

การออกแบบและจำลองฐานรองเพียโซอิเล็กทริกเซลล์สำหรับ
การแปลงพลังงานไฟฟ้าจากทางเท้า

Design and Simulation of Piezoelectric cell substrate
for electrical energy conversion from footpath



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)
ภาควิชาเทคโนโลยีระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การออกแบบและจำลองฐานรองเพียโซอิเล็กทริกเซลล์สำหรับ
การแปลงพลังงานไฟฟ้าจากทางเท้า

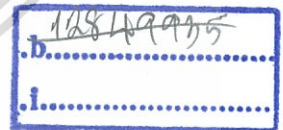
Design and Simulation of Piezoelectric cell substrate
for electrical energy conversion from footpath



T147148



600268231

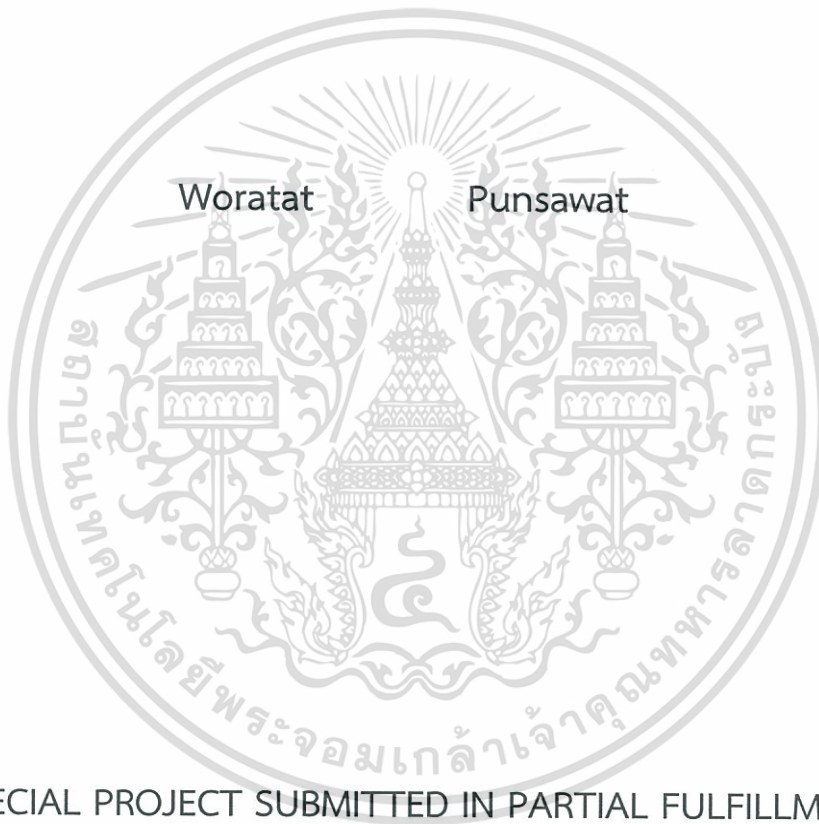


เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **147148**
วัน,เดือน,ปี. **- 3 ก.ค. 2558**

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)
ภาควิชาเทคโนโลยีระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Simulation of Piezoelectric cell substrate for electrical energy conversion from footpath



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
(MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING)
DEPARTMENT OF MANUFACTURING SYSTEM TECHNOLOGY
COLLENG OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การออกแบบและจำลองฐานรองเพียโซอิเล็กทริกเซลล์สำหรับการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากทางเท้า

Design and Simulation of Piezoelectric cell substrate for electrical energy conversion from footpath

ชื่อนักศึกษา

นายวรทัศน์ พูลสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 55120030

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)

ภาควิชา

เทคโนโลยีระบบการผลิต


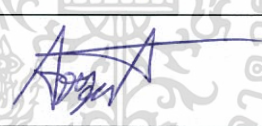


ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วรวุฒิ มรรคเจริญ

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.จตุพร ทองศรี กรรมการ	
ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร กรรมการ	
ดร.วรวุฒิ มรรคเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การออกแบบและจำลองฐานรองเพียโซอิเล็กทริกเซลล์สำหรับการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากทางเท้า

Design and Simulation of Piezoelectric cell substrate for electrical energy conversion from footpath

ชื่อนักศึกษา

นายวรทัศน์ พูลสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 55120030

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)

ภาควิชา

เทคโนโลยีระบบการผลิต

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วรุฒิ มรรคเจริญ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา และออกแบบเกี่ยวกับชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) สำหรับนำมาใช้ในการห่อหุ้ม Piezoelectric sheet เพื่อป้องกันการแตกหักเสียหายอันเกิดมาจากถูกแรงกดจากภายนอกมากระทำ (ความเค้นอัด) ซึ่งการออกแบบชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) และการทดสอบจะใช้การจำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม ANSYS โดยการออกแบบจะมีทั้งหมด 4 แบบได้แก่ แบบที่ 1 มีการเจาะแผ่น Cover ให้มีขนาดความลึกเท่ากับความหนาของแผ่น Piezoelectric sheet แบบที่ 2 มีการเจาะรูที่มุมทั้ง 4 ด้าน สำหรับการใส่เสาเพื่อการช่วยในการรับแรงกด แบบที่ 3 ที่ด้านใต้ของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) มีการตัดเนื้อวัสดุทั้ง 4 ด้านออกด้วยมุม 45 องศา และแบบที่ 4 มีการตัดเนื้อของวัสดุออกเพื่อสร้างกล่องสำหรับใส่ Piezoelectric sheet โดยขนาดของชิ้นส่วนป้องกันเป็น $101.6 \times 101.6 \times 10$ มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้ทดสอบคือ Polyethylene (PE) แรงกดที่ใช้ทดสอบเป็น 50 100 และ 200 กิโลกรัม จากการทดสอบพบว่าชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 4 สามารถที่จะป้องกันความเสียหายที่เกิดจากแรงกด (ความเค้นอัด) ได้ดีที่สุด

จากการศึกษาในข้างต้นสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย อาทิเช่น สามารถนำ Piezoelectric sheet ไปปูบนทางเท้าเพื่อผลิตแรงดันไฟฟ้าจากแรงกดของเท้าคน นำไปทำเป็นแหล่งจ่ายพลังงานแก่ตัวเซนเซอร์บนรางรถไฟ เป็นต้น การศึกษาดังกล่าวในอนาคตสามารถที่จะพัฒนาให้สามารถรับแรงกดได้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ชิ้นส่วนป้องกัน โปรแกรม ANSYS แผ่นเพียโซอิเล็กทริก แรงกดเนื่องจากน้ำหนัก

Title	Design and Simulation electrical cell substrate for development of electrical energy from the footpath
Students	Mr.Woratat Punsawat Student ID 55120030
Degree	Bachelor of Engineering (Manufacturing System Engineering)
Department	Manufacturing System Technology
Faculty	College of Advanced Manufacturing Innovation
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr.Worawut Makcharoen

Abstract

The purpose of this project is to study and design the covering parts for piezoelectric sheet wrapping to prevent compressive damage from the external force (compressive stress). The design of the covering part and testing is performed by the simulation of ANSYS. The design is separated into 4 models which is, 1. The covering part is pierced as deep as piezoelectric thickness. 2. The piercing is applied at the corner of 4 sides for column loading to support the compression. 3. The material of 4 sides under the covering part is removed at the angle of 45 degrees. And 4 perform material removal to create box for piezoelectric sheet. Size of the covering part is 101.6x101.6x10 millimeters. Testing material is Polyethylene (PE). The applied forces are 50, 100 and 200 kilograms. From the testing the best covering part that can prevent compressive damage (compressive stress) is model 4.

This knowledge from the study can be variously applied; for example, apply the Piezoelectric sheet on the sidewalk to generate voltage from feet compression, apply as the power generator for railway sensors etc. This study can be developed further to support more compressive force in the future.

Keywords: ANSYS program, Cover, Piezoelectric sheet, Pressure from weight

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์วรวุฒิ มรรคเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งท่านได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำดำเนินงานอีกด้วย นอกจากนี้ขอขอบคุณสถานที่ในการดำเนินงาน หน่วยวิจัยวัสดุวิศวกรรมชั้นสูง (ห้อง 512) วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

วรทัศน์ พูลสวัสดิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูปภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เพียโซอิเล็กทริก.....	3
2.2 พอลิเมอร์.....	6
2.3 แรงกดเนื่องจากการเดิน.....	10
2.4 ANSYS Programs.....	13
2.5 การทบทวนวรรณกรรม.....	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.1 แผนการดำเนินการ.....	19
3.2 ขั้นตอนการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Solid works.....	20
3.3 ขั้นตอนการจำลองผลด้วยโปรแกรม ANSYS.....	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินการและการอภิปรายผล.....	26
4.1 ผลการดำเนินการ.....	26
4.2 พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1.....	27
4.3 พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2.....	28
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ.....	30
5.1 สรุปผลการดำเนินการ.....	30
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	31
ภาคผนวก.....	32

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกของเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกวัสดุเซรามิกบางชนิด	6
3.1 แสดงค่าของแรงที่ใช้ในการจำลองผลโดยโปรแกรม ANSYS.....	24
3.2 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของ Polyethylene (PE).....	24
4.1 แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุดที่เกิดขึ้น	
กับชิ้นส่วนป้องกันในแต่ละรูปแบบของพื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1.....	27
4.2 แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุดที่เกิดขึ้น	
กับชิ้นส่วนป้องกันในแต่ละรูปแบบของพื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2.....	28



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 (a) ปราบกฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยตรง และ (b) ปราบกฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยอ้อม.....	3
2.2 แสดงกราฟวงวนฮีสเทอรีซิส (Hysteresis loops)	4
2.3 ทิศทางของโพลาริเซชันเมื่อมีการให้สนามไฟฟ้า และความเค้นแกว้สตุเพียโซอิเล็กทริก.....	5
2.4 แสดงแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุ	11
2.5 แสดงแรงอัดที่กระทำต่อวัสดุ	11
2.6 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัสดุแบบ Single shear	12
2.7 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัสดุแบบ Double shear	12
2.8 Power output เป็นฟังก์ชันของความถี่สำหรับความต้านทานที่โหลดต่างๆ	15
2.9 ค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกของ PZN-PZT ceramics ประดิษฐ์โดย PVA ที่ (a) 2 wt% (b) 3 wt% (c) 4 wt% และ (d) 5wt%.....	16
2.10 Power output ของการเก็บเกี่ยวพลังงานแบบ A จากชั้นด้านบน PZT, ชั้นล่างของ PZT และทั้งสองชั้นรวมกันที่ความถี่สั่นพ้อง ของฟังก์ชัน input acceleration.....	17
2.11 (A) แสดงแถบสปีทที่เกิดจากแรงกดขนาด 500 นิวตัน (B) ส่วนห่อหุ้มแผ่น PZT สำหรับวัดค่าความต่างศักย์.....	18
3.1 แสดงขนาดของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 1 (หน่วย mm).....	20
3.2 แสดงขนาดของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 2 (หน่วย mm).....	21
3.3 แสดงขนาดของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 3 (หน่วย mm).....	22
3.4 แสดงขนาดของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 4 (หน่วย mm).....	23
3.5 แสดงพื้นที่สำหรับใส่แรงกดลงบนชิ้นส่วนป้องกัน (บริเวณสีแดง) และพื้นที่สำหรับรับแรงกด (บริเวณสีเทา): (A) พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1 (B) พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2.....	25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันพลังงานที่ใช้กันอยู่ทั่วไปไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน ถ่านหิน หรือพลังงานจากการแปรรูป ล้วนแต่เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด พลังงานเหล่านี้ไม่เพียงพอสอดคล้องความต้องการของมนุษย์อีกต่อไป จึงจำเป็นต้องมีการศึกษา และค้นคว้าในสิ่งต่างๆรอบตัวเพื่อหาบางสิ่งที่จะสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน หรือพลังงานทางเลือกเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของอุตสาหกรรมและมนุษย์ ซึ่งจากการศึกษา ค้นคว้าทำให้พบว่ามีอีกสิ่งหนึ่งที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมากต่อการผลิตพลังงาน หรือการนำมาทำเป็นพลังงานทางเลือกอีกทางหนึ่งได้ สิ่งนั้นก็คือ Piezoelectric sheet (PZT, Lead Zirconate Titanate) หรือก็คือสารในกลุ่มของ Piezoelectric materials ที่มีความสามารถในการ “เปลี่ยนพลังงานจากแรงกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้” จากความสามารถของ Piezoelectric sheet นี้เองทำให้ผู้จัดทำ มีความสนใจที่จะศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาแผ่น Piezoelectric sheet ให้มีความสามารถในการรับแรงกดที่มาจาก การเดินของคนบนทางเท้า และสามารถเปลี่ยนแรงกดที่ได้จากการเดินนั้นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

โดยการพัฒนาแผ่น Piezoelectric sheet ให้มีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานได้ สามารถทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งในโครงงานพิเศษฉบับนี้ได้มีการศึกษาการรับแรงกดที่มาจาก การเดินบนทางเท้าเพื่อเก็บสะสมพลังงานกลจากการเดินของคนที่เดินผ่านไปมาบนทางเท้าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการอาศัยแรงกดที่เกิดจากเท้าของคนที่เดินไปกระทบกับแผ่น Piezoelectric sheet ซึ่งมีชั้นส่วนป้องกัน หรือแผ่น Cover ในการช่วยรับแรงและกระจายแรงกดที่ได้รับจากการเดินบนทางเท้าพร้อมกับส่งแรงส่วนหนึ่งลงไปให้แผ่น Piezoelectric sheet เพื่อทำการเปลี่ยนแรงกดดังกล่าวเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป อีกทั้งชั้นส่วนป้องกัน (Cover) ยังสามารถที่จะช่วยป้องกันไม่ให้แผ่น Piezoelectric sheet เกิดการแตกหักเสียหายขึ้นภายในชั้นส่วนป้องกันอีกด้วย เพราะเนื่องจากแผ่น Piezoelectric sheet เป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์ซึ่งมีความเปราะบางเป็นอย่างมาก และแผ่น Piezoelectric sheet นั้นยังมีความหนาเพียง 0.127 mm เป็นความหนาที่น้อยมาก ยิ่งทำให้ตัวแผ่นเกิดการแตกหักได้อย่างง่ายดาย ซึ่งนั่นถือเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการกักเก็บพลังงานจากแผ่น Piezoelectric sheet

ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้วว่าแผ่น Piezoelectric sheet เป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์ที่มีความเปราะบางเป็นอย่างมาก และด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เองจึงได้เกิดเป็นหัวข้อในการศึกษา ค้นคว้าหาวิธีการแก้ไขปัญหาการแตกหักง่ายของแผ่น Piezoelectric sheet เพื่อให้แผ่น Piezoelectric sheet สามารถที่จะกักเก็บพลังงานจากการเดินบนทางเท้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และไม่เกิดความเสียหายของแผ่น Piezoelectric sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- ศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทางเลือกใหม่ๆ โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับชีวิตประจำวันได้
- เป็นแนวทางการต่อยอด และพัฒนาแผ่น Piezoelectric sheet ให้มีความคงทนแข็งแรง สามารถรับแรงกดจากการเดินของคนบนทางเท้าได้
- ออกแบบ และพัฒนาชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) สำหรับป้องกันไม่ให้ Piezoelectric sheet เกิดการแตกหักเสียหายเนื่องจากแรงกดที่มากจากการเดินบนทางเท้า
- ออกแบบ และพัฒนาชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ที่สามารถรับแรงกดให้ได้มากที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษา ค้นคว้า ออกแบบ และพัฒนาชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ให้มีความคงทนแข็งแรงมากยิ่งขึ้น สามารถรับแรงกดจากการเดินของคนบนทางเท้าได้มากขึ้น ทำให้แผ่น Piezoelectric sheet สร้างกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย นั่นถือว่าเป็นประโยชน์อย่างมากให้การที่จะนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผ่น Piezoelectric sheet ไปใช้ประโยชน์ต่อไป อาทิเช่น นำแผ่น Piezoelectric sheet ไปปูบนทางเท้าเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแรงกดจากการเดิน นำไปประยุกต์ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานแก่ตัวเซนเซอร์บางตัวบนรางรถไฟหรือบนเครื่องจักร เป็นต้น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

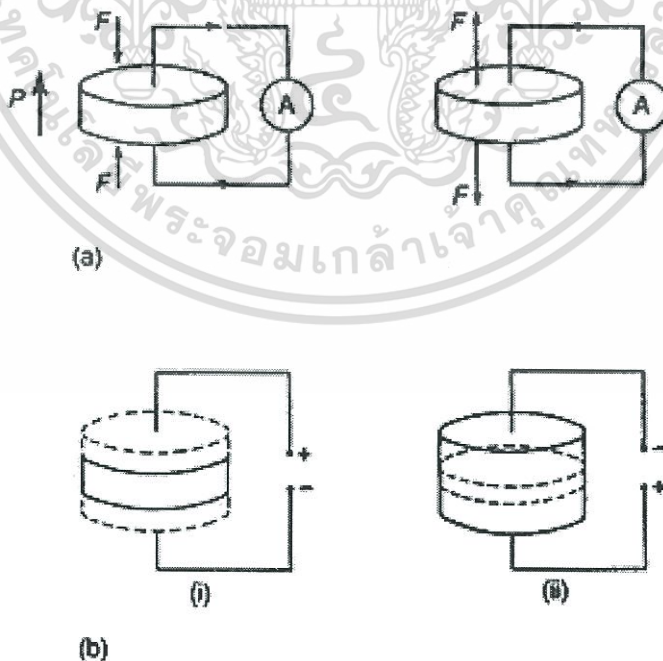
ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ที่ใช้สำหรับการป้องกันแผ่น Piezoelectric sheet จากแรงกดอันเนื่องมาจากการเดินของคนบนทางเท้า เพื่อไม่ให้แผ่น Piezoelectric sheet เกิดการแตกหัก หรือเกิดความเสียหายขึ้นภายในชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) โดยการพิจารณาเฉพาะแรงกระแทก (ความเค้นอัด) เพียงอย่างเดียว และไม่พิจารณาถึงความล้าของวัสดุ ชิ้นส่วนป้องกันนั้นจะช่วยให้ในเรื่องของการรับแรงกด พร้อมกับกระจายแรงกดนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับ Piezoelectric sheet โดยอาศัยการใช้โปรแกรม Solid works ในการออกแบบชิ้นส่วนป้องกัน (Cover), การจำลองผลการทดสอบแรงกดจากการเดินด้วยโปรแกรม ANSYS เพื่อดูความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกัน (Cover)

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกของวัสดุถูกค้นพบในปี 1880 โดย Jacques และ Pierre Curie โดยการศึกษาอิทธิพลของแรงกดต่อประจุไฟฟ้าของผลึก เช่น ควอตซ์ (Quartz) ซิงค์เบลนด์ (Zinc blende) และ ทัวร์มาไลน์ (Tourmaline) เป็นต้น โดยชื่อ “piezo” มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก หมายถึง “การกด” ซึ่งปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกคือ ปรากฏการณ์ที่วัสดุสามารถเกิดขั้วไฟฟ้า (Electrical polarization) ขึ้นเนื่องจากความเครียด (Strain) ในวัสดุ เมื่อได้รับความเค้น (Stress) เข้าไป โดยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยตรง (Direct piezoelectric effect)” หรือปรากฏการณ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator action) ดังแสดงในรูปที่ 2.1(a) และในทางกลับกันเมื่อมีการให้สนามไฟฟ้าแก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกแล้วสามารถเกิดความเครียดซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนามไฟฟ้าที่ให้เข้าไปได้นั้น จะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยอ้อม (Converse piezoelectric effect)” หรือ ปรากฏการณ์ มอเตอร์ (Motor effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.1(b) จากปรากฏการณ์ข้างต้นนี้พบว่า ปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่กระทำ เช่น เป็นแรงกด หรือแรงดึง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 (a) ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยตรงและ (b) ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

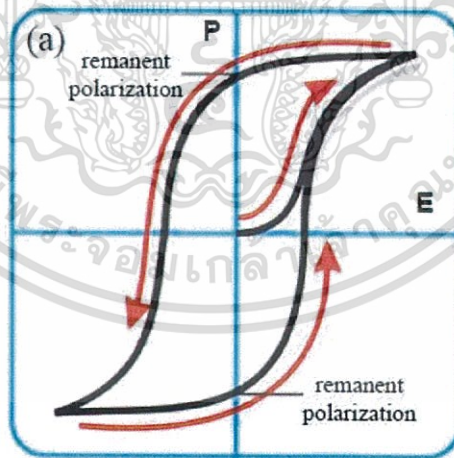
สมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทั้ง 2 ปรากฏการณ์ โดยพิจารณาจากสมบัติทางไฟฟ้าและการยืดหยุ่น (Elastic property) ของวัสดุ คือ

$$\mathbf{D} = \mathbf{dE} + \boldsymbol{\epsilon}^T \mathbf{E} \quad (\text{Generator action}) \quad (2.1)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{s}^E \mathbf{T} + \mathbf{dE} \quad (\text{Motor effect}) \quad (2.2)$$

เมื่อ	D	คือ ค่าการแทนที่ทางไฟฟ้า (Dielectric displacement)
	T	คือ ความเค้น (Stress)
	E	คือ สนามไฟฟ้า (Electric field)
	S	คือ ความเครียด (Strain)
	d	คือ สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric coefficient)
	s	คือ ความหยุ่นของวัสดุ (ส่วนกลับของมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น)
	ϵ	คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity)

ในการบ่อนสนามไฟฟ้ากระแสสลับค่าสูง ๆ ให้กับวัสดุเซรามิก PZT ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของโพลาริเซชันและขนาดหากนำการเปลี่ยนแปลงไปแสดงในลักษณะรูปของ กราฟจะได้วงวนฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loops)



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟวงวนฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loops) [1]

โดยตัวกในสมการทั้งสองนี้แสดงถึงปริมาณที่เป็นค่าคงที่ซึ่ง ϵ^T ในสมการที่ 2.1 บ่งบอกว่าความเค้นเป็นค่าคงที่นั่นคือ เมื่อไม่มี แรงเค้นมากระทำ ต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกนั่นเอง ส่วน s^E ในสมการที่ 2.2 นั้นมีสนามไฟฟ้าเป็นค่าคงที่ จากรูปแบบของสมการทั้งสองนี้จะแสดงถึงความแตกต่างของการจัดเรียงตัวในวัสดุซึ่งจะสัมพันธ์กับสมบัติของวัสดุนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

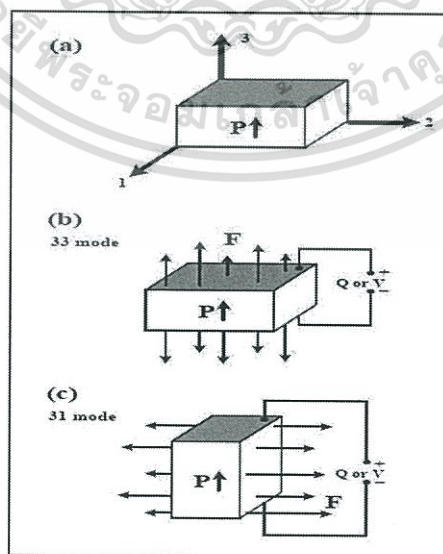
นอกจากนี้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกยังมีสมบัติที่ขึ้นกับทิศทาง จึงต้องมีการระบุเป็นตัวห้อยไว้เพื่อแสดงถึงเงื่อนไขของสภาวะที่กำหนด เช่น d_{31} เป็นสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกที่แสดงถึงความสัมพันธ์ในการเกิดโพลาริเซชัน (ปรากฏการณ์โดยตรง) ในแนวตั้งฉากกับขั้วไฟฟ้าในทิศทาง 3 หรือในแนวตั้งของวัสดุ เมื่อมีการให้ความเค้นในทิศทาง 1 หรือด้านข้างของวัสดุ (ดังรูปที่ 2.3) และค่า d_{33} ที่แสดงการเกิดโพลาริเซชันในทิศทาง 3 เมื่อมีการให้ความเค้นในทิศทาง 3 เป็นต้น โดยตัวอย่างสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกนี้ คือ

$$D = d_{33}T_3 \quad (\text{ปรากฏการณ์โดยตรง}) \quad (2.3)$$

$$S = d_{33}E_3 \quad (\text{ปรากฏการณ์โดยอ้อม}) \quad (2.4)$$

โดยค่า d มีค่าอยู่ในช่วง 10^{-12} C/N สำหรับปรากฏการณ์โดยตรง และมีค่าอยู่ในช่วง 10^{-12} m/V สำหรับปรากฏการณ์โดยอ้อม ซึ่งวัสดุที่มีค่า d สูง มักนิยมนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสั่น หรือ เคลื่อนที่ เช่น โซนาร์ และเครื่องบันทึกเสียง เป็นต้น

สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric coefficient) เป็นการวัดค่าของการเกิด โพลาริเซชันเมื่อให้แรงเชิงกลแก่วัสดุเซรามิกส์หนึ่งหน่วย หรือการวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวเมื่อให้แรงทางไฟฟ้าหนึ่งหน่วยแก่วัสดุเซรามิกส์ โดยตัวเลขที่ห้อยตัวหน้าบอกทิศทางของสนามไฟฟ้าภายนอกที่ป้อนเข้าไปในวัสดุหรือที่วัสดุจ่ายออกมาเมื่อถูกแรงทางกลกระทำ ส่วนตัวเลขห้อยตัวหลังแสดงทิศทางที่วัสดุเกิดการยืดหรือหดเมื่อถูกสนามไฟฟ้าภายนอกกระทำ



รูปที่ 2.3 ทิศทางของโพลาริเซชันเมื่อมีการให้สนามไฟฟ้าและความเค้นแก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขถูกกำหนดโดยอ้างอิงกับทิศทางการเกิดโพลาริเซชัน จากรูปจะเห็นว่าทิศทางหมายเลข 3 เป็นแกน z ของผลึกซึ่งขนานกับทิศที่เหนี่ยวนำให้เกิดขั้วไฟฟ้าในวัสดุ แกนของผลึกที่เหลือคือ x และแกน y แทนด้วยทิศหมายเลข 1 และ 2 ตามลำดับดังรูปที่ 2.3(a) ดังนั้นกล่าวได้ว่า

- d_{33} คือสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกที่เกิดจากการวัดการเกิดโพลาริเซชันในทิศของการทำขั้วของวัสดุเซรามิกส์ เมื่อมีการให้ความเค้นแก่วัสดุเซรามิกส์ในทิศเดียวกับทิศของการทำขั้วของวัสดุเซรามิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3(b)
- d_{31} คือสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกที่เกิดจากการวัดการเกิดโพลาริเซชันในทิศของการทำขั้วของวัสดุเซรามิกส์ เมื่อมีการให้ความเค้นแก่วัสดุเซรามิกส์ในทิศตั้งฉากกับทิศของการทำขั้วของวัสดุเซรามิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3(c) [1]

2.2.1 สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกของเฟอร์โรอิเล็กทริกวัสดุเซรามิกส์บางชนิด

ชนิดของวัสดุเซรามิก	d_{33} (pC/N)	d_{31} (pC/N)
BaTiO_3	190	-78
PbTiO_3	45 - 56	(-4.2) - (-6.8)
$\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$	220	-71
$\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$	175	-148
PbTiO_3 - PbZrO_3	71 - 590	(-27) - (-274)
$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 - PbZrO_3	280 - 460	(-79) - (-250)

2.2 พอลิเมอร์ (Polymers)

คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก ประกอบด้วย หน่วยเล็ก ๆ ของสารเรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer) จะต้องมียูนิทซ้ำกัน (repeating unit) มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยคำว่า พอลิเมอร์ (Polymer) มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ polys แปลว่า หลายหรือมาก และ meros แปลว่า ส่วนหรือหน่วย โครงสร้างของพอลิเมอร์ แบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พอลิเมอร์แบบเส้น (Chain length polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาว โซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูง มีลักษณะแข็งขุ่นเหนียวกว่าโครงสร้างอื่นๆ ตัวอย่างเช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือ PVC มีไวนิลคลอไรด์เป็นมอนอเมอร์ พอลิสไตรีน หรือ PS มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์
2. พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งโซ่สั้น และโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากพอลิเมอร์ของโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวต่ำ ยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
3. พอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linking polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแหพอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรง และเปราะหักง่าย ตัวอย่างเช่น เบกาไลต์ และเมลามีน ใช้ทำถ้วยชาม

การจำแนกพอลิเมอร์มีเกณฑ์การแบ่งได้หลายแบบ

การจำแนกพอลิเมอร์ตามการเกิด ได้ 2 แบบ ดังนี้

1. พอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymers) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรตีน แป้งเซลลูโลส ยางธรรมชาติ
2. พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymers) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาเคมี ส่วนใหญ่มีมวลโมเลกุล 10,000-1,000,000 สำหรับพอลิเมอร์สังเคราะห์รวมทั้ง อีลาสโตเมอร์ (Elastomers) ที่มีสมบัติคล้ายยาง ไฟเบอร์ (Fibers) ที่มีสมบัติเป็นเส้นใย และพลาสติก (Plastics)

การจำแนกพอลิเมอร์ตามการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนสามารถจำแนก ได้ 2 แบบ ดังนี้

1. เทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ (Thermoplastic Polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถหลอมตัวได้ด้วยความร้อนแล้วแข็งตัวเมื่อทำให้เย็นตัวลง การหลอมและการเย็นตัวทำได้หลายๆ ครั้ง โดยไม่มีผลเสียกับสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เช่น พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ [ที่ไม่ใช่โครงสร้างแบบร่างแห (Network)] และโพลีเอสเตอร์ พอลิโอไมด์ พอลิอะคริโลไนไตรล์ เป็นต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทอร์โมเซตติงพอลิเมอร์ (Thermosetting Polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถหลอมตัวได้เฉพาะครั้งแรกเท่านั้นตามด้วยการเชื่อมต่อกัน ดังนั้นพอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อโดนความร้อน แต่ถึงจุดๆ หนึ่งจะสลายตัวเนื่องจากความร้อนจะทำลายพันธะยึดเหนี่ยวของตัวเชื่อมต่อกัน ตัวอย่าง เช่น เมลามีนฟอรัลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde resin) และ เบกาไลท์ (Bekelite) เป็นต้น

การจำแนกพอลิเมอร์ตามชนิดของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ ได้ 2 แบบ ดังนี้

- โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymers) คือ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของมอนอเมอร์ชนิดเดียวกัน เช่น แป้ง เป็นพอลิเมอร์ที่มีกลูโคสประกอบด้วยมอนอเมอร์พอลิไทริน
- โคพอลิเมอร์ (Copolymer) คือ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของมอนอเมอร์ต่างชนิดกันอย่างน้อย 2 ชนิด เช่น พอลิเอสเตอร์ และ พอลิเอไมด์ สำหรับโคพอลิเมอร์จะจำแนกได้อีก 4 แบบ [2],[3]

2.1 โคพอลิเมอร์ที่จัดแบบสุ่ม (Random Copolymer)



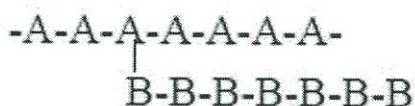
2.2 โคพอลิเมอร์ที่จัดแบบสลับกัน (Alternating Copolymer)



2.3 โคพอลิเมอร์ที่จัดแบบบล็อก (Block Copolymer)



2.4 โคพอลิเมอร์ที่จัดแบบไซ (Graft Copolymer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทำชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) นั้นมีด้วยกันหลากหลายชนิด ในส่วนนี้เองทางผู้จัดทำได้เลือกใช้ Polyethylene (PE) ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) แบบพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดเทอร์โมพลาสติก

ลักษณะโดยทั่วไปแล้ว พอลิเอทิลีน (Polyethylene) มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัวเอง เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น ยืดหยุ่นได้ดี และที่สำคัญ ไม่มีกลิ่น และรส เหนียวเหนียวเหนียว แต่ทนความร้อนได้ไม่มากนัก ($<100\text{ }^{\circ}\text{C}$) แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี (Chemical) เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก ใส่สีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ดี ประเภทของ พอลิเอทิลีน (Polyethylene) มีดังนี้

1. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.91 ถึง 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร LDPE มีการใช้อย่างกว้างขวาง เพราะว่ามันไม่แพง ยืดหยุ่นได้ ทนทานมากและทนต่อสารเคมี LDPE ถูกขึ้นรูปเป็นขวด ฟิล์มห่ออาหาร และของเล่น
2. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene, MDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.93 ถึง 0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร MDPE ตามปกติจะถูกใช้ในการทำ ท่อแก๊ส และอุปกรณ์ sacks ฟิล์มบรรจุภัณฑ์
3. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.95 ถึง 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ HDPE เหล่านี้เชื่อมกันอย่างแน่นหนาจึงทำให้ แข็งแรงกว่า แข็งกว่า และโปร่งแสงน้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) HDPE ใช้ทำถุง ถังน้ำมันรถ ฟิล์มห่อและท่อน้ำ [4]

ข้อดีของการเลือกใช้ Polyethylene (PE) ในการนำมาทำชิ้นส่วนป้องกัน หรือแผ่น Cover นั้นก็คือ

- ราคาถูก เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ในท้องตลาด
- หาซื้อได้ง่าย และยังสามารถหารูปทรง พร้อมขนาดได้ตามต้องการ
- คุณสมบัติเพียงพอในระดับหนึ่งต่อการรองรับแรงกดจากการเดิน

อย่างไรก็ตาม Polyethylene (PE) ยังคงมีข้อเสียอยู่ อาทิเช่น ไม่สามารถทนต่อแรงกดที่มีขนาดมากๆ ได้เนื่องจากจะทำให้เกิดการเสียรูป อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายกับ Piezoelectric sheet ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แรงกดเนื่องจากการเดิน

ชนิดของแรง (Types of loads) แรงที่มากกระทำต่อวัสดุนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. แรงที่อยู่นิ่ง (static load)
เป็นแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนของวัสดุอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมีค่าถึงค่าหนึ่ง แล้วจะมีค่าคงที่อยู่ตลอดไปหรือเกือบเท่ากับค่านั้นตลอดไป
2. แรงที่กระทำซ้ำ ๆ (repeated load)
หมายถึง แรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อวัสดุหลายๆครั้งซ้ำๆกัน และสลับกันไปมาในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น แรงกระทำต่อข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เพลารถไฟ ฯลฯ
3. แรงกระแทก (impact load)
เป็นแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนในระยะเวลาอันสั้นโดยปกติแล้วไม่สามารถที่จะหาระยะเวลาที่แรงกระแทกนี้กระทำได้ล่วงหน้า เช่น แรงกระแทกที่เกิดจากรถยนต์วิ่งข้ามสะพาน เป็นต้น

สำหรับการพิจารณาถึงแรงกดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกัน หรือแผ่น Cover นั้นสามารถพิจารณาได้จากแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่มากกระทำต่อแผ่น Cover ในระยะเวลาสั้นๆ อาจกล่าวได้ว่าแรงกดเนื่องจากการเดินของคนบนทางเท้า นั่นก็คือ ความเค้น (Stress) นั่นเอง

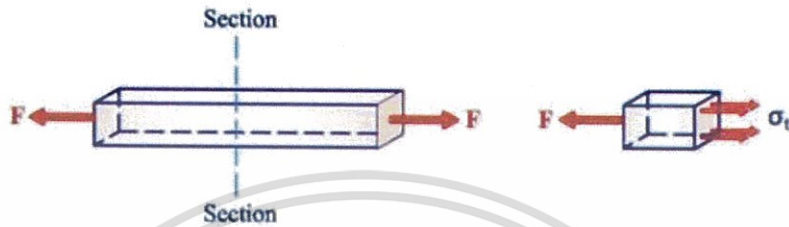
ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงภายนอกที่มากกระทำต่อพื้นที่หน้าตัด ซึ่งกระทำในลักษณะขนานหรือตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ ใช้สัญลักษณ์ σ (sigma)

กำหนดให้
$$\sigma = \frac{F}{A}$$
 เป็นแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (2.5)

เมื่อ	σ	คือ ความเค้น (N/m ² หรือ Pa)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m ²)
	F	คือ แรงภายนอกที่มากกระทำต่อวัตถุ (N)

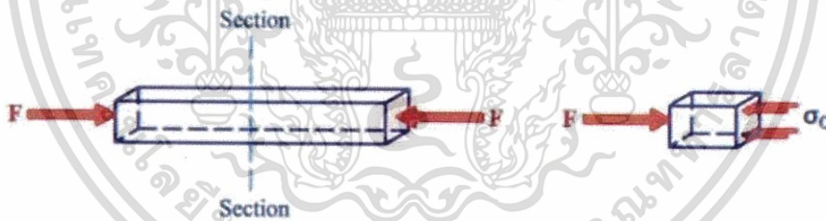
สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามแรงที่มากระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ คือ

1. ความเค้นดึง (Tensile stress) หมายถึง ความเค้นที่เกิดจากแรงดึงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัด โดยแนวแรงที่มากระทำต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดเสมอ



รูปที่ 2.4 แสดงแรงดึงที่กระทำต่อวัตถุ

2. ความเค้นอัด (Compressive stress) ความเค้นที่เกิดจากแรงอัดกระทำต่อพื้นที่หน้าตัด โดยแรงกระทำแนวแรงต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดเสมอ

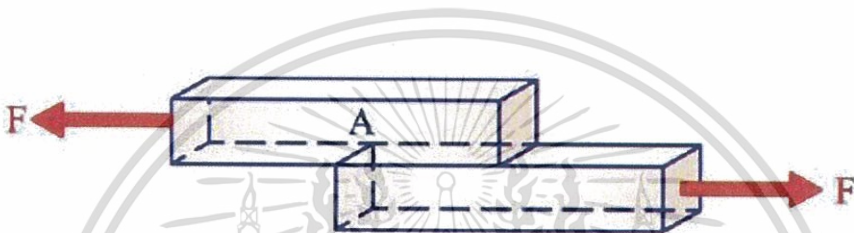


รูปที่ 2.5 แสดงแรงอัดที่กระทำต่อวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

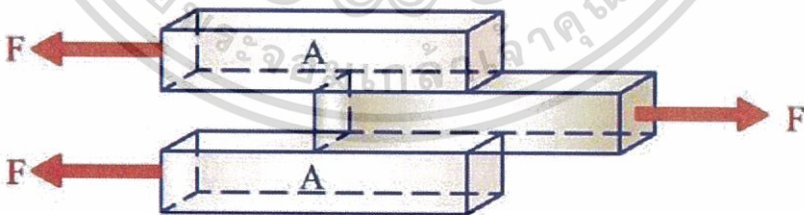
3. ความเค้นเฉือน (Shear stress) หมายถึง ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงเฉือน เป็นแรงภายนอกที่มากกระทำต่อวัตถุโดยพยายามทำให้วัตถุเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรง หรือขนานกับพื้นที่หน้าตัดเสมอ โดยความเค้นเฉือน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ความเค้นเฉือนเดี่ยว (Single shear) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงเฉือน โดยมีพื้นที่ (A) โคนเฉือนขาดเพียงหนึ่งพื้นที่



รูปที่ 2.6 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุแบบ Single shear

- ความเค้นเฉือนคู่ (Double shear) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงเฉือน โดยมีพื้นที่ (A) โคนเฉือนขาดออกเป็นสองพื้นที่



รูปที่ 2.7 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุแบบ Double shear [5]

2.4 ANSYS Programs

โปรแกรม ANSYS คือการนำหลักการของ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาใช้วิเคราะห์ปัญหาทุกศาสตร์ทางด้านวิศวกรรม ทั้งด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) กลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ตลอดจน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetics)

ANSYS Structural Mechanics

ANSYS Structural Mechanics ใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหาเชิงวิศวกรรม ทั้งในด้านกลศาสตร์ภาค สถิตย (Static) และภาคพลวัต (Dynamic) ทั้งการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) การวิเคราะห์ปัญหาแบบผสมผสาน ร่วมกับความร้อน ของไหล และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ การวิเคราะห์สามารถทำได้ตั้งแต่ชิ้นส่วนย่อยไปจนถึงระบบชิ้นส่วนหรือโครงสร้าง ภายใต้สภาวะ ของภาระที่มากกระทำ ทำให้ทราบถึงผลการตอบสนอง ทั้งการเสียรูป (Deformation) แรงปฏิกิริยา (Reaction force) ความเค้นและความเครียด (Stress and Strain) ตัวอย่างเช่นการสั่นสะเทือนของ ระบบช่วงล่างรถยนต์ตลอดจนโครงสร้างหรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ความเสียหายในท่อหรือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการแพทย์ เช่นการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่ ใช้ร่วมกับร่างกายมนุษย์

ANSYS Thermal and Thermal Stress Analysis

ANSYS Thermal and Thermal Stress Analysis คือศาสตร์การวิเคราะห์ผลเนื่องจากอุณหภูมิ ทั้งปัญหาที่เป็นแบบสภาวะคงตัว (Steady State) และสภาวะไม่คงตัว (Transient) อาทิเช่น การ แลกทักของท่อผสมน้ำอุ่นอันเนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิ (Thermal Stress), ความเสียหายของหัวฉีดเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ ความเสียหายที่เกิดจากความร้อนในอุปกรณ์ และเครื่องมือในอุตสาหกรรมต่างๆ หรือการระบายความร้อนของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ใน อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ANSYS Fluid Dynamics

ANSYS Fluid Dynamics คือการคำนวณและวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) รวมถึงการถ่ายเทพลังงานความร้อนของของไหล โดยโปรแกรม ANSYS สามารถทำการวิเคราะห์หาคำตอบได้อย่างแม่นยำและครอบคลุม ทั้งปัญหาพลศาสตร์ของไหลแบบราบเรียบ และแบบปั่นป่วน สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลทั้งภายในและภายนอก (Internal and External flow) ทั้งแบบสถานะเดียว (Single-phase Flow) หรือหลายสถานะ (Multiphase Flow) นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์การไหลร่วมกับการถ่ายเทความร้อนทั้งแบบการนำ การพา และการแผ่รังสี ตลอดจนสามารถวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาเคมี และการเผาไหม้ได้อีกด้วย

ANSYS Explicit Dynamic

ANSYS Explicit Dynamic เป็นการวิเคราะห์การตอบสนองของชิ้นงานที่มีภาระกระทำในช่วงเวลาที่สั้นและรุนแรง โดยวัสดุจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างออกไปภายใต้สภาวะการณดังกล่าว เช่น การวิเคราะห์การระเบิดซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเสี้ยววินาที การยิงกระสุนเพื่อทดสอบเกราะกันกระสุน การตกกระแทกของผลิตภัณฑ์ต่างๆ หรือการวิเคราะห์ความปลอดภัยของห้องโดยสารรถยนต์จากการชนด้วยความเร็วสูง

ANSYS POLYFLOW

ANSYS POLYFLOW คือโปรแกรมการทำนายพฤติกรรมการขึ้นรูปของวัสดุแบบพิเศษ เช่น พอลิเมอร์ พลาสติก ยาง หรือแก้ว เป็นต้น ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ทั้งการเป่า การรีด การกดอัด รวมไปถึงการไหลของวัสดุที่มีความหนืดสูงมากเช่นการไหลของพอลิเมอร์ภายใต้ความร้อนและแรงอัดของสกรู การเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติก หรือการขึ้นรูปยางชนิดต่างๆ

ANSYS Electromagnetic

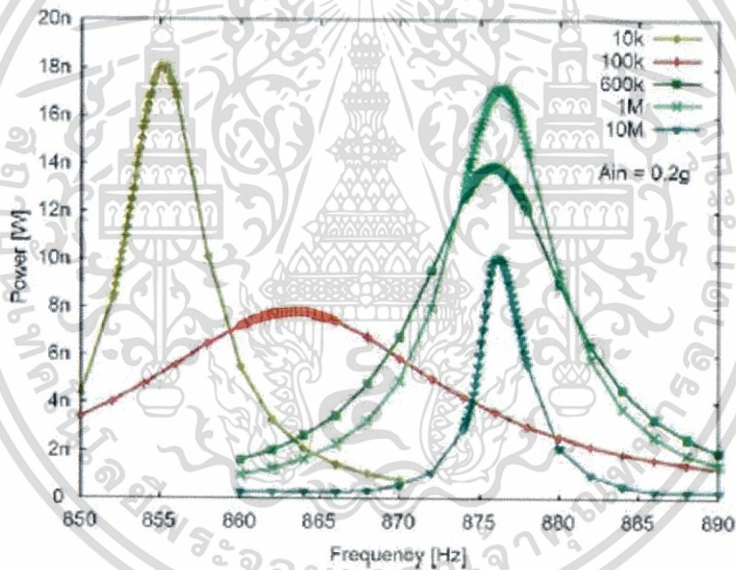
ANSYS Electromagnetic คือโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการวิเคราะห์งานทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ครอบคลุมทุกๆ ปัญหาไม่ว่าจะเป็นการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ชุดวงจร IC (IC package) แผงวงจร PCB (PCB Interconnect) วิเคราะห์และออกแบบอุปกรณ์คลื่นในย่านความถี่วิทยุ สัญญาณไมโครเวฟ (RF/microwave component) รวมถึงอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ (Antenna) ตลอดจนการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณและการรบกวนคลื่นสัญญาณ (EMI/EMC) □

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การทบทวนวรรณกรรม

Vibration Energy Harvesting with PZT Micro Device

ทดลองและสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าขนาดไมโครที่เก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน โดยการสั่นแบบเรโซแนนซ์ของคานแผ่น PZT ที่มีลักษณะเฉพาะเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าจากการสั่น ส่วนที่ใช้งานประกอบด้วย PZT หนา $2\ \mu\text{m}$ ใน silicon หนา $5\ \mu\text{m}$ พร้อมกับติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบผสม (interdigitated electrode) เพื่อให้ได้ค่า voltages สูงขึ้น โดยพิจารณาที่ $k^2 = 5\%$ ซึ่งได้มาจากความแตกต่างกันในความถี่เรโซแนนซ์ที่ความต้านทานต่ำและสูง ผลที่ได้คือที่โหลดความต้านทาน $10\ \text{k}\Omega$ จะได้ voltages = $1.6\ \text{V}$ และ output power = $1.4\ \mu\text{W}$ ซึ่งถูกวัดด้วยคานแผ่น PZT ขนาด $0.8 \times 1.2\ \text{mm}$ มีพื้นที่ใช้งาน $0.8 \times 0.4\ \text{mm}$ ที่กระตุ้นด้วยความเร่ง $2g$ ที่ความถี่ $870\ \text{Hz}$ [7]

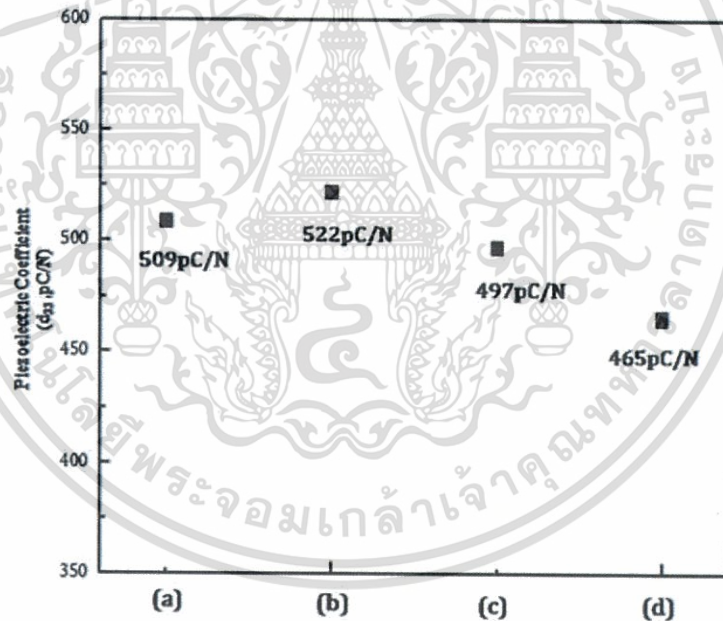


รูปที่ 2.8 Power output เป็นฟังก์ชันของความถี่สำหรับความต้านทานที่โหลดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application of CIP processing and sol-gel surface coating to PZN-PZT piezoelectric ceramics for use as energy harvesters

ทดลองและสร้าง Piezoelectric $0.2\text{Pb}(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - 0.8\text{Pb}(Zr_{1/2}Ti_{1/2})O_3$ ในรูปแบบแผ่น ซึ่งจะถูกผลิตและทำให้มีคุณสมบัติสำหรับเป็นตัวกักเก็บเพื่อให้ได้ piezoelectric ที่มีประสิทธิภาพสูง และมีการสตุที่อุณหภูมิต่ำในกระบวนการขึ้นรูป ได้แก่ การอัดแบบเย็น (cold isostatic pressing, CIP) ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นพลังงาน ส่วนผสมที่เป็นผงที่มีค่าเฉลี่ยขนาดของอนุภาคประมาณ $0.1\ \mu\text{m}$ และ $0.5\text{wt}\% \text{ZnO}$ ถูกนำมาแก้ปัญหาการแตกหักและโค้งงอของเซรามิกส์บางในระหว่างกระบวนการสตุภายหลังที่อุณหภูมิสูง การเคลือบพื้นผิวด้วย sol gel เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดีมาก สำหรับแผ่นเซรามิกส์ พร้อมด้วย ค่าคงที่ piezoelectric d_{33} ของ $536\ \text{pC/N}$ ที่สูงมาก ผลของการศึกษานี้สามารถนำไปปรับใช้กับตัวกักเก็บพลังงาน piezoelectric ขนาดเล็กได้ [8]

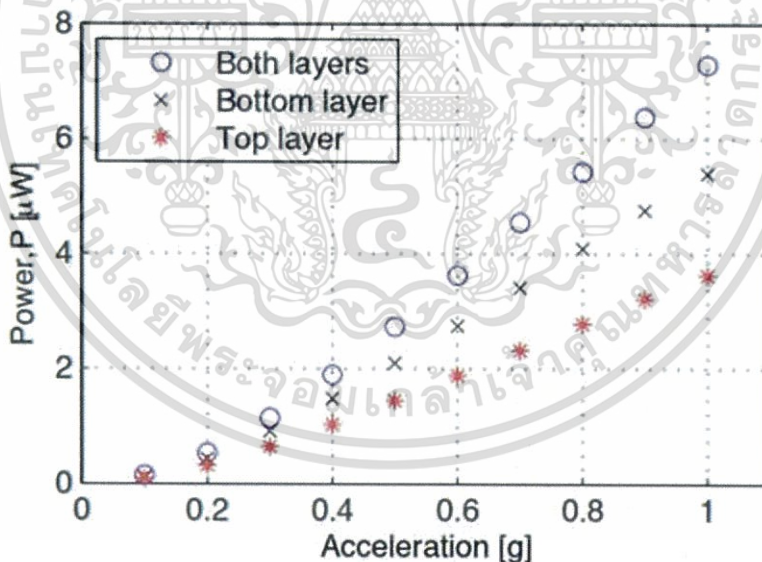


รูปที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกของ PZN-PZT ceramics ประดิษฐ์โดย PVA ที่ (a) 2 wt% (b) 3 wt%(c) 4 wt% และ (d) 5wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Screen printed PZT/PZT thick film bimorph MEMS cantilever device for vibration energy harvesting

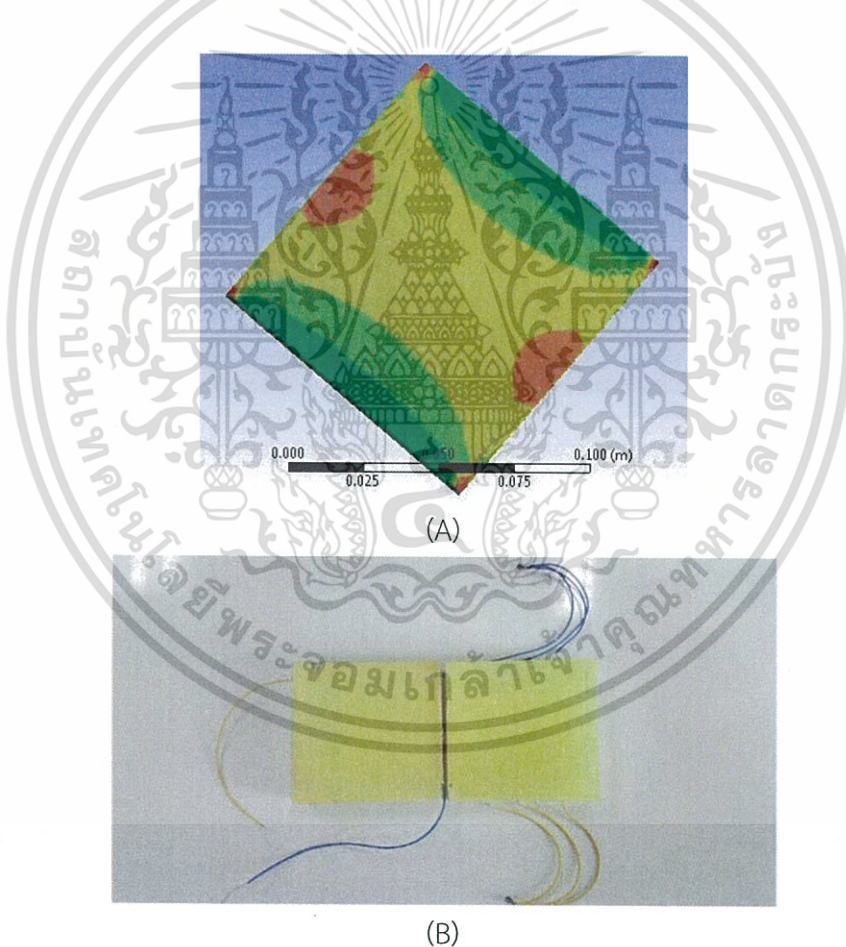
บทความนี้นำเสนอระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค (MEMS) ซึ่งเป็นรากฐานของ ตัวกักเก็บพลังงาน การสั่นสะเทือนแบบคานสองทางฟิล์มหนา PZT/PZT พร้อมด้วยซิลิโคนที่ผ่านการทดสอบแล้ว อุปกรณ์กักเก็บพลังงาน piezoelectric ส่วนใหญ่ใช้สะพานคานของวัสดุที่ไม่เป็น piezoelectric สำหรับเป็นตัวช่วยเสริมหรือเป็นตัวกลางของวัสดุ piezoelectric และช่วยสนับสนุนในทางกลแต่จะลดพลังงาน output ด้วยเช่นกัน แต่ในอุปกรณ์ของเราได้แทนที่วัสดุของคานด้วยวัสดุ piezoelectric ความเค้นทั้งหมดจากการสั่นสะเทือนจะถูกกักเก็บโดยชั้น piezoelectric เราจะแสดงผลการทดลองจาก PZT/PZT ที่เป็นตัวกักเก็บ 2 แบบคือให้ความดันสูง และไม่ให้ความดัน โดยแผ่น PZT $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ ฟิล์มหนาจะถูกให้ความดันสูงในระหว่างการผลิต และอีกแบบหนึ่งจะไม่ถูกให้ความดัน เราค้นพบว่าการให้ความดันสูงแก่ฟิล์มหนา PZT/PZT แผ่นฟิล์มจะมีความหนาแน่นกว่าและมีประสิทธิภาพในการกักเก็บเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [9]



รูปที่ 2.10 Power output ของการเก็บเกี่ยวพลังงานแบบ A จากชั้นด้านบน PZT, ชั้นล่างของ PZT และทั้งสองชั้นรวมกันที่ความถี่สั่นพ้องของฟังก์ชัน input acceleration

SIMULATION AND MODELING ELECTRICAL CELL SUBSTRATE FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRICAL ENERGY FROM PRESSURE ON THE FOOTPATH

บทความนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาขนาดความหนาของส่วนต่อหุ้มแผ่น PZT โดยการจำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม ANSYS เพื่อหาค่าความหนาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการป้องกันแผ่น PZT จากแรงกดที่มากระทำ ซึ่งแผ่น PZT ยังคงไม่แตกหักเสียหาย และสามารถจ่ายค่าความต่างศักย์ออกมาได้สูงที่สุด โดยใช้วัสดุเป็น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) และกำหนดขนาดของแผ่นต่อหุ้มคือ ความกว้าง 101.6 มิลลิเมตร ความยาว 101.6 มิลลิเมตร และทำการใส่แรงกดลงบนส่วนต่อหุ้มนี้ด้วยแรงขนาดเท่ากับ 500 นิวตัน ซึ่งกำหนดขนาดความหนาของส่วนต่อหุ้มไว้ดังนี้ แบบที่ 1 มีความหนา 5 มิลลิเมตร แบบที่ 2 มีความหนา 10 มิลลิเมตร และแบบที่ 3 มีความหนา 15 มิลลิเมตร จากการทดสอบพบว่าที่ความหนา 10 มิลลิเมตร สามารถป้องกันแรงกดที่มากระทำได้ และทำให้แผ่น PZT สามารถจ่ายความต่างศักย์ออกมาได้เท่ากับ 0.1-0.2 โวลต์ [10]



รูปที่ 2.11 (A) แสดงแถบสีที่เกิดจากแรงกดขนาด 500 นิวตัน
(B) ส่วนต่อหุ้มแผ่น PZT สำหรับวัดค่าความต่างศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 แผนการดำเนินการ

ภาคเรียนที่ 1 ศึกษา ค้นคว้าเอกสารงานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ พร้อมทั้งออกแบบชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) สำหรับใช้ป้องกัน Piezoelectric sheet โดยใช้โปรแกรม Solid works ในการออกแบบชิ้นส่วนป้องกัน (Cover)

ภาคเรียนที่ 2 นำชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Solid works ไปจำลองผล (Simulation) การทดสอบการเดินบนทางเท้าที่เกิดแรงกดมากระทำต่อชิ้นส่วนป้องกัน วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับ Piezoelectric sheet โดยการจำลองผลการทดสอบจะใช้โปรแกรม ANSYS ในการทดสอบ พร้อมการวิเคราะห์ผลการทดสอบ



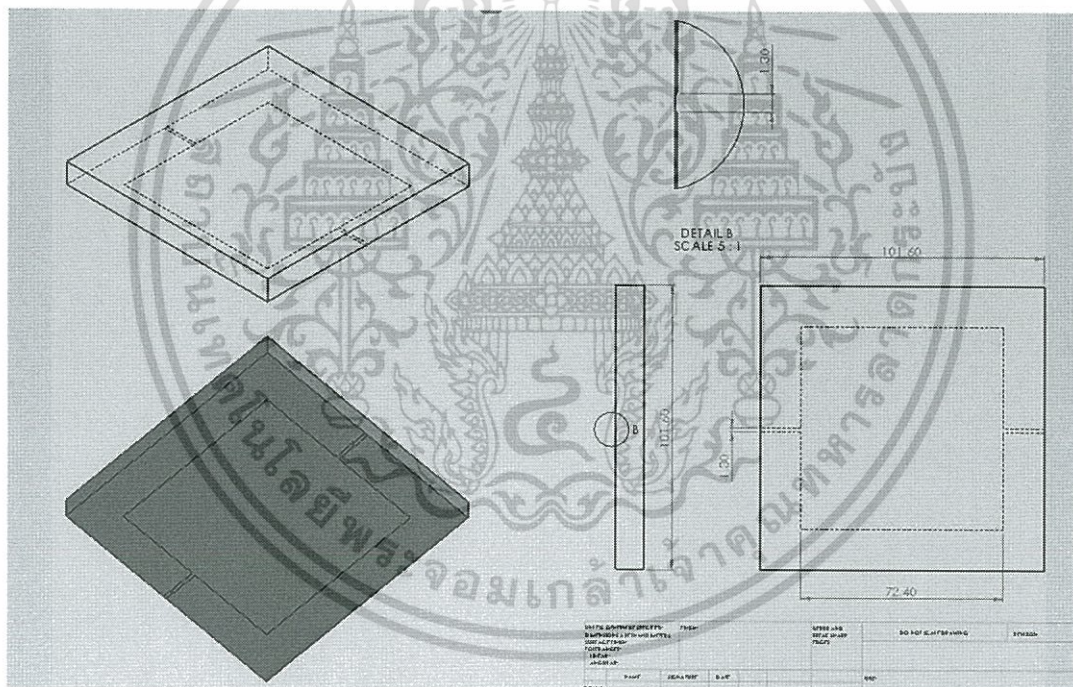
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Solid works

ทำการออกแบบชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) โดยการใช้โปรแกรม Solid works โดยได้ทำการออกไว้ทั้งหมด 4 รูปแบบ โดยอาศัยขนาดของชิ้นส่วนป้องกันที่ได้มีการศึกษามาก่อนแล้ว และได้มีการเพิ่มเติมในส่วนของคุณลักษณะเฉพาะเพื่อต้องการให้ชิ้นส่วนป้องกันสามารถรับแรงกดได้มากขึ้น ซึ่งวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ป้องกัน Piezoelectric sheet การออกแบบจะมีทั้งชิ้นส่วนด้านบนและชิ้นส่วนด้านล่างดังนี้

3.2.1 ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 1

มีการเจาะแผ่น Cover ให้มีขนาดความลึกเท่ากับความหนาของแผ่น Piezoelectric sheet (ชิ้นล่าง) และมีการเพิ่มเติมส่วนของความหนาที่หายไปทีส่วนของแผ่น Cover ชิ้นบน ทั้งยังมีการเจาะร่องไว้สำหรับวางสายไฟ โดยขนาดของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 1 จะแสดงในรูปที่ 3.1

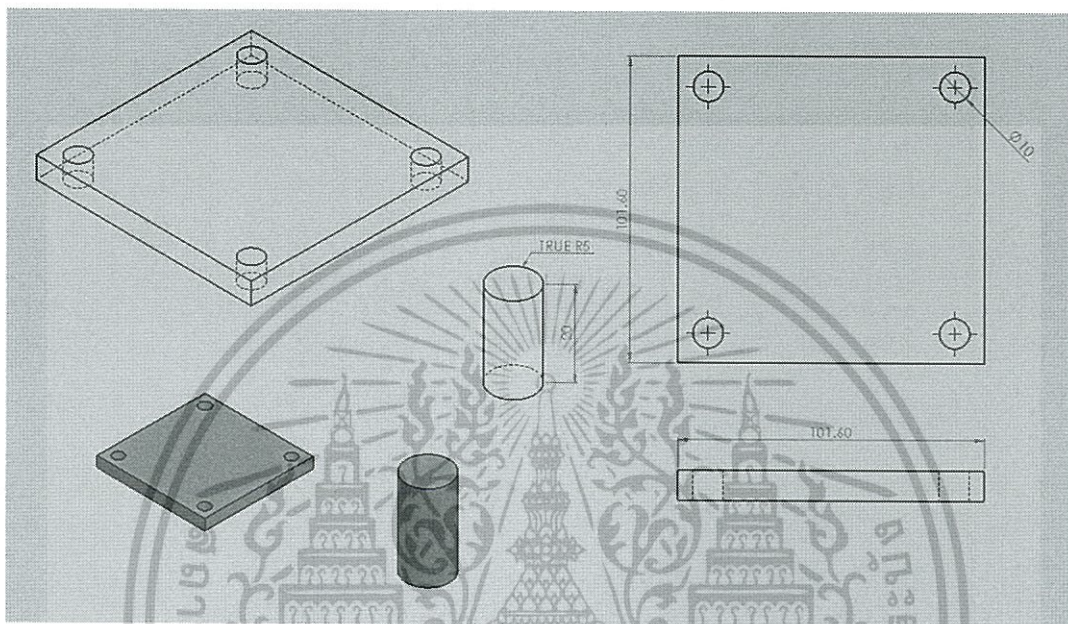


รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 1 (หน่วย mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 2

ชั้นส่วนป้องกัน หรือแผ่น Cover มีการเจาะรูที่มุมทั้ง 4 ด้าน สำหรับการใส่เสาเพื่อช่วยในการรับแรงกด (ความเค้นอัด) ที่เกิดขึ้น และขนาดของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 2 จะแสดงในรูปที่ 3.2

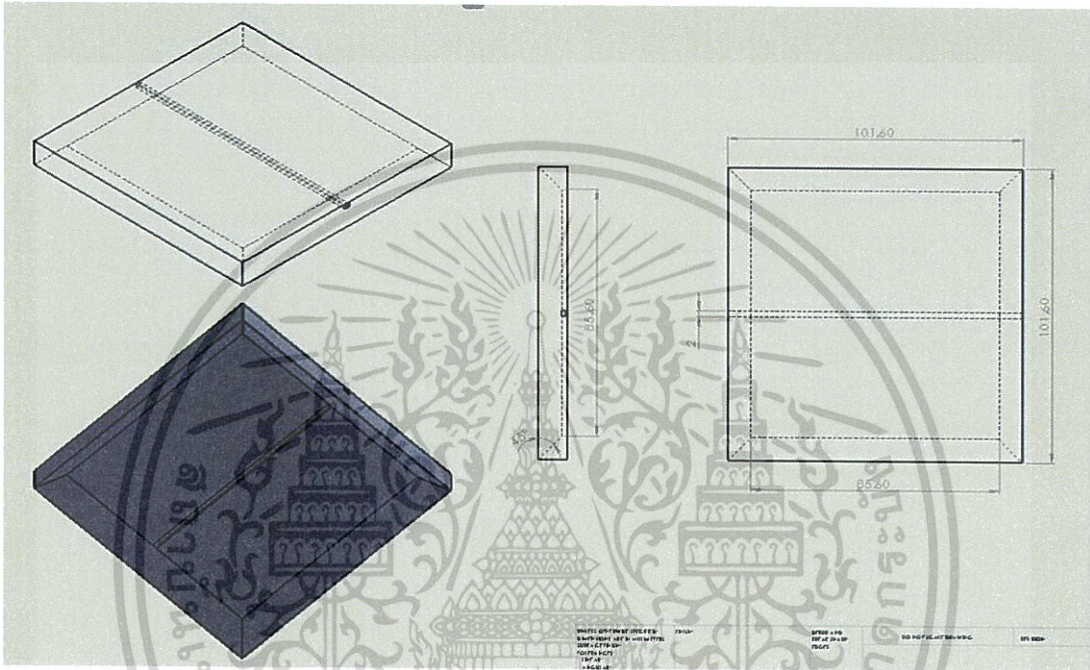


รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 2 (หน่วย mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 3

ที่ด้านใต้ของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) ขึ้นบน หรือส่วนที่ติดกับ Piezoelectric sheet มีการตัดเนื้อวัสดุทั้ง 4 ด้านออกด้วยมุม 45 องศา และที่ชั้นส่วนป้องกันชั้นล่างได้มีการตัดเนื้อวัสดุออกเพื่อให้สามารถประกบกันได้พอดี อีกทั้งยังมีการเจาะร่องไว้สำหรับวางสายไฟฟ้าอีกด้วย ขนาดของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 3 จะแสดงในรูปที่ 3.3

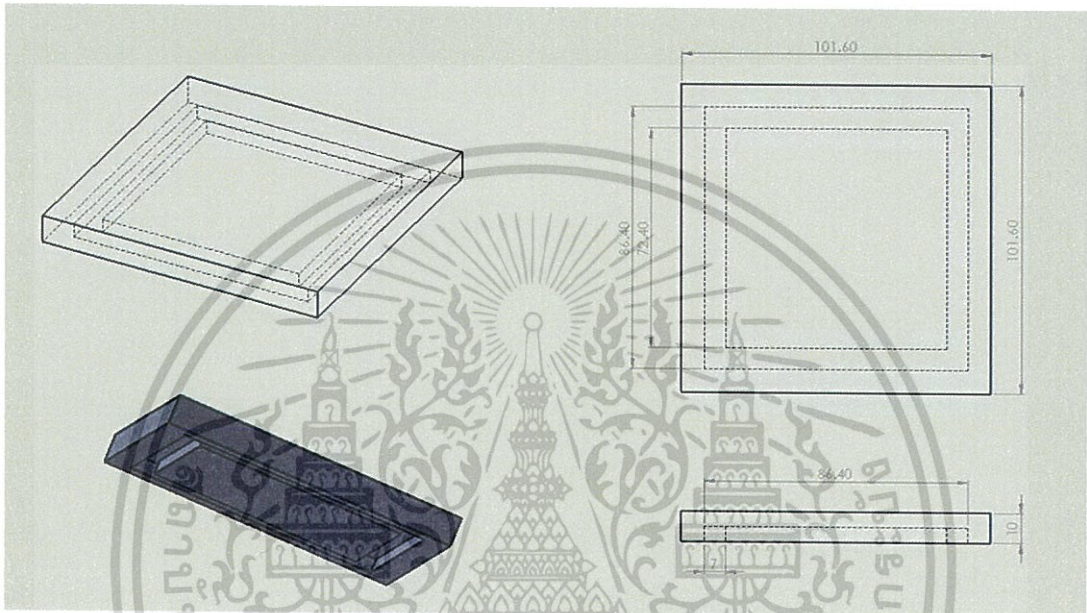


รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 3 (หน่วย mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 4

ที่ชั้นส่วนป้องกัน (Cover) ชั้นล่าง มีการตัดเนื้อของวัสดุออกเพื่อสร้างร่องสำหรับใส่ Piezoelectric sheet มีการเจาะรูสำหรับเดินสายไฟฟ้า และส่วนของแผ่น Cover ชั้นบนมีการเจาะร่องเพื่อให้สามารถประกบกันได้พอดี โดยขนาดของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 4 จะแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 4 (หน่วย mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการจำลองผลด้วยโปรแกรม ANSYS

ในการจำลองผล (Simulation) ด้วยโปรแกรม ANSYS จะใช้ mode ANSYS Explicit Dynamic ในการวิเคราะห์ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกัน โดยกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.3.1 ค่าของแรงกดที่ใช้ในการพิจารณาจากน้ำหนักในการเดิน หรือแรงกระแทก (ความเค้นอัด) โดยทิศทางของแรงกดจะกดลงบนแผ่น Cover (ทิศทาง -z) และเวลาที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 1 ms

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของแรงที่ใช้ในการจำลองผลโดยโปรแกรม ANSYS

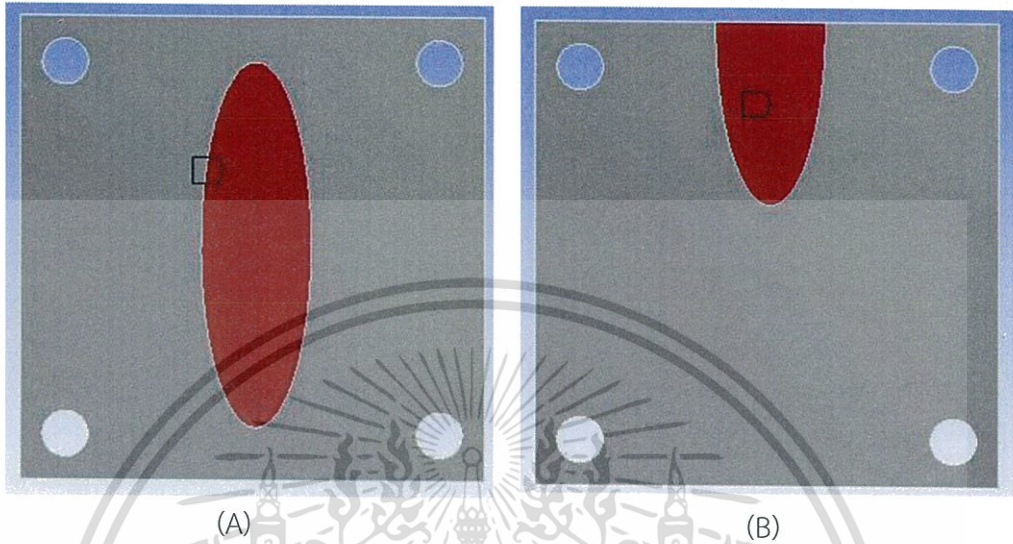
น้ำหนัก (kg)	แรงกด (N)
50	500
100	1,000
200	2,000

3.3.2 วัสดุที่นำมาใช้ทำชิ้นส่วนป้องกัน คือ Polyethylene (PE) ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) คุณสมบัติที่ใช้ในการทดสอบจำลองผลได้แก่

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของ Polyethylene (PE)

Property	Value	Unit
Density	950	kg/m ³
Young's modulus	1.1×10^9	Pa
Poisson's ratio	0.42	
Shear modulus	3.8732×10^8	Pa

3.3.3 พื้นที่สำหรับการใส่แรงกดลงบนชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) จะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดย ส่วนที่ 1 (แบบเต็มพื้นที่) จะมีขนาดเท่ากับ $1,508 \text{ mm}^2$ และส่วนที่ 2 (แบบครึ่งพื้นที่) จะมีขนาดเท่ากับ 754 mm^2 และพื้นที่ที่ใช้ในการรับแรงกดทั้งหมดมีขนาดเท่ากับ $10,322.56 \text{ mm}^2$



รูปที่ 3.5 แสดงพื้นที่สำหรับใส่แรงกดลงบนชิ้นส่วนป้องกัน (บริเวณสีแดง) และพื้นที่สำหรับรับแรงกด (บริเวณสีเทาและสีแดงรวมกัน):
 (A) พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1 แบบเต็มพื้นที่
 (B) พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2 แบบครึ่งพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินการและการอภิปรายผล

4.1 ผลการดำเนินการ

ผลการทดสอบด้วยแรงกด (ความเค้นอัด) โดยอาศัยโปรแกรม ANSYS เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) โดยจะพิจารณาค่า Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณด้านใต้ของแผ่น Cover หรือส่วนที่ติดกับ Piezoelectric sheet รายละเอียดการตั้งค่าการทดสอบการจำลองผลจะแสดงอยู่ในส่วนของภาคผนวก ซึ่งผลของค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณด้านใต้ของแผ่น Cover หรือส่วนที่ติดกับ Piezoelectric sheet จะต้องไม่เกินค่าของความเค้นสูงสุดที่ Piezoelectric sheet สามารถรับได้ซึ่งค่าความเค้นดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 38.8 MPa [11] โดยผลของการจำลองผลการทดสอบค่า Stress ที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2



พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1 แบบเต็มพื้นที่

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุดที่เกิดขึ้นกับชั้นส่วนป้องกันในแต่ละรูปแบบของพื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1

แรงกด (N)	ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 1		ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 2		ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 3		ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 4	
	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)
500	1.0326	8.3943×10^{-2}	4.6588	1.4719	4.7327	0.4526	0.5989	7.8831×10^{-2}
1,000	2.0495	0.1654	9.364	2.9539	8.0546	2.1959	3.521	8.1743×10^{-2}
2,000	111.01	36.791	18.856	5.9553	29.235	4.7945	6.8301	0.1701

พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2 แบบครึ่งพื้นที่

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุดที่เกิดขึ้นกับชั้นส่วนป้องกันในแต่ละรูปแบบของพื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2

แรงกด (N)	ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 1		ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 2		ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 3		ชั้นส่วนป้องกัน แบบที่ 4	
	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)	ค่าความเค้น สูงสุด (MPa)	ค่าความเค้น ต่ำสุด (MPa)
500	1.5657	0.1527	6.9428	2.6624	6.2471	0.8528	3.6852	4.8012×10^{-2}
1,000	3.1453	0.3078	13.998	5.3643	12.346	1.5317	7.3986	9.2583×10^{-2}
2,000	53.651	17.596	28.931	11.462	25.381	2.9618	14.902	0.1717

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกันในแต่ละรูปแบบของพื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1 แบบเต็มพื้นที่ พบว่าที่แรงกดขนาด 500 N ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3 และแบบที่ 4 สามารถช่วยป้องกัน Piezoelectric sheet ได้ทั้งหมด โดยชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 4 มีค่าของความเค้นเกิดขึ้นน้อยที่สุดเท่ากับ 7.8831×10^{-2} MPa ที่แรงกดขนาด 1,000 N มีค่าความเค้นเกิดขึ้นมากกว่าที่แรงกด 500 N แต่ชิ้นส่วนป้องกันทั้ง 4 แบบยังสามารถช่วยป้องกัน Piezoelectric sheet ได้ทั้งหมด โดยชิ้นส่วนป้องกันที่สามารถป้องกันการเกิดความเค้นได้สูงที่สุดคือแบบที่ 4 โดยมีขนาดความเค้นที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 8.1743×10^{-2} MPa ที่แรงกด 2,000 N ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 2 แบบที่ 3 และแบบที่ 4 สามารถป้องกันการแตกหักของ Piezoelectric sheet ได้แต่ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 1 ไม่สามารถป้องกัน Piezoelectric sheet ได้เนื่องจากค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าค่าของความเค้นสูงสุดที่ Piezoelectric sheet สามารถรับได้ โดยสรุปแล้วที่พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1 ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 4 สามารถป้องกันความเค้นจะที่เกิดขึ้นกับ Piezoelectric sheet ได้ดีที่สุด

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนป้องกันในแต่ละรูปแบบของพื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2 แบบครึ่งพื้นที่ พบว่าที่แรงกดขนาด 500 N ชิ้นส่วนป้องกันทั้ง 4 รูปแบบสามารถป้องกัน Piezoelectric sheet ไม่ให้เกิดการแตกหักเสียหายได้ เพราะค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้น ไม่เกินค่าความเค้นสูงสุด (38.8 MPa) ที่ Piezoelectric sheet สามารถรับได้ที่แรงกด 1,000 N มีค่าความเค้นเกิดขึ้นมากกว่าที่แรงกด 500 N ซึ่งชิ้นส่วนป้องกันทั้ง 4 รูปแบบสามารถป้องกัน Piezoelectric sheet ได้ โดยจะเห็นได้ว่าที่แรงกด 500 N และ 1,000 N ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 4 สามารถป้องกันแรงกดได้ดีที่สุดเนื่องจากเกิดความเค้นต่ำที่สุดมีขนาดเท่ากับ 4.8012×10^{-2} MPa และ 9.2583×10^{-2} MPa ตามลำดับ ที่แรงกด 2,000 N ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 2 แบบที่ 3 และแบบที่ 4 สามารถป้องกันการแตกหักของ Piezoelectric sheet ได้แต่ชิ้นส่วนป้องกันแบบที่ 1 ไม่สามารถป้องกัน Piezoelectric sheet ได้เนื่องจากค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าค่าของความเค้นสูงสุดที่ Piezoelectric sheet สามารถรับได้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากตารางการจำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม ANSYS ที่แสดงค่าความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นต่ำสุด โดยพิจารณาที่บริเวณใต้แผ่นชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) หรือส่วนที่ติดอยู่กับแผ่น Piezoelectric sheet ด้วยแรงกดที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน และขนาดของแรงกดเท่ากับ 500 1,000 และ 2,000 N ที่มาจากการเดินเพื่อวิเคราะห์ความเค้นอัดที่อาจจะเกิดขึ้นต่อแผ่น Piezoelectric sheet สามารถสรุปได้ว่าชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ทั้ง 4 รูปแบบสามารถที่จะรับแรงกดที่มาจากการเดินได้ทั้งหมด ซึ่งจากการศึกษา พบว่า Piezoelectric sheet สามารถที่จะทนต่อแรงกดทับได้โดยไม่เกิดการแตกหักเสียหายมีขนาดเท่ากับ 38.8 MPa ซึ่งจากการจำลองผลการทดสอบพบว่าชิ้นส่วนป้องกัน แบบที่ 4 สามารถป้องกันแรงกดได้ดีที่สุดในส่วนของพื้นที่แรงกดแบบเต็มพื้นที่ และแบบครึ่งพื้นที่ เนื่องจากค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณด้านใต้ของแผ่น Cover หรือส่วนที่ติดกับ Piezoelectric sheet ค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นไม่เกินค่าของความเค้นที่ Piezoelectric sheet สามารถรับได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดสอบการจำลองผลด้วยโปรแกรมอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการสรุปผลการทดลองได้ทั้งหมด เนื่องจากการจำลองผลการทดสอบนั้นเป็นเพียงแค่วิธีทางในการคาดการณ์ผลการทดลองทางการปฏิบัติจริง ไม่สามารถใช้เป็นคำตอบอ้างอิงได้ นอกเสียจากมีการทดลองปฏิบัติจริงด้วยการสร้างแบบจำลองของชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ขึ้นแล้วทำการทดลองอีกครั้ง มีการนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองการทดสอบด้วยโปรแกรมจึงจะสามารถใช้ผลการทดสอบด้วยโปรแกรมในการอ้างอิงผลการทดลองได้

ในส่วนของการออกแบบอาจมีการพัฒนา การออกแบบชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) ในรูปแบบใหม่ๆ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนป้องกันที่มีความสามารถในการรับแรงกดที่มากขึ้น หรือสามารถป้องกันแรงกดในรูปแบบอื่นๆ ได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งการเลือกใช้วัสดุชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการรับแรงกดได้มากกว่า หรืออาจเป็นวัสดุที่ทนต่อความล้าได้มากขึ้น ซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ต้องมีการศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ต่อไปในภายภาคหน้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] อัครินทร์ พิษทองกลาง. 2556. ผลกระทบของกระบวนการทางความร้อนต่อการเสื่อมอายุของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [2] 2015. พอลิเมอร์. [Online]. Available: http://nakhamwit.ac.th/pingpong_web/Polymer.html
- [3] Basic Organic Chemistry 2. 2015. พอลิเมอร์ (Polymers). [Online]. Available: <http://chemsci.kku.ac.th/arayan/polymer/C51.pdf>
- [4] Sombat Anupunth. 2015. โพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) คืออะไร. [Online]. Available: <http://www.sombatnet.com/2012/07/polyethylene-pe.html>
- [5] 2015. Stress and strain. [Online]. Available: www.stc.ac.th/stc/data/data_aum-n/1_02.pdf
- [6] vessel. 2014. ANSYS INTRODUCTION OVERVIEW FULL. [Online]. Available: <http://docslide.us/documents/ansys-introduction-overview-full.html>
- [7] P. Muralt, M. Marzencki, B. Belgacem, F. Calame and S. Basrour, "Vibration Energy Harvesting with PZT Micro Device", *Procedia Chemistry*. 1 (2009) 1191–1194.
- [8] So Hee Lee, Seong Eui Lee and Hee Chul Lee, "Application of CIP processing and sol-gel surface coating to PZN-PZT piezoelectric ceramics for use as energy harvesters", *Current Applied Physics*. 11 (2011) 6-10.
- [9] R. Xu, A. Lei, C. Dahl-Petersen, K. Hansen, M. Guizzetti, K. Birkelund, E.V. Thomsen and O.Hansen, "Screen printed PZT/PZT thick film bimorph MEMS cantilever device for vibration energy harvesting", *Sensors and Actuators A*. 188 (2012) 383–388.
- [10] Woratat Punsawat, Worawut Makcharoen. 2014. "Simulation and modeling electrical cell substrate for the development of electrical energy from pressure on the footpath".[Poster].sst41
- [11] Toshio Tanimoto, Kohji Yamamoto and Tohru Morii, "Nonlinear Stress-Strain Behavior of Piezoelectric Ceramics under Tensile Loading", *Department of Materials Science and Ceramic Technology*. 394-397

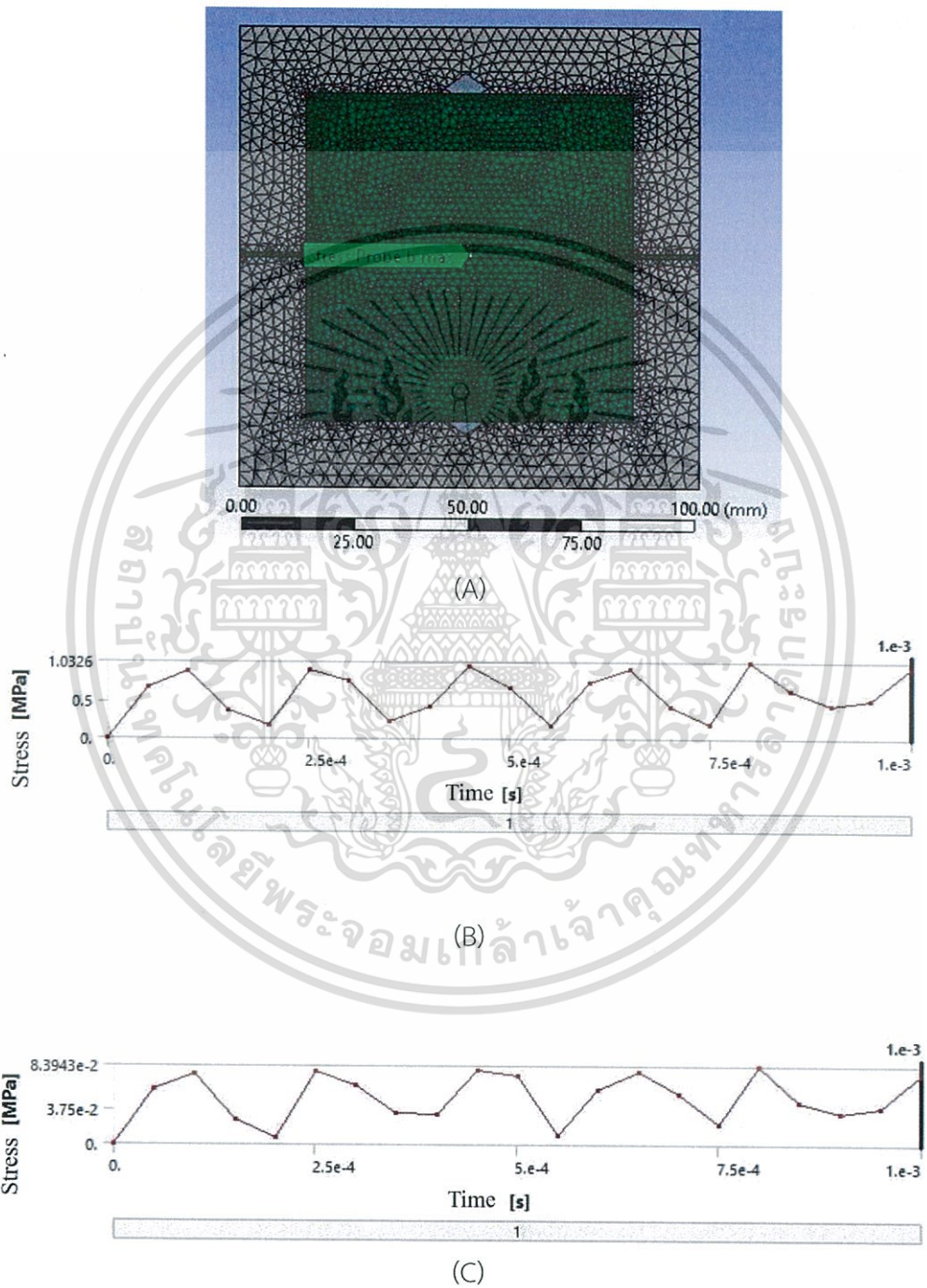


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 1 แบบเต็มพื้นที่

ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 1

ที่แรงกด 500 N



รูปที่ 1 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา

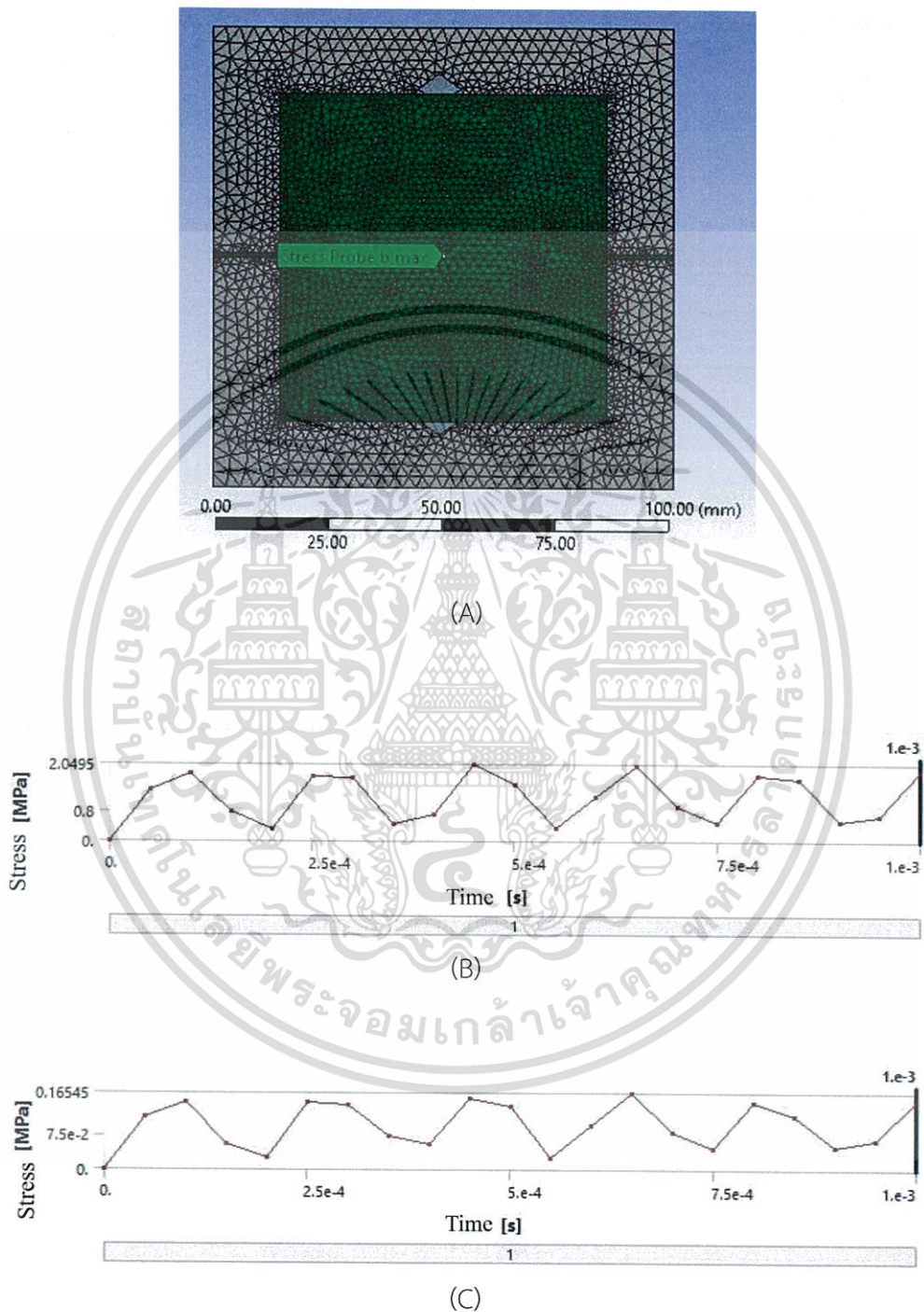
(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

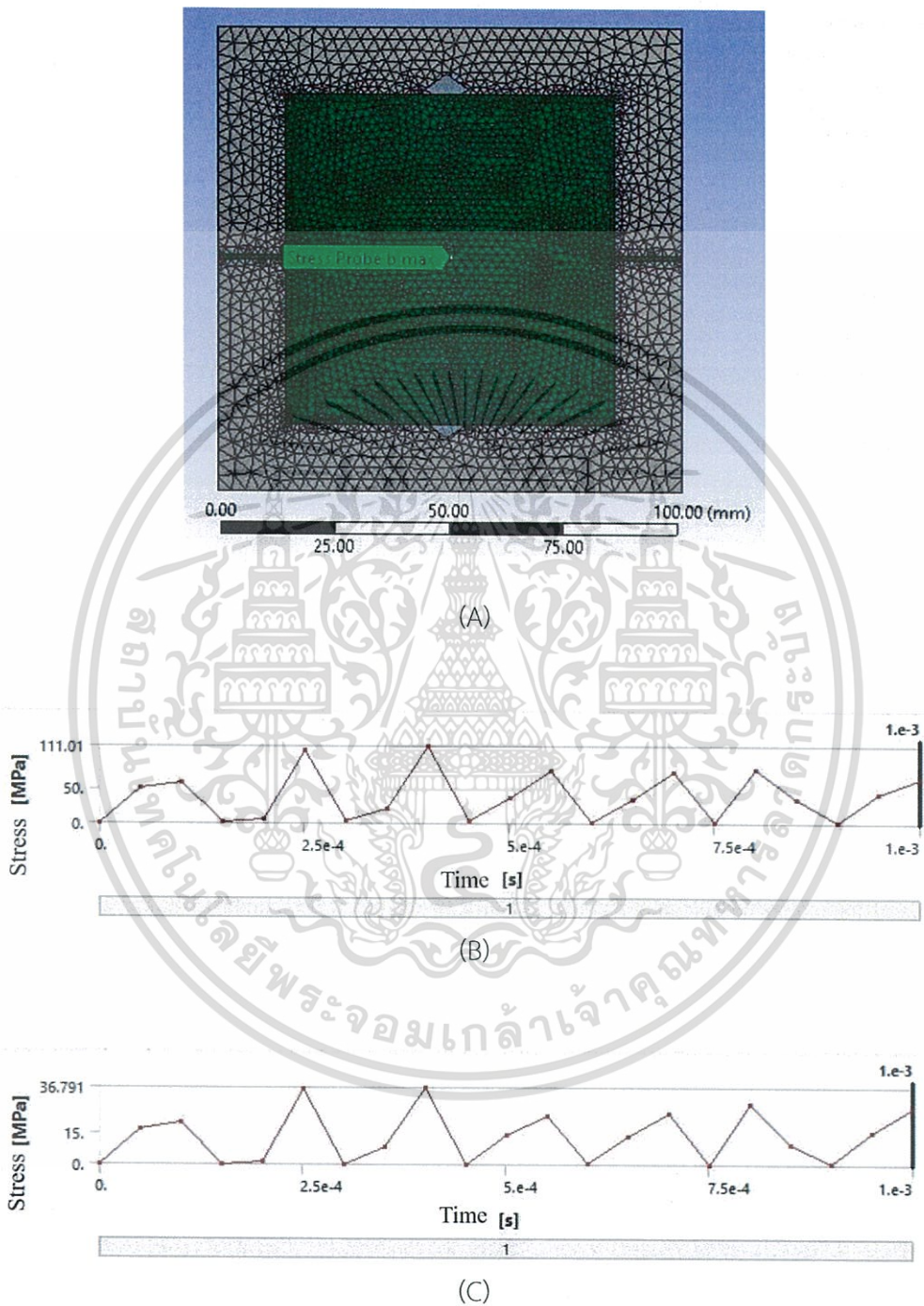
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 2 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

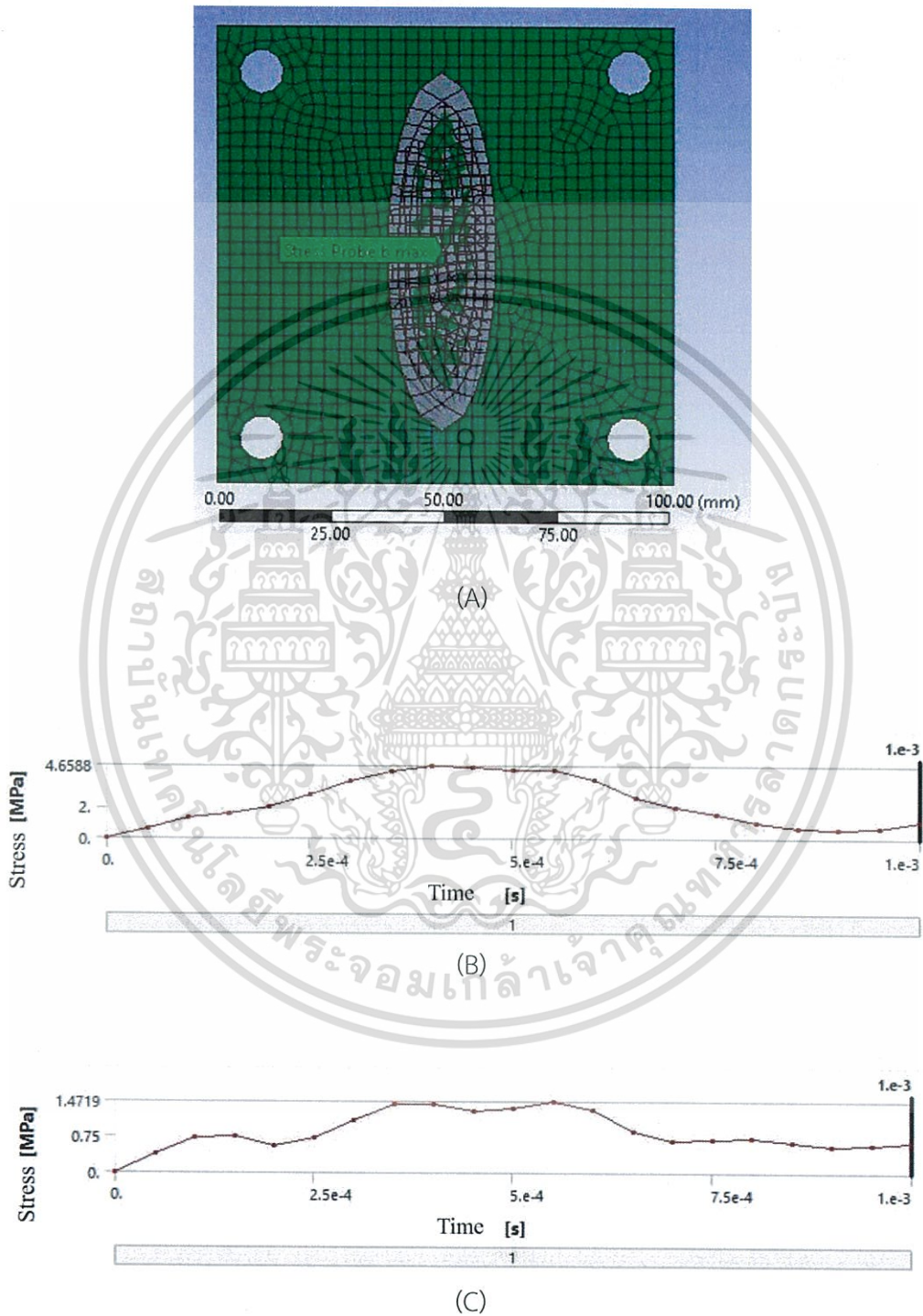
ที่แรงกด 2,000 N



- รูปที่ 3 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

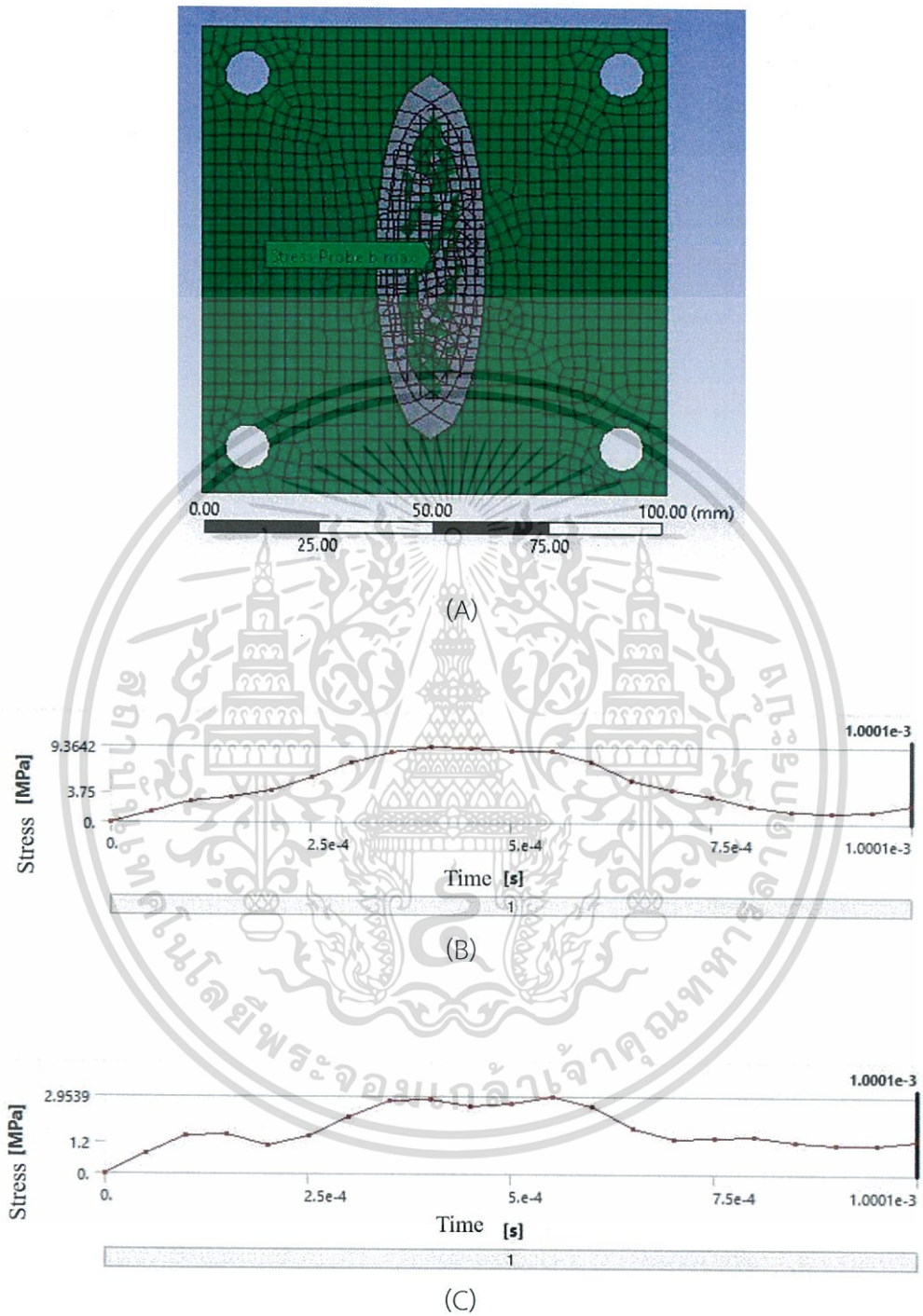
ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 2
ที่แรงกด 500 N



- รูปที่ 4 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N
(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

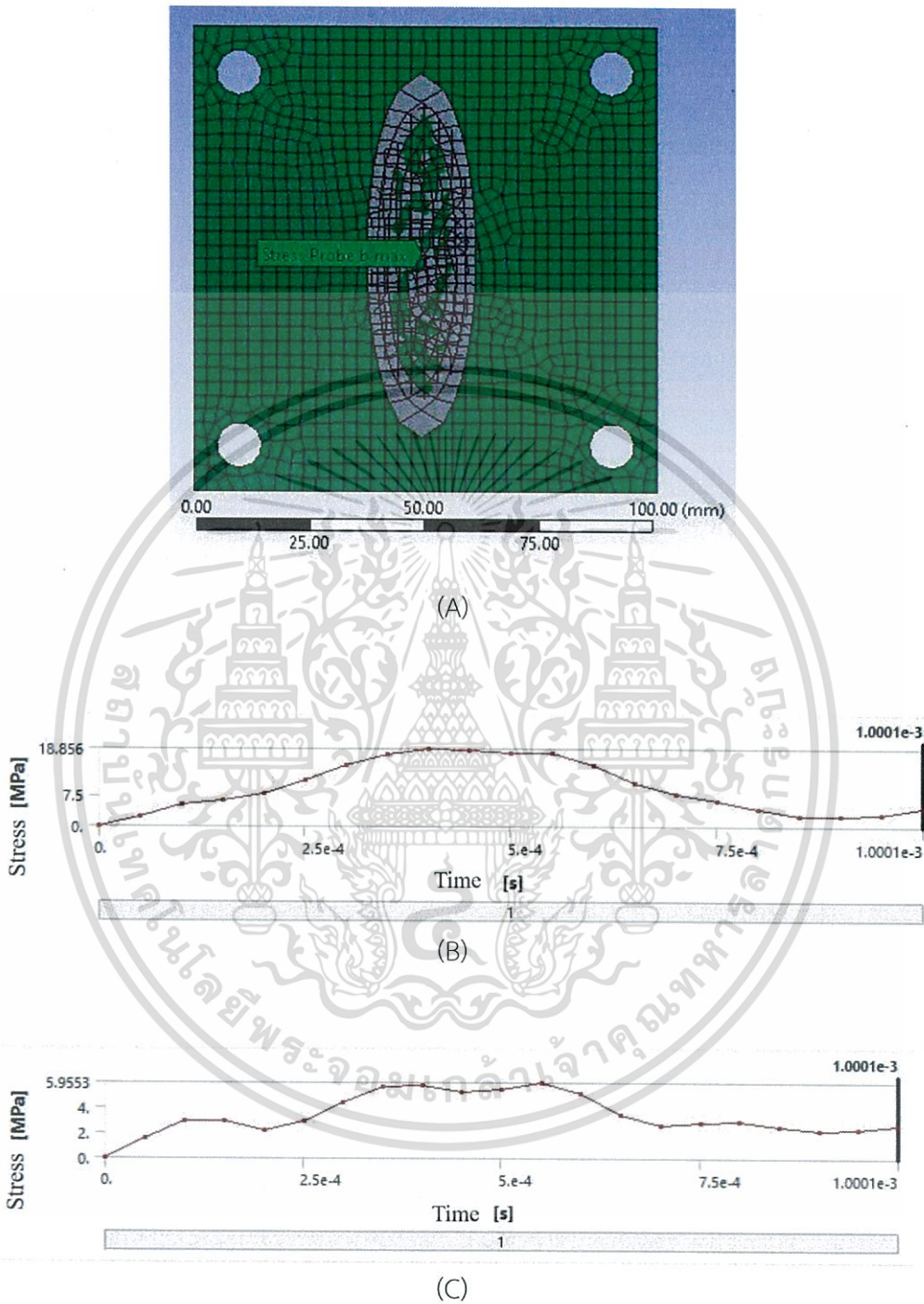
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 5 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

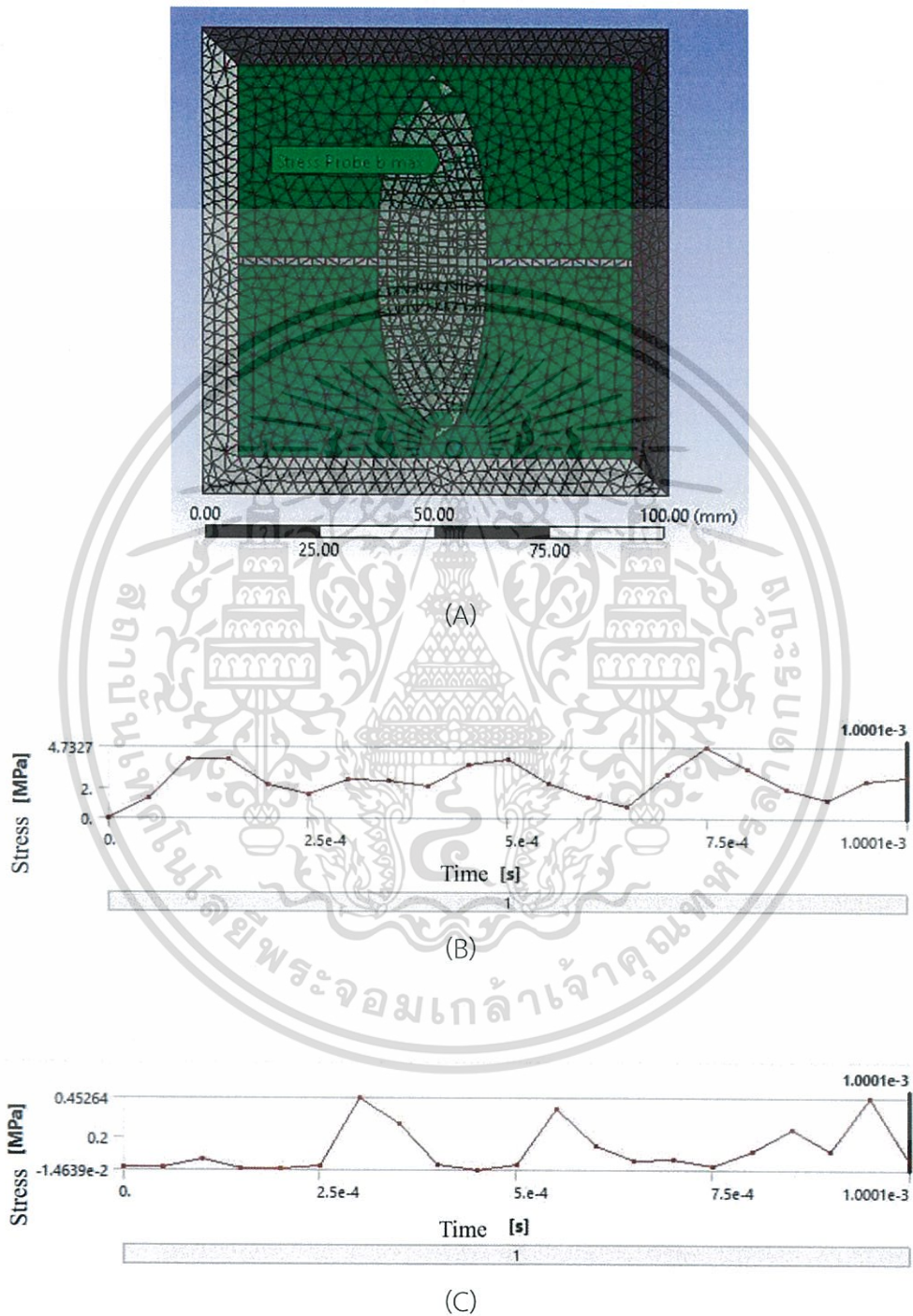
ที่แรงกด 2,000 N



- รูปที่ 6 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

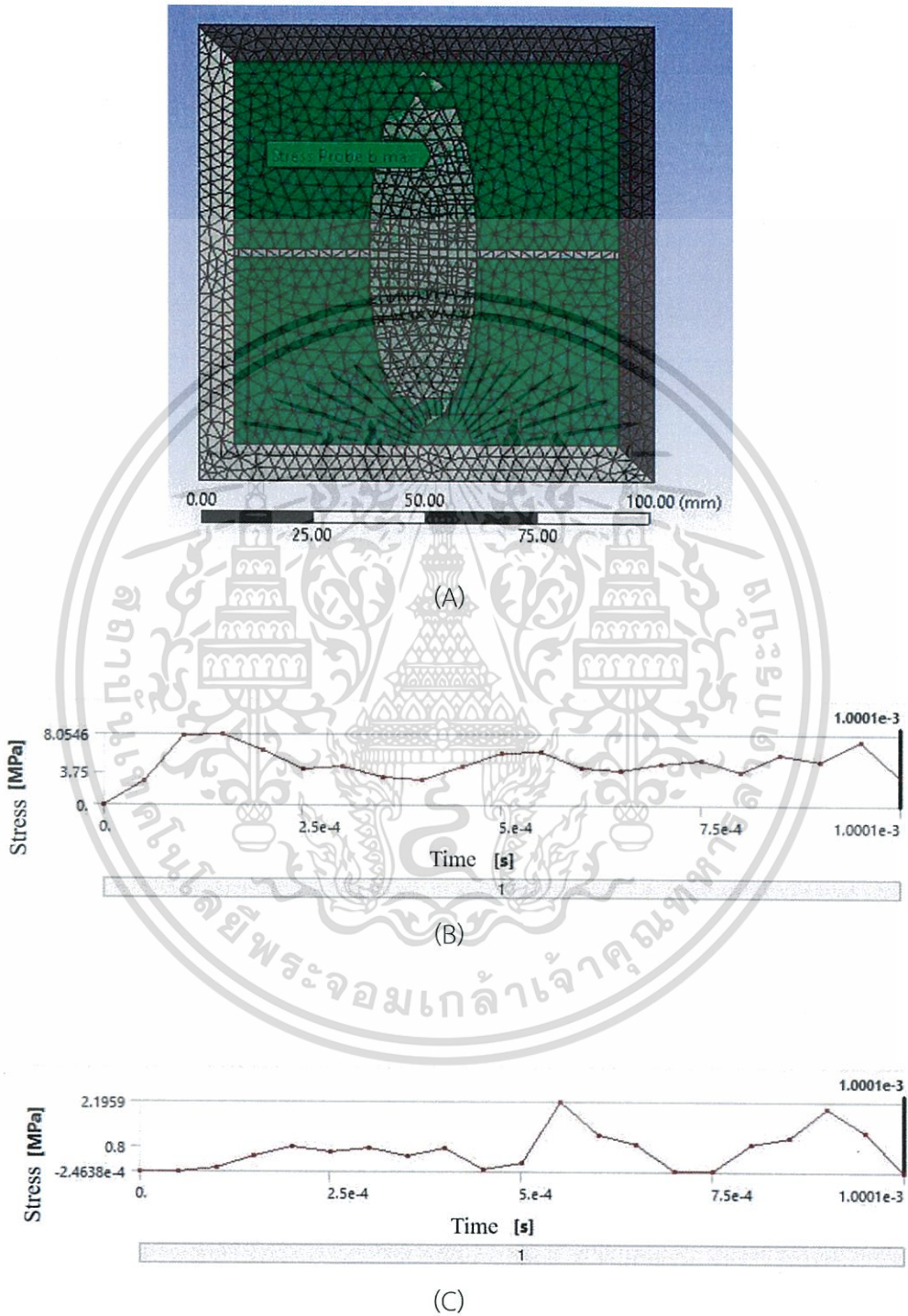
ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 3
ที่แรงกด 500 N



- รูปที่ 7 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N
(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

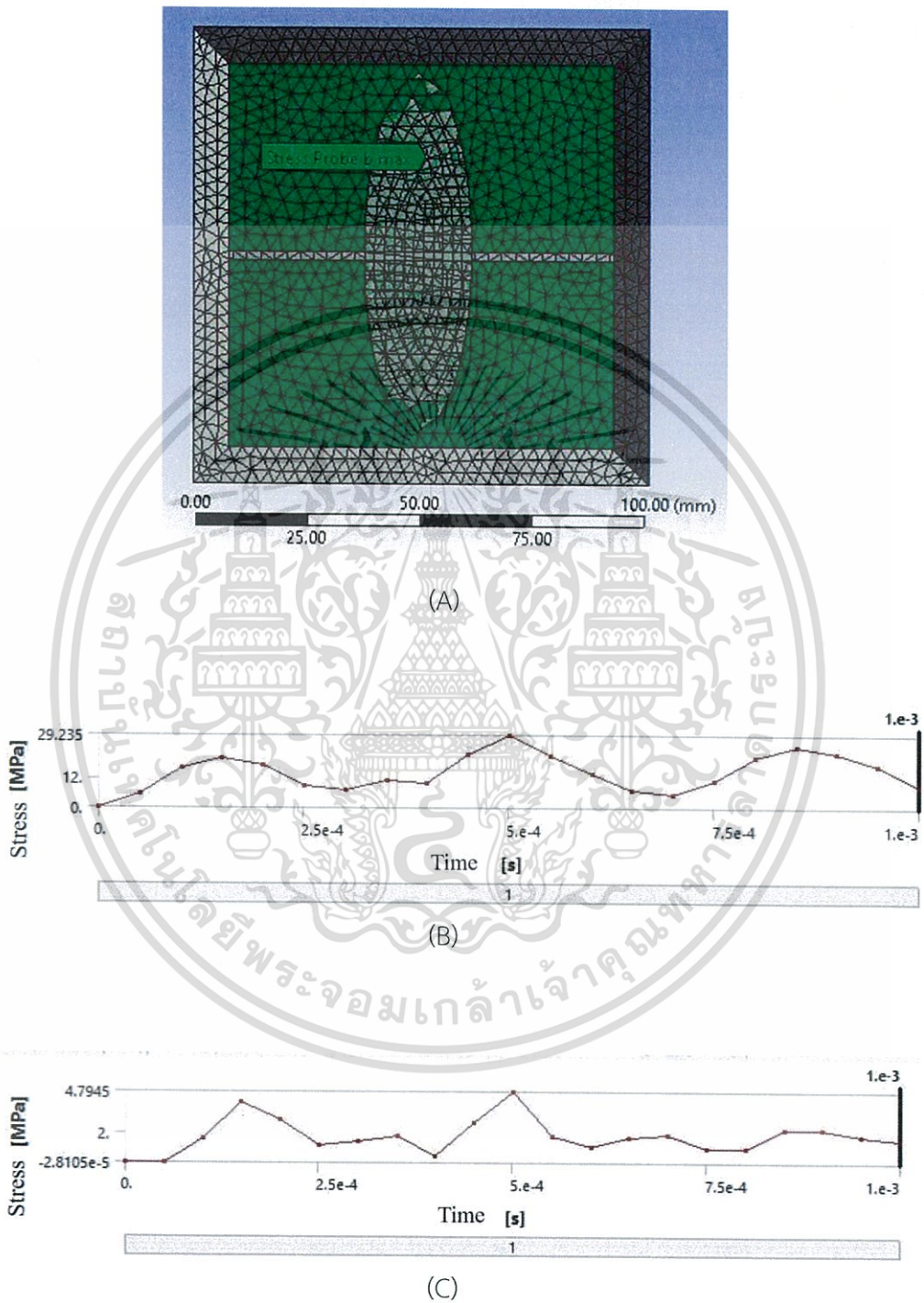
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 8 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชั้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

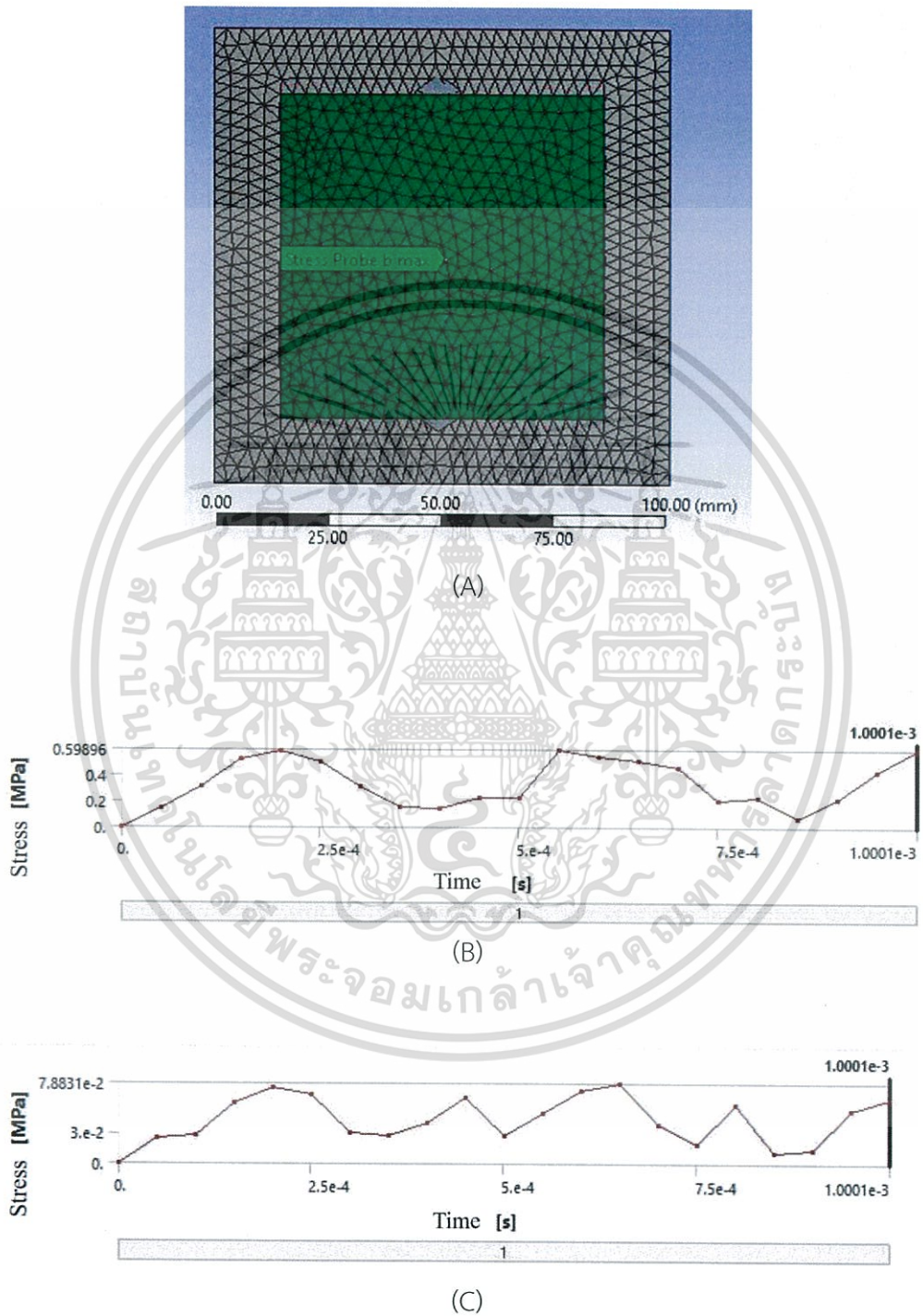
ที่แรงกด 2,000 N



- รูปที่ 9 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

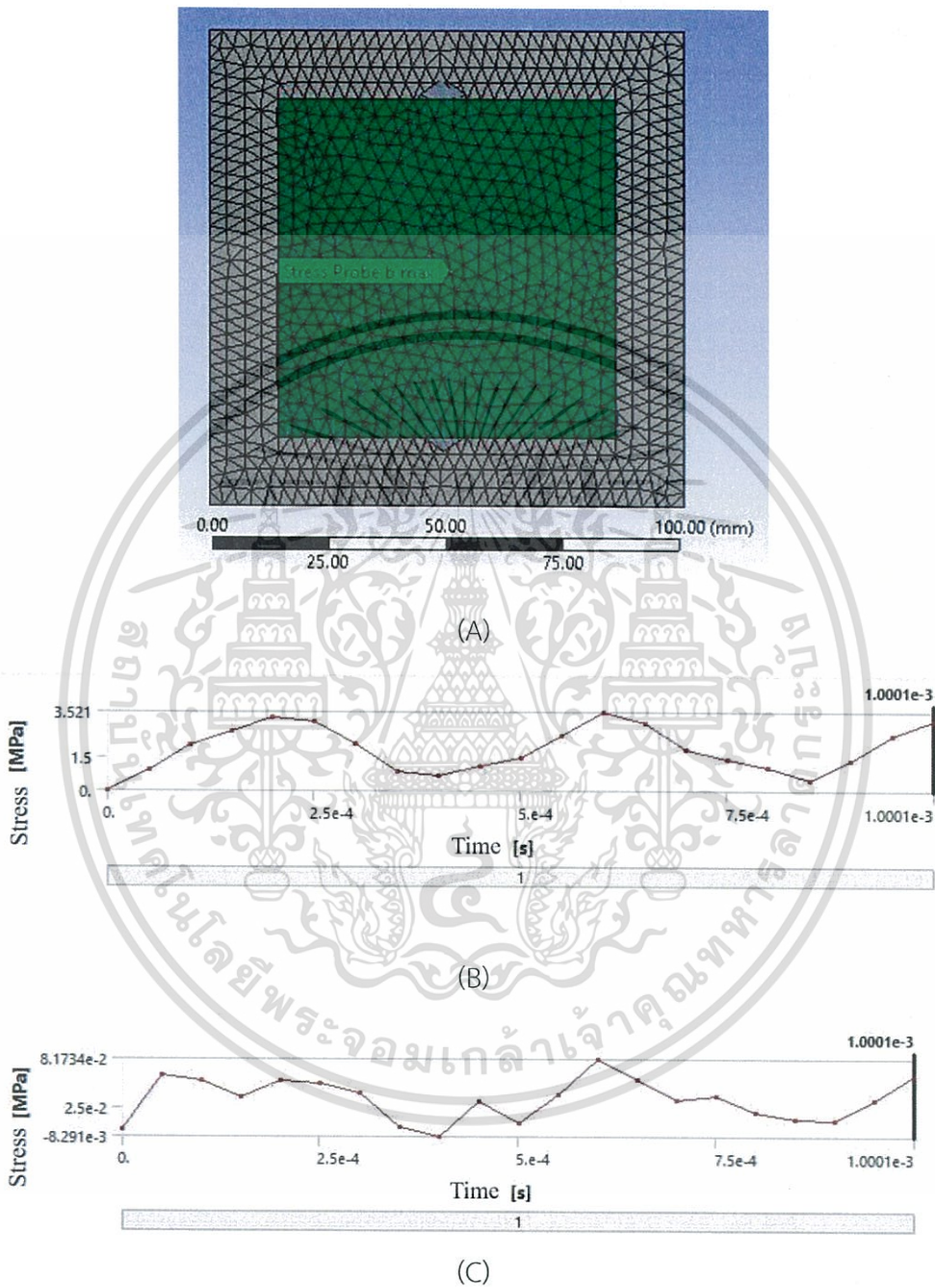
ชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 4
ที่แรงกด 500 N



- รูปที่ 10 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชั้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N
(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

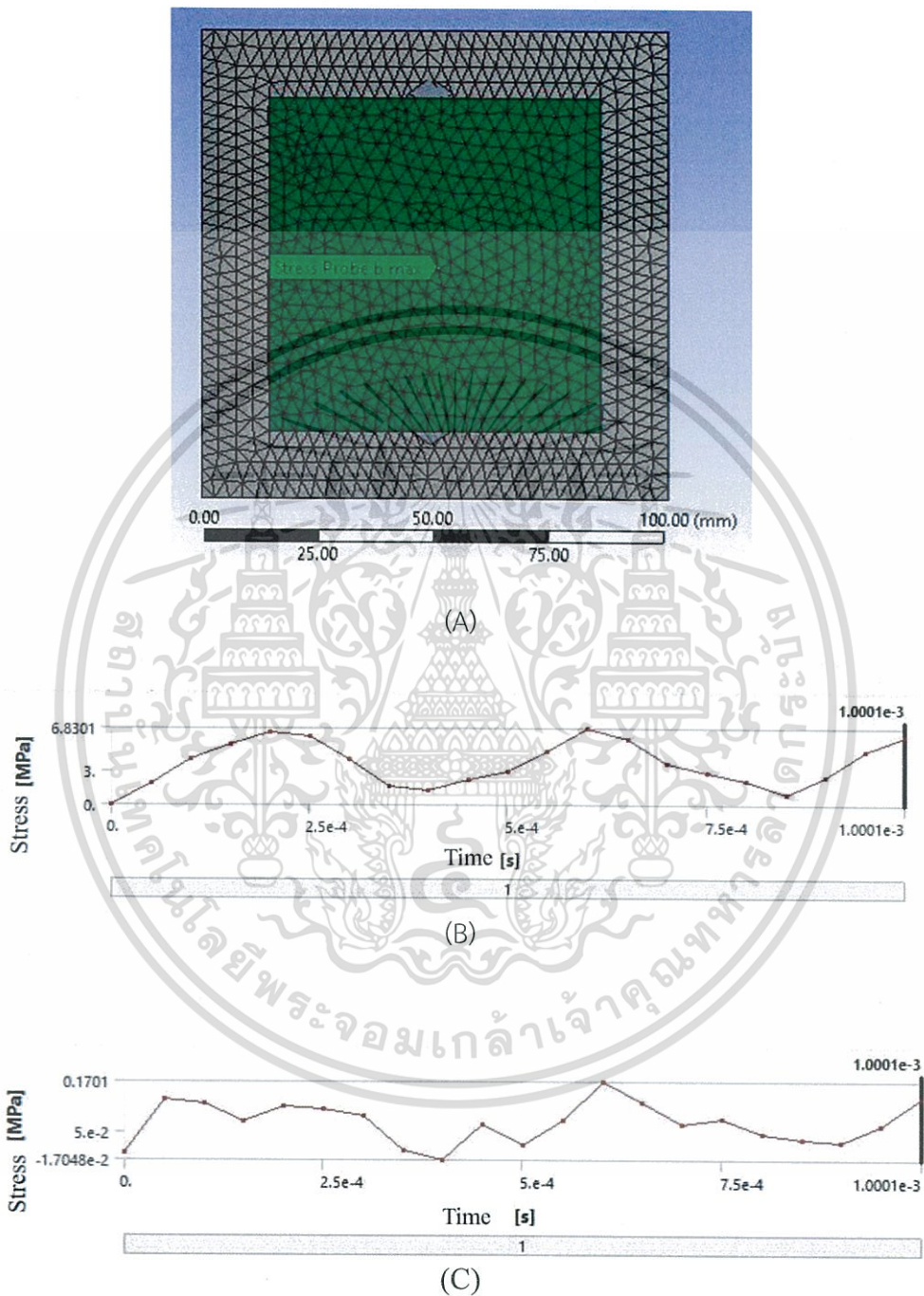
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 11 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงกด 2,000 N



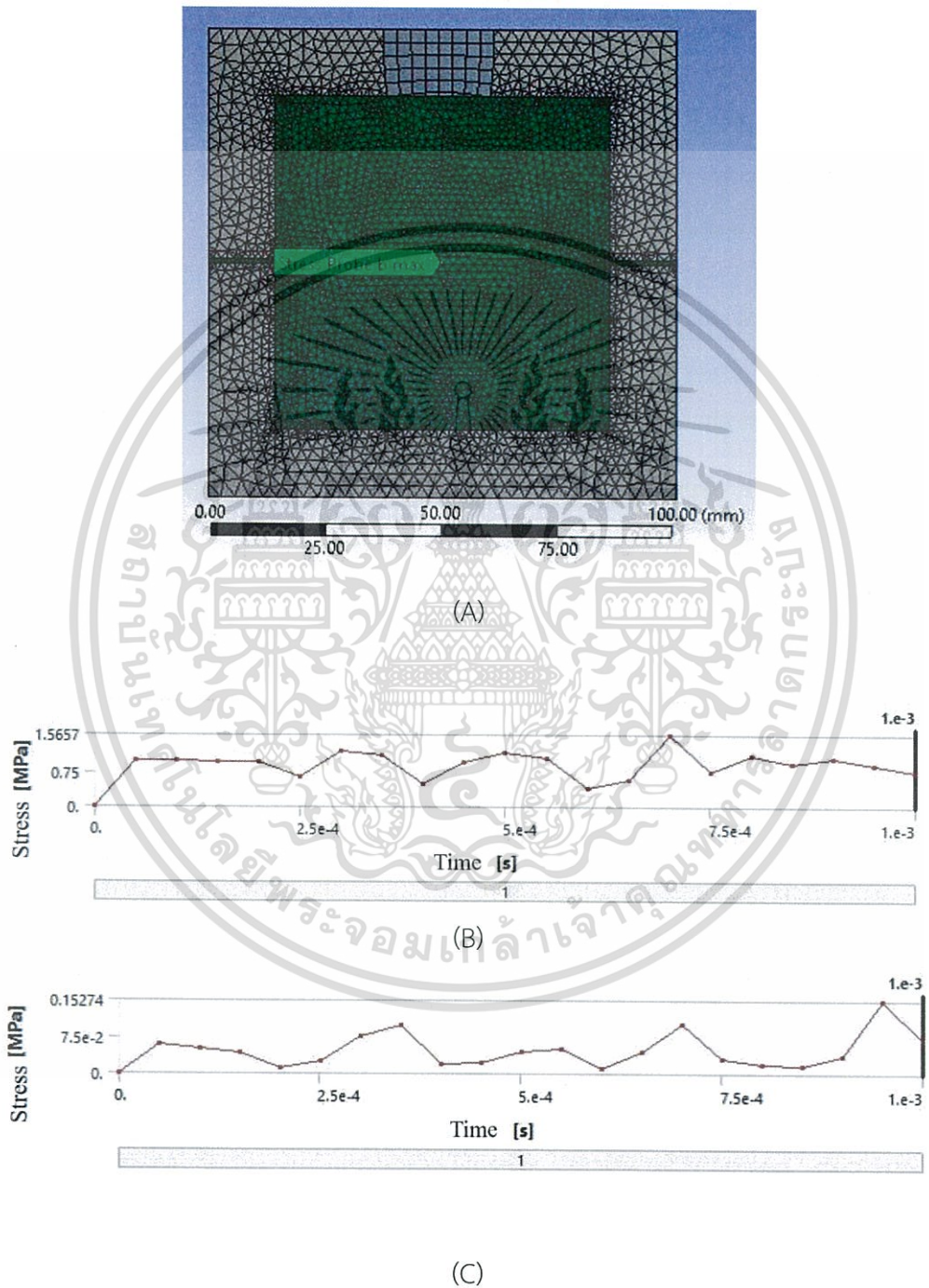
- รูปที่ 12 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ใส่แรงกดส่วนที่ 2 แบบครึ่งพื้นที่

ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 1

ที่แรงกด 500 N



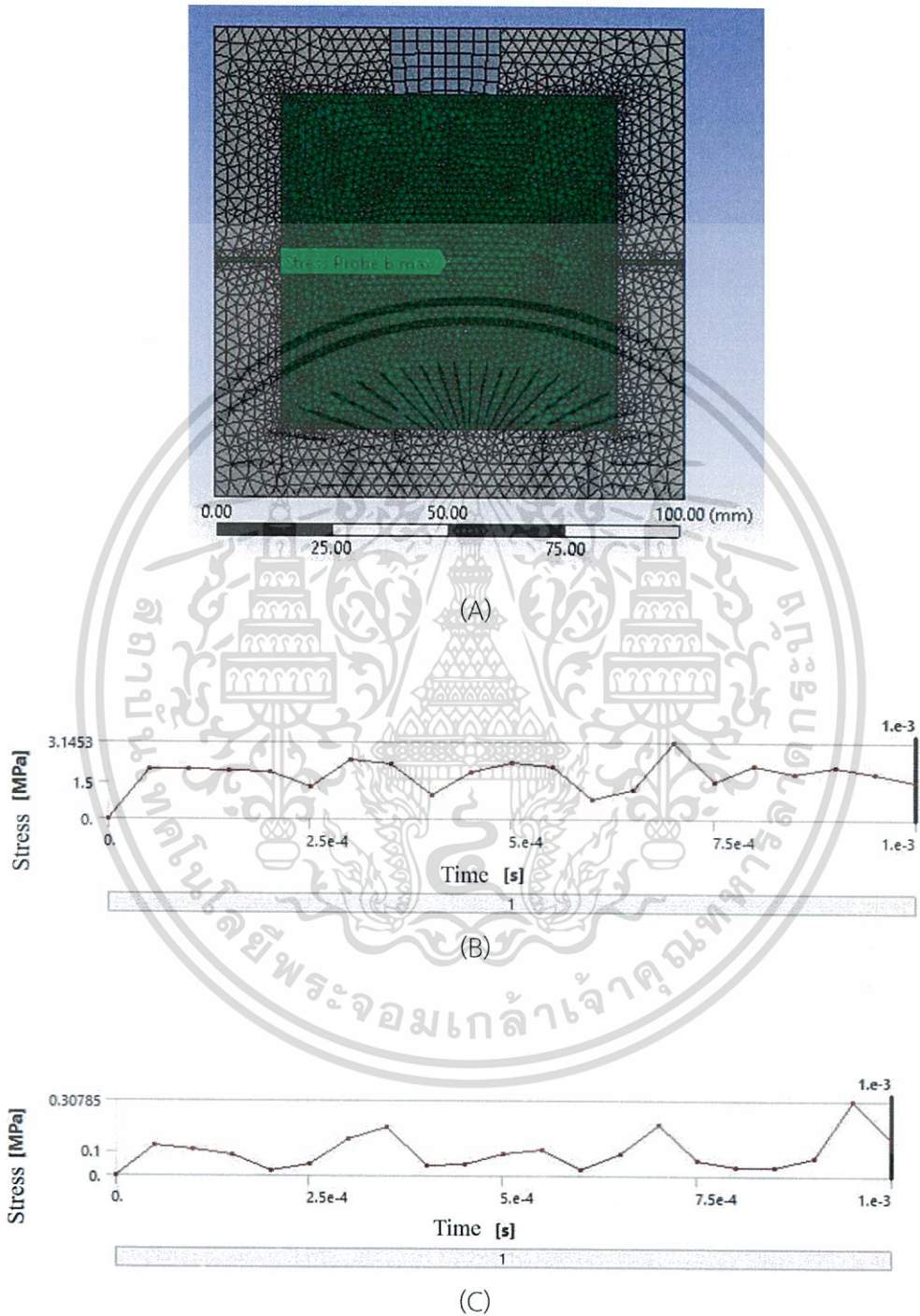
รูปที่ 13 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา

(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

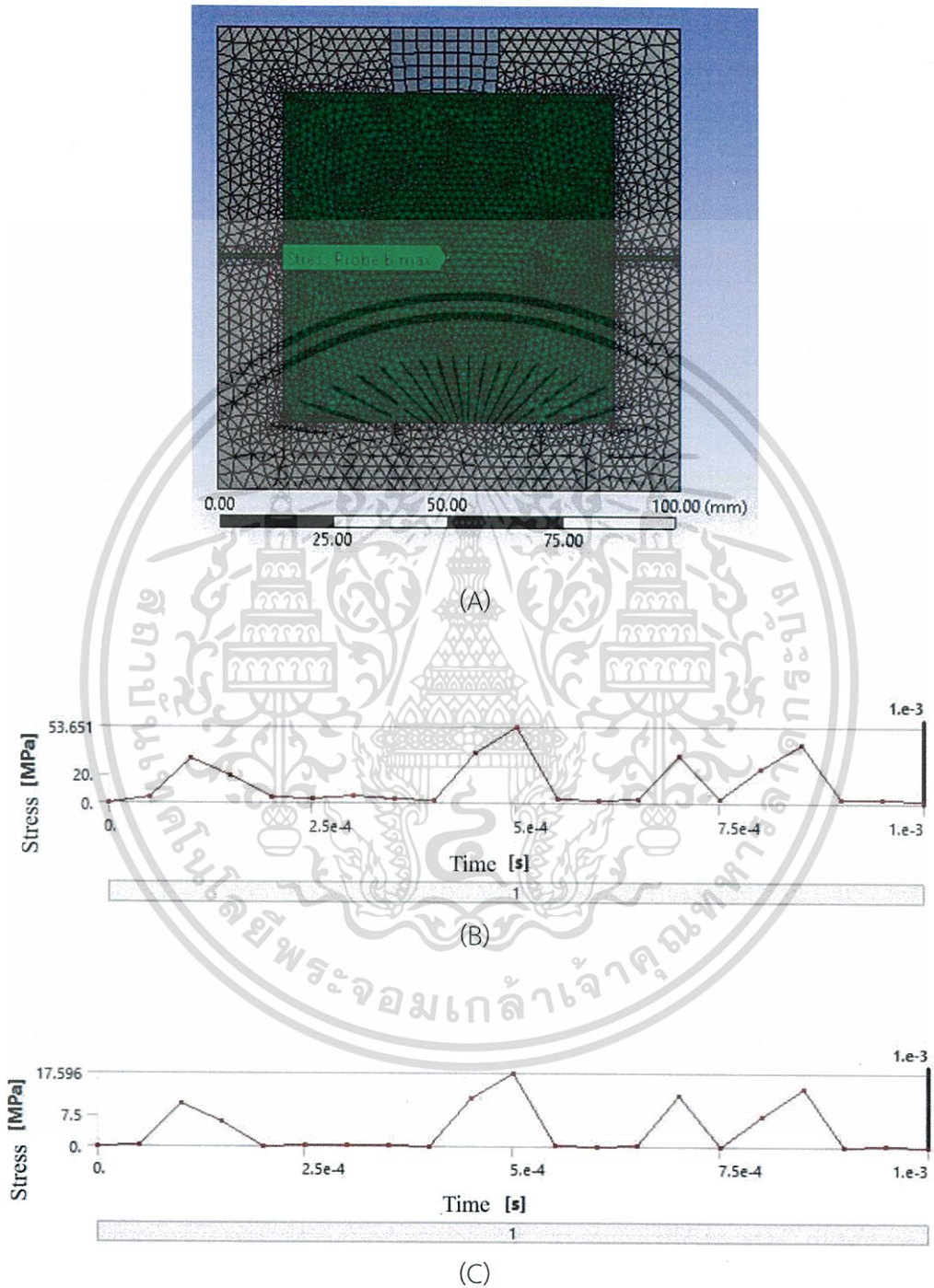
ที่แรงกด 1,000 N



รูปที่ 14 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

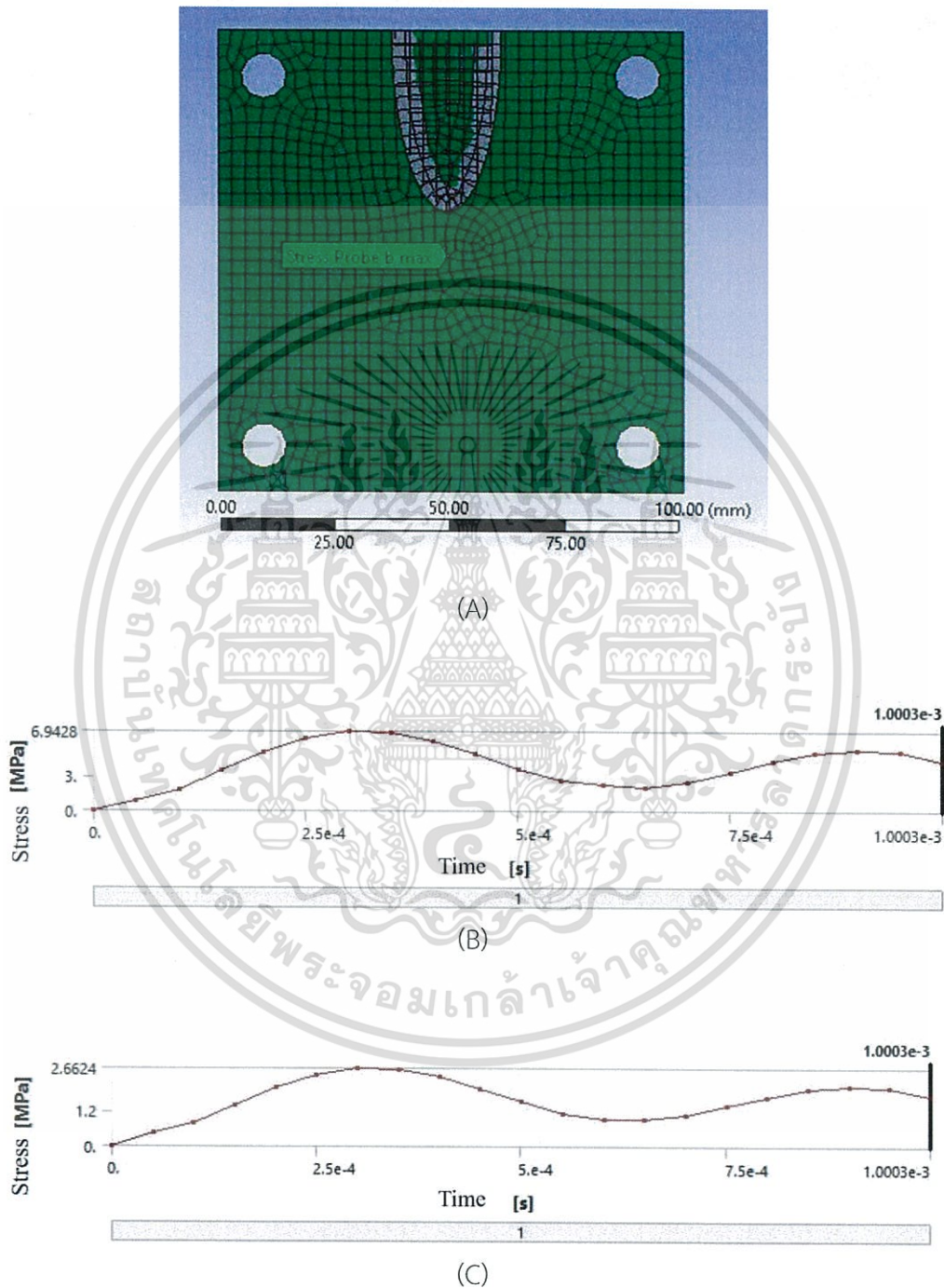
ที่แรงกด 2,000 N



- รูปที่ 15 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

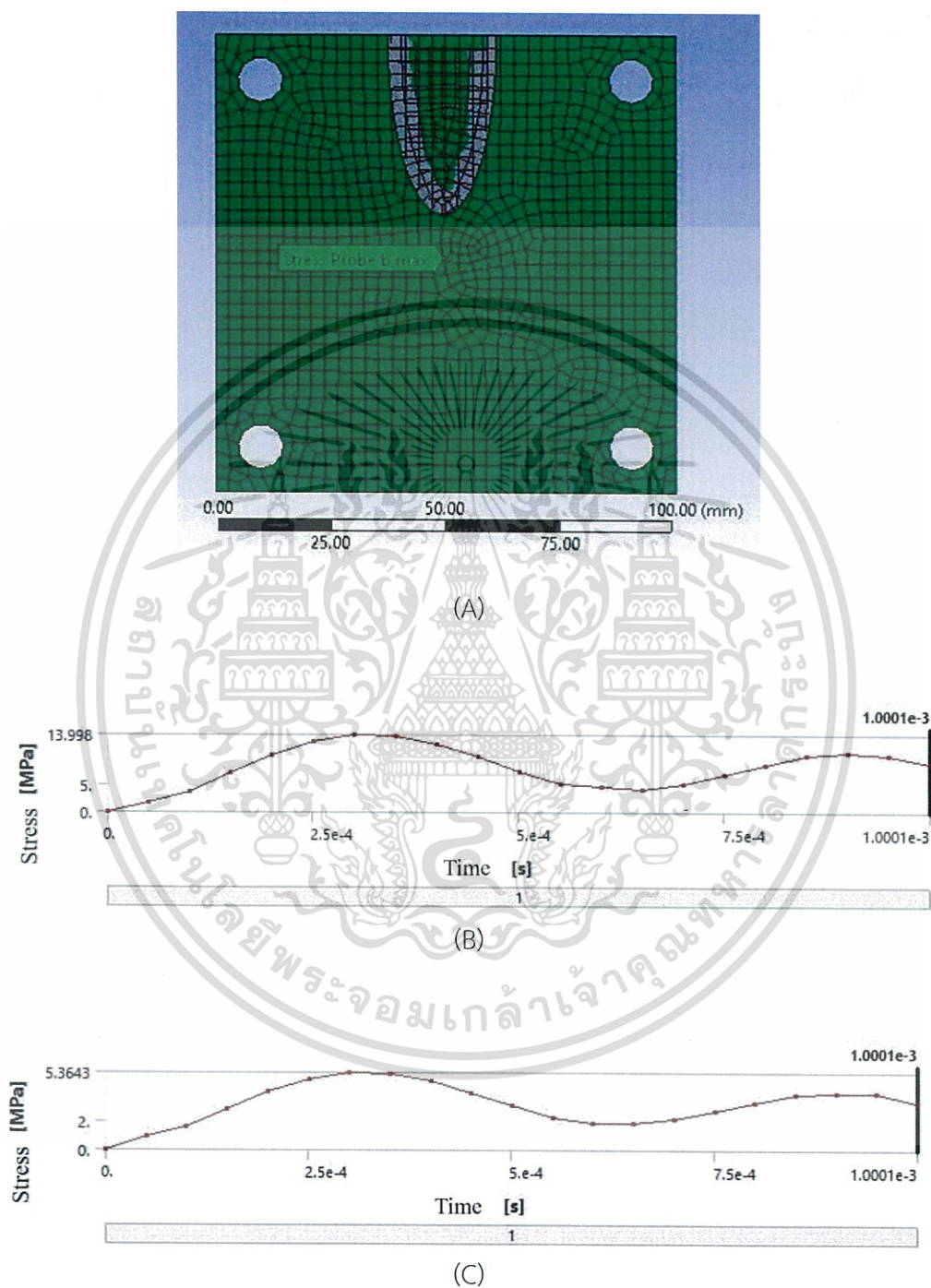
ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 2
ที่แรงกด 500 N



- รูปที่ 16 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N
(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

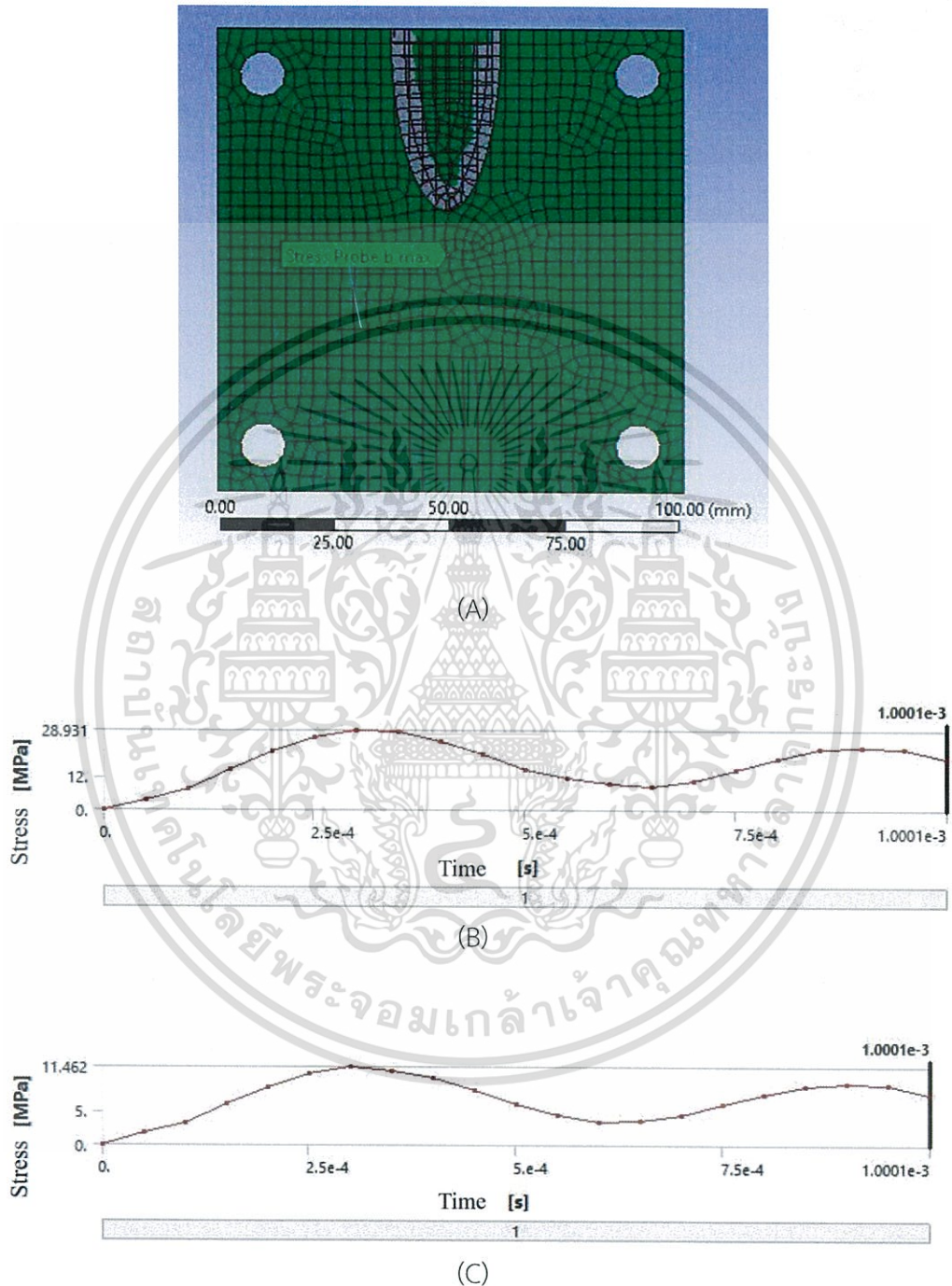
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 17 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

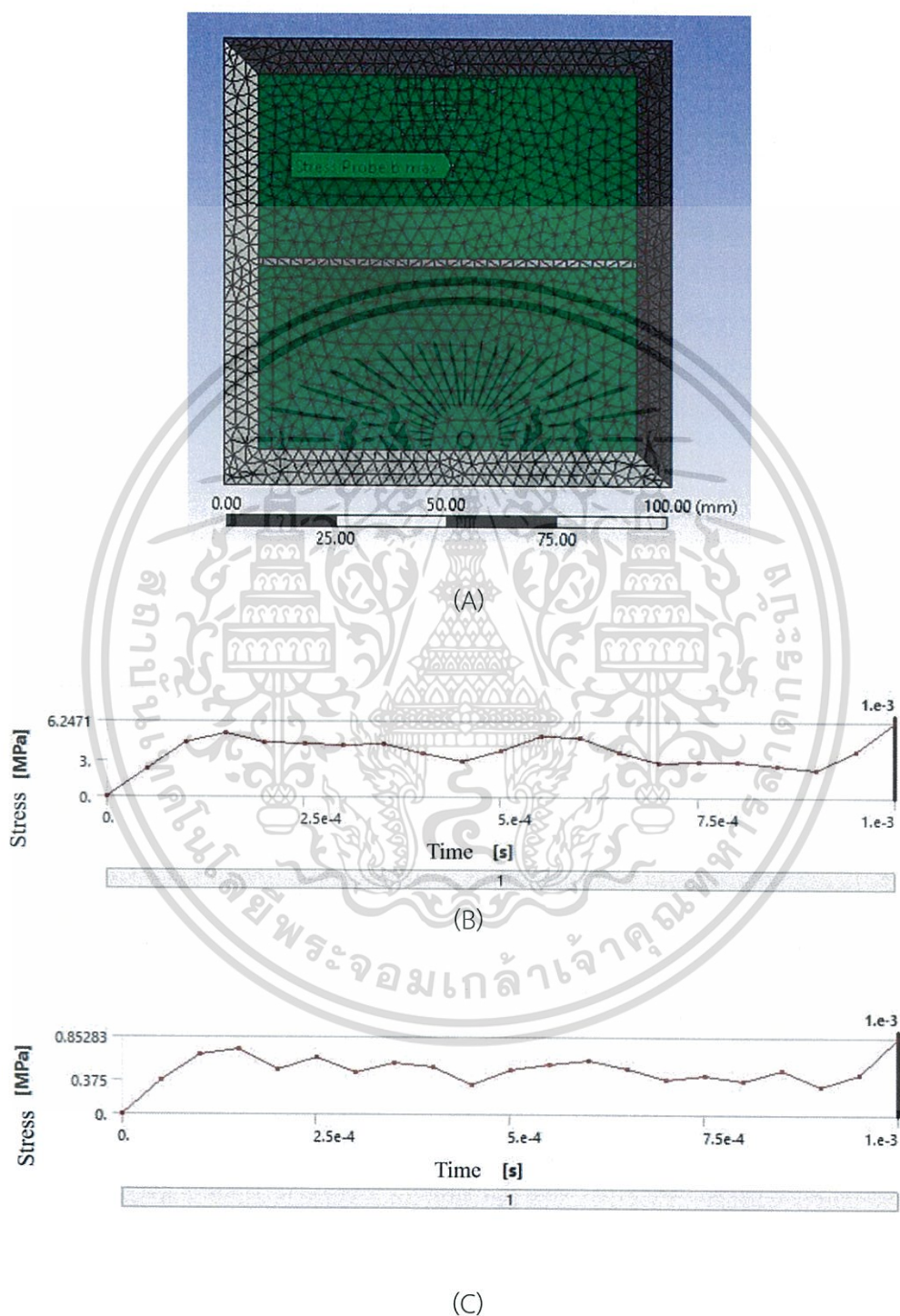
ที่แรงกด 2,000 N



- รูปที่ 18 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 3
ที่แรงกด 500 N



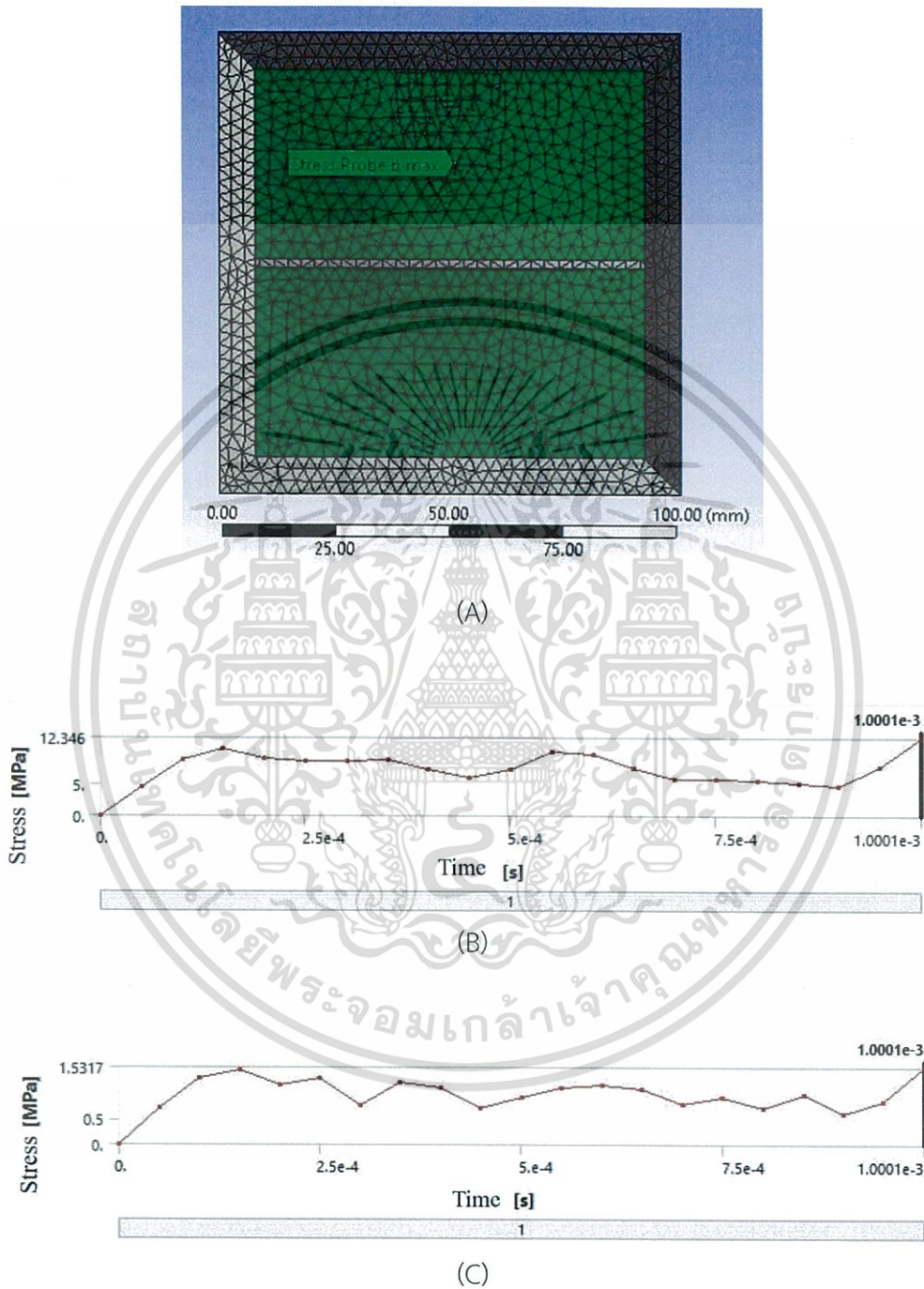
รูปที่ 19 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา

(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

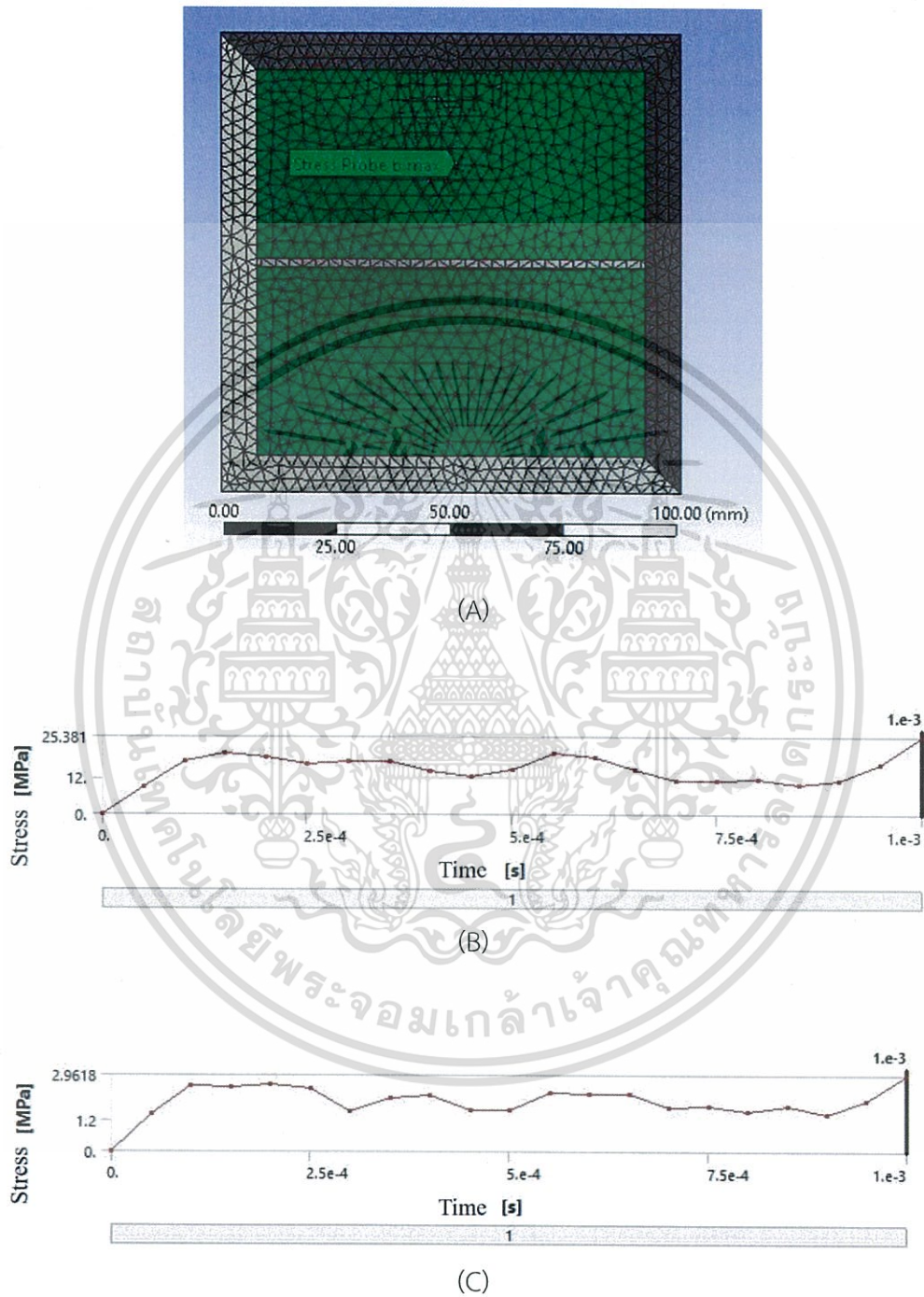
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 20 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

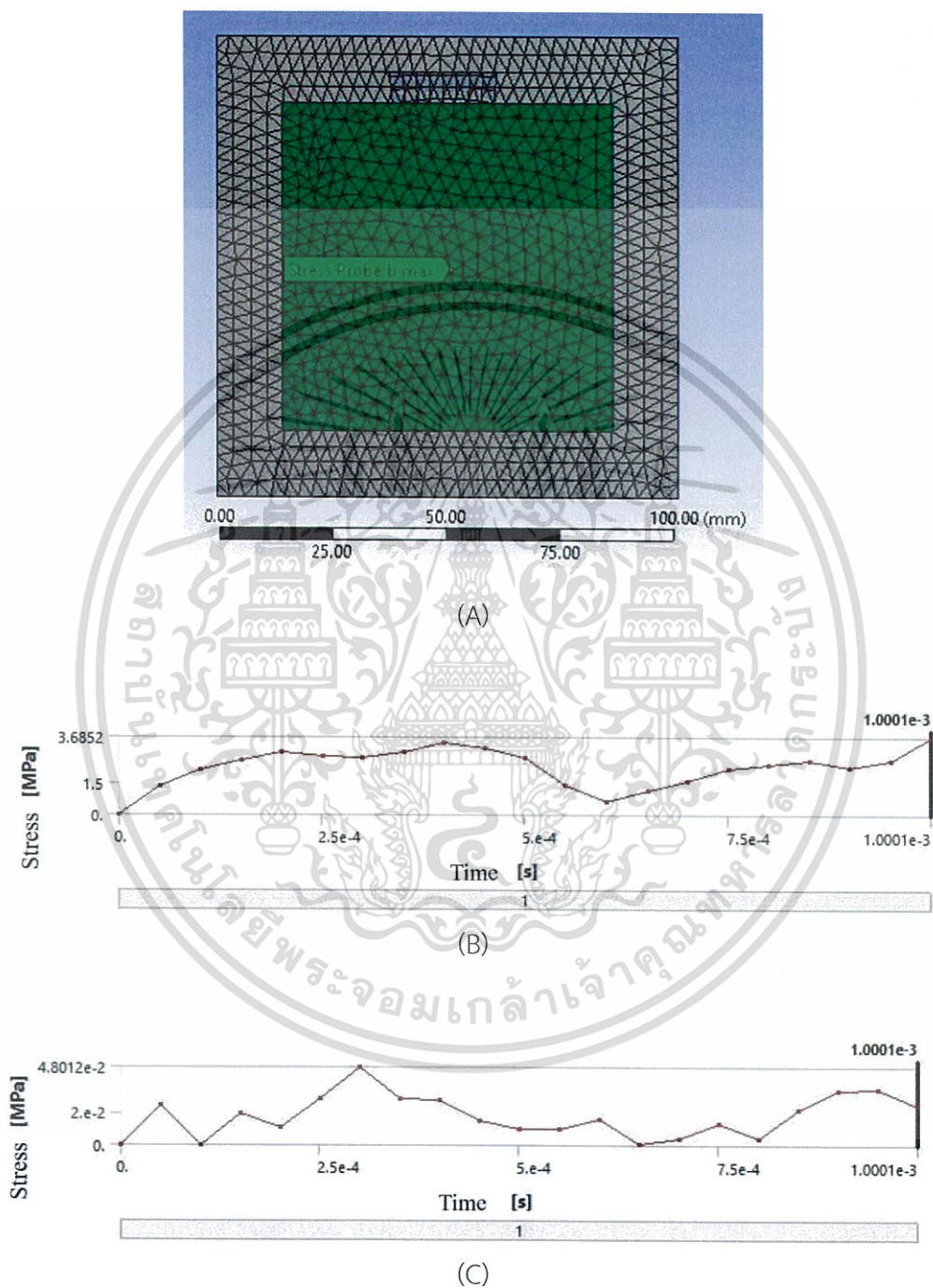
ที่แรงกด 2,000 N



- รูปที่ 21 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

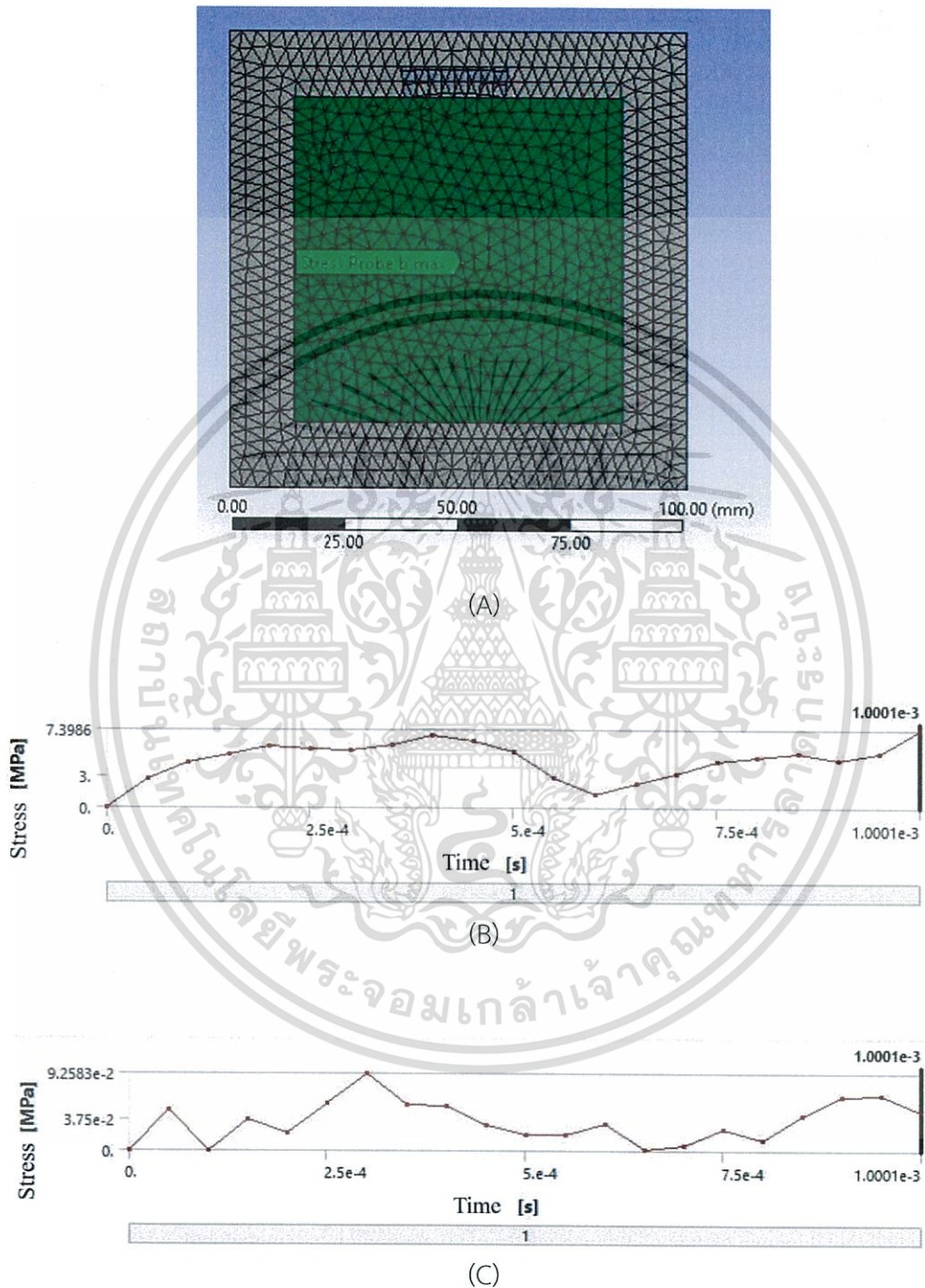
ชั้นส่วนป้องกัน (Cover) แบบที่ 4
ที่แรงกด 500 N



- รูปที่ 22 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชั้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
(B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N
(C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 500 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

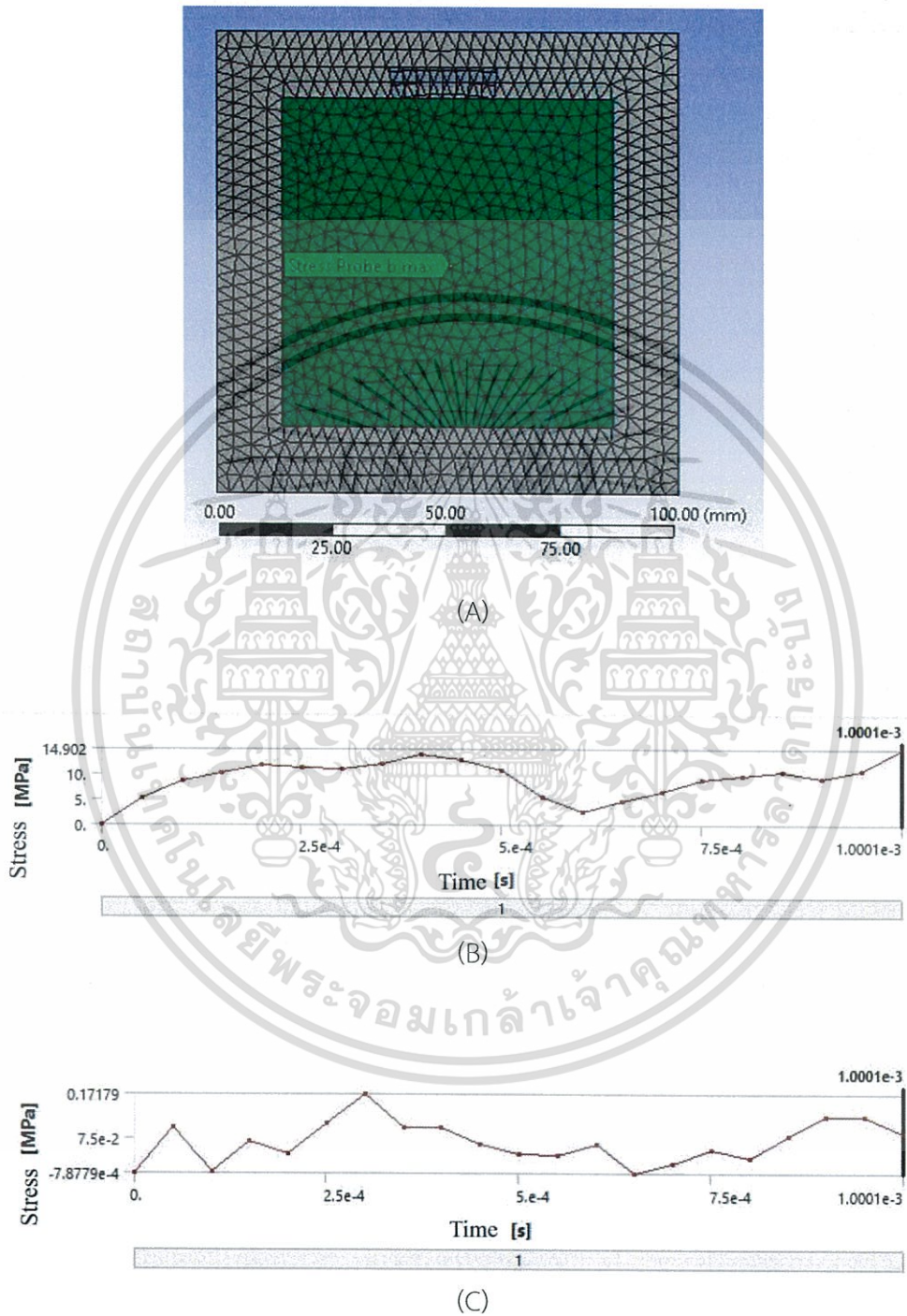
ที่แรงกด 1,000 N



- รูปที่ 23 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 1000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงกด 2,000 N

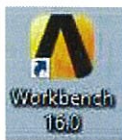


- รูปที่ 24 ผลการทดสอบ: (A) แสดงถึงบริเวณใต้ชิ้นส่วนป้องกันที่พิจารณา
 (B) กราฟแสดงค่า stress สูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N
 (C) กราฟแสดงค่า stress ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากแรง 2000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการจำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม ANSYS

1. เปิดโปรแกรม ANSYS ด้วยไอคอน

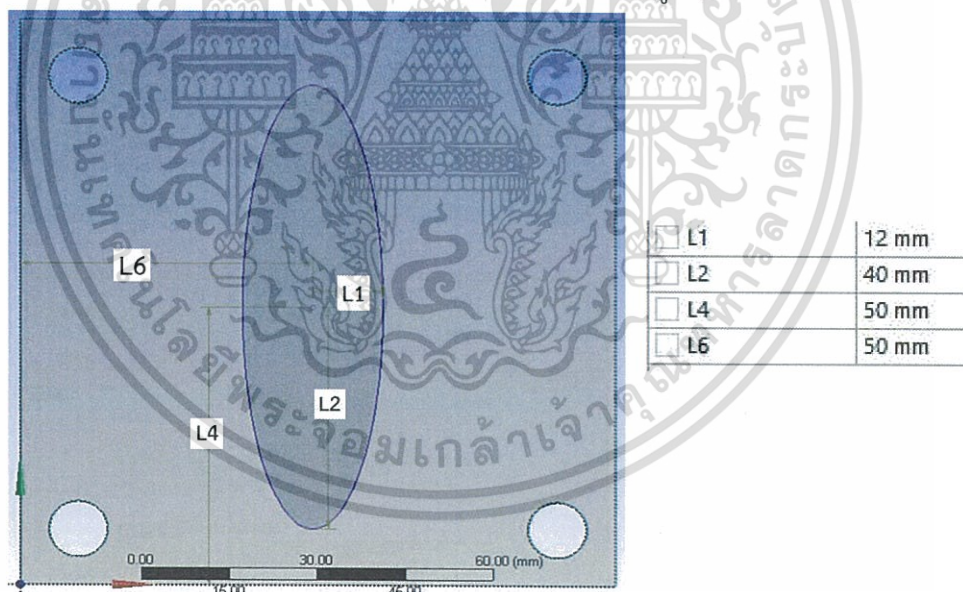


2. เลือกโหมดการทำงานจาก Toolbox

ดับเบิลคลิกที่ Explicit Dynamic



3. ดับเบิลคลิกที่ Engineering Data > เลือก Engineering Data Sources > เลือก General Materials > เพิ่มวัสดุ Polyethylene โดยกดปุ่มเครื่องหมายบวก > back to project
4. ดับเบิลคลิกที่ Geometry จะได้นหน้าต่าง > เลือก File > Import External Geometry File > เลือก file งานที่ทำการออกแบบไว้ (ชิ้นส่วนป้องกัน)
5. เลือกด้านบนของชิ้นงานกด New Sketch แล้ววาดตามรูป (แบบเต็มพื้นที่)



6. เลือกคำสั่ง Extrude > เลือก Sketch 1

แล้วตั้งค่าความหนาของชิ้นงานที่สองดังรูป

> ปิดหน้าต่าง

กำหนดความหนาของแต่ละ model ดังนี้

Model 1 = 10.11 mm

Model 2 = 10 mm

Model 3 = 2 mm

Model 4 = 5 mm

Details of Extrude1	
Extrude	Extrude1
Geometry	Sketch1
Operation	Add Frozen
Direction Vector	None (Normal)
Direction	Reversed
Extent Type	Fixed
<input type="checkbox"/> FD1, Depth (>0)	10 mm
As Thin/Surface?	No
Merge Topology?	Yes
Geometry Selection: 1	
Sketch	Sketch1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

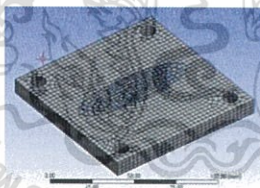
7. ดับเบิลคลิกที่ Model  จะได้หน้าต่างใหม่  > ที่ Outline เลือก Geometry ชั้นงาน
ชั้นแรก > ที่ Detail of “Solid” > Definition และ Material ตั้งค่าตามรูป

Definition	
<input type="checkbox"/> Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Reference Frame	Lagrangian
Material	
Assignment	Polyethylene
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes

8. ที่ Outline เลือก Geometry ชั้นงานชั้นที่สอง  > ที่ Detail of “Solid” >
Definition และ Material ตั้งค่าตามรูป  


Definition	
<input type="checkbox"/> Suppressed	No
Stiffness Behavior	Rigid
Reference Temperature	By Environment
Reference Frame	Lagrangian
Material	
Assignment	Polyethylene

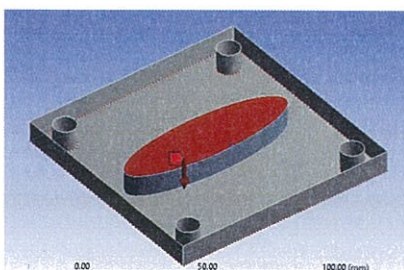
9. ที่ Outline เลือก Mesh
> ที่ Detail of “Mesh”
> ตั้งค่า Element Size = 3 mm ตามรูป
> คลิกขวาที่ Mesh เลือก Generate Mesh



Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Explicit
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Si...	Off
Relevance Center	Medium
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	3.0 mm
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge L...	10.0 mm


10. ที่ Outline เลือก Explicit Dynamics > เลือก Analysis Settings
> ที่ Detail of “Analysis Settings” ใส่ค่า End Time = 0.001

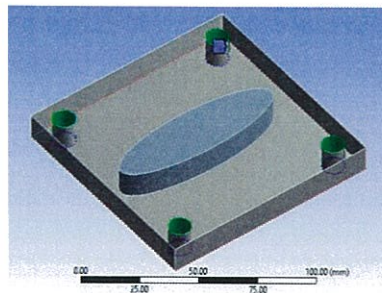
11. ที่ Outline คลิกขวาที่ Explicit Dynamics > เลือก Insert > เลือก Force > ที่ Detail of
“Force” เลือกพื้นที่ด้านบนของชิ้นงานที่สอง โดยกดเลือกพื้นด้านบนของชิ้นงานแรกแล้วกด
F8 จากนั้นเลือกพื้นที่ใส่แรงเป็นพื้นที่ด้านบนของชิ้นงานที่สอง ด้วยคำสั่ง  > ที่ Define
By เลือก Components > จากนั้นใส่แรงขนาด 500 1,000 และ 2,000 N ที่ทิศทาง -Y



Definition	
Type	Force
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0. N (step applied)
<input type="checkbox"/> Y Component	-500. N (step applied)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. N (step applied)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ที่ Outline คลิกขวาที่ Explicit Dynamics > เลือก Insert > เลือก Fixed Support > ที่ Detail of “Fixed Support” เลือก Geometry ทั้ง 4 ด้านของเสา (ด้านใน) สำหรับ ชิ้นส่วน ป้องกันแบบที่ 2 ด้วยคำสั่ง  ดังรูป



13. ที่ Outline คลิกขวาที่ Solution (A6)

> เลือก Insert > เลือก Probe > เลือก Stress

14. ที่ Outline เลือก Stress Probe > ที่ Detail of “Stress Probe” > ที่ Geometry เลือก คำสั่ง  เพื่อทำการเลือกพื้นผิวที่ต้องการจะวัด > เลือกพื้นผิวของชิ้นงานแรก หรือพื้นที่ ของชิ้นส่วนป้องกันที่ติดกับ Piezoelectric sheet > กด Apply

15. ที่ Detail of “Stress Probe” > ที่ Options

> Result Selection เลือก Maximum Principal

16. ทำซ้ำข้อ 13-15 โดยเปลี่ยนค่าที่ Options

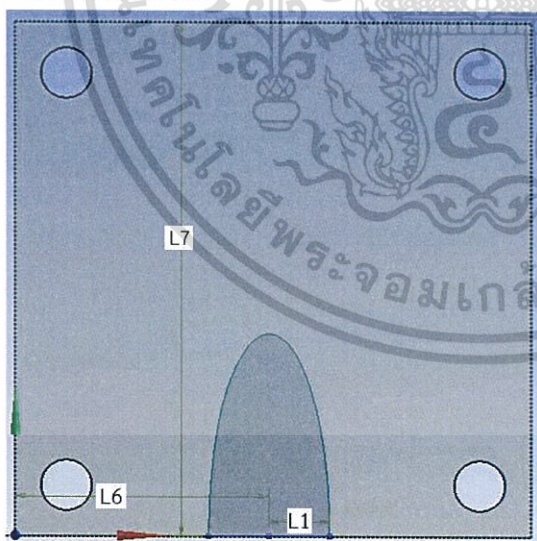
> Result Selection เลือกเป็น Minimum Principal

17. เมื่อทำการตั้งค่าทุกอย่างเสร็จ กดปุ่ม  Solve

เพื่อทำการวิเคราะห์ประมาณผลการ simulation

18. สำหรับการสร้างพื้นที่ใส่แรงแบบครึ่งพื้นที่ ให้ทำซ้ำข้อ 4-6 โดยจะมีขนาดของพื้นที่ และความหนาเท่ากับ

Definition	
Type	Stress
Location Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Suppressed	No
Options	
Result Selection	Maximum Principal
<input checked="" type="checkbox"/> Display Time	End Time
Spatial Resolution	Use Maximum



L1	12 mm
L6	50 mm
L7	101.6 mm

กำหนดความหนาของแต่ละ model ดังนี้

Model 1 = 10.11 mm

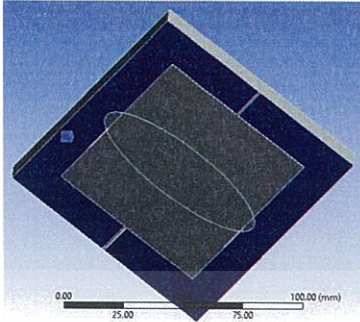
Model 2 = 10 mm

Model 3 = 2 mm

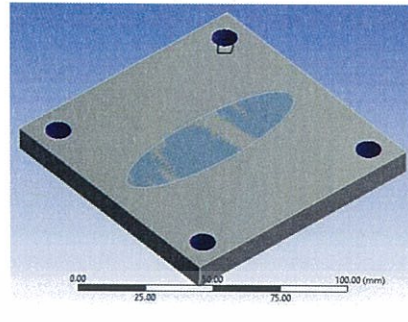
Model 4 = 5 mm

19. จุดที่เลือกสำหรับคำสั่ง Fixed Support แต่ละ model แทนด้วยสีน้ำเงิน มีดังนี้

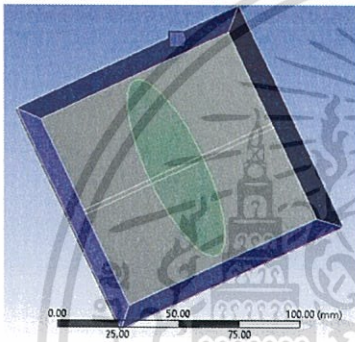
Model 1



Model 2



Model 3



Model 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	นายวรทัศน์ พูลสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536
ที่อยู่	3/1 หมู่ 13 ต. ท่าไข่ อ. เมือง จ.ฉะเชิงเทรา 24000 E-mail: woratat.bigkung@gmail.com Tell: 086-821-7538
ประวัติการศึกษา	ปัจจุบัน (2559) กำลังศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย สาขาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ฉะเชิงเทรา
ผลงานด้านวิชาการ	ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์แบบโปสเตอร์ “SIMULATION AND MODELING ELECTRICAL CELL SUBSTRATE FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRICAL ENERGY FROM PRESSURE ON THE FOOTPATH” ในงานสัมมนาวิชาการ STT41