

ผลของรูปร่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อความสามารถในการรับแรงดันภายนอก
จากกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

Effect of the plastic package shape on the ability to external
pressure from
High pressure processing of food



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลของรูปร่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อความสามารถในการรับแรงดันภายนอก
จากกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

Effect of the plastic package shape on the ability to external
pressure from
High pressure processing of food



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

EFFECT OF THE PLASTIC PACKAGE SHAPE ON THE ABILITY TO
EXTERNAL PRESSURE FROM HIGH PRESSURE PROCESSING OF
FOOD



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

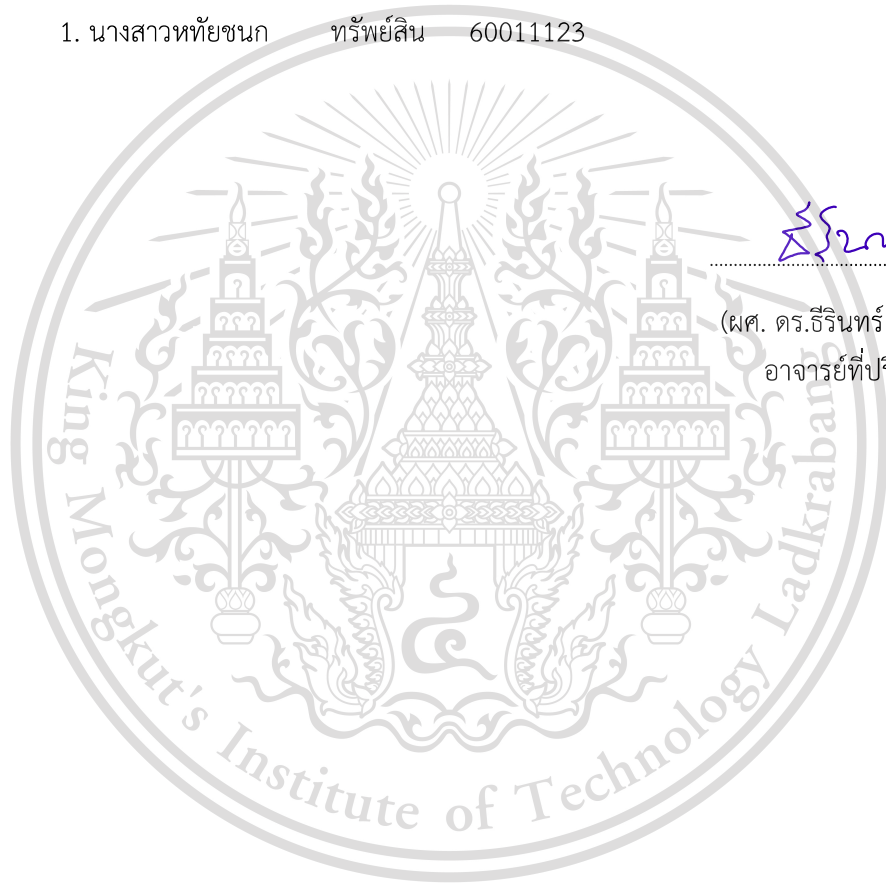
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของรูปร่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อความสามารถในการรับแรงดันภายนอกจาก

กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง Effect of the plastic package shape on
the ability to external pressure from High pressure processing of food

ผู้จัดทำ

1. นางสาวหทัยชนก ทรัพย์สิน 60011123



(ผศ. ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ผลของรูปร่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อความสามารถในการรับแรงดันภายนอก จากกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง
โดย	นางสาวหทัยชนก ทรัพย์สิน 60011123
ปริญญานิพนธ์เรื่อง	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ

บทคัดย่อ

การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง เป็นวิธีการแปรรูปที่การยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร สามารถรักษาคุณลักษณะสมบัติทางกายภาพ และ สมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารที่ถูกแปรรูปด้วยความดันสูงให้ยังคงใกล้เคียงอาหารสดได้ โดยการใช้ความดันสูงที่ระดับ 600 MPa และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องปิดสนิทซึ่งสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่สอดคล้องกับความสามารถในการบีบอัดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความสามารถในการรับแรงดันจากกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงของบรรจุภัณฑ์พลาสติกในรูปร่างต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Solidworks Simulation ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่ารูปร่างบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเลือกใช้คือบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2 เนื่องจากสามารถรับความเค้นได้และไม่เกินค่า Tensile strength ของวัสดุทำให้ชิ้นงานไม่มีการเสียรูปร่างเกินขึ้น และยังสามารถคืนตัวได้หลังจากผ่านกระบวนการ

คำสำคัญ ; บรรจุภัณฑ์พลาสติก, รูปร่างบรรจุภัณฑ์, การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title Effect of the plastic package shape on the ability to external pressure from High pressure processing of food

By MISS HATAICHANOK SAPSIN 60011123

Thesis for Bachelor's Degree of Engineering
Department of Food Ebgineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 2020

Advisor Asst. Prof. Dr. Teerin Chysirichote

Abstract

High pressure food processing It is a processing method that inhibits the growth of microorganisms in food. The physical and sensory properties of the high-pressure processed food can be maintained similar to that of fresh food. By applying a high pressure of 600 MPa and the packaging used must be sealed which can withstand a change in the volume corresponding to the compressibility of the product. Which packaging is commonly used as plastic packaging In this research, the ability to withstand pressure from high pressure food processing of plastic packaging of various shapes with the Solidworks Simulation program was studied. It is the type 2 of packaging because it can handle stress and not exceed the tensile strength of the material so the package will not be deformed. And can still return after the process

Keywords ; plastic packaging, shape of package, High Pressure Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผศ. ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำชี้แนะในการทำและให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการปรับปรุง ขอขอบคุณอาจารย์ที่ช่วยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน อีกทั้งช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัวและเพื่อน ๆ นักศึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำต่าง ๆ และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ผู้วิจัย

นางสาว หทัยชนก ทรัพย์สิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
รายการสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4
2.1.1 การเลือกใช้โปรแกรม Solidworks	4
2.1.2 Solidworks Simulation	4
2.1.3 Finite Element Method	4
2.2 High Pressure Processing	5
2.3 เทอร์โมพลาสติก	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	9
3.1 อุปกรณ์	9
3.2 วิธีการดำเนินงาน	9
3.2.1 การออกแบบชิ้นงานทดสอบ	9
3.2.2 การจำลองความสามารถในการรับความดันภายนอกของบรรจุภัณฑ์	10
3.2.3 การวิเคราะห์ค่าความเค้น	11
3.2.4 การวิเคราะห์ค่าระยะขจัด	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.5 การวิเคราะห์ค่าความเครียด	12
3.2.6 การวิเคราะห์ค่า Elastic modulus	12
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	13
4.1 ผลการ Simulation	13
4.1.1 คุณสมบัติวัสดุของบรรจุภัณฑ์	13
4.1.2 ความเค้น (Stress)	13
4.1.3 ระยะขจัด (Displacement)	16
4.1.4 ความเครียด (Strain)	18
4.1.5 Elastic modulus	20
4.2 การเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ที่พื้นที่เท่ากันแต่รูปทรงต่างกัน	20
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	21
5.1 สรุปผลการทดลอง	21
5.2 ข้อเสนอแนะ	21
บรรณานุกรม	22
ภาคผนวก	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของ PET	5
3.1	รูปร่างของบรรจุภัณฑ์	7
3.2	คำสั่ง Solidworks Add-Ins	8
3.3	การเลือกชนิดวัสดุของบรรจุภัณฑ์	8
3.4	การเลือกขนาดความดัน	8
3.5	การเลือกพื้นที่ที่ความดันกระทำต่อบรรจุภัณฑ์	9
3.6	Mesh and run	9
4.1	ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 1	12
4.2	ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2	12
4.3	ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3	12
4.4	ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 4	13
4.5	ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5	13
4.6	ระยะขีดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 1	14
4.7	ระยะขีดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2	14
4.8	ระยะขีดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3	14
4.9	ระยะขีดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 4	15
4.10	ระยะขีดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5	15
4.11	ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 1	16
4.12	ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2	16
4.13	ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3	17
4.14	ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 4	17
4.15	ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5	17
4.16	เปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ที่มีพื้นที่เท่ากันแต่รูปร่างต่างกัน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เกณฑ์ทั่วไปสำหรับการผลิตอาหารสำหรับการพาสเจอร์ไรส์ด้วย HPP	5
4.1	คุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากโปรแกรม Solidworks simulation	13
4.2	ความเค้นที่เกิดจากความดัน 600 MPa กระทำบนชิ้นงาน	14
4.3	ระยะขจัดที่เกิดจากความดัน 600 MPa กระทำบนชิ้นงาน	15
4.4	ความเครียดที่เกิดจากความดัน 600 MPa กระทำบนชิ้นงาน	17
4.5	ค่าอิลาสติกโมดูลัสของแต่ละบรรจุภัณฑ์	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์

σ' = ความเค้นรวม (N/m²)

σ_1 = ความเค้นในแนวแกน X (N/m²)

σ_2 = ความเค้นในแนวแกน Y (N/m²)

σ_3 = ความเค้นในแนวแกน Z (N/m²)

ϵ = ความเครียด

σ = ความเค้น (N/m²)

E = Elastic Modulus (N/m²)

l = ความยาวที่เปลี่ยนไปของบรรจุภัณฑ์ (mm)

l₀ = ความยาวเริ่มต้นของบรรจุภัณฑ์ (mm)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (HPP: High Pressure Processing) เริ่มใช้อย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อังกฤษ และเยอรมนี ซึ่งได้ผ่านการรับรองกระบวนการจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของแต่ละประเทศ ทั้งในส่วนของสภาวะการผลิตที่เหมาะสม และเครื่องมือเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ โดยประเทศไทยเป็นอีกหนึ่งประเทศที่เริ่มมีการนำเทคโนโลยีการแปรรูปดังกล่าวเข้ามาใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมรับประทานได้แก่ น้ำมะพร้าว และน้ำผักผลไม้ชนิดต่างๆ และอาหารบางชนิด เป็นต้น (มยุรา, 2562) การใช้วิธีแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร (microbial spoilage) จุลินทรีย์ก่อโรค (Lambert et al., 2000) นอกจากนี้ความดันสูงยังทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร รวมถึงสปอร์และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหารโดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ยังคงใกล้เคียงกับอาหารสด และทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นแม้ว่ากระบวนการแปรรูป HPP นั้นอาจจะมีลงทุนในด้านวิศวกรรมที่สูงกว่าการแปรรูปอื่นมากถึง 10-30 เท่า แต่จะให้ผลตอบแทนดีในระยะยาว เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด (ฤทธิชัย, 2559)

การแปรรูปด้วยความดันสูงต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทซึ่งสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่สอดคล้องกับความสามารถในการบีบอัดของผลิตภัณฑ์ อาหารจะมีปริมาตรลดลงเนื่องจากการทำงานของความดันที่ใช้และการขยายตัวที่เท่ากันเกิดขึ้นเมื่อคลายการบีบอัด ด้วยเหตุนี้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับอาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูง จะต้องสามารถรองรับปริมาณที่ลดลงได้ถึง 19% และกลับคืนสู่ปริมาตรเดิมโดยไม่สูญเสียความสมบูรณ์ของสีหรือคุณสมบัติในการกั้น วัสดุบรรจุภัณฑ์ซึ่งออกซิเจนไม่สามารถซึมผ่านและทึบแสงได้รับการพัฒนาเพื่อรักษาสีและมีความสดใหม่ในอาหารที่ผ่านการบำบัดด้วย HPP ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมนำมาใช้คือบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด Polyethylene terephthalate : PET (Juliano et al., 2010)

PET มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงมีความเหนียวสูง มีความใสแวววาวเป็นพิเศษ มีความปลอดภัยสูง แข็งแรงทนทาน ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทนต่อความเป็นกรดและป้องกันการซึมผ่านของก๊าซไม่แตกเมื่อถูกแรงกดดัน การนำ PET มาผลิตวัสดุต่างๆ เทคนิคการให้ความร้อน การทำให้เย็นที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ที่เรียกว่า "heat setting" จะทำให้ได้ PET ที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานต่างๆ กัน นอกจากนี้ยังเป็นพลาสติกชนิดเดียวที่สามารถรีไซเคิลได้ 100% โดยสามารถนำกลับมาหลอมทำบรรจุภัณฑ์ใหม่ได้ และยังสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกด้วย (ธนาวดี, 2547)

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษารูปร่างของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่สามารถรับแรงดันจากกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงได้ เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1.1.1 ศึกษาผลของรูปร่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อความดันจากกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

1.1.2 เลือกใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีรูปร่างเหมาะสมในกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงอย่างเหมาะสม

1.1.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks ในการจำลองความสามารถในการรับแรงดันของบรรจุภัณฑ์

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ศึกษาผลของรูปร่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อความดันจากกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

1.3.2 ได้รูปร่างของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ควรเลือกใช้ในกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ขอบเขตที่ศึกษามีตัวแปร เป็นดังนี้

1.4.1.1 ตัวแปรต้น

- รูปร่างของบรรจุภัณฑ์ (117.60 × 70.3 มม., 95 × 95 × 74.9 มม., 113.54 × 113.54 × 26.11 มม., 143 × 57.9 มม.)

1.4.1.2 ตัวแปรตาม

- ความสามารถในการคืนตัวของบรรจุภัณฑ์
- ความเค้น ที่เกิดขึ้นบนบรรจุภัณฑ์
- ความเครียดที่เกิดขึ้นบนบรรจุภัณฑ์
- ระยะขจัดที่เกิดขึ้นบนบรรจุภัณฑ์

1.4.1.3 ตัวแปรควบคุม

- ความดัน (600 MPa)
- ชนิดพลาสติกของบรรจุภัณฑ์ (Polyethylene Terephthalate)
- อุณหภูมิ (25 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.1.1 การเลือกใช้โปรแกรม Solidworks

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศสเป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้แก้ออกแบบใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting) โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะ เป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยสามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงานแล้วขนาด จะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งานสามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย (Paul,2013)

2.1.2 Solidworks Simulation

SolidWorks Simulation เป็นคำสั่งในโปรแกรม SolidWorks เพื่อใช้ในการออกแบบงานทางด้านอุตสาหกรรมการโดยจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ "Finite Element Method (FEM)" เพื่อคำนวณหาความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นและตรวจสอบความเป็นไปได้ต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นโดยจะแสดงถึงผลของความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain) ,การขจัด (Displacement) หรือค่าความปลอดภัยของการใช้งาน (Safety of Factor : "FOS") เพื่อให้ผู้ออกแบบหาแนวทางการลดหรือหลีกเลี่ยงต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขแบบ Static พร้อมกับตัวอย่างการคำนวณอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการศึกษาและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมขั้นสูงต่อไป (Desigil, 2019)

2.1.3 Finite Element Method

Finite Element Method : FEA เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมากในการแก้ปัญหาหลายอย่างตั้งแต่เรียบง่ายจนถึงความซับซ้อนมาก วิศวกรออกแบบใช้ FEA ในระหว่างกระบวนการพัฒนาสินค้า เพื่อวิเคราะห์การออกแบบที่กำลังดำเนินการ สำหรับวิศวกรออกแบบ FEA เป็นหนึ่งในเครื่องมือออกแบบหลายชนิดที่ใช้ในออกแบบและรวม CAD, ตัวต้นแบบ และ แผ่นคำนวณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หรือทางวิศวกรรม และ อื่นๆ (Paul,2013)

2.2 High Pressure Processing

การแปรรูปอาหารด้วยแรงดันสูง (HPP) เป็นเทคโนโลยีอาหารที่เกิดขึ้นใหม่ ที่ใช้เพื่อการประกันความปลอดภัยการยืดอายุการเก็บรักษาและการเก็บรักษาสารอาหารเชิงพาณิชย์ ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ เช่น เนื้อสัตว์หั่นบาง ๆ ผักและน้ำผลไม้ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลพร้อมรับประทานแช่เย็น (Juliano et al., 2007) เพื่อรักษาสีและรสชาติสดใหม่ในอาหารที่ผ่านกระบวนการ HPP อาหารจะอยู่ภายใต้ความดันระหว่าง 300 ถึง 800 MPa ขึ้นอยู่กับประเภทของอาหาร บรรจุภัณฑ์ที่ใช้จะต้องปิดสนิทสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงกับแรงบีบอัดของความดัน วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและที่บแสง (Juliano, 2010)

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับการผลิตสำหรับการพาสเจอร์ไรส์ ด้วย HPP โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (คณะกรรมการอาหารและยา, 2563)

กลุ่มผลิตภัณฑ์	พารามิเตอร์	สภาวะ
ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคชนิดเหลว ที่มี pH ≤ 4.6	สภาวะการเก็บรักษาก่อนการพาสเจอร์ไรส์	Initial load ไม่เกิน 10^6 cfu/g และเก็บที่อุณหภูมิไม่เกิน 10°C
	สภาวะในการพาสเจอร์ไรส์*	
	- ความดันสำหรับการพาสเจอร์ไรส์	400 MPa ขึ้นไป
	- ระยะเวลาที่ใช้ระหว่างพาสเจอร์ไรส์ (Holding time)	1-20 นาที และต้องมีผลการศึกษาแสดงว่าสามารถลดจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิง** ได้ไม่น้อยกว่า 5 log reduction)
ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคชนิดเหลว ที่มี pH > 4.6	สภาวะการเก็บรักษาหลังพาสเจอร์ไรส์	ไม่เกิน 5°C
	อายุการเก็บรักษา	ตามผลการศึกษายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์
	สภาวะการเก็บรักษาก่อนการพาสเจอร์ไรส์	Initial load ไม่เกิน 10^6 cfu/g โดยเก็บที่อุณหภูมิไม่เกิน 10°C
	สภาวะในการพาสเจอร์ไรส์*	
- ความดันสำหรับการพาสเจอร์ไรส์	600 MPa ขึ้นไป	
- ระยะเวลาที่ใช้ระหว่างพาสเจอร์ไรส์ (Holding time)	3-20 นาที และต้องมีผลการศึกษาที่แสดงว่าสามารถลดจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิง** ได้ไม่น้อยกว่า 5 log reduction)	
ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคชนิดเหลว ที่มี pH > 4.6	สภาวะการเก็บรักษาหลังพาสเจอร์ไรส์	ไม่เกิน 5°C
	อายุการเก็บรักษา	ตามผลการศึกษายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (ต้องมีผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ Clostridium botulinum ที่แสดงอายุการเก็บรักษาตามที่แจ้งด้วย)

หมายเหตุ * สภาวะในการพาสเจอร์ไรส์เป็นแนวทาง ทั้งนี้ ต้องมีผลการศึกษา *Inoculated Pack/Challenge study* ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงได้ไม่น้อยกว่า 5 log (5 log reduction) ประกอบการพิจารณาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรเชิงวิชาการเพื่อการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

** จุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิง ได้แก่ 1) *L. monocytogenes* และ 2) *E. coli* O157:H7 ทั้งนี้ สามารถใช้จุลินทรีย์ตัวแทน (*surrogate organism*) ในการทดสอบซึ่งมีความสามารถในการ ทนต่อสภาวะความดันได้เท่ากับหรือมากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงนั้นๆ เช่น จุลินทรีย์ *L. innocua* เป็นตัวแทนสำหรับ *L. monocytogenes* จุลินทรีย์ *non-pathogenic E. coli* (เช่น *E. coli* K12) เป็นตัวแทนสำหรับ *E. coli* O157:H7

(Initial load ที่สภาวะการเก็บรักษาก่อนการพาสเจอร์ไรส์คือการตรวจสอบ Total plate count (TPC) ของวัตถุดิบที่เตรียมเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการพาสเจอร์ไรส์) หน่วยความดัน 1 MPa เท่ากับ 10 Bar

2.3 เทอร์โมพลาสติก

เป็นพลาสติกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้เคลกกันอย่าง มากเนื่องจากพลาสติกประเภทนี้เมื่อผ่านการขึ้นรูปแล้ว หากได้รับความร้อนอีกครั้งก็ยังสามารถ หลอมและอ่อนตัวจนสามารถดัดหรือขึ้นเป็นรูปต่าง ๆ ได้อีกครั้งตามต้องการ เมื่อทำให้เย็นลงจะมี สมบัติที่แข็ง เหนียว และคงรูปตามแบบ การหลอมและเย็นตัวนี้สามารถทำได้หลาย ๆ ครั้ง ดังนั้นจึง พร้อมที่นำกลับมาใช้ได้ อีก หากความร้อนที่ใช้ในการหลอมไม่เกินอุณหภูมิในการสลายตัวของพอลิ เมอร์ ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญ และใช้อยู่ทั่วไป เช่น

- พอลิเอทิลีน (Polyethylene)
- พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate)
- พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)
- พอลิสไตรีน (Polystyrene)
- พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate)
- พอลิเอไมด์ (Polyamide) หรือ ไนลอน (Nylon)
- พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) (ปรีชา, 2553)

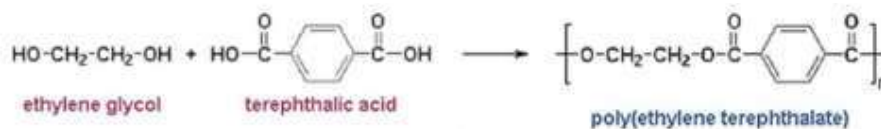
2.3.1 Polyethylene terephthalate

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมทั่วโลกสำหรับน้ำและน้ำอัดลม ขวด ซึ่งในปัจจุบันเริ่มนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับกระบวนการ High Pressure Processing เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ PET คือ มีความแข็งแรงไม่แตกหัก ทนความดันได้สูง มีสีใส ป้องกันการ ซึมผ่านของออกซิเจนและสามารถนำไปรีไซเคิลได้ 100% (Frank, 2011) พลาสติก PET เป็นเทอร์ม พลาสติกที่จัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น ด้วยปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทิลีนไกลคอลกับไดเมทิลเทเรฟทาเลต หรือ ระหว่างเอทิลีนไกลคอลกับกรด เทเรฟทาติก โดยทั่วไป PET มีจุดหลอมเหลวประมาณ 260 °C ความหนาแน่น 1.38 g/cm³ ที่ 20 °C และดัชนีหักเหของแสงอยู่ในช่วง 1.57-1.58 โครงสร้างทางเคมีของ PET แสดงดังรูปที่ 2.1 (Speight, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ PET

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mertens (1993) ได้ทำการศึกษาความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี High Pressure Processing กับบรรจุภัณฑ์อาหารและวัสดุบรรจุภัณฑ์และฝาปิดที่มีอยู่ พบว่า ชุดฝาภาชนะซึ่งมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะชดเชยการบีบอัดที่จำกัดของอาหารและการบีบอัดอากาศอย่างสมบูรณ์ที่ระดับสูง สามารถผ่านกระบวนการ High Pressure Processing ได้โดยไม่มีความเสียหายทางกายภาพ และ สมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการกันของพลาสติกและอลูมิเนียมหลายชั้นของวัสดุบรรจุภัณฑ์พอลียจะไม่ได้รับผลกระทบ

Galotto และคณะ (2010) มีการประเมินผลของกระบวนการผลิตด้วยแรงดันสูง (HPP) ต่อคุณสมบัติการกันของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ซับซ้อนของฟิล์ม 4 ชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีน / เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ / โพลีเอทิลีน (PE / EVOH / PE) โพลีเอสเตอร์เมทิลไลซ์ / โพลีเอทิลีนโพลีเอสเตอร์ / โพลีเอทิลีน (PET / PE) และโพลีโพรพิลีน - ซีโออกซ์ (PPSiOx) แปรรูปที่ความดัน 400 MPa เป็นเวลา 30 นาทีที่ 20 หรือ 60 °C พบว่าหลังจากกระบวนการผลิตด้วยแรงดันสูง PET / PE มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่ำ

คณิต และคณะ (2552) ศึกษาการจำลองการยุบของขวด PET ที่มีรูปทรงผนังไม่สม่ำเสมอ ภายใต้การทดสอบภาวะด้านบนแบบสถิตย์และพลวัต พบว่า การทดสอบภาวะด้านบนเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาในกระบวนการออกแบบและทดสอบขวด ที่มีรูปทรงผนังที่ไม่สม่ำเสมอ สมบัติของวัสดุ PET ได้จากการทดสอบแรงดึง ขวดขนาดหนึ่งลิตรได้นำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบการเสียรูปทรงระหว่างผลการทดสอบจริง และผล FEA ผลจากการวิจัยพบว่าแบบจำลองในไฟไนต์เอลิเมนต์มีการเสียรูปใกล้เคียงกับการทดสอบจริง ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้โมเดลแบบสมมาตรครึ่งซีก สำหรับการศึกษานี้เบื้องต้นเนื่องจากง่ายและรวดเร็วในการวิเคราะห์ และใช้โมเดลแบบเต็มใบเพื่อศึกษารายละเอียดในการออกแบบขั้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วัสดุและวิธีการ

3.1 เครื่องมือ

1) โปรแกรม SOLIDWORKS 2019

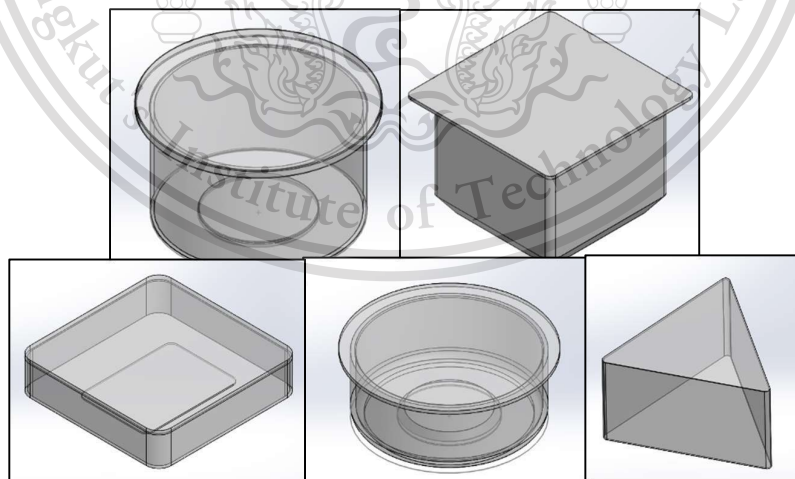
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การออกแบบชิ้นงานทดสอบ

สร้างชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS ซึ่งอยู่ในรูปแบบของไฟล์ SLSPT file แล้วใช้โปรแกรม SOLIDWORKS SIMULATION เพื่อทำการสร้าง mesh model จากชิ้นงานที่ออกแบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงดันในขั้นต่อไป

3.2.1.1 สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบรูปร่างบรรจุภัณฑ์แบบถ้วยพลาสติกทั้งหมด 4 รูปร่างบรรจุภัณฑ์ คือ บรรจุภัณฑ์ 1 (117.60 x 70.3 มม.) บรรจุภัณฑ์ 2 (95 x 95 x 74.9 มม.) บรรจุภัณฑ์ 3 (113.54 x 113.54 x 26.11 มม.) บรรจุภัณฑ์ 4 (143 x 57.9 มม.) และบรรจุภัณฑ์ 5 (113 x 70.36 มม.) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปร่างของบรรจุภัณฑ์

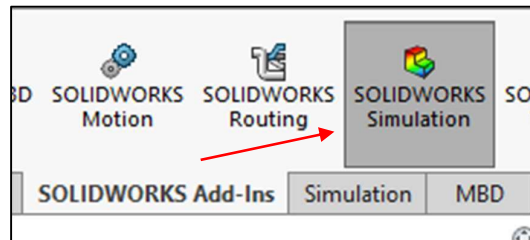
3.2.2 การจำลองความสามารถในการรับความดันภายนอกของบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

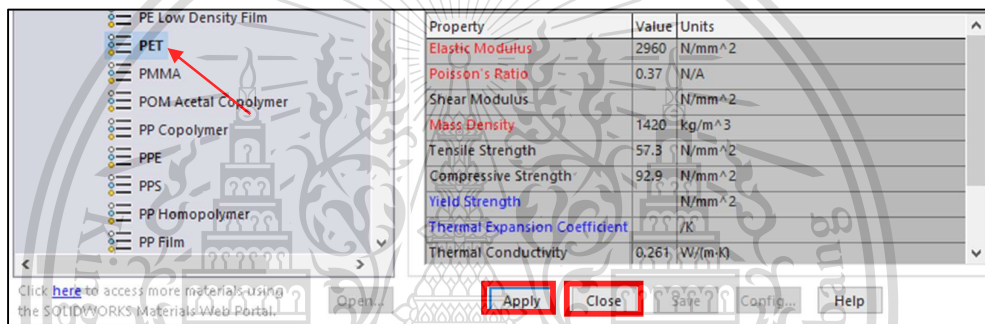
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.1 ไปที่คำสั่ง SOLIDWORKS Add-Ins แล้วเลือก SOLIDWORKS Simulation



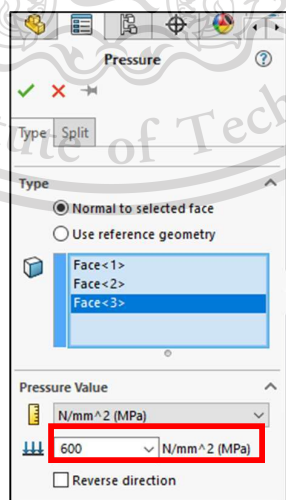
รูปที่3.2 ไปที่คำสั่ง SOLIDWORKS Add-Ins

3.2.2.2 เปิดชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดประเภทของวัสดุ โดยเลือกคำสั่ง Apply Material เลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์เป็น Polyethylene terephthalate : PET จากนั้นกด Apply แล้วกด Close



รูปที่3.3 เลือกชนิดวัสดุของบรรจุภัณฑ์

3.2.2.3 กำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ ความดันที่กระทำต่อตัวชิ้นงาน 600 MPa

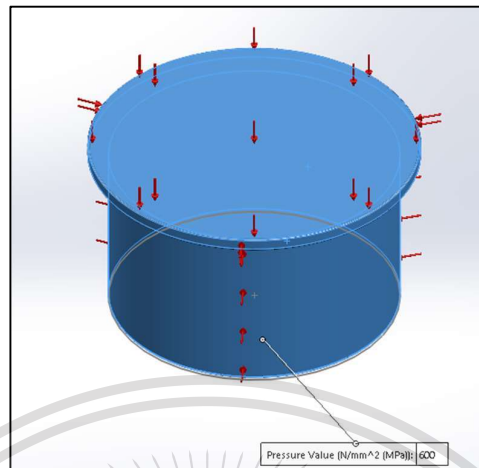


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่3.4 เลือกขนาดความดัน 600 MPa ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

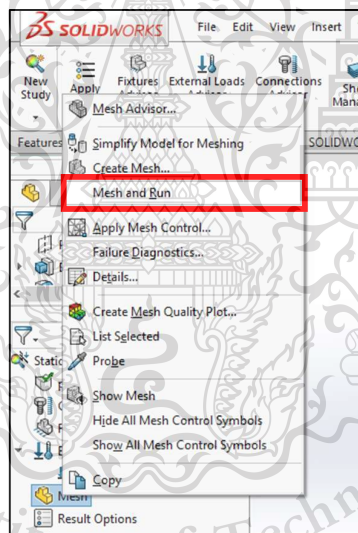
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.4 เลือกพื้นที่ที่แรงดันกระทำกับตัวบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3.5 เลือกพื้นที่ที่ความดันกระทำบนบรรจุภัณฑ์

3.2.2.5 ทำการวิเคราะห์ผล (Mesh and run)



รูปที่ 3.6 เลือก Mesh and run

3.2.3 การวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress)

โปรแกรม Solidworks จะแสดงค่าความเค้นออกมาในรูปของค่า von Mises Stress ซึ่งเป็นความเค้นที่จะแสดงออกมาเป็นค่าแรก โดยโปรแกรมจะนำผลลัพธ์ของความเค้นทั้งหมดมาคำนวณด้วยสมการ 1.1 เพื่อหาว่าชิ้นงานได้รับความเค้นทั้งหมดเท่าไร

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \quad (1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.4 การวิเคราะห์ค่าระยะขจัด

โปรแกรม Solidworks จะวิเคราะห์ระยะขจัดที่รวมทั้ง 3 แกน และแสดงค่าความการกระจัดออกมาในรูปของค่า URES เนื่องจากชิ้นงาน 3 มิติจะมีการบิดงอได้ทั้งในแนวแกน X, Y, Z

3.2.5 การวิเคราะห์ค่าความเครียด

โปรแกรม Solidworks จะแสดงค่าความเครียดออกมาในรูปของค่า ESTRN ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวทั้งหมดของชิ้นงานในทิศทางของแรงนั้นเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน โดยคำนวณความเครียดแต่ละด้านจากสมการ 1.3

$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l} \quad (1.3)$$

3.2.6 การวิเคราะห์ค่า Elastic modulus

วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำขึ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม นำค่าความเค้นและความเครียดสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม Solidworks ของแต่ละบรรจุภัณฑ์มาคำนวณตามสมการที่ 1.4 เพื่อพิจารณาความสามารถในการคืนตัวของบรรจุภัณฑ์ของแต่ละชนิด

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการ Simulation

โปรแกรม Solidworks simulation จะทำการวิเคราะห์ค่าความดันและแสดงผลลัพธ์เบื้องต้นทั้งหมด โดยจะแสดงทั้งคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานและแสดงผลลัพธ์เป็นลักษณะแถบสี (Fringe Plot) ต่าง ๆ ทั่วทั้งตัวชิ้นงานและสามารถนำผลลัพธ์ทั้งหมดที่โปรแกรมวิเคราะห์ ออกมาในรูปแบบของไฟล์สกุล .doc ได้

4.1.1 คุณสมบัติวัสดุของบรรจุภัณฑ์

หลังจากทำการวิเคราะห์ผล โปรแกรม Solidworks จะทำการแสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุที่เลือกใช้ในการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากโปรแกรม Solidworks simulation

Name:	PET
Model type:	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion:	Unknown
Tensile strength:	5.73e+07 N/m ²
Compressive strength:	9.29e+07 N/m ²
Elastic modulus:	2.96e+09 N/m ²
Poisson's ratio:	0.37
Mass density:	1,420 kg/m ³

4.1.2 ความเค้น (Stress)

หลังจากการ Simulation พบว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 1 และ 4 มีค่าความเค้นสูงสุดเกินกว่าค่า Tensile strength ของวัสดุโดยเฉพาะชิ้นงานที่ 3 ที่มีความเค้นสูงสุดมากกว่า Tensile strength ของวัสดุมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จึงอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ ส่วนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2 มีค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นน้อยสุด ที่บริเวณตรงฝาบรรจุภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 3.766e+02 ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าค่า Tensile strength ของวัสดุทำให้ชิ้นงานไม่มีการเสียหายเกิดขึ้น โดยค่าความเค้นของบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดแสดงในตารางที่ 2

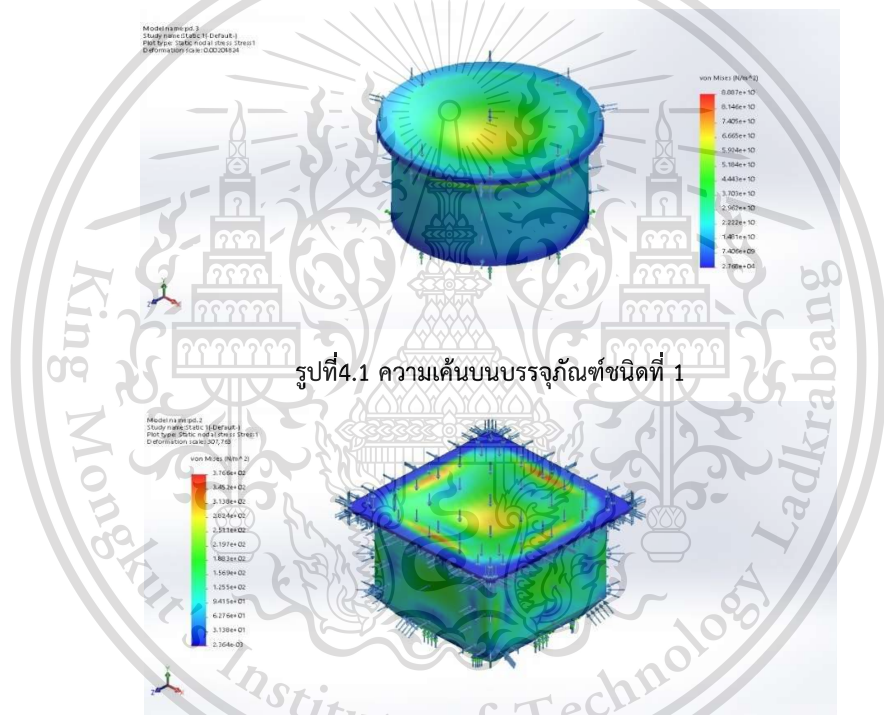
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

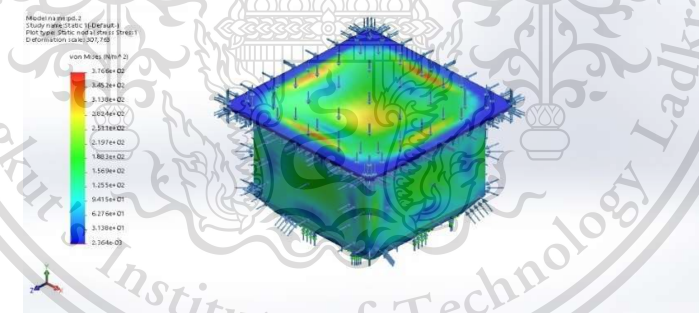
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ความเค้นจากความดัน 600 MPa ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

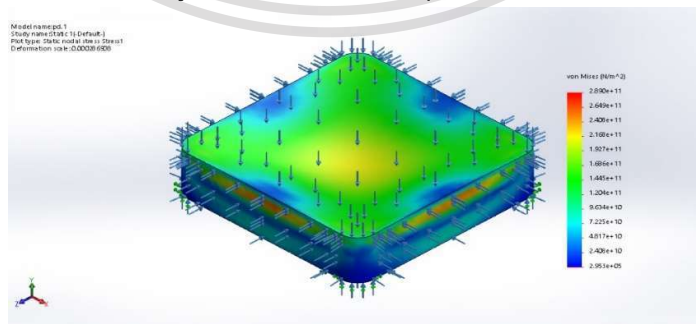
ชนิดบรรจุภัณฑ์	Min (N/m ²)	Max (N/m ²)
1	2.953e+05	8.887e+10
2	2.364e-03	3.766e+02
3	2.953e+05	2.890e+11
4	8.215e+04	1.811e+11
5	5.078e+06	3.064e+12



รูปที่ 4.1 ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 1



รูปที่ 4.2 ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2

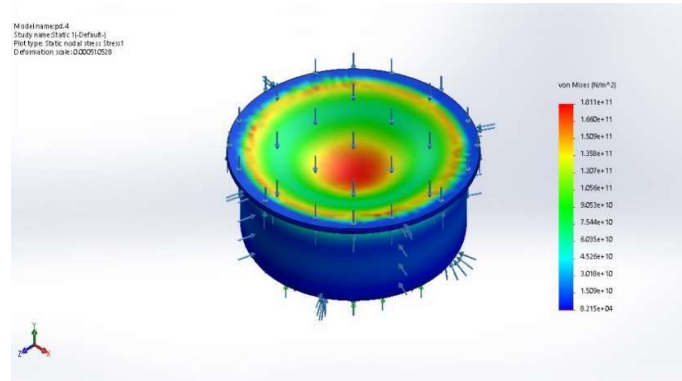


รูปที่ 4.3 ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3

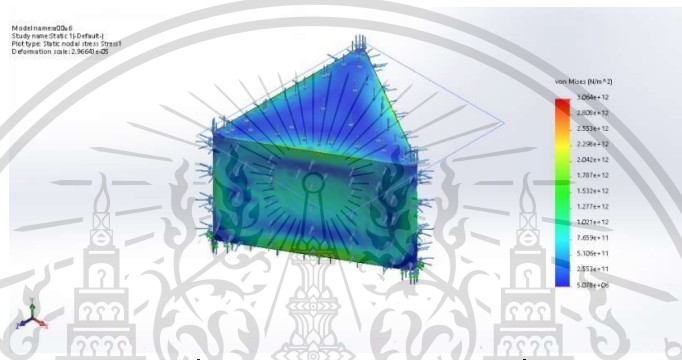
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่4.4 ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 4



รูปที่4.5 ความเค้นบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5

4.1.3 ระยะขจัด (Displacement)

หลังจากการ Simulation พบว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3 มีระยะขจัดที่บิดงอกลงไปมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3 มีการเสียรูปขณะได้รับความดันมากที่สุด ในขณะที่เดียวกัน บรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2 มีระยะขจัดที่บิดงอกลงไปน้อยที่สุด แสดงในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่ามีการเสียรูปขณะได้รับความดันน้อยที่สุด โดยระยะขจัดของบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดแสดงในตารางที่3

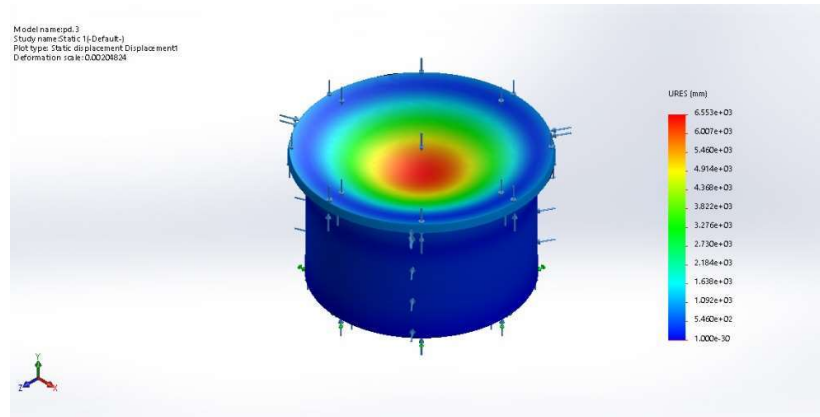
ตารางที่4.3 ระยะขจัดที่เกิดจากความดัน 600 MPa กระทำบนชิ้นงาน

ชนิดบรรจุภัณฑ์	Min (mm)	Max (mm)
1	0.000e+00	6.553e+03
2	0.000e+00	3.574e-05
3	0.000e+00	3.957e+04
4	0.000e+00	3.134e+04
5	0.00e+00	4.176e+05

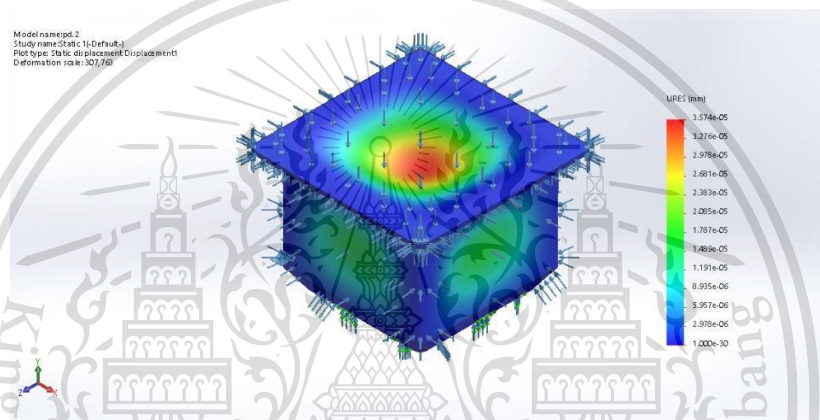
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

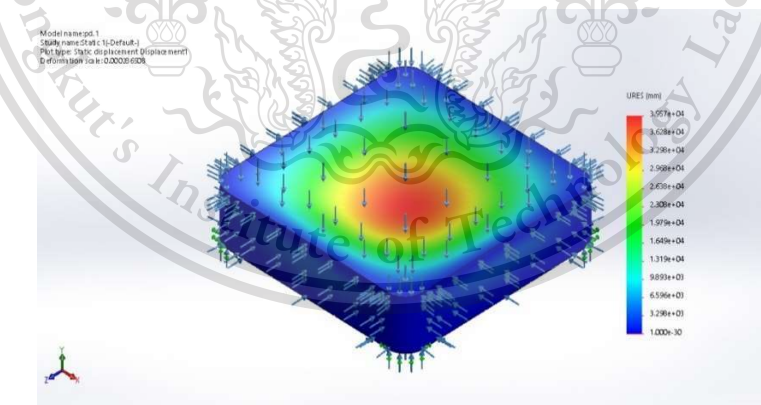
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 ระยะขจัดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 1



รูปที่ 4.7 ระยะขจัดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2

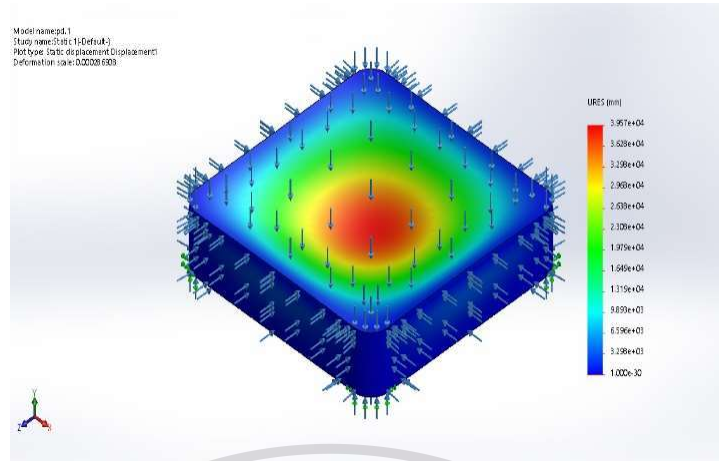


รูปที่ 4.8 ระยะขจัดของบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3

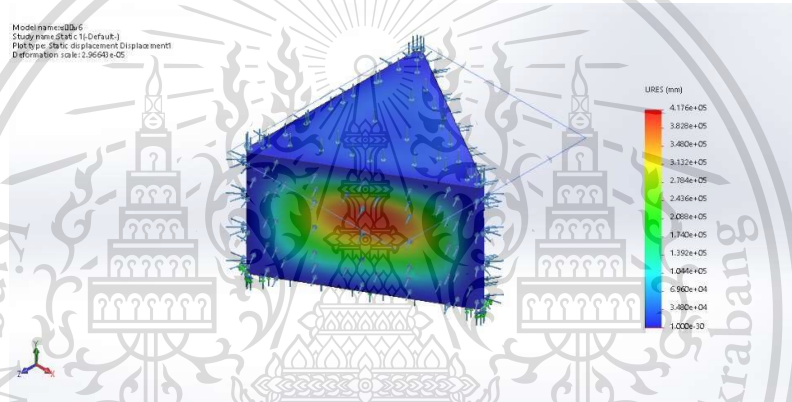
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 ระยะขจัดของบรรจุกณ์ชชนิดที่ 4



รูปที่ 4.10 ระยะขจัดของบรรจุกณ์ชชนิดที่ 5

4.1.4 ความเครียด (Strain)

หลังจากการ Simulation พบว่าบรรจุกณ์ชชนิดที่ 2 มีความเครียดที่กระทำกับชิ้นงานสูงสุดเท่ากับ $7.326e-08$ รูปที่ 4.10 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความเครียดของวัสดุทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการเสียรูปเมื่อเทียบกับชิ้นงานชนิดอื่น ๆ ที่มีค่าความเครียดที่กระทำกับชิ้นงานมากกว่าค่าความเครียดของวัสดุ จึงอาจเกิดการเสียรูปได้โดยเฉพาะบรรจุกณ์ชชนิดที่ 3 ที่มีความเครียดสูงสุดเท่ากับ $7.038e+01$ รูปที่ 4.11 เป็นค่าความเครียดที่มากที่สุดในตัวอย่างบรรจุกณ์ช โดยระยะขจัดของบรรจุกณ์ชทุกชนิด ความเครียดของบรรจุกณ์ชทุกชนิด แสดงในตารางที่ 4

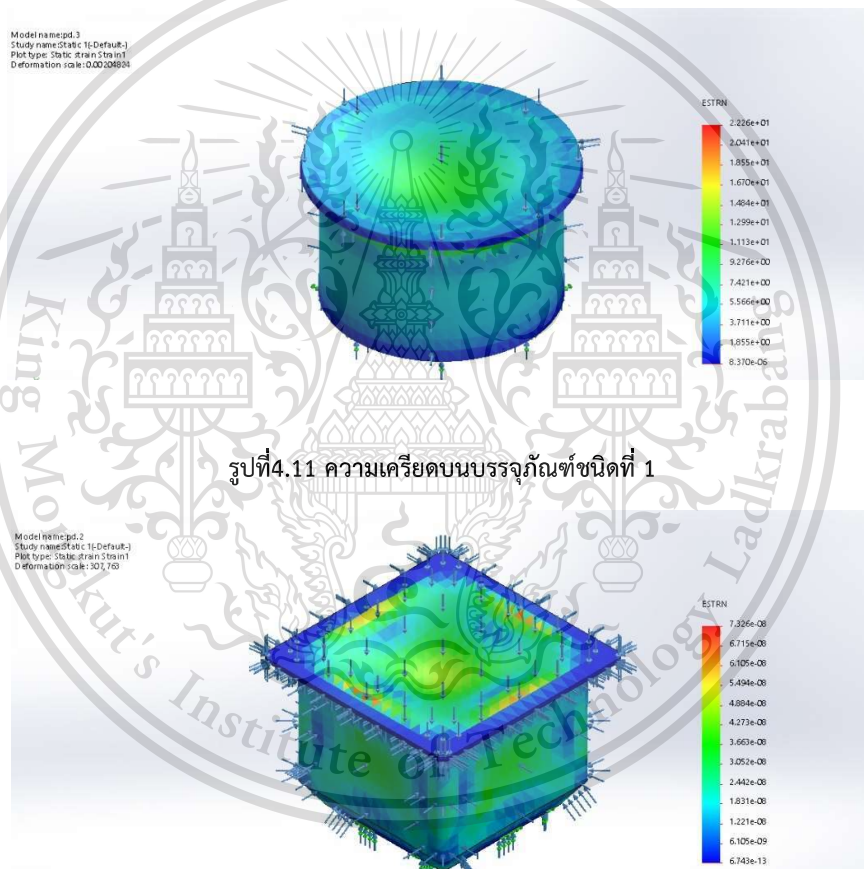
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 ความเครียดที่เกิดจากความดัน 600 MPa กระทำลงบนชิ้นงาน

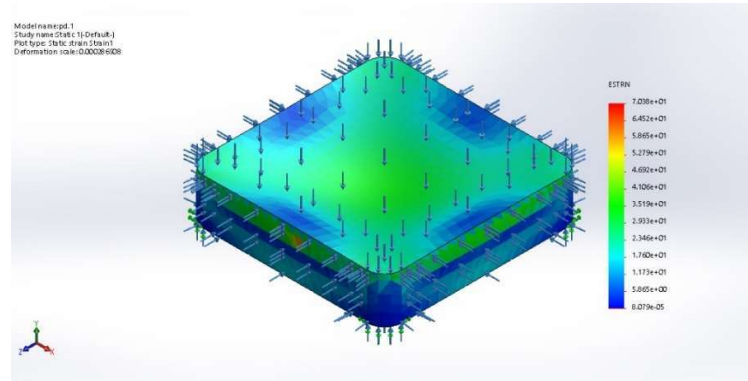
ชนิดบรรจุภัณฑ์	Min	Max
1	8.370e-06	2.226e+01
2	6.743e-13	7.326e-08
3	8.079e-05	7.038e+01
4	3.502e-05	3.727e+01
5	2.081e-03	4.674e+02



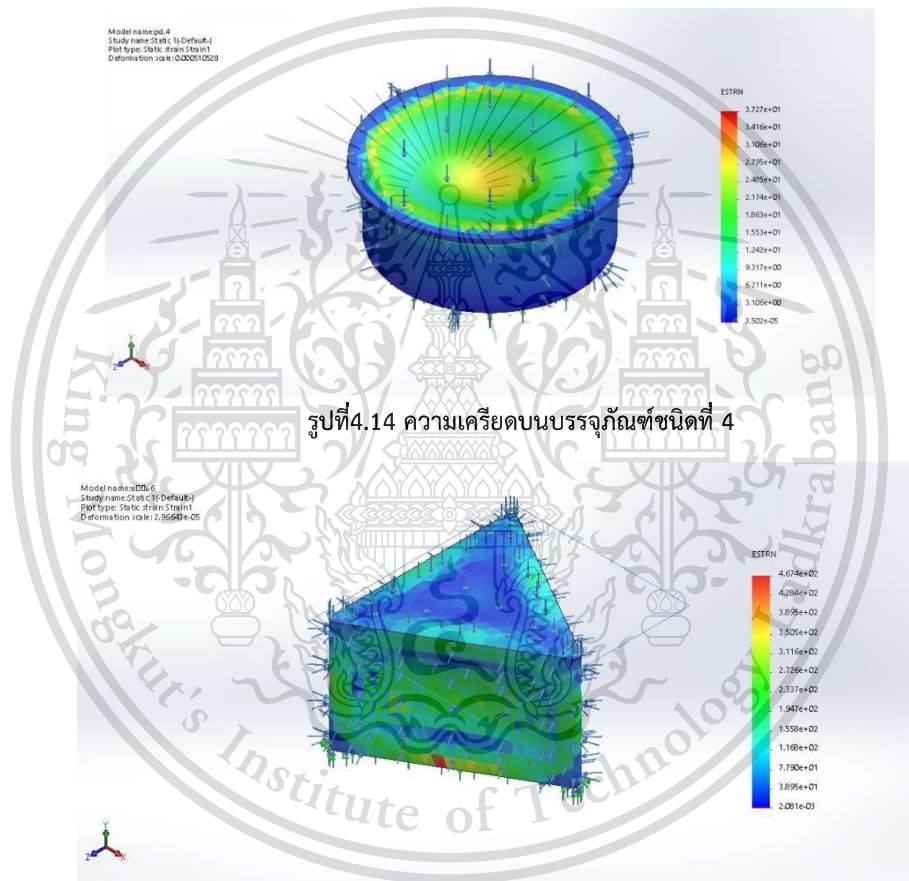
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่4.13 ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 3



รูปที่4.14 ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 4

รูปที่4.15 ความเครียดบนบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5

4.1.5 Elastic modulus

พบว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5 มีค่าอิลาสติกยั้งโมดูลัสมากที่สุดเท่ากับ $6.555e+02 \text{ N/m}^2$ แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 5 มีความสามารถในการคืนรูปหลังจากได้รับความเค้นจากความดันที่มากกระทำระหว่างกระบวนการได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ค่าอิลาสติกโมดูลัสเอกสารนี้เป็นเอกสารของบรรจุภัณฑ์แสดงเนตารางที่ 4.5 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

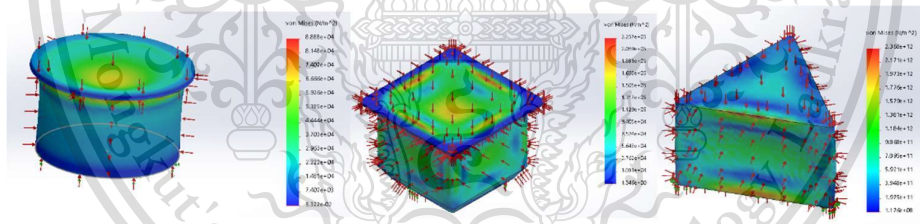
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ค่าอีลาสติคโมดูลัสของแต่ละบรรจุภัณฑ์

ชนิดบรรจุภัณฑ์	E (N/m ²)
1	3.992e+09
2	5.140e+09
3	4.106e+09
4	4.859e+09
5	6.555e+09

4.2 การเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ที่มีพื้นที่เท่ากันแต่รูปทรงต่างกัน

จากการพิจารณาบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 รูปทรง ได้แก่ ทรงกระบอก สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม ที่กำหนดให้มีพื้นที่เท่ากัน นำมาเปรียบเทียบความสามารถในการรับความเค้น พบว่าบรรจุภัณฑ์ทรงกระบอกดูเหมือนจะสามารถรับแรงเค้นได้ดีเพราะกระจายแรงได้อย่างเหมาะสม แต่มีความเค้นสูงเกิดขึ้นตรงบริเวณข้างใต้ฝามากเกินกว่าที่วัสดุของบรรจุภัณฑ์จะรับไหว ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่เป็นเหลี่ยมตรงมุมจะเกิดความเค้นสูง โดยบรรจุภัณฑ์สามเหลี่ยมจะมีความเค้นเกิดขึ้นบริเวณเหลี่ยมของบรรจุภัณฑ์มากกว่า Tensile stress ของวัสดุที่ใช้ รูปทรงที่รับแรงได้ดีที่สุดในการเปรียบเทียบครั้งนี้คือทรงสี่เหลี่ยมที่มีความเค้นเกิดขึ้นแต่ไม่เกิน Tensile stress ของวัสดุที่ใช้



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ที่มีพื้นที่เท่ากันแต่รูปร่างต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 บรรจุภัณฑ์ชนิดที่ 2 สามารถรับความเค้นและความเครียดที่มากระทำได้โดยไม่ทำให้เกิดการเสียหายหรือเสียรูปร่าง และมีความสามารถในการคืนตัวที่ดี เหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

5.1.2 รูปร่างมีผลต่อความสามารถในการรับแรงดันภายนอกที่มากระทำต่อบรรจุภัณฑ์แม้ว่าจะมีพื้นที่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการคำนวณความแข็งแรงของชิ้นงานด้วยโปรแกรม Solidworks ควรคำนึงถึงรอยต่อระหว่างชิ้นงานเพื่อผลลัพธ์ที่แม่นยำขึ้น

5.2.2 ในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์นอกจากรูปร่าง ควรพิจารณาถึงความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่นำมาบรรจุด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- ชนาวดี ลีจากภัย. 2547. “ขวด PET.” *Polymer Science*. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
ปรีชา พหลเทพ. 2535. โพลีเมอร์ HIGH POLYMERS. มหาวิทยาลัยรามคำแหง
มยุรา ปรารณาเปลี่ยน. 2562. “HPP เทคโนโลยีแปรรูปอาหารอนาคต.” *NFI FOOD
INNOVATION ISSUE*. สถาบันอุตสาหกรรมอาหาร
ฤทธิชัย อัครราชันย์. 2559. “ผลของการใช้ความดันสูงในการทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ของ
จุลินทรีย์ในอาหาร.” *คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
สำนักงานอาหารและยา*. 2562. “เกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์
ด้วยการใช้ความดันสูง (High-Pressure Processing (HPP)).”
อุทัย มีคำ. 2535. “การทดสอบวัสดุพอลิเมอร์.” *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*
Barbosa C. GV, Juliano P 2007. Food sterilization by combining high pressure and heat.
In: Gutierrez-Lo´pez GF, Barbosa-Canovas G, Welti-Chanes J, Paradas-Arias E
(eds) *Food engineering. Integrated approaches*. Springer, New York. 9–46
Designil. 2019. “DETI Company.” [Online]. Available: [http://www.deti.co.th/
course/](http://www.deti.co.th/course/)
Galotto, M. J. Ulloa, P. Escobar, R. Guarda, A. Gavara, R. and Miltz, J. 2010. “Effect of
High-Pressure Food Processing on the Mass Transfer Properties of Selected
Packaging Materials.” *PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE*. 23 : 253-266
Welle, F. 2011. “Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview.”
Resources, Conservation and Recycling. 55 : 865-875
Juliano, P. Koutchma, T. Sui, O. S. and V Barbosa- Cánovas, G. 2010. “Polymeric-
Based Food Packaging for High-Pressure Processing.” *Food Engineering
Reviews*. 2(4): 274-297.
Juliano, P. 2006. “High pressure thermal sterilization of egg products.” PhD
Dissertation, Washington State University. Pullman
kurowski, P. M. 2013. *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013*. New
York : Stephen Schroff
Lambert, Y. Demazeau, G. Largeteau, A. Bouvier, J. M. Laborde-Croubit, S. and
Cabannes, M. 2000. “Packaging for High-pressure Treatments in the Food
Industry.” *Packag. Technol. Sci*. 13: 63-71.
Mertens, B. 1993. “Packaging Aspects of High-pressure Food Processing Technology.”
PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE. 6 : 31 -36.
Nithikamjanatharn, J. Sukrueangkul, W. and Wasanbongngem N. 2018. “Analysis
Shrinkage of Recycle Plastic Injection Molding by using Taguchi Methodology.”
Faculty of Engineering and Architecture. Rajamangala University of Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Sanchez, IC. Cho, J. and Chen, WJ. 1993. "Universal response of polymers, solvents, and solutions to pressure." *Macromolecules*. 26: 4234–4241
- Speight, J. Lange, G. and Norbert, A. 2005. "Lange's Handbook of Chemistry." McGraw-Hill, ed. 16th : 2807–2758.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



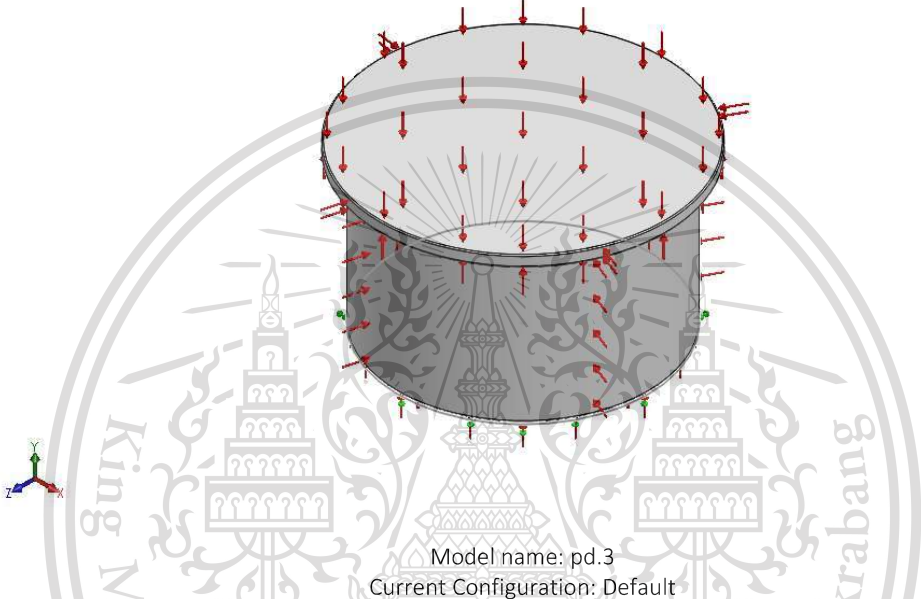
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

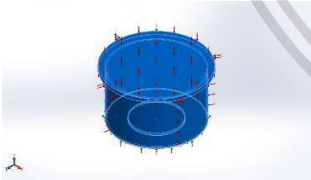
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Assumptions บรรณานุกรมที่ 1

Model Information



Model name: pd.3
Current Configuration: Default

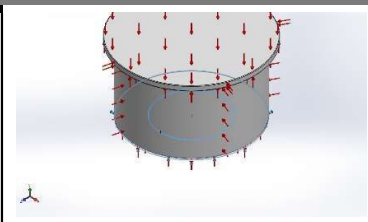
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Fillet9 	Solid Body	Mass:0.198019 kg Volume:0.00013945 m ³ Density:1,420 kg/m ³ Weight:1.94058 N	C:\Users\USER\Desktop\Project\pd.3.SLDPRT May 21 16:22:36 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 2 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	878.667	282,882	-1,446.37	282,887
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 6 face(s) Type: Normal to selected face Value: 600 Units: N/mm ² (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	878.667	282,882	-1,446.37	282,887

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

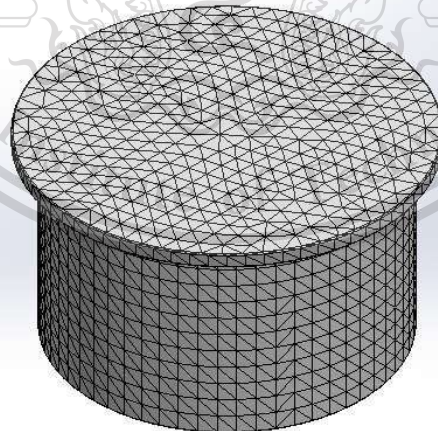
Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	6.34107 mm
Tolerance	0.317054 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	18468
Total Elements	9396
Maximum Aspect Ratio	20.319
% of elements with Aspect Ratio < 3	37.3
% of elements with Aspect Ratio > 10	3.09
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:07
Computer name:	

Model name: pd.3
 Study name: Static 1(-Default-)
 Mesh type: Solid Mesh



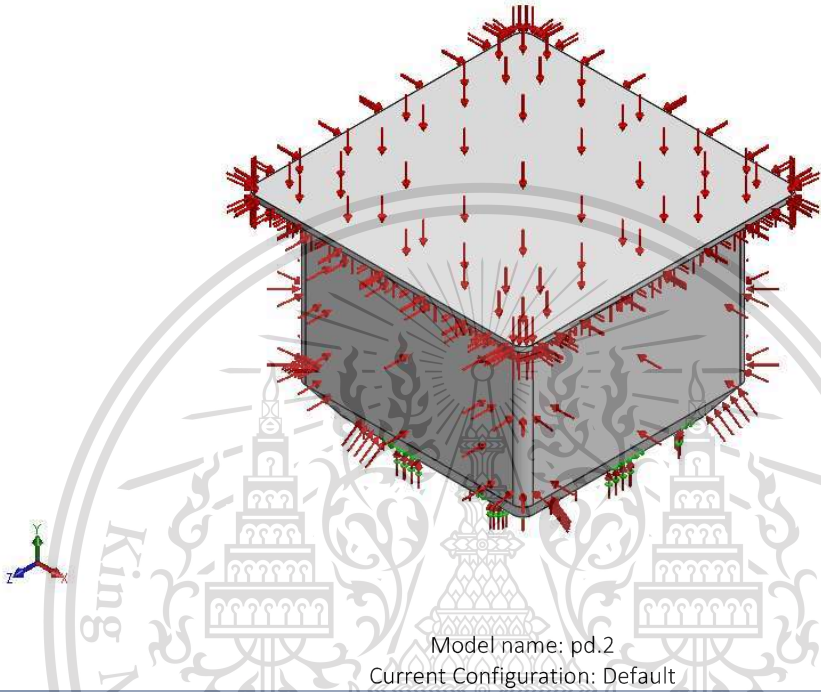
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

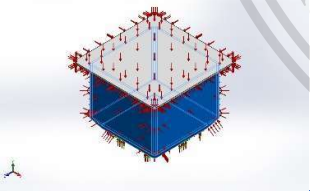
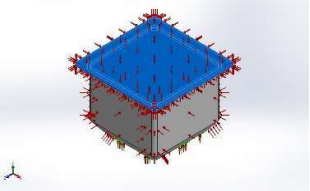
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Assumptions บรรณานุกรมที่ 2

Model Information



Model name: pd.2
Current Configuration: Default

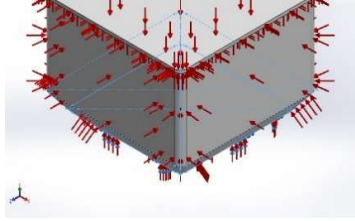
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Shell3 	Solid Body	Mass:0.087556 kg Volume:6.1657e-05 m ³ Density:1,420.05 kg/m ³ Weight:0.858049 N	C:\Users\USER\Desktop\Project\pd.2.SLDPRT May 22 18:36:59 2021
Boss-Extrude4 	Solid Body	Mass:0.0382655 kg Volume:2.69475e-05 m ³ Density:1,420 kg/m ³ Weight:0.375002 N	C:\Users\USER\Desktop\Project\pd.2.SLDPRT May 22 18:36:59 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	9.69755e-06	5.24567e-07	1.15556e-05	1.50947e-05
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 28 face(s) Type: Normal to selected face Value: 1 Units: N/m ² Phase Angle: 0 Units: deg

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	9.69755e-06	5.24567e-07	1.15556e-05	1.50947e-05

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

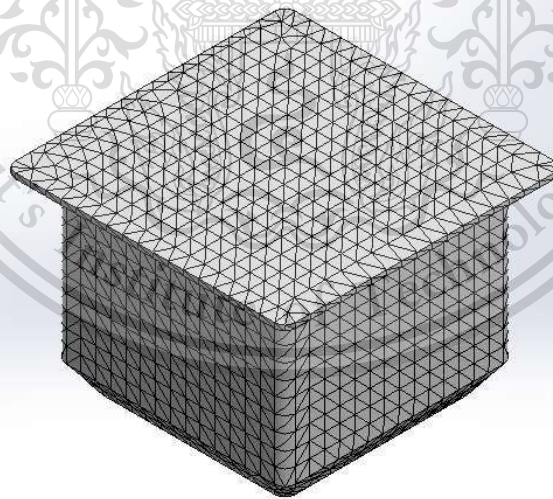
Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	5.98591 mm
Tolerance	0.299296 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	17056
Total Elements	8607
Maximum Aspect Ratio	15.285
% of elements with Aspect Ratio < 3	26.5
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.186
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:05
Computer name:	

Model name: pd.2
Study name: Static 1(-Default-)
Mesh type: Solid Mesh



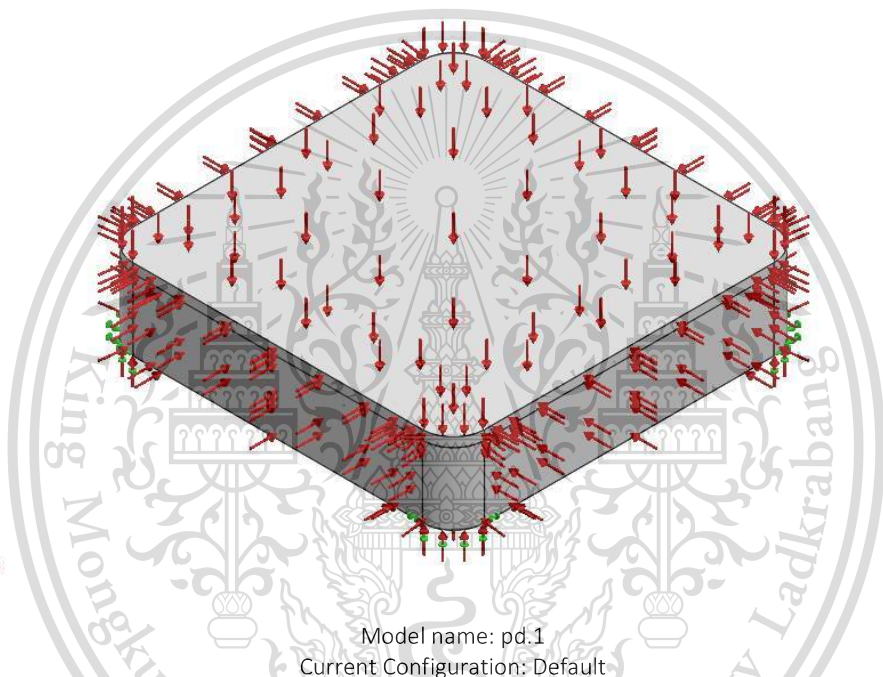
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

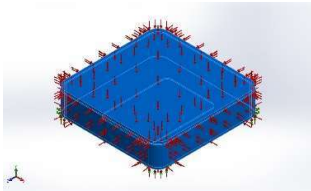
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Assumptions บรรจุภัณฑ์ที่ 3

Model Information



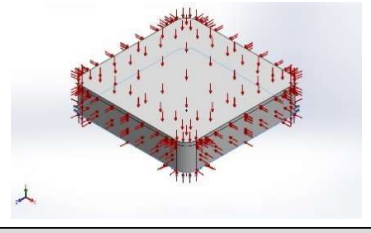
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Boss-Extrude6 	Solid Body	Mass:0.0926806 kg Volume:6.5268e-05 m ³ Density:1,420 kg/m ³ Weight:0.90827 N	C:\Users\USER\Desktop\Project\pd.1.SLDPRT May 16 16:06:22 2021


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	308.621	-1,467.71	-1,662.42	2,238.98
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 18 face(s) Type: Normal to selected face Value: 600 Units: N/mm ² (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	308.621	-1,467.71	-1,662.42	2,238.98

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

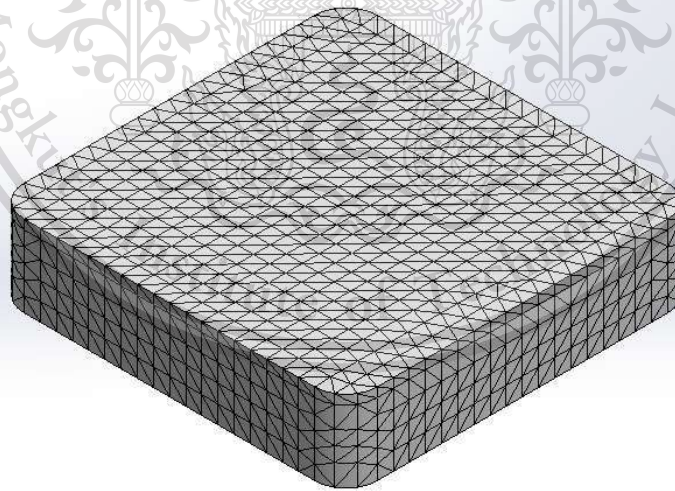
Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	5.34669 mm
Tolerance	0.267335 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	15575
Total Elements	7792
Maximum Aspect Ratio	16.056
% of elements with Aspect Ratio < 3	40.4
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.193
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:07
Computer name:	

Model name: pd.1
Study name: Static 1(-Default-)
Mesh type: Solid Mesh



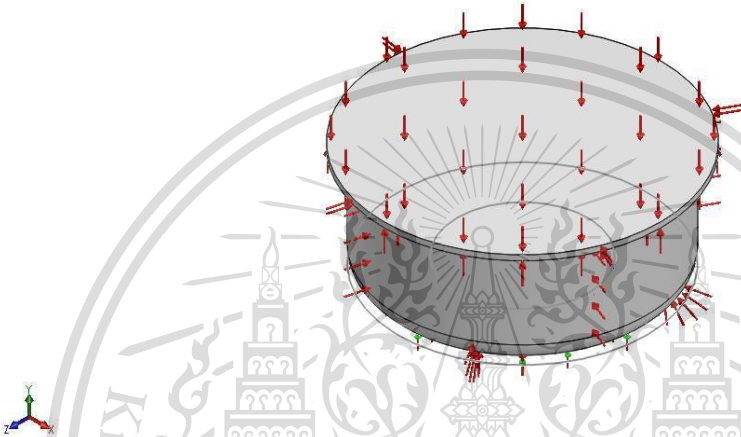
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.


Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Assumptions บรรณานุกรมที่ 4

Model Information



Model name: pd.4
Current Configuration: Default

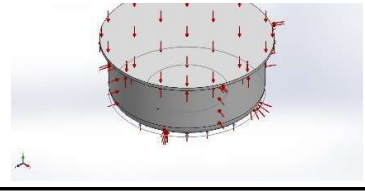
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Boss-Extrude3 	Solid Body	Mass:0.32309 kg Volume:0.000227528 m ³ Density:1,420 kg/m ³ Weight:3.16628 N	C:\Users\USER\Desktop\Project\pd.4.SLDPRT May 22 23:54:49 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 2 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-34.9141	-4,621.94	1,266.78	4,792.52
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details		
Pressure-1		Entities: 8 face(s) Type: Normal to selected face Value: 600 Units: N/mm ² (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg		

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-34.9141	-4,621.94	1,266.78	4,792.52

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

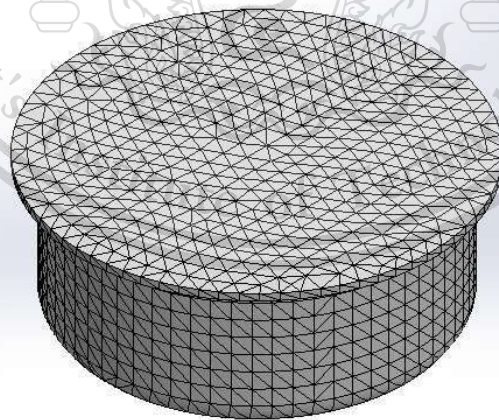
Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	6.85147 mm
Tolerance	0.342574 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	16652
Total Elements	8537
Maximum Aspect Ratio	20.827
% of elements with Aspect Ratio < 3	90.8
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.082
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:06
Computer name:	

Model name:pd.4
Study name:Static 1(-Default-)
Mesh type: Solid Mesh



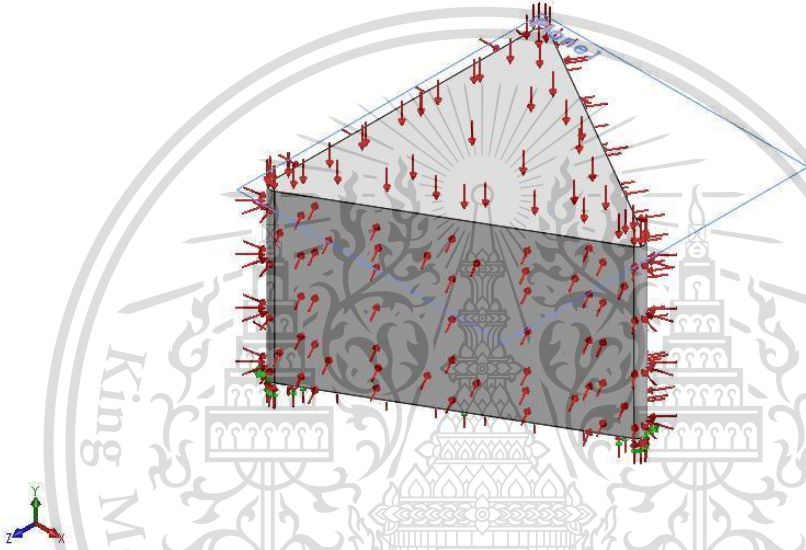
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

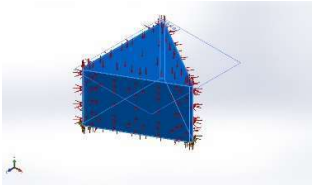
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Assumptions บรรจุภัณฑ์ที่ 5

Model Information



Model name: ชั้น6
Current Configuration: Default

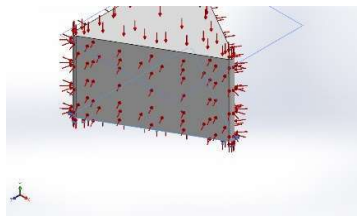
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Boss-Extrude3 	Solid Body	Mass:0.0316751 kg Volume:2.23064e-05 m ³ Density:1,420 kg/m ³ Weight:0.310416 N	C:\Users\USER\Desktop\Project\ชั้น6.SLDPRT

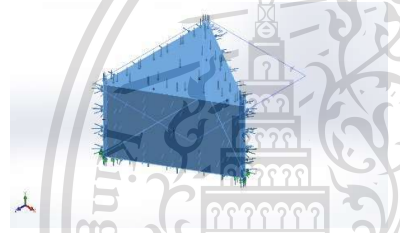
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	3,577.48	24.2148	1,356.53	3,826.11
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 8 face(s) Type: Normal to selected face Value: 600 Units: N/mm ² (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	3,577.48	24.2148	1,356.53	3,826.11

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

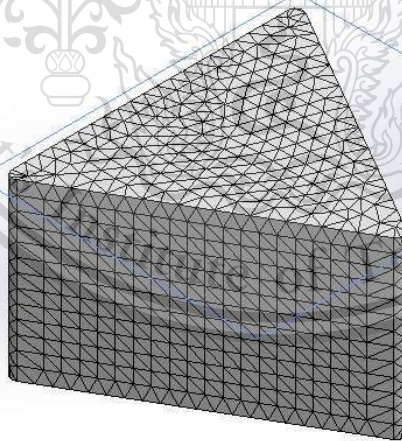
Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	5.52295 mm
Tolerance	0.276147 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	23064
Total Elements	13296
Maximum Aspect Ratio	77.464
% of elements with Aspect Ratio < 3	0.278
% of elements with Aspect Ratio > 10	65.3
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:07
Computer name:	

Model name: ๓0๖6
 Study name: Static 1[-Default-]
 Mesh type: Solid Mesh



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.