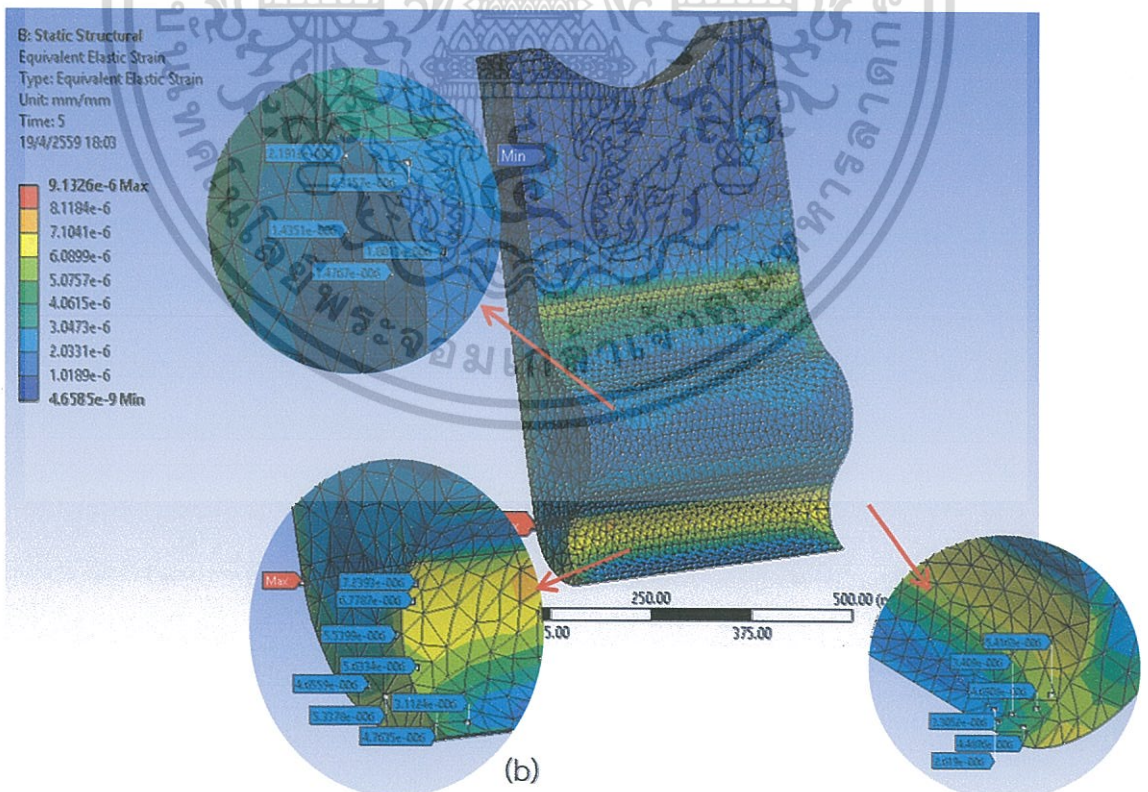
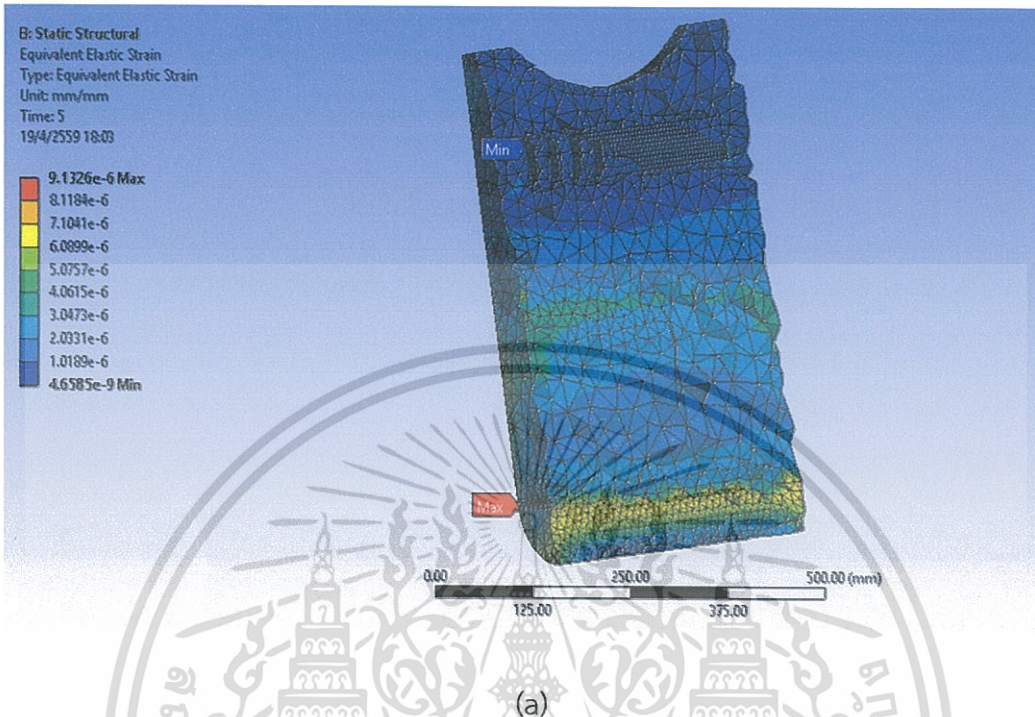
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



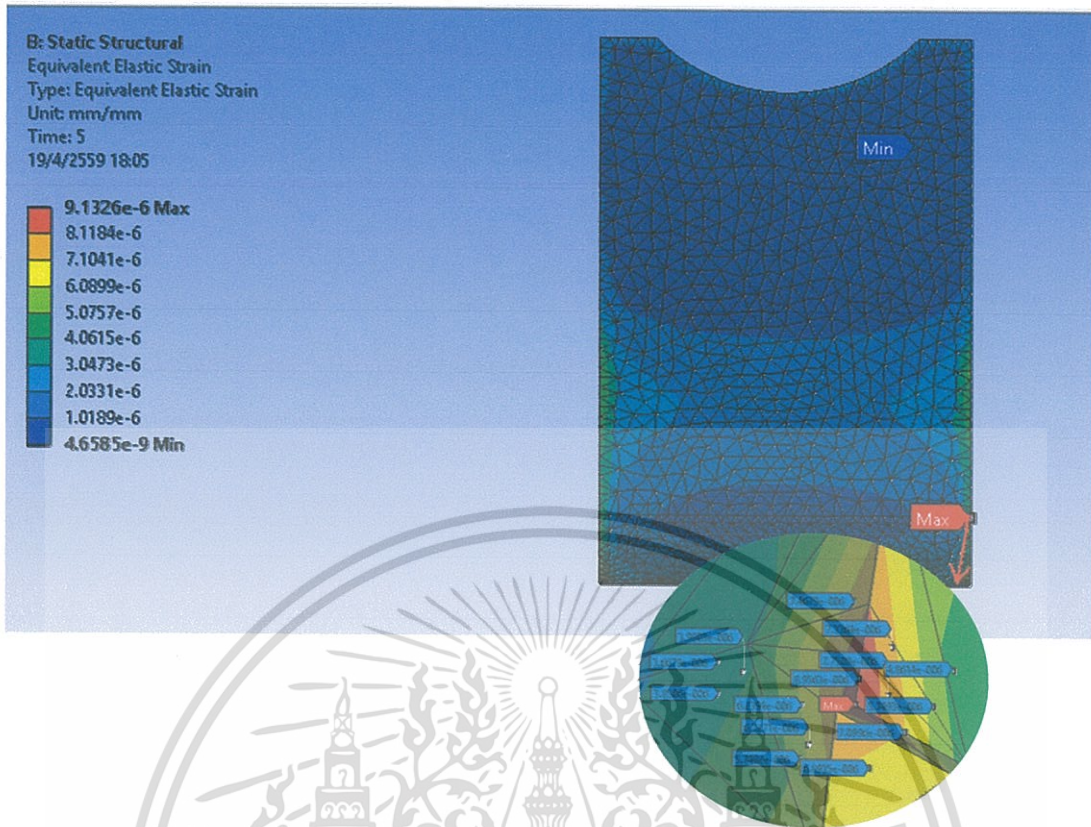
รูปที่ 4.41 ผลลัพธ์ Equivalent Elastic Strain of EVA&Aluminum Alloy (a) ภาพด้านหลังและค่าที่ได้จากการคำนวณ (b) ภาพด้านหน้า (c) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.18 ผลคำนวณ Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy & Neoprene rubber



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

รูปที่ 4.42 ผลลัพธ์ Equivalent Elastic Strain of Aluminum Alloy&Neoprene rubber  
(a)ภาพแสดงส่วนพยางค์สะบัก (b) ภาพด้านหน้าและค่าที่ได้จากการคำนวณ (ส่วนปลาย)  
(c) แสดงค่าในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในภาคตัดขวาง(รอยตัดโค้งด้านหลัง)

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า Minimum Equivalent Elastic Strain

Minimum Equivalent Elastic Strain(mm/mm)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
0.125	0.00000005297	0.0000000041781	0.0000000011646
0.25	0.00000010594	0.0000000083563	0.0000000023292
0.375	0.00000015890	0.000000012535	0.0000000034939
0.5	0.00000021187	0.000000016713	0.0000000046585
0.625	0.00000026484	0.000000020891	0.0000000058231
0.75	0.00000031780	0.000000025069	0.0000000069878
0.875	0.00000037077	0.000000029247	0.0000000081524
1	0.00000042374	0.000000033426	0.0000000093170
1.125	0.00000047670	0.000000037604	0.000000010482

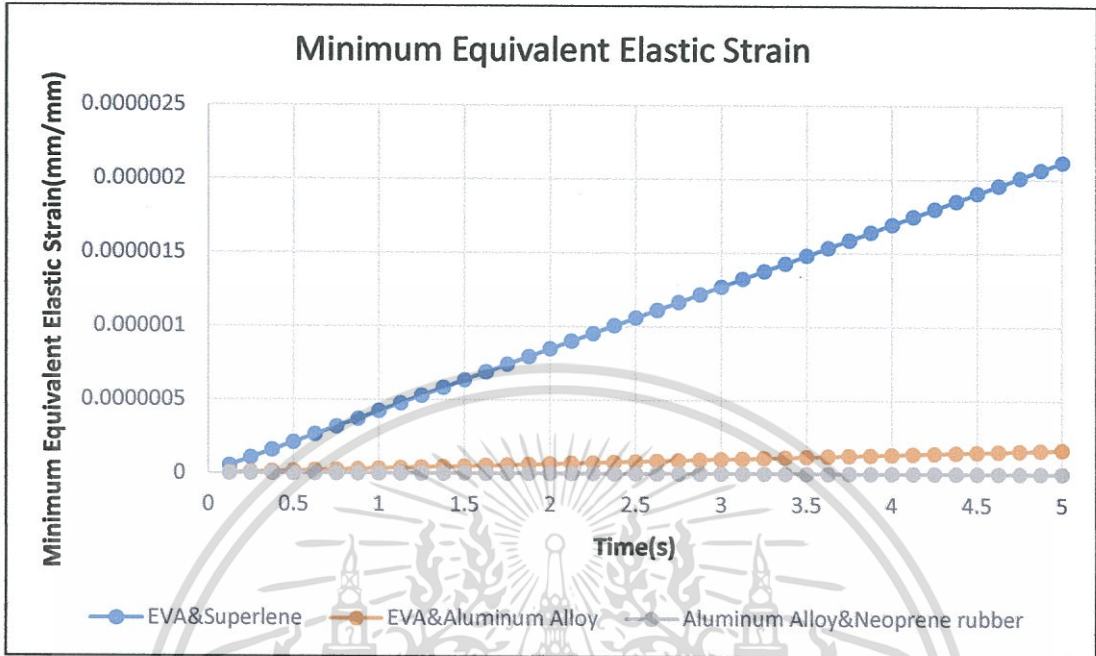
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงค่า Minimum Equivalent Elastic Strain

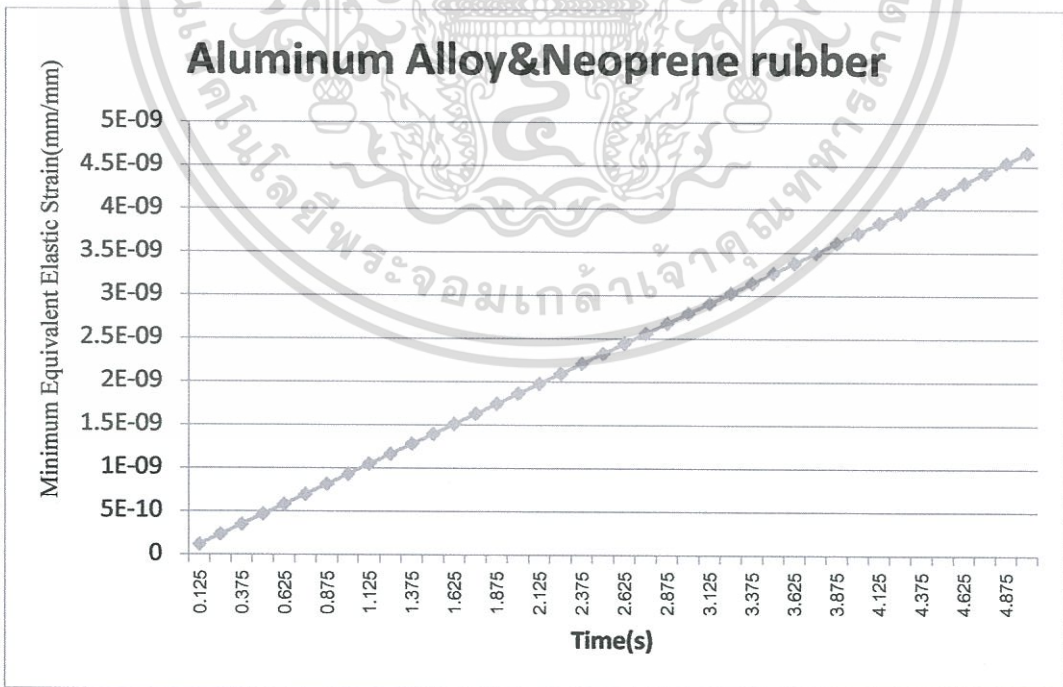
Minimum Equivalent Elastic Strain(mm/mm)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
1.25	0.00000052967	0.000000041782	0.000000011646
1.375	0.00000058263	0.000000045960	0.000000012811
1.5	0.00000063560	0.000000050138	0.000000013976
1.625	0.00000068856	0.000000054317	0.000000015140
1.75	0.00000074153	0.000000058495	0.000000016305
1.875	0.00000079449	0.000000062673	0.000000017469
2	0.00000084746	0.000000066851	0.000000018634
2.125	0.00000090042	0.000000071029	0.000000019799
2.25	0.00000095338	0.000000075208	0.000000020963
2.375	0.0000010063	0.000000079386	0.000000022128
2.5	0.0000010593	0.000000083564	0.000000023292
2.625	0.0000011123	0.000000087742	0.000000024457
2.75	0.0000011652	0.000000091920	0.000000025622
2.875	0.0000012182	0.000000096099	0.000000026786
3	0.0000012712	0.00000010028	0.000000027951
3.125	0.0000013241	0.00000010446	0.000000029116
3.25	0.0000013771	0.00000010863	0.000000030280
3.375	0.0000014300	0.00000011281	0.000000031445
3.5	0.0000014830	0.00000011699	0.000000032609
3.625	0.0000015360	0.00000012117	0.000000033774
3.75	0.0000015889	0.00000012535	0.000000034939
3.875	0.0000016419	0.00000012952	0.000000036103
4	0.0000016949	0.00000013370	0.000000037268
4.125	0.0000017478	0.00000013788	0.000000038433
4.25	0.0000018008	0.00000014206	0.000000039597
4.375	0.0000018537	0.00000014624	0.000000040762
4.5	0.0000019067	0.00000015042	0.000000041926
4.625	0.0000019596	0.00000015459	0.000000043091
4.75	0.0000020126	0.00000015877	0.000000044256
4.875	0.0000020656	0.00000016295	0.000000045420
5	0.0000021185	0.00000016713	0.000000046585

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเปรียบเทียบ Minimum Equivalent Elastic Strain ระหว่าง EVA&Superlene และ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber



รูปที่ 4.43 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene และEVA&Aluminum Alloyและ Aluminum Alloy&Neoprene rubber(1)



รูปที่ 4.44 แสดงค่าของ Aluminum Alloy&Neoprene rubber(เบาขยงแบบแรกหลังรวม องค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า Maximum Equivalent Elastic Strain

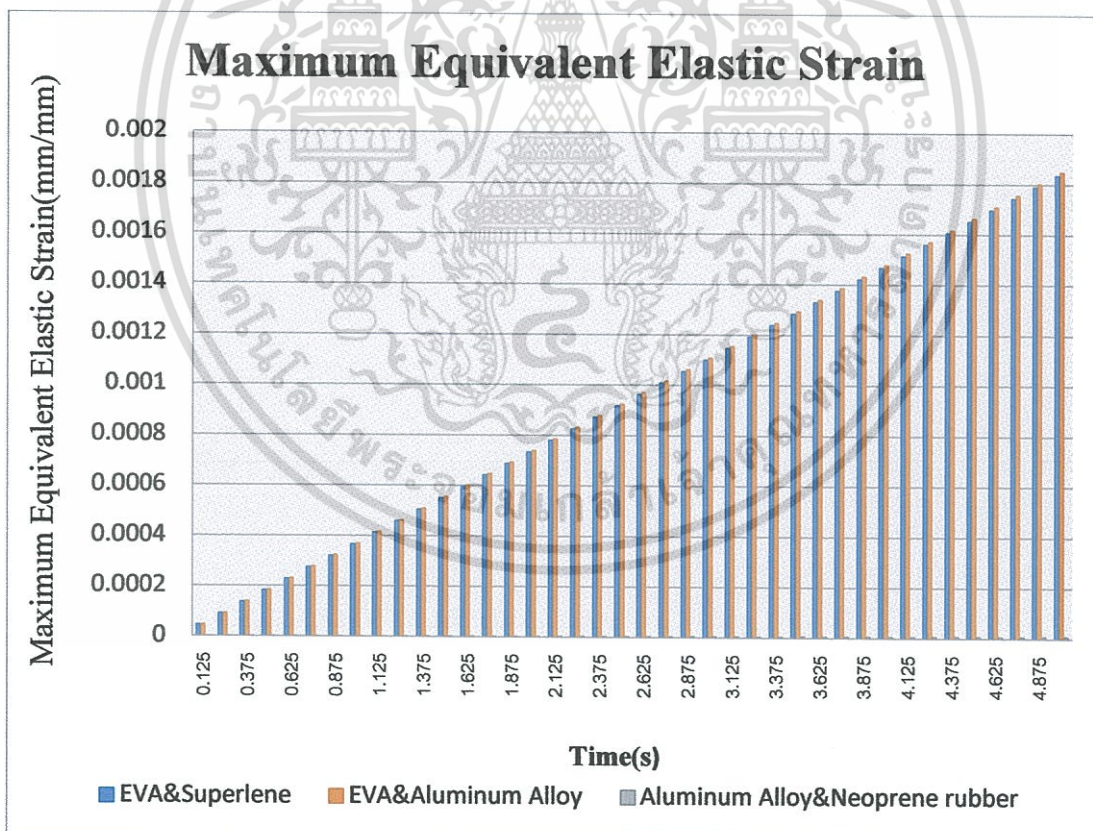
Maximum Equivalent Elastic Strain(mm/mm)			
Time(s)	EVA&Supelene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
0.125	0.000045852	0.000046164	0.00000022831
0.25	0.000091739	0.000092365	0.00000045663
0.375	0.00013763	0.00013857	0.00000068494
0.5	0.00018351	0.00018477	0.00000091326
0.625	0.00022940	0.00023097	0.0000011416
0.75	0.00027529	0.00027717	0.0000013699
0.875	0.00032117	0.00032337	0.0000015982
1	0.00036706	0.00036957	0.0000018265
1.125	0.00041295	0.00041577	0.0000020548
1.25	0.00045883	0.00046198	0.0000022831
1.375	0.00050472	0.00050818	0.0000025115
1.5	0.00055061	0.00055438	0.0000027398
1.625	0.00059649	0.00060058	0.0000029681
1.75	0.00064238	0.00064678	0.0000031964
1.875	0.00068827	0.00069298	0.0000034247
2	0.00073416	0.00073918	0.0000036530
2.125	0.00078004	0.00078538	0.0000038813
2.25	0.00082593	0.00083159	0.0000041097
2.375	0.00087182	0.00087779	0.0000043380
2.5	0.00091770	0.00092399	0.0000045663
2.625	0.00096359	0.00097019	0.0000047946
2.75	0.0010095	0.0010164	0.0000050229
2.875	0.0010554	0.0010626	0.0000052512
3	0.0011012	0.0011088	0.0000054795
3.125	0.0011471	0.0011550	0.0000057079
3.25	0.0011930	0.0012012	0.0000059362
3.375	0.0012389	0.0012474	0.0000061645
3.5	0.0012848	0.0012936	0.0000063928
3.625	0.0013307	0.0013398	0.0000066211
3.75	0.0013766	0.0013860	0.0000068494
3.875	0.0014225	0.0014322	0.0000070777
4	0.0014683	0.0014784	0.0000073061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) แสดงค่า Maximum Equivalent Elastic Strain

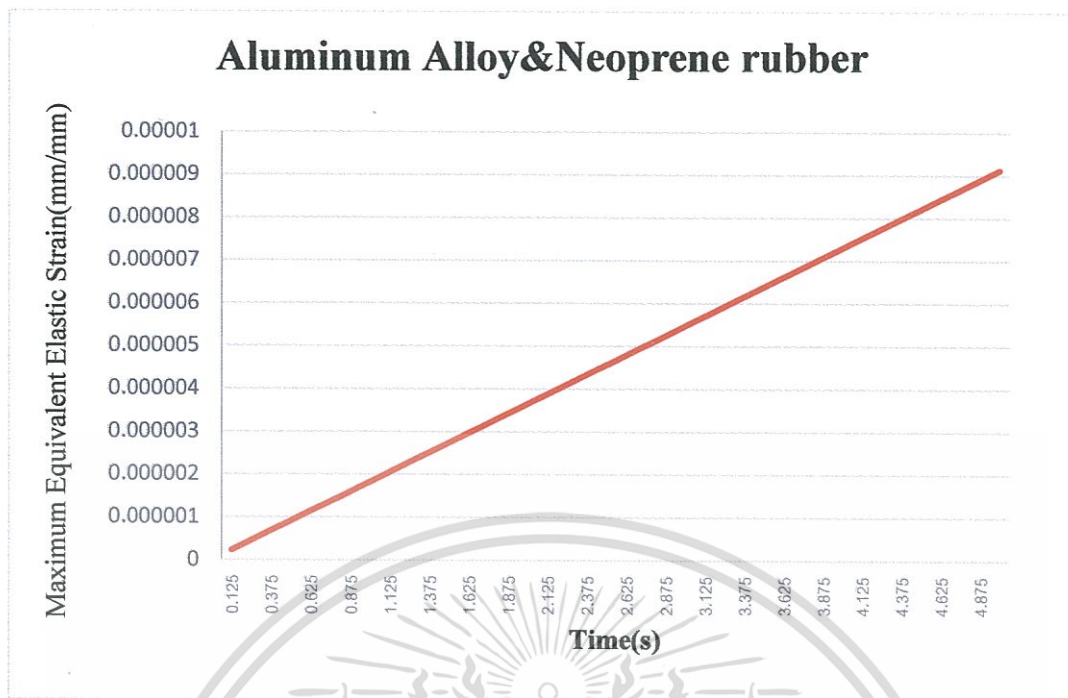
Maximum Equivalent Elastic Strain(mm/mm)			
Time(s)	EVA&Superlene	EVA&Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
4.125	0.0015142	0.0015246	0.0000075344
4.25	0.0015601	0.0015708	0.0000077627
4.375	0.0016060	0.0016170	0.0000079910
4.5	0.0016519	0.0016632	0.0000082193
4.625	0.0016978	0.0017094	0.0000084476
4.75	0.0017437	0.0017556	0.0000086759
4.875	0.0017895	0.0018018	0.0000089043
5	0.0018354	0.0018480	0.0000091326

กราฟเปรียบเทียบ Maximum Equivalent Elastic Strain ระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber



รูปที่ 4.45 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง EVA&Superlene กับ EVA&Aluminum Alloy และ Aluminum Alloy&Neoprene rubber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 แสดงค่าของ Aluminum Alloy & Neoprene rubber (เบาะพวงแบบแรกหลังรวมองค์ประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 ด้วยผลการจำลองรับแรง เห็นได้ว่าวัสดุ rubber มีการเปลี่ยนรูปทรงน้อย บริเวณที่จะเปลี่ยนมากที่สุดก็คือส่วนปลายที่มีปริมาตรน้อยที่สุด ส่วนค่า Equivalent of Elastic Strain และ Equivalent Stress มีผลในพื้นที่ใกล้เคียงกันคือส่วนปลายไล่จากส่วน Lumbar Support ลงมา

ส่วนการทดลองแบบเบาะพุงที่สองได้เปรียบเทียบคุณสมบัติ Total Deformation , Direction Deformation(X-Axis) , Equivalent Stress และ Equivalent Elastic Strain ระหว่างแบบที่สองที่ใช้โฟมนิวมอลลอยด์กับพลาสติก superlene เป็นแกนในกับเบาะแบบแรก และคำนวณ Direction Deformation (Y-Axis) กับ Direction Deformation(Z-Axis) เปรียบเทียบแบบที่สองที่ใช้แกนในต่างกัน ผลที่ได้ตามตารางสรุป

ตารางที่ 5.1 สรุป

Analyze	Result		
	Superlene	Aluminum Alloy	Aluminum Alloy&Neoprene rubber
Total Deformation : Min : Max	0 สูง	0 กลาง	0 ต่ำ
Direction Deformation : Min (X-Axis) : Max	ต่ำ สูง	กลาง กลาง	สูง ต่ำ
Direction Deformation: Min (Y-Axis) : Max	ต่ำ สูง	สูง ต่ำ	=
Direction Deformation: Min (Z-Axis) : Max	ต่ำ สูง	สูง ต่ำ	-
Equivalent Stress : Min : Max (เกิดเฉพาะที่แกน)	สูง กลาง	ต่ำ สูง	กลาง ต่ำ
Equivalent Elastic Strain : Min : Max	สูง กลาง	กลาง สูง	ต่ำ ต่ำ

\*สูง = อัตราการเปลี่ยนเร็วที่สุด , กลาง = อัตราการเปลี่ยนปานอันดับสอง , ต่ำ = อัตราการเปลี่ยนต่ำที่สุด

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงเวลา 5 วินาที อัตราการเพิ่มของค่า Maximum ของ Deformation , Direction Deformation (X-Axis) , Direction Deformatio (Y-Axis) , Direction Deformation (Z-Axis) สูงขึ้นเร็วในเบาะพุงแบบที่ใช้แกนจากวัสดุ superlene รองลงมาคือเบาะพุงที่ใช้ Aluminium Alloy เป็นแกนใน และที่ยังเวลาผ่านไปอัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งสองก็จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต่างเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะแกน Z ที่ส่วนต่างระหว่างทั้งสองเบาะมากกว่าแกนอื่นอย่างเห็นได้ชัด

ในบริเวณที่เกิดค่า Minimum ของ Direction Deformation ของแกนทั้งสามมีลักษณะเช่นเดียวกับค่า Maximum เพียงแต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของเบาะทั้งสองสลับกัน ในตอนต้นทั้งสามแกนมีอัตราการเปลี่ยนค่าเท่าๆ กันก่อนจะเริ่มมีความต่างกันอย่างช้าๆ โดยเบาะที่เป็นแกน superlene ลดลงเร็วกว่า

ส่วนค่าของ Equivalent Stress ค่าของเบาะที่ใช้ Aluminium Alloy เป็นแกนในจะมีผลต่างของอัตราเปลี่ยนแปลงมากกว่าเมื่อเทียบกับผลต่างของอัตราของเบาะที่ใช้ Aluminium Alloy กับเบาะแบบแรกที่ทำจากยางนิโอพรีน ทั้งผลวิเคราะห์บริเวณทั้ง Minimum และ Maximum และหัวข้อวิเคราะห์สุดท้าย Equivalent Elastic Strain ความต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าบริเวณ Minimum ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยเบาะที่ใช้ superlene เป็นแกนมีอัตราเปลี่ยนแปลงที่สูงมากในขณะที่เบาะที่ใช้ Aluminium Alloy มีอัตราที่น้อยมากแต่ยังมากกว่าเมื่อเทียบกับเบาะพยางแบบแรก

ด้วยผลที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถบอกได้ว่ารูปแบบเบาะพยางแบบแรกมีความคงทนและแข็งแรงที่สุด จากการเปลี่ยนรูปที่น้อยและไม่สะสมความเค้นความเครียด แต่เมื่อพิจารณารวมกับวัตถุประสงค์ในการใช้ซึ่งก็คือสวมใส่สะดวก ไม่ขัดขวางกิจกรรมประจำวัน ดังนั้นผลที่ได้จึงขัดแย้งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ ขณะที่แบบที่สองมีการเปลี่ยนรูปที่มากก็จริงแต่เกิดที่บริเวณด้านข้างทั้งสองเป็นส่วนใหญ่ ช่วยให้การขยับตัวไม่ติดขัด และเมื่อพิจารณาผลของ Equivalent Stress แสดงให้เห็นว่า เบาะพยางที่ใช้ superlene เป็นแกนเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าเพราะไม่มีการสะสมของความเค้นมากนัก หมายความว่าแกนในมีโอกาสแตกหักน้อยกว่าใช้ Aluminium Alloy

### วิจารณ์การทดลอง

จากการทดลองเราจะพบว่าผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากที่เราคาดการณ์ไว้ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ทำขึ้นด้วยมือ ฉะนั้นจึงเกิดข้อผิดพลาดในรายละเอียดต่างจากเซนเซอร์ที่ผลิตด้วยเครื่องจักร หากต้องการความแม่นยำที่สูงและมีความถูกต้องสูง จำเป็นต้องสั่งซื้อตัวสำเร็จรูปมาใช้ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากการทดลองที่เราไม่มีทุนทรัพย์เพียงพอจึงจำเป็นต้องศึกษาแล้วทำขึ้นด้วยมือแทน แม้ความคลาดเคลื่อนจะมีแต่ยังอยู่ในขอบเขตของความต้องการในการใช้งาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชิสา สรวิสุต (2555). **ข่าวดี สำหรับผู้ทรมานจากอาการปวดหลัง**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท คอนเซ็ปท์พรีนซ์ จำกัด
- [2] มจรุส ณีฐฐารมณ. **รูปแบบการจัดการกับความปวดในผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่างขณะอยู่ที่บ้าน (Pain management model for patients with low back pain at home)**. วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการพยาบาลผู้ใหญ่ คณะพยาบาลศาสตร์ (การพยาบาลผู้ใหญ่)
- [3] ภก.ธัญยา นาคประเสริฐ(2556).**กายภาพบำบัดขั้นเทพ**.กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์เพชรประกาย
- [4] Timothy S.Satterfield. **Anatomical Basis of Low Back Pain**. Williams&Wilkins(1989)
- [5] ศ.พญ.ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์. **หลัง (back)**
- [6] Devid G.Borenstein&Sam W.Wiesel. **Low Back Pain Medical Diagnosis and Comprehensive Management**. W.B.SAUNDERS COMPANY(1989)
- [7] พญ. รัตนาดี ณ นคร. **อาการปวดหลัง (Low Back Pain)**
- [8] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยวัฒน์ ไกรวัฒน์พงศ์. **เอกสารคำสอนเรื่อง อาการปวดหลังส่วนล่าง (Low Back Pain)**
- [9] มานพ ประภาษานนท์(2555). **คัมภีร์รักษาอาการปวดด้วยตัวเอง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด
- [10] พญ.ลลิตา ธีระสิริ(2555). **บำบัด Office Syndrome ด้วยวิธี DIY**. กรุงเทพฯ : รวมพรรณสมาคมเวชศาสตร์ฟื้นฟูแห่งประเทศไทย.ตำราเวชศาสตร์ฟื้นฟู เล่มที่ 2.พิมพ์ครั้งที่ 3.กรุงเทพฯ : พิมพ์ลักษณ์
- [11] Faheem Nadeem. **Ubiquitous Computing Final Project: Flexible Multi-Touch Pressure Sensitive Sensor-Track Pad (FMTS)**. Germany 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ

นางสาวกมลฉัตร อภิวิชัยกุล

วัน เดือน ปีเกิด

22 พฤศจิกายน 2536

สถานที่เกิด

เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สถานที่ศึกษาปัจจุบัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนมาเรียลัย เขตลาดกระบัง

จังหวัดกรุงเทพฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### คำอธิบายภาพ X-ray

คำอธิบายหมายเลขภายในภาพ Lumbar spine ในท่า AP view

- 1 = Twelfth rib
- 2 = Pedicle
- 3 = Transverse process
- 4 = Border of psoas muscle
- 5 = Intervertebral disc space
- 6 = Spinous process
- 7 = Sacroiliac joint
- 8 = Sacral foramen

คำอธิบายหมายเลขภายในภาพ lumbar spine ในท่า Lateral view

- 1 = Intervertebral disc space
- 2 = Pedicle
- 3 = Spinous process
- 4 = Sacrum
- 5 = Intervertebral foramen
- 6 = Superior endplate
- 7 = Inferior endplate

คำอธิบายหมายเลขภายในภาพ แสดง lumbar spine ในท่า Oblique view

- 1 = Pedicle
- 2 = Pars interarticularis
- 3 = Superior articular process
- 4 = Inferior articular process
- 5 = Facet joint
- 6 = Transverse process
- 7 = Sacroiliac joint




### โปรแกรมออกแบบ SpaceClaim

**SpaceClaim 2015** is the leader in 3D Direct Modeling solutions for rapid concept design and geometry manipulation. SpaceClaim is intended for use by those who need to focus on core competencies while benefiting from working in 3D. With SpaceClaim, engineers can collaborate in the design and manufacture of mechanical products across a broad range of industries. The software provides a highly flexible

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




## Sketch & Section


	<ul style="list-style-type: none"> <li>Select sketch curves and use model edges</li> <li>Select faces and edges by their section lines and points</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drag sketch and section curves</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Move and Rotate curves</li> </ul>


  


<b>Ctrl</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Press to copy in Drag and Move</li> <li>Toggle extension indicators</li> </ul>
<b>Shift</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toggle snapping to grid</li> <li>Grab dimension reference</li> </ul>
<b>Esc</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cancel an in-progress action</li> </ul>

**Back to 3D** 

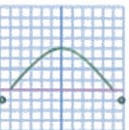
**New sketch grid location (re-select)** 

**Move sketch grid** 

**Plan View** 

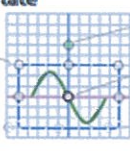
**Splines**

Select entire spline to move



- Add spline point
- Remove spline point
- Measure curvature
- Drag endpoint tangency

**Scale/Rotate**




- Rotate
- Re-center

Fix Aspect Ratio  Reorient Box

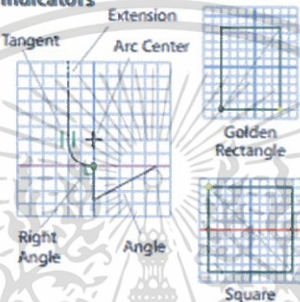
  

**Snaps**



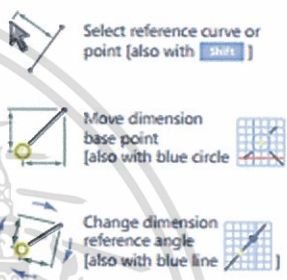
On Curve   Grid Point   Mid Point   End Point   Multiple Snap Types

**Indicators**



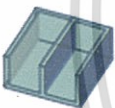







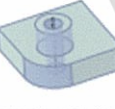



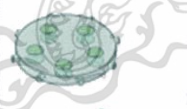



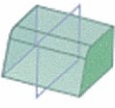






Extension   Tangent   Arc Center   Right Angle   Angle   Golden Rectangle   Square

**Dimension Anchors**



- Select reference curve or point (also with **Shift**)
- Move dimension base point (also with blue circle)
- Change dimension reference angle (also with blue line)

## Associations

<p><b>Offset &amp; Shell</b></p> 	<p>Create with  and  tools</p> <p><input type="checkbox"/> Show offset baseline faces</p> <p>Pull option: <input type="checkbox"/> Maintain offset</p> <p>Change face property: </p> <p>Change face offset</p>	<p><b>Round &amp; Chamfer</b></p> 	<p>Create by pulling  edges</p> <p>Toggle with </p> <p>Remove with  or by changing face property</p>
<p><b>Coaxial</b></p> 	<p>Create:  + Create Coaxial Group</p> <p>Remove:  + Remove from Coaxial Group</p> <p>Change:  + Set Cylinder Diameter</p>	<p><b>Pattern</b></p> 	<p>Create with  Move +  Create Patterns</p> <p>Remove with  + Unpattern Member</p> <p>Works on:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solids, surfaces, curves, planes, beams</li> <li>Protrusions and depressions</li> <li>Components</li> <li>Imported features of interest</li> </ul>
<p><b>Mirror</b></p> 	<p>Set up: face + face + </p> <p>Add to:  Select plane then  Body or  Faces <b>Ctrl</b></p> <p>Remove:  then  Faces <b>Ctrl</b></p>	<p><a href="http://www.myspaceclaim.com">www.myspaceclaim.com</a></p> <p>© Copyright 2010 SpaceClaim Corporation. SpaceClaim is a registered trademark of SpaceClaim Corporation.</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mouse and touch gestures

- To gesture with a mouse, hold down the right mouse button and drag in the gesture pattern.
- To gesture with a touchscreen or touchpad, touch with two fingers, pause, then drag in the gesture pattern. With a pen, touch and drag in the gesture pattern with the pen button pressed.
- To cancel a gesture, pause for one second.



© Copyright 2014 SpaceClaim Corporation. All rights reserved.

## Get started using SpaceClaim

1. Sketch and pull to create a part, or open an existing model from any modeling software.
2. Edit the part using SpaceClaim's 2D and 3D editing tools.
3. (Optional) Customize SpaceClaim and your workspace to your working style.
4. Detail the part with notes, measurements, and geometric tolerances.
5. Submit the part for review using 3D Markup.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Tutorial 1:

### Introduction to ANSYS

#### Introduction:

This Tutorial will use a readymade file to speed up the learning process for the student. This file is provided in Parasolid format. The intention of this tutorial is to get the student to run a straight forward simulation. By the end of this tutorial a check list for the required procedure can be formulated by the student. ANSYS as a software is made to be user-friendly and simplified as much as possible with lots of interface options to keep the user as much as possible from the hectic side of programming and debugging process.

#### Why is it that such a simple model is used?

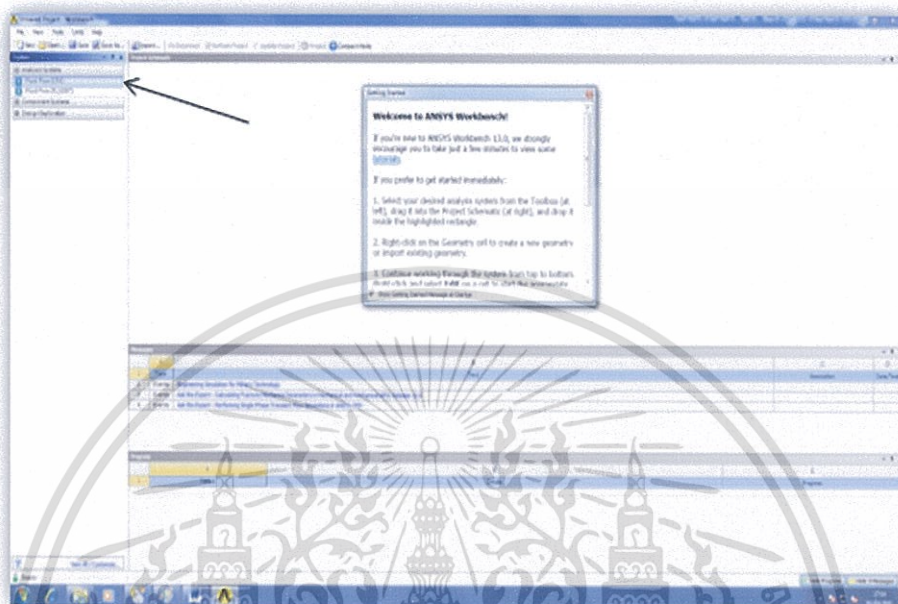
During this tutorial a simple geometry is used, the objective of that is that the student masters the steps to get to run a simple simulation, once that's done the student can model any kind of geometry he sees necessary for his studied case.

**Step1:** Launch ANSYS ,by going to the start-up menu and double clicking on workbench file in the ANSYS 13.0 folder.



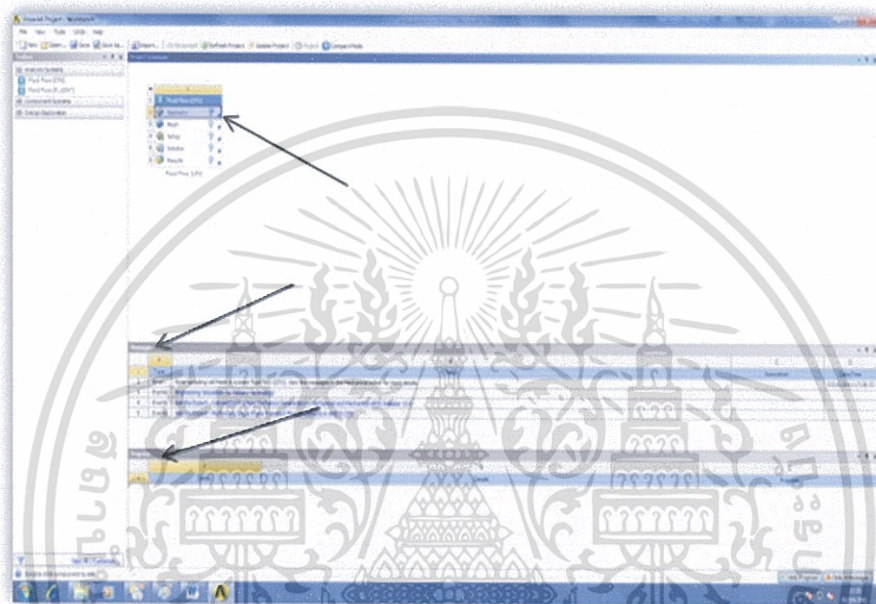
**Figure1:** A reminder that not all lab machines have the ANSYS software installed on them.

**Step2:** Once the program is launched it should look like as shown below. Go to Analysis Systems Fluid Flow (CFX) and double click.



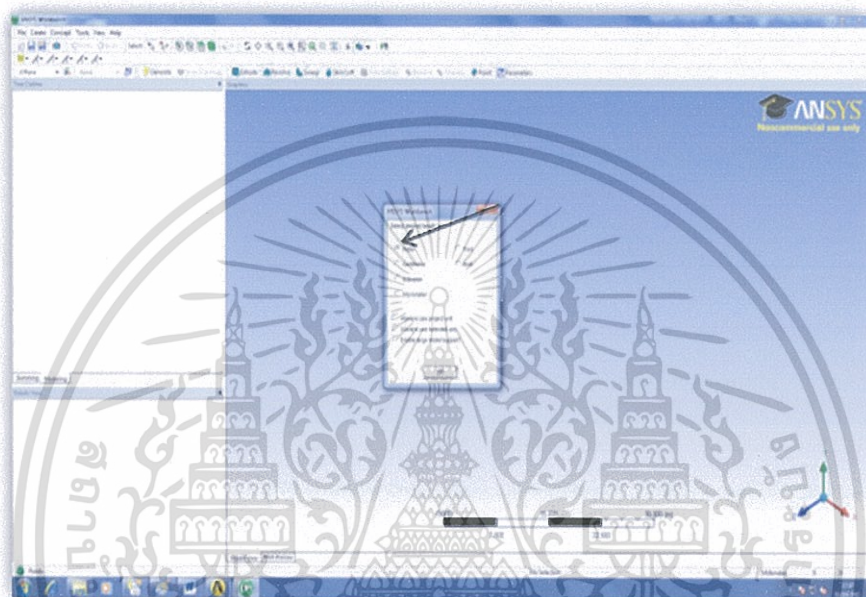
**Figure2:** You might have to wait a bit till ANSYS gets running, the student is encouraged to use the provided help with the software, it has lots of useful hints here and there.

**Step3:** Next Double click on the Geometry. This stage is for getting the required geometry read into the software, note that there is a blue question mark icon beside the geometry text. Looking at the bottom of the window you will see two windows one having the title of **Messages**, this title confirms that the imported geometry has no problems with it, the next window has the title **Progress** and that is necessary to prove that state of the progress and if there is a problem it will state the problem.



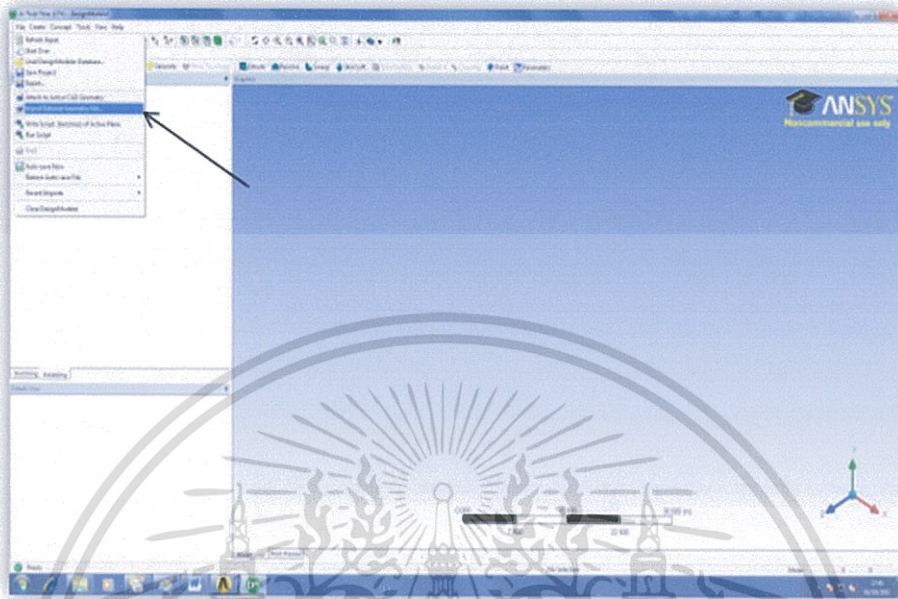
**Figure3:** At the moment the illustration are a bit simplified for the user and will get complex with time.

**Step4:** Once ANSYS Workbench window is active you will get a window asking to specify working units for the model dimension chose meters and press ok. For the user this step might seem secondary in importance but as a matter of fact it's of great importance, because at later stages you will have to specify the box size (discrete element dimension). Box size dimension leads to finer mesh, the finer the used mesh is the more accurate is the captured data. The captured data term refers to the fluid flow structures.



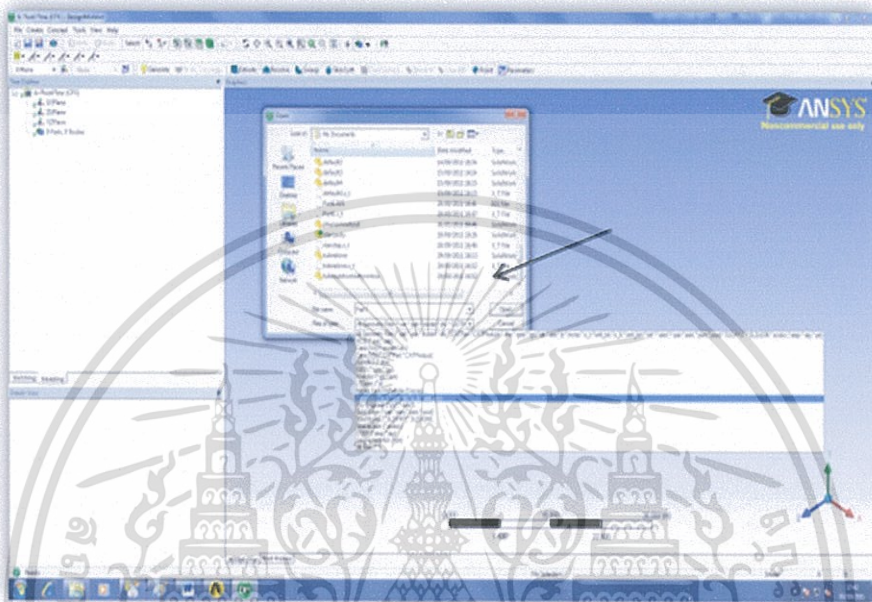
**Figure4:** Depending on your studied case the selection of serial or parallel is taken, also depending on the hardware provided in the computer lab dual core or quad core etc.

**Step5:** Go to file and choose Import External Geometry File....



**Figure 5:** You can model your geometry using the sketching tools provided with DesignModeler.

**Step 6:** A window having a title open will be visible to the user, choose File type Parasolid(\*.x\_t;\*.xmt\_txt;\*.x\_b;\*.xmt\_bin) then go to the folder that has the required file .



**Figure 6:** There are lots of software that are used to generate meshes, depending on the software used the file extension text would be, in our case we are using SolidWorks to generate the mesh and then exporting it in Parasolid format. A question comes to the mind of the student why do I have to specify the file extension. The answer is that each mesh generation software has its own structure in its generated data sets. A simple example:

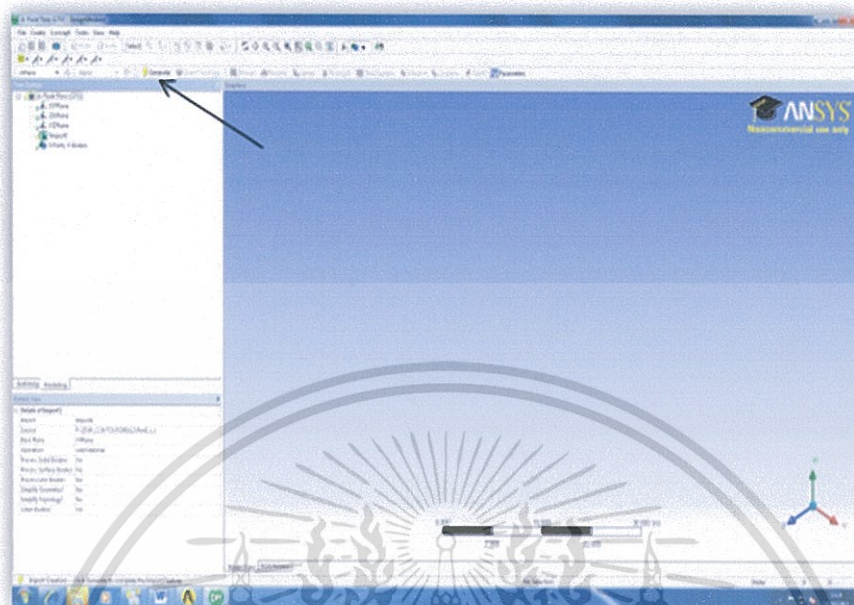
**Software 1:**

N	x	y	z
1	1*dx	1*dy	1*dz
2	2*dx	2*dy	2*dz
3	3*dx	3*dy	3*dz

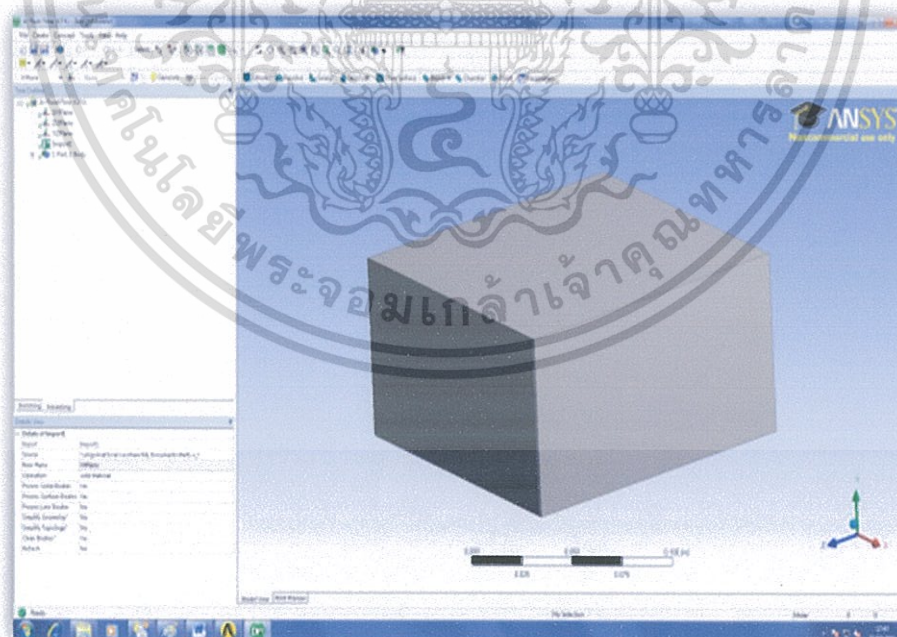
**Software 2:**

N	1	2	3
x	1*dx	2*dx	3*dx
y	3*dy	3*dy	3*dy
z	3*dz	3*dz	3*dz

**Step7:** Looking at the DesignModeler window, we can't see the imported geometry yet, what is required next is to press on the generate icon that is represented by a yellow thunder icon.

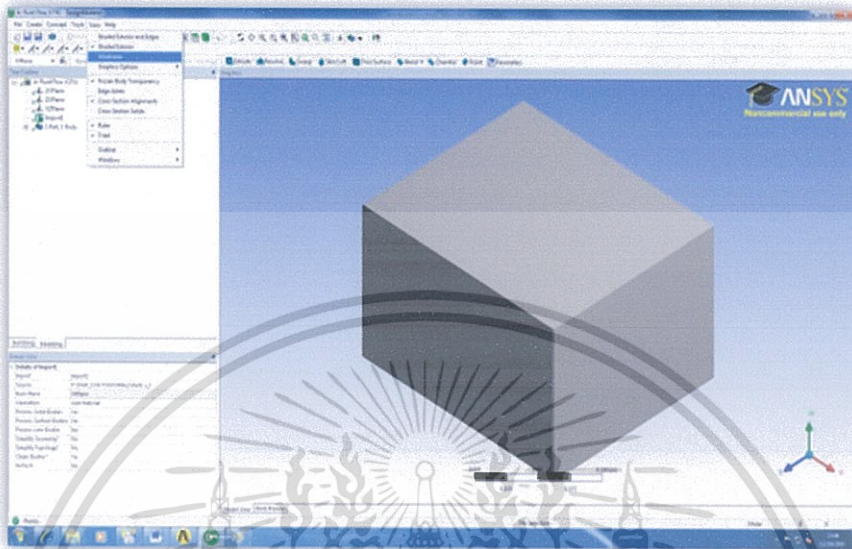


**Figure6:** The DesignModeler will read in the imported data file, and will construct the required mesh. **Step7:** The imported Geometry Domain should look something like this, still that doesn't give any hints to the user, relating to the inner structure of the domain.



**Figure7:** The geometry domain is viewed in the shaded exterior style.

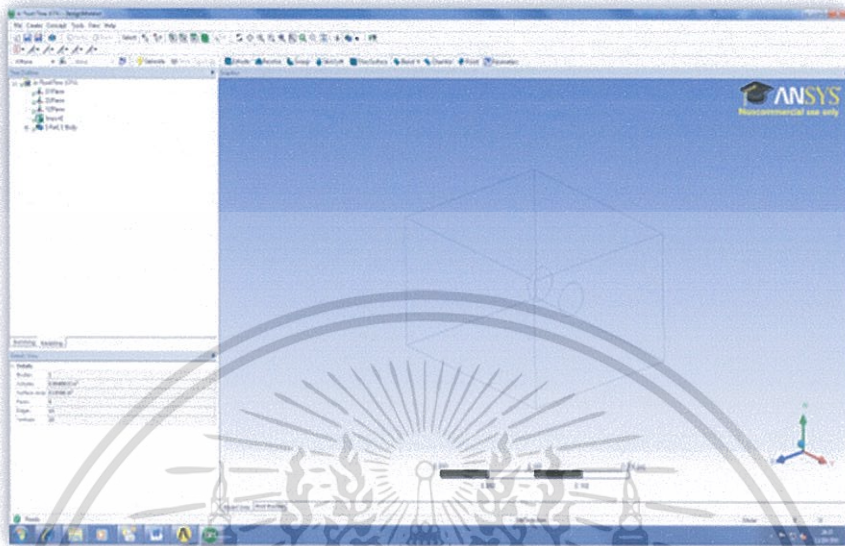
**Step8:** go to view and chose wireframe.



**Figure 8:** This step is necessary to view the inner structure of the domain.

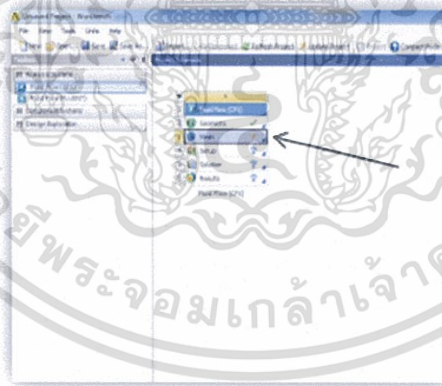
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Step 9a:** Once the student gets to this stage, that means he has finished from the DesignModeler and has to proceed to the Meshing part.



**Figure 9a:** Rotate the view and check that the Geometry satisfies the design requirements.

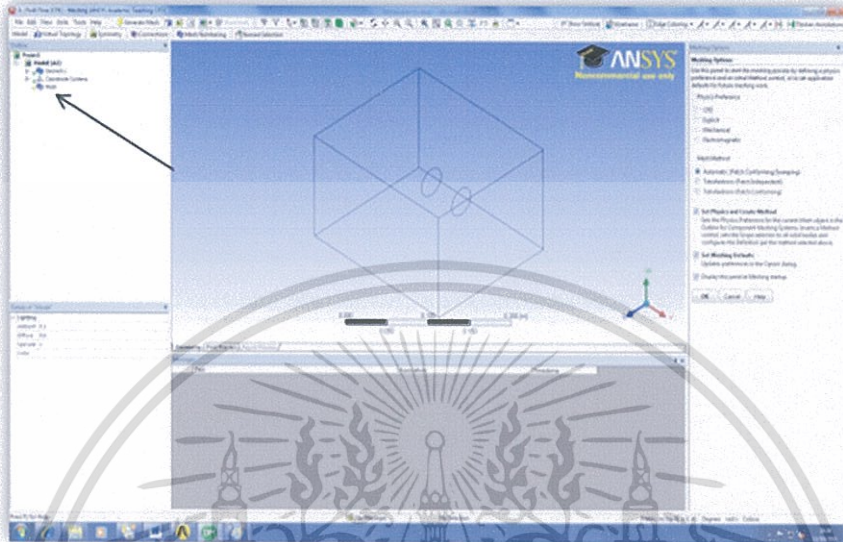
**Step 9b:** Go to the workbench and check that there is a green tick sign beside the Geometry and then double click on the Mesh Icon.



**Figure 9b:** Congratulations you have finished from DesignModeler and now have started with the Meshing part.

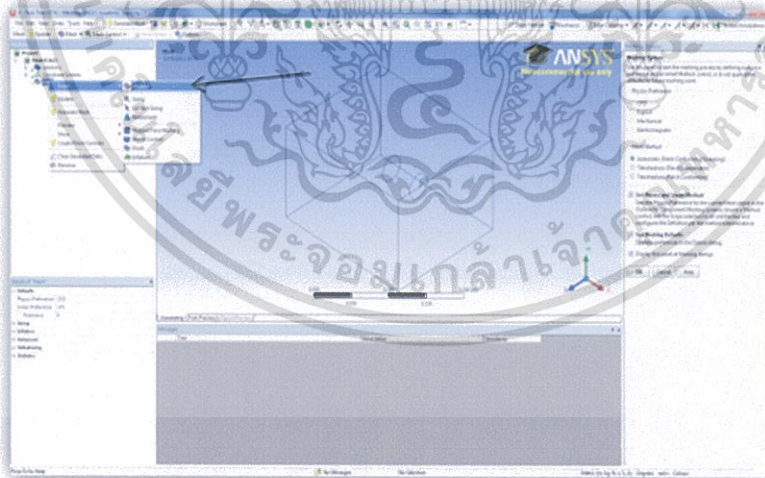
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Step 10a:** The Meshing part of the project has started, notice that beside the Mesh there is a yellow thunder icon.



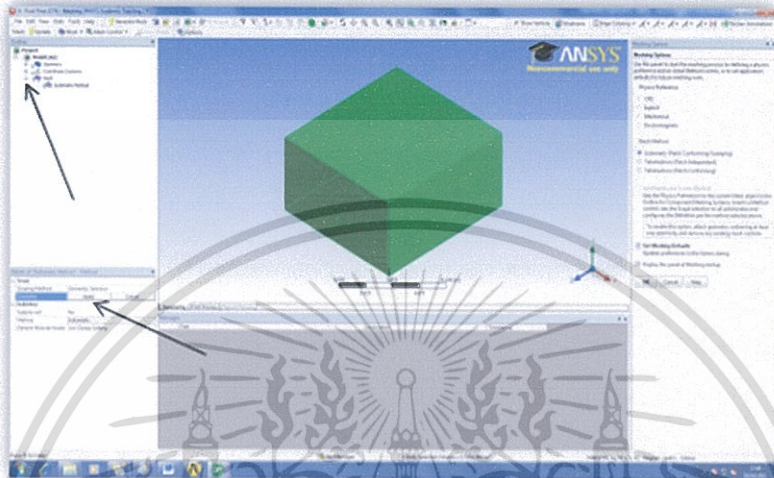
**Figure 10a:** The scale shown at the bottom helps you make the right decision on the box sizing, so that we can see that the largest value on the scale is 0.200(m) which means we have to choose a value less than 0.050(m).

**Step 10b:** right click on Mesh and chose Insert and then chose Method.



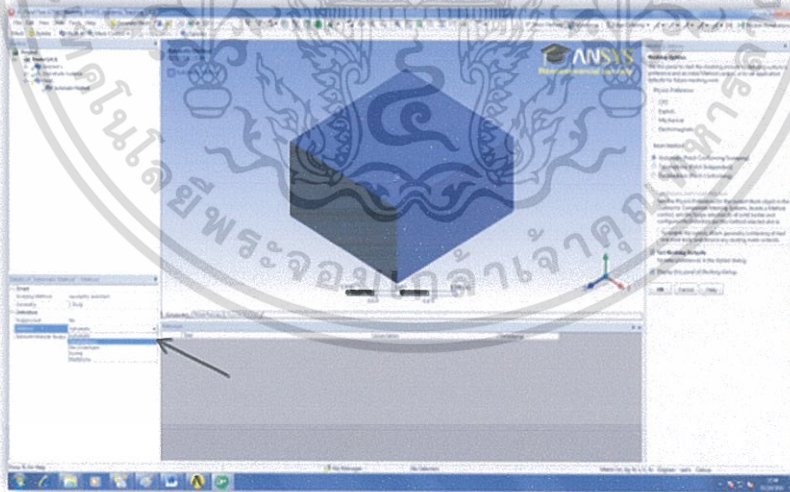
**Figure 10b:** at this stage we come to the point where we have to choose what kind of mesh are we going to use with regular or irregular or etc.

**Step 10:** click on the positive sign beside the Mesh you should get a tree sub branch have automatic Method using the left button click on the grey box domain, as a result it should be highlighted in green, then you see that the geometry text is highlighted in blue press the apply.



**Figure 10c:** choose the parallel option in the projection mode, which will come handy later on, when you want to use the measure command or choosing the appropriate slice plane for your study.

**Step 11:** go to method and choose Tetrahedrons.



**Figure 11:** This prepares the view for later wanted operations.

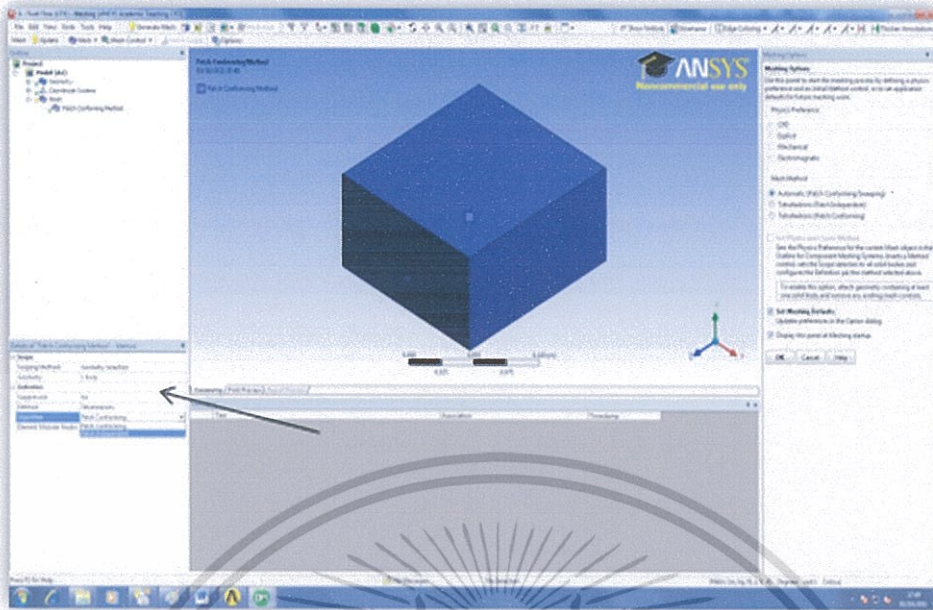


Figure12: Now that you have specified the mesh properties, you can proceed to the next step .

Step13: press the Update icon and then press on the Generate Mesh icon.

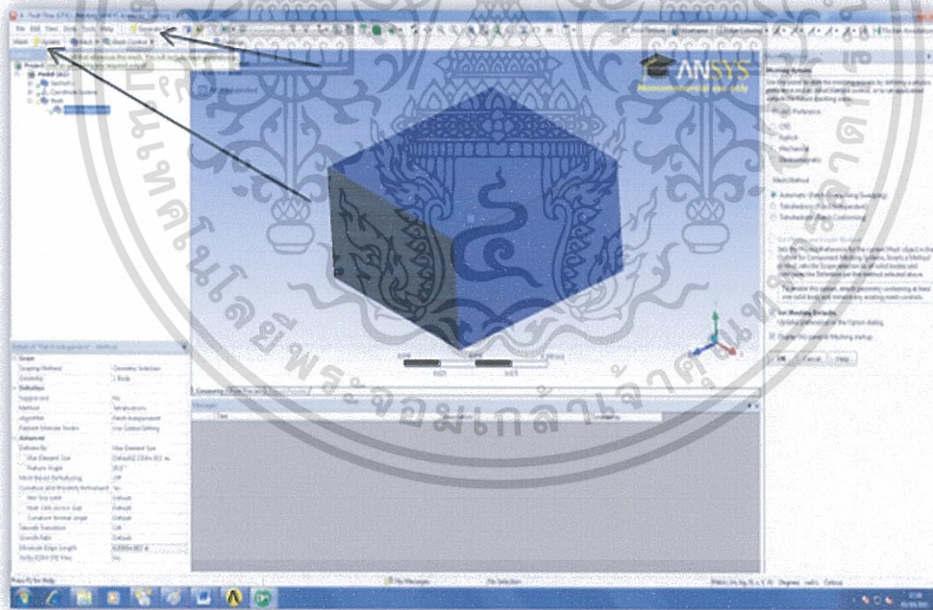
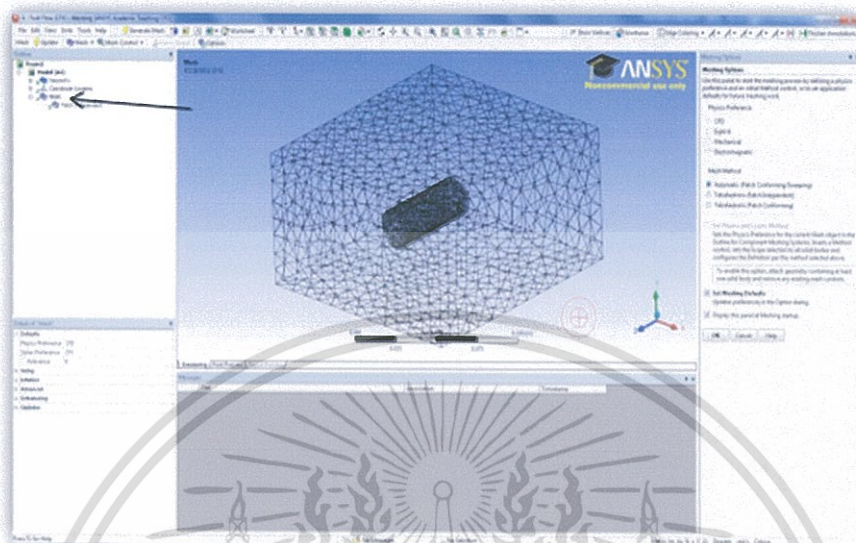


Figure13: For our case we will want to now the dimensions of the inflow section of the pipe.

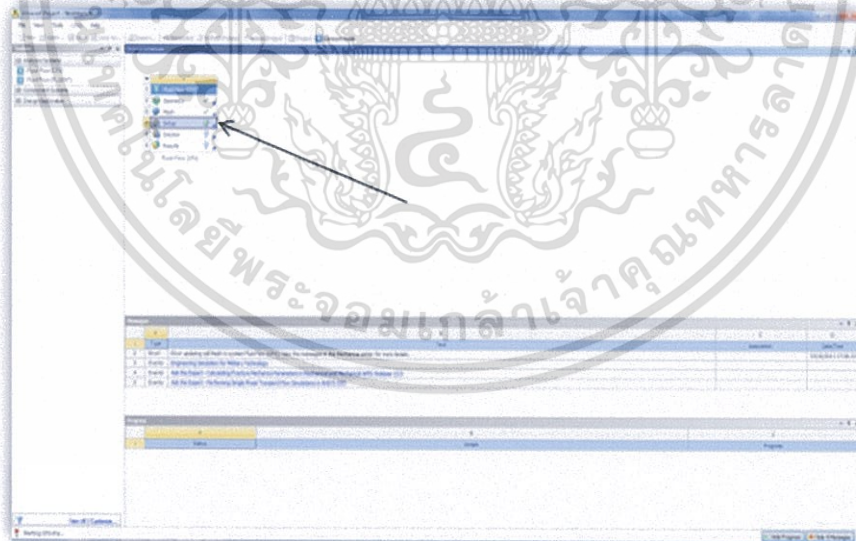
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Step14:** click on mesh, now it's visible to the user the generated mesh.



**Figure 14:** Click on the middle button to rotate the view to inspect your mesh.

**Step15:** Go to work bench, you will see there is a green tick beside the mesh congratulations you can now proceed to the setup.



**Figure15:** Check the messages window if there are any errors you will have to go back in steps and check where you went wrong.