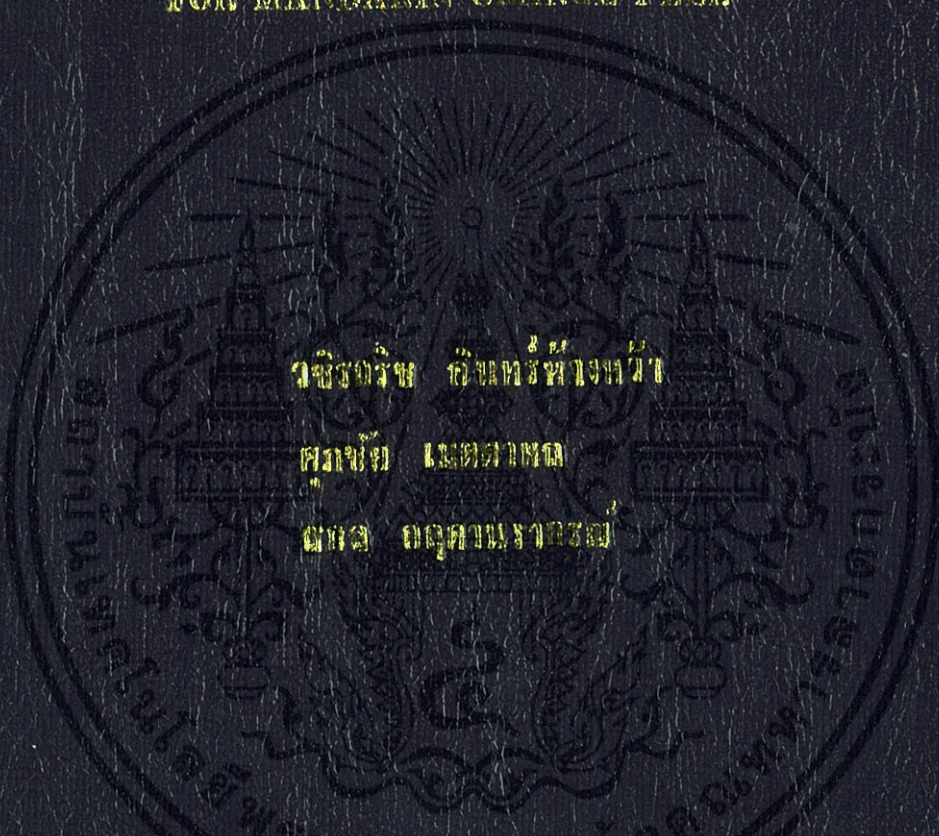


การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มเขียวหวานด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด  
ใน ๒ ขั้นตอน  
TWO-STAGE SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION  
FOR MANDARIN ORANGE PEEL



วชิรวิภา อังพรหาญ  
ศุภชัย เมธีกานต์  
ณกุล อรุณราชรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

การสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด  
สำหรับเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

TWO-STAGE SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION  
FOR MANDARIN ORANGE PEEL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรนำมาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหานี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TWO-STAGE SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION  
FOR MANDARIN ORANGE PEEL



WACHIRAKRIT INHANGWA  
SUPACHAI METTAPON  
SAKOL KIDDANARAKRON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อปี 2013 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด  
สำหรับเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง  
TWO-STAGE SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION  
FOR MANDARIN ORANGE PEEL

ผู้จัดทำ

1. นายชกรวิช อินทร์หังหว่า รหัส 53011384
2. นายศุภชัย เมตตาทพล รหัส 53011595
3. นายสกล กฤตงานรากรณ์ รหัส 53011621



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สยาม สงวนรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด สำหรับเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

นายวชิรกริช	อินทร์ห้างหว้า	53011384
นายศุภชัย	เมตตาพล	53011595
นายสกล	กฤตานุราภรณ์	53011621
อาจารย์สยาม	สงวนรัมย์	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด และหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยออกจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง ข้อดีของกระบวนการนี้คือสามารถรักษาสภาพของน้ำมันหอมระเหยทั้ง กลิ่น สี และคุณสมบัติอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี เครื่องนี้ออกแบบเพื่อให้ทนต่อสถานะการทำงานที่ความดันสูงถึง 30 เมกะปาสกาล ตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้สกัด การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มใช้ความดันตั้งแต่ 10 ถึง 14 เมกะปาสกาล อุณหภูมิตั้งแต่ 35 ถึง 45 องศาเซลเซียส และเวลาดังแต่ 1 ถึง 3 ชั่วโมง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้งด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด 1.7 กรัม น้ำมันหอมต่อ 100 กรัมเปลือกส้ม ที่ความดัน 12 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

คำหลัก: คาร์บอนไดออกไซด์, วิกฤตยิ่งยวด, น้ำมันหอมระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Two-stage supercritical carbon dioxide extraction for mandarin orange peel

Wachirakrit	Inhangwa	53011384
Supachai	Mettapon	53011595
Sakol	Kiddanarakron	53011621
Sayam	Saguanrum	Advisor
Year 2556		

### ABSTRACT

This project is to construct a fragrance oil extractor using supercritical carbon dioxide, and extract pure fragrance oil from mandarin orange peel. This technique preserves aroma, freshness and flavor of organic fragrant compound. The extractor is designed to operate up to 30 MPa. There are three variables influencing to extract the fragrance oil - pressure, temperature and extraction time. The experiment is varied pressure from 10 to 14 MPa, temperature from 35 to 45 °C and extraction time from 1 to 3 hours.

The results show that the selectivity for extracting the mandarin fragrance oil using supercritical carbon dioxide is at 12 MPa and 40 °C with 2-hour extraction time.

Keywords: carbon dioxide, supercritical, fragrance oil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์สยาม สวงนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ที่ให้คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมา ซึ่งต้องขอขอบคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ดร.เอกพจน์ ตันตราภิญโญ  
ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น และดร.บำรุง พ่วงเกิด กรรมการสอบหัวข้อและโครงสร้างปริญญานิพนธ์ที่กรุณาให้  
คำแนะนำ จนในที่สุดทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้  
สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรัก คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากสิ่ง  
เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาของข้าพเจ้าทั้งหลาย และครูอาจารย์  
ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าทั้งหลาย ตลอดจนอุทิศ  
ถวายเป็นพระราชกุศลแด่พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพล  
อดุลยเดช อุทิศแด่เจ้าพระยาสุรวงศ์ไวยวัฒน์ (วร บุนนาค) ท่านเลี่ยมและหลวงพรตพิทยพยัต และสิ่ง  
ศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่เกี่ยวข้องกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วชิรกริช อินทร์ห้างหว่า  
ศุภชัย เมตตาพล  
สกล กฤदानรารณณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อคัดย่อภาษาไทย .....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ii
กิตติกรรมประกาศ .....	iii
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา .....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 การสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด .....	3
2.2 คุณสมบัติของของไหลวิกฤตยิ่งยวด .....	5
2.3 ทฤษฎีความเค้นผิวนิ่งสำหรับการออกแบบเครื่องสกัดขั้นที่สอง .....	6
2.4 ทฤษฎีการโค้งตัวของเสา .....	7
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบ .....	8
3.1 การออกแบบรูปแบบของเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอน .....	8
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	9
3.3 การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอน .....	9
3.4 การคำนวณความทนทานต่อความดันของกระบอกสูบ .....	10
3.5 การคำนวณการโค้งตัวของเพลาลูกสูบ .....	11
3.6 การคำนวณขนาดแม่แรง .....	12
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง .....	13
4.1 แนวทางการทดลอง .....	13
4.2 ขั้นตอนการทดลอง .....	13
4.3 ผลการทดลอง .....	13
4.3.1 การทดลองหาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด .....	13
4.3.2 การทดลองหาความดันที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด .....	14
4.3.3 การทดลองหาเวลาที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด .....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง .....	17
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	17
5.2 สรุปผลการทดลอง .....	17
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ .....	17
เอกสารอ้างอิง .....	18
ภาคผนวก ก .....	19
ภาคผนวก ข .....	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิวิกฤต ความดันวิกฤต และความหนาแน่นวิกฤตของสารบริสุทธิ์ .....	5
ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลองหาอุณหภูมิ .....	14
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองหาความดัน .....	15
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองหาเวลา .....	16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงสถานะของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ .....	4
รูปที่ 2.2 แสดงความเค้นตามแนวแกน แนวเส้นรอบวง และแนวรัศมี .....	6
รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอน .....	8
รูปที่ 3.2 ภาพจริงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหย .....	9
รูปที่ 3.3 แสดงความเค้นในแนวต่าง ๆ ของท่อผนังหนา .....	10
รูปที่ 3.4 แสดงการโก่งตัวของเสาแบบยึดสองด้าน .....	11
รูปที่ 3.5 แผนภาพวัตถุอิสระของแรงภายในกระบอกสูบ .....	12
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักรีดน้ำมันหอมระเหย ร้อยละน้ำหนักรีด และอุณหภูมิในการสกัด .....	14
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักรีดน้ำมันหอมระเหย ร้อยละน้ำหนักรีด และความดันในการสกัด .....	15
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักรีดน้ำมันหอมระเหย ร้อยละน้ำหนักรีด และเวลาในการสกัด .....	16
รูปที่ ก.1 แผนผังวัตถุอิสระของแรงที่กระทำบนการสูบ .....	22
รูปที่ ก.2 แสดงกฎปาสกาล .....	23
รูปที่ ก.3 แผนภาพวัตถุอิสระแรงที่กระทำกับคาน .....	23
รูปที่ ข.1 ส่วนล่างของกระบอกสูบ .....	25
รูปที่ ข.2 บุขทองเหลือง .....	26
รูปที่ ข.3 ส่วนบนของกระบอกสูบ .....	27
รูปที่ ข.4 ลูกสูบ .....	28
รูปที่ ข.5 ก้านสูบ .....	29
รูปที่ ข.6 แสดงชิ้นส่วนของกระบอกสูบ .....	30
รูปที่ ข.7 ถ้วยรองรับน้ำมัน .....	31
รูปที่ ข.8 ฝาปิดถ้วยรองรับน้ำมัน .....	32
รูปที่ ข.9 กรวยรองรับน้ำมัน .....	33
รูปที่ ข.10 แสดงการประกอบถ้วย .....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากการสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ดอก ใบ ผล เปลือก ลำต้น ราก และเหง้า เป็นต้น ลักษณะทั่วไปเป็นของเหลวใส มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชแต่ละชนิด

กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด จะเริ่มจากการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถังเก็บเข้าสู่ถังความดันสูงที่มีเปลือกส้มสายน้ำผึ้งเป็นวัตถุดิบในการสกัด มีความดัน สูงเกินความดันวิกฤต (7.29 เมกะปาสกาล) และมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิวิกฤต (31.3 องศาเซลเซียส) ของคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะมีสถานะเป็นของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องไม่มากนัก การสกัดด้วยวิธีนี้จึงเป็นการร่นอกกลิ่นของน้ำมันหอมได้ใกล้เคียงกับธรรมชาติ เมื่อของไหลคือคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดถูกอัดในถังสกัด ความดันในถังจะคงที่ในระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ของไหลดังกล่าวแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของเปลือกส้มในการสกัด น้ำมันหอมออกมา หลังจากนั้นวาล์วเข็มจะถูกเปิดออกเพื่อลดความดันของถังสกัดสู่ความดันบรรยากาศ จะได้น้ำมันหอมระเหยเจือกับน้ำที่แยกชั้นกันอยู่

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. นำความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติมาสร้างเครื่องสกัดน้ำมันหอมที่สถานะวิกฤตยิ่งยวด
2. เพื่อสร้างเครื่องสกัดน้ำมันหอมที่ความดันสูงขึ้นโดยใช้การอัดสองชั้น
3. เพื่อหาความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากส้มสายน้ำผึ้ง

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยสามารถสกัดวัตถุดิบที่ต้องการความดันสูงในการสกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้แสดงถึงขอบเขตการศึกษาและทดลองการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิและความดันที่เหนือจุดวิกฤตโดยใช้อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กัน รวมถึงเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์
2. ออกแบบเครื่องเพื่อทำการสกัด
3. กำหนดการทำความดันสูง
4. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการสกัดโดยมี อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้สกัด
5. ศึกษาวัตถุดิบที่จะนำมาสกัด
6. ทดลองสกัดวัตถุดิบและตรวจสอบอุปกรณ์
7. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

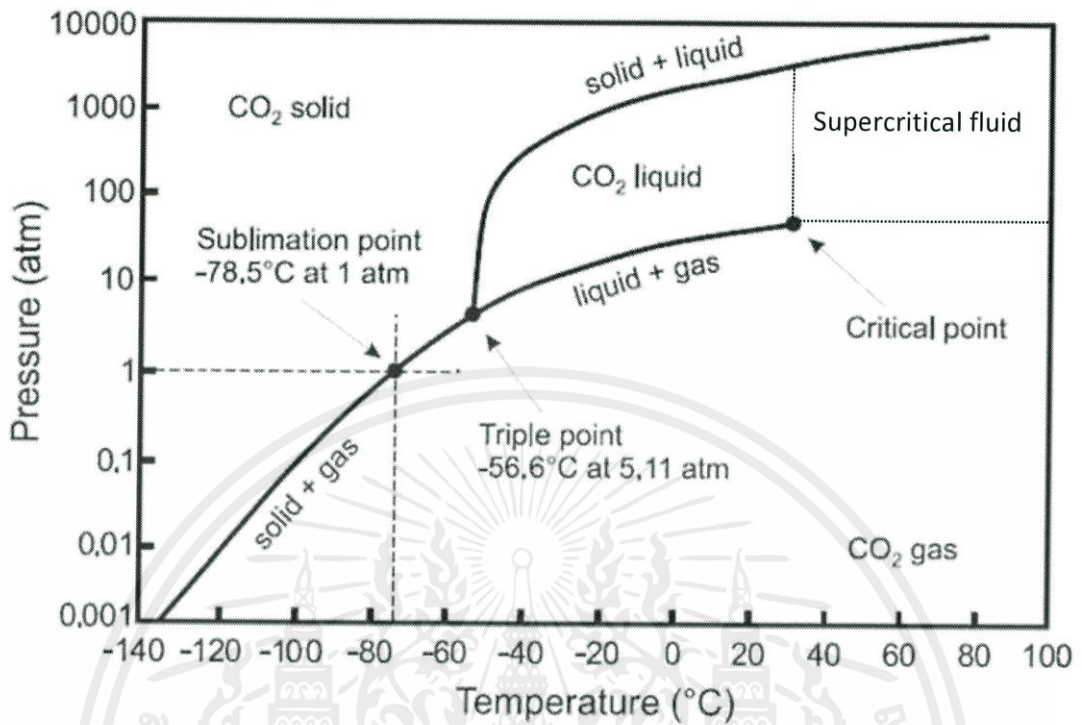
มีผู้คิดค้นวิธีสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดภายใต้แรงดันสูงเพื่อทำละลาย ให้สารหอมระเหยในพืชละลายในคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดแล้วจึงปล่อยให้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดระเหิดในสภาวะความดันปกติจะเหลือไว้แต่สารหอมระเหยจากพืช วิธีนี้จะได้สารหอมบริสุทธิ์ในสัดส่วนมาก มีความคงตัวสูงและสามารถเก็บไว้ได้นานมากกว่าวิธีสกัดอื่น ๆ แต่ข้อเสียคือมีเครื่องสกัดมีราคาสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ปัจจุบันสารระเหยที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีนี้ได้รับการยอมรับมากขึ้น นำมาใช้ในการบำบัดรักษาโรคโดยใช้กลิ่นหอมและอุตสาหกรรมน้ำหอมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากสารสกัดที่ได้มีคุณภาพบริสุทธิ์และไม่ผ่านความร้อน

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช ผลไม้ ดอกไม้ มีปัจจัยในการสกัดที่ต่างกันในแต่ละวัตถุดิบ เช่น ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงจำเป็นต้องมีการอบไล่ความชื้นออกก่อนเพื่อที่จะสามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ [1] และเมื่อขิงที่ใช้ในการสกัดมีขนาดที่เล็กก็จะส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดแทรกซึมเข้าไปในเนื้อขิงได้ดี ส่งผลให้ได้น้ำมันหอมในปริมาณที่มากขึ้นอีกด้วย ปัจจัยที่สำคัญในการสกัดคือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการสกัด [2]

#### 2.1 การสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด

คือการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด ในการสกัดสารจากวัตถุดิบที่สนใจ ซึ่งของไหลยิ่งยวดเกิดจากการเพิ่มความดัน และอุณหภูมิเกินจุดวิกฤต สารจะมีสถานะเป็นของไหลยิ่งยวดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิวิกฤต และความดันถึงความดันวิกฤต ณ จุดนี้สารจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวและก๊าซเป็นของไหลยิ่งยวด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้มีความสามารถในการสกัดน้ำมันหอมออกจากวัตถุดิบได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างของเหลวและก๊าซ เช่น มีความหนาแน่นเหมือนของเหลว แต่ความหนืดและการแพร่สู่วัตถุดิบเพื่อดึงสารสำคัญขณะสกัดได้ดีเหมือนก๊าซ และสามารถทำละลายวัตถุดิบได้ดีเหมือนของเหลว เป็นต้น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงสถานะของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ  
(รูปจาก [www.physics.utoronto.ca](http://www.physics.utoronto.ca) Physics of carbon dioxide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิวิกฤต 31.3 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าธาตุและสารประกอบตัวอื่น ๆ และมีความดันวิกฤต 7.29 เมกะปาสกาล ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ธาตุและสารประกอบ	สัญลักษณ์	อุณหภูมิวิกฤต (°C)	ความดันวิกฤต (MPa)	ความหนาแน่นวิกฤต (g/cm <sup>3</sup> )
คาร์บอนไดออกไซด์	CO <sub>2</sub>	31.3	7.29	0.448
แอมโมเนีย	NH <sub>3</sub>	132.4	11.25	0.235
น้ำ	H <sub>2</sub> O	374.15	21.83	0.315
ไนตรัสออกไซด์	N <sub>2</sub> O	36.5	7.11	0.45
ซีนอน	Xe	16.6	5.76	0.118
คริปทอน	Kr	-63.8	5.43	0.091
มีเทน	CH <sub>4</sub>	-82.1	4.58	0.2
อีเทน	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	32.28	4.81	0.203
เอทิลีน	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9.21	4.97	0.218
โพรเพน	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	96.67	4.19	0.217
เพนเทน	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	196.6	3.33	0.232
เมทานอล	CH <sub>3</sub> OH	240.5	7.89	0.272

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิวิกฤต ความดันวิกฤต และความหนาแน่นวิกฤตของสารบริสุทธิ์ต่าง ๆ [4,5]

## 2.2 คุณสมบัติของของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมันหอม

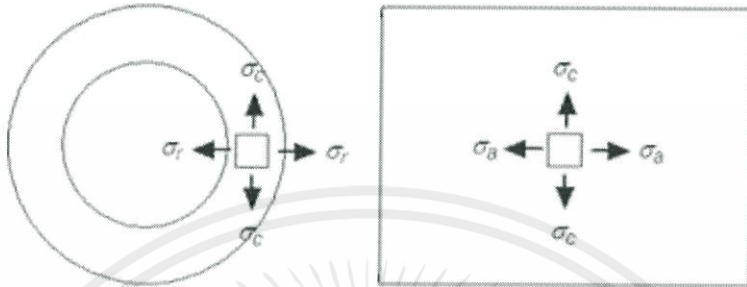
จากการที่ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีความหนืดต่ำและสัมประสิทธิ์การแพร่สูง เมื่อเทียบกับของไหลที่ j สถานะปกติ ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนของของแข็ง ซึ่งเป็นที่เก็บน้ำมันของสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลว ส่งผลให้มีอัตราการสกัดน้ำมันหอมสูง [4]

ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีคุณสมบัติที่เรียกว่า “การเลือกสกัด” (Selectivity) ที่สามารถปรับอุณหภูมิและความดัน เพื่อให้มีความสามารถในการละลายที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการสกัด ตัวอย่างเช่น เบตาแคโรทีนในสาหร่าย (*Dunaliella salina*) มีการเลือกสกัดที่เหมาะสมที่ความดัน 30 เมกะปาสกาล และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ทฤษฎีความเค้นผนังหนาสำหรับการออกแบบเครื่องสกัดชั้นที่สอง

จากทฤษฎีความเค้นผนังหนา [7] อุปกรณ์ที่ต้องสร้างความดันและถังความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ต้องมีความดันสูงมาก จึงออกแบบให้สามารถรับความดันสูง โดยการคำนวณความเค้นแบบผนังหนาในแนวต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความเค้นตามแนวแกน แนวเส้นรอบวง และแนวรัศมี

สมการความเค้นตามแนวแกน

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (2.1)$$

สมการความเค้นตามแนวรัศมี

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 - r_o^2 (p_o - p_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (2.2)$$

สมการความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

$$\sigma_c = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 - r_o^2 (p_o - p_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (2.3)$$

เมื่อ	$p_i$	คือ ความดันภายในกระบอก	(MPa)
	$p_o$	คือ ความดันภายนอกกระบอก	(MPa)
	$r_i$	คือ รัศมีภายในกระบอก	(m)
	$r_o$	คือ รัศมีภายนอกกระบอก	(m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ทฤษฎีการโก่งตัวของเสา

จากทฤษฎีการโก่งตัวของเสา [8] ก้านเสาต้องรับแรงตามแนวแกนมาก จากการสร้างความดัน

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (2.4)$$

$P_{cr}$	คือ แรงที่ทำให้เกิดการโก่งตัว	(N)
$E$	คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น	(Pa)
$I$	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่วงกลม	(m <sup>4</sup> )
$L_e$	คือ ความยาวสมมูลของเสา	(m)

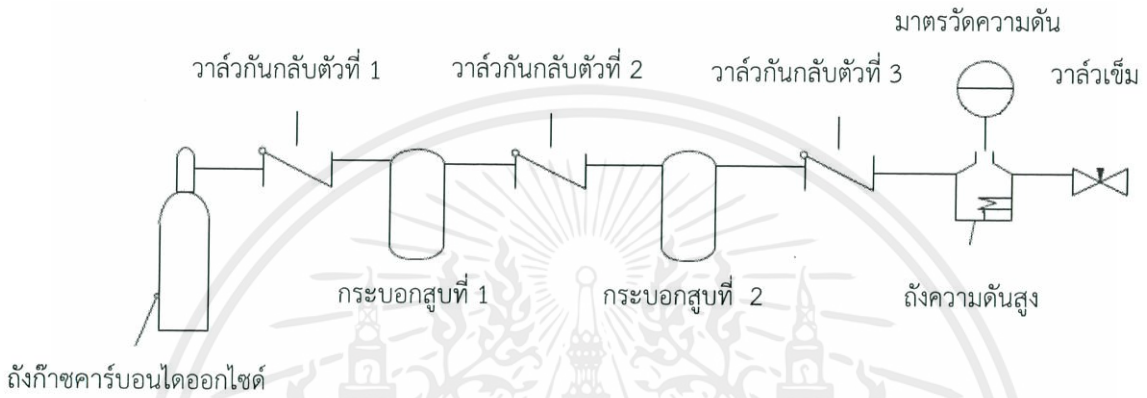


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ขั้นตอนการออกแบบ

### 3.1 การออกแบบรูปแบบของเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอน



รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอน

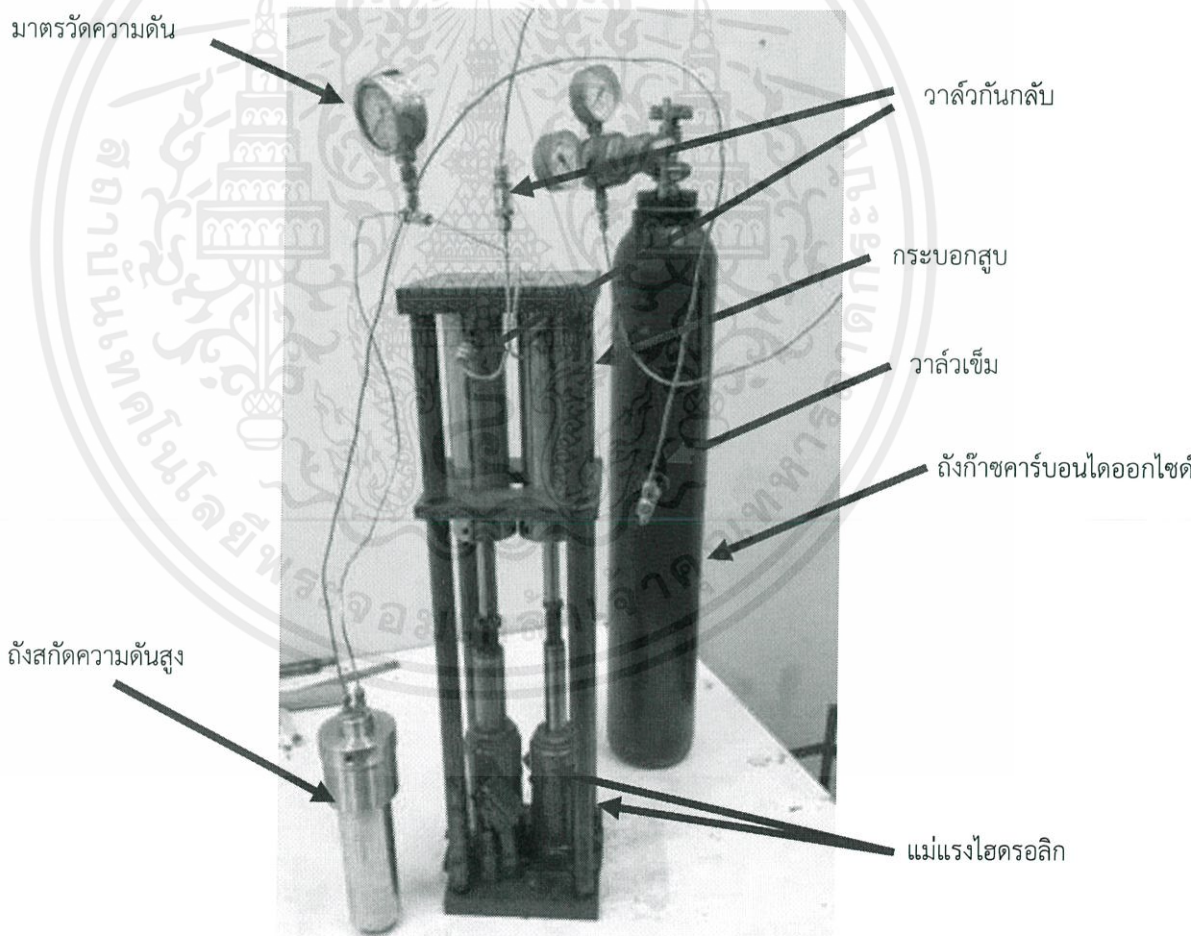
จากรูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอนโดยมีกระบวนการทำงานเริ่มจาก เปิดถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลผ่านวาล์วกันกลับตัวที่ 1 เข้าสู่กระบอกสูบที่ 1 จากนั้นทำการอัดความดันด้วยแม่แรงไฮดรอลิกตัวที่ 1 โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกอัดจะมีความดันที่สูงขึ้นจะไหลผ่านวาล์วกันกลับตัวที่ 2 เข้าสู่กระบอกสูบที่ 2 ทำการอัดความดันด้วยแม่แรงไฮดรอลิกตัวที่ 2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกอัดจะมีความดันที่สูงขึ้นจะไหลผ่านวาล์วกันกลับตัวที่ 3 เข้าสู่ถังความดันสูง โดยให้ความดันที่อยู่ในถังความดันสูงปล่อยไว้ตามเวลาที่กำหนด สุดท้ายจึงทำการเปิดวาล์วเข็มเพื่อปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศเป็นการสิ้นสุดกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> tank)
2. ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว (1/8 inch-diameter stainless steel tube)
3. วาล์วกันกลับ (Check valve)
4. วาล์วเข็ม (Needle valve)
5. ครอบสูบทำความดันสูง (High pressure cylinder)
6. ถังสกัดความดันสูง (High pressure extractor)
7. แม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic jack)
8. มาตรวัดความดัน (Pressure gauge)

### 3.3 การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอน



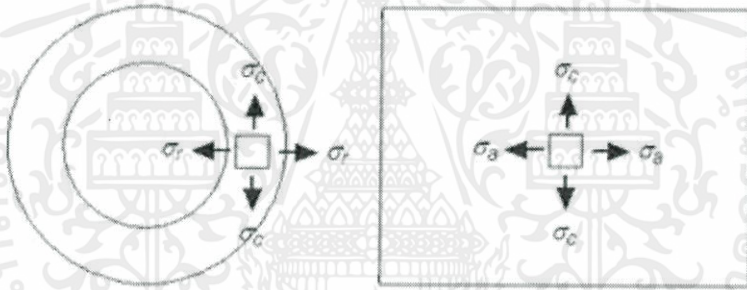
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.2 ภาพจริงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหย นำไปใช้

ออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหย ให้มีกระบอกสูบ 2 กระบอก ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เพื่อให้สามารถทำความดันสูงขึ้น โดยออกแบบกระบอกสูบใหม่ ให้สามารถนำมาใส่ในเครื่องเก่าได้

### 3.4 การคำนวณความทนทานต่อความดันของกระบอกสูบ

การคำนวณความเค้นแบบผนังหนาในแนวต่าง ๆ ของกระบอกสูบจากสมการความเค้นตามแนวแกน แนวเส้นรอบวง และแนวรัศมี ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ความดันภายในกระบอกสูบ	$p_i = 30$	MPa
ความดันภายนอกกระบอกสูบ	$p_o = 0.1$	MPa
รัศมีภายใน	$r_i = 0.02$	m
รัศมีภายนอก	$r_o = 0.032$	m



รูปที่ 3.3 แสดงความเค้นในแนวต่าง ๆ ของท่อผนังหนา

จากการคำนวณได้

$$\sigma_c = 155 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = -117 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 19.1 \text{ MPa}$$

เลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม เอสเอส 304 มีความแรงคราก ( $\sigma_y$ ) เท่ากับ 215 เมกะปาสกาล [9]

ดังนั้นกระบอกสูบสามารถทนความดันที่สภาวะทำงาน 30 เมกะปาสกาลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การคำนวณการโก่งตัวของเพลาลูกสูบ

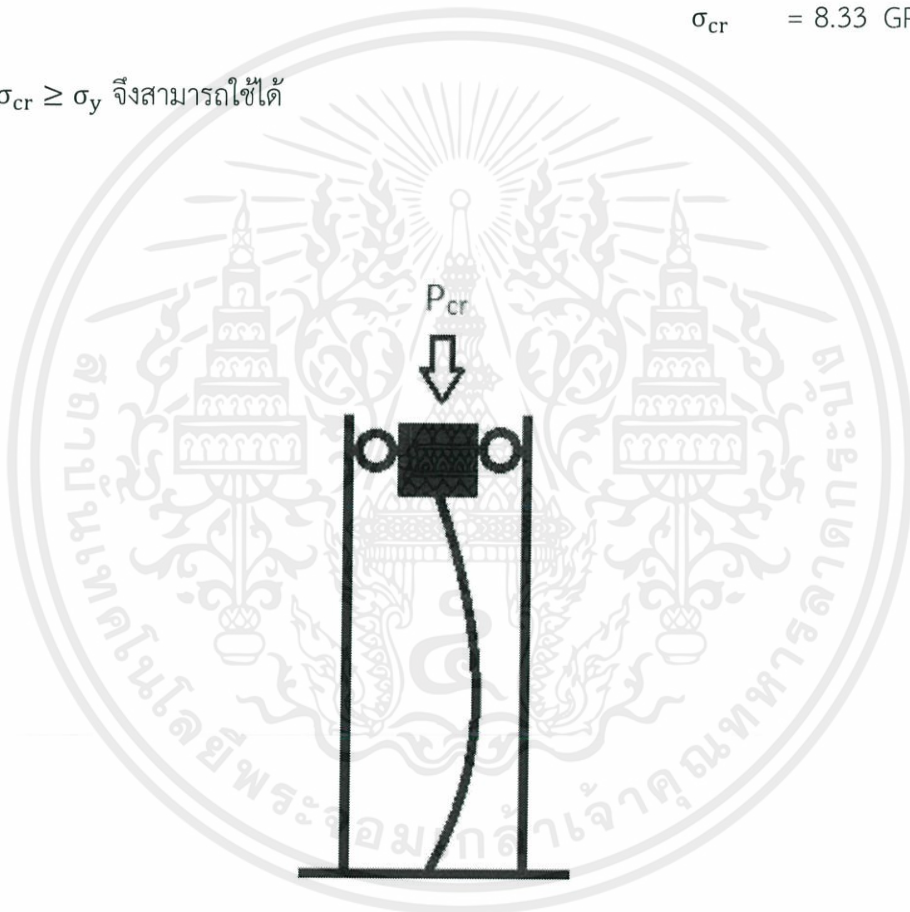
การคำนวณการโก่งตัวของเสาแบบส่วนรองรับยึดสองด้าน (fixed-fixed support)

ความยาวก้านสูบ	$L$	$= 0.3 \text{ m}$
ความยาวยังผลคือความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวก้านสูบ	$L_e$	$= 0.15 \text{ m}$
โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น ในที่นี้เราใช้เหล็กกล้าไร้สนิม เอสเอส 304	$E$	$= 190 \text{ GPa}$
รัศมีของหน้าตัด	$r$	$= 0.01 \text{ m}$
โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดวงกลม	$I$	$= 7.85 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

จากการคำนวณได้ $P_{cr}$	$P_{cr}$	$= 654 \text{ kPa}$
-------------------------	----------	---------------------

$\sigma_{cr}$	$= 8.33 \text{ GPa}$
---------------	----------------------

ดังนั้น  $\sigma_{cr} \geq \sigma_y$  จึงสามารถใช้ได้

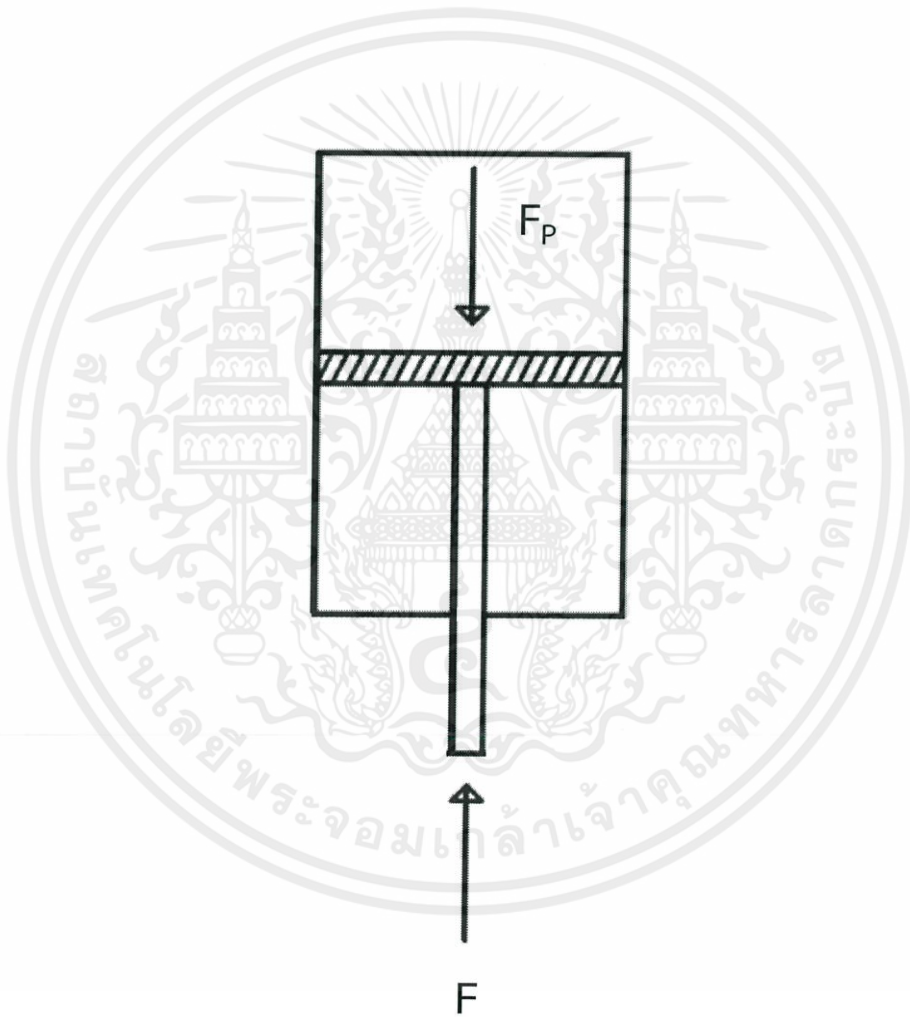


รูปที่ 3.4 แสดงการโก่งตัวของเสาแบบยึดสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การคำนวณขนาดแม่แรง

แรงสูงสุดที่แม่แรงดันกระบอกสูบให้เคลื่อนที่	$F_p = 37.7$	kN
ความดันภายในกระบอกสูบ	$P = 30$	MPa
พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ	$A = 1.27 \times 10^{-3}$	GPa
จะได้แม่แรง	ขนาด = 3.84	ton
ดังนั้นสามารถเลือกใช้แม่แรง	ขนาด = 5	ton



รูปที่ 3.5 แผนภาพวัตถุอิสระของแรงภายในกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 แนวทางการทดลอง

1. ทดลองหาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด
2. ทดลองหาความดันที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด
3. ทดลองหาเวลาที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด

#### 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. หั่นเปลือกส้มเป็นชิ้นเล็ก ๆ
2. นำเปลือกส้มใส่ลงในถังสกัดความดันสูง
3. ปิดฝาหม้อ และต่อท่อเข้ากับถังสกัดความดันสูง
4. ปรับอุณหภูมิ
5. เปิดถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สังเกตมาตรวัดความดัน และคอยฟังเสียงก๊อกรั่ว หากเกิดเสียงจากรูรั่วของแก๊ส แสดงว่าเกิดจากการหมุนตาไก้ไม่สนิท ให้เราปิดถังแก๊สและหมุนข้อต่อตรงที่เกิดรูรั่วให้สนิท หลังจากนั้นจึงทำการเปิดถังแก๊สอีกครั้งหนึ่ง
6. เริ่มทำการโยกแม่แรง เพื่อสร้างความดัน
7. หลังจากครบกำหนดตามเวลาแล้ว ปิดถังแก๊สและหมุนวาล์วเข็มอย่างช้า ๆ เพื่อปล่อยแก๊สออก
8. สังเกตที่มาตรวัดความดัน รอจนเข็มวัดความดันตกเหลือเท่ากับความดันบรรยากาศ จึงทำการถอดท่อที่ต่อกับถังสกัดความดันสูง และเปิดฝาทิ้งออก
9. นำเปลือกส้มออก จะมีน้ำมันและน้ำปะปนกันอยู่
10. บันทึกผลการทดลอง

#### 4.3 ผลการทดลอง

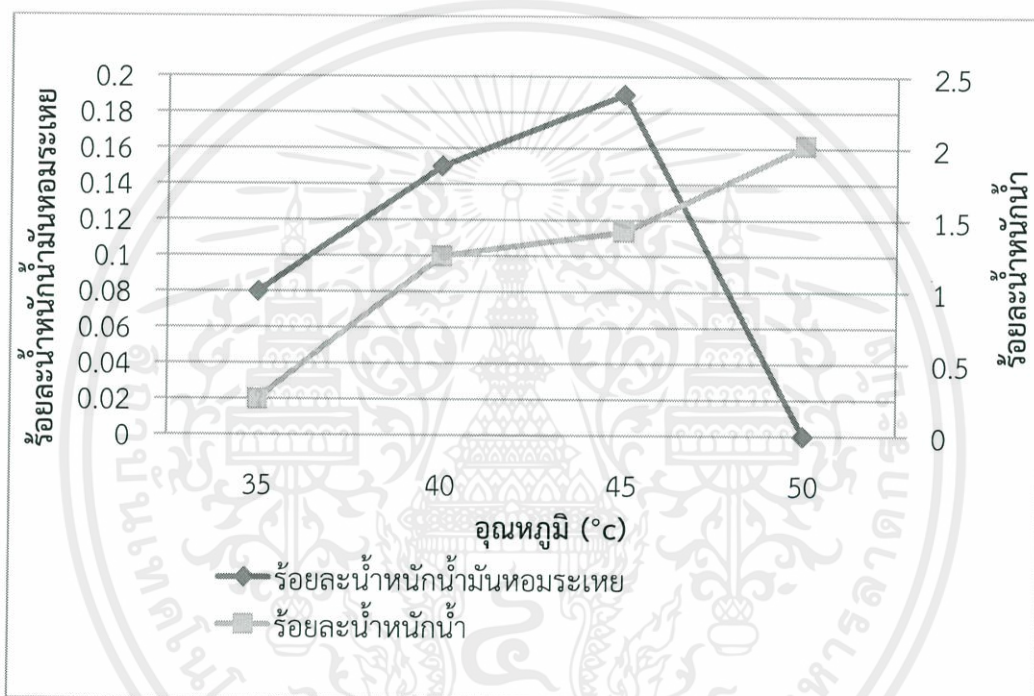
- 4.3.1 การทดลองหาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด
1. กำหนดเวลาที่ใช้ในการสกัด 2 ชั่วโมง
  2. กำหนดความดัน 12 เมกะปาสกาล

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 นำไปบันทึกค่าในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 ร้อยละน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และร้อยละน้ำหนักน้ำมันมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลองหาอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักเปลือก		น้ำหนักกาก		น้ำหนักน้ำ		น้ำหนักน้ำมัน หอมระเหย	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
35	90.70	100	87.63	96.6	0.23	0.3	0.08	0.1
40	75.11	100	71.49	95.2	0.94	1.3	0.11	0.2
45	93.13	100	88.20	94.7	1.32	1.4	0.18	0.2
50	80.63	100	77.23	95.8	1.63	2.0	0	0



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักน้ำมันหอมระเหย ร้อยละน้ำหนักน้ำ และอุณหภูมิในการสกัด

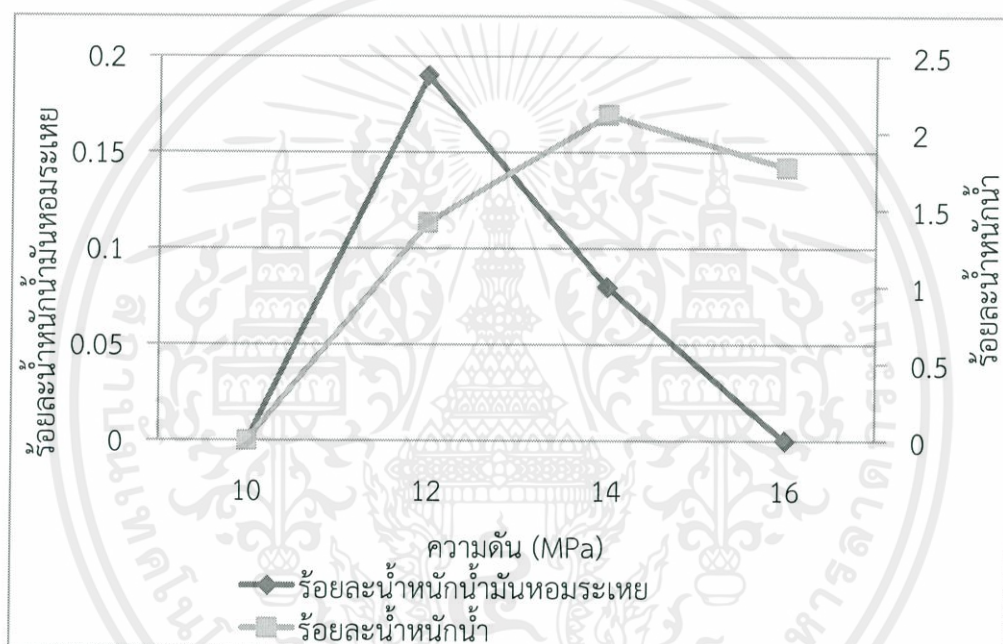
## 4.3.2 การทดลองหาความดันที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด

1. กำหนดเวลาที่ใช้ในการสกัด 2 ชั่วโมง
2. กำหนดอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองที่ 2 เป็นอุณหภูมิที่สกัดได้ร้อยละ ปริมาณน้ำมันโดยน้ำหนักมากที่สุด

จากตารางที่ 4.2 นำไปบันทึกค่าในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2 ร้อยละน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยมีค่ามากที่สุดที่ความดัน 12 เมกะปาสกาล และร้อยละน้ำหนักน้ำมีค่ามากที่สุดที่ความดัน 14 เมกะปาสกาล ทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองหาความดัน

ความดัน (MPa)	น้ำหนักเปลือก		น้ำหนักกาก		น้ำหนักน้ำ		น้ำหนักน้ำมัน หอมระเหย	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
10	91.96	100	89.30	97.1	0	0	0	0
12	93.13	100	88.20	94.7	1.32	1.4	0.18	0.2
14	67.42	100	63.26	98.8	1.43	2.1	0.05	0.1
16	67.91	100	65.37	96.26	1.21	1.78	0	0



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักน้ำมันหอมระเหย ร้อยละน้ำหนักน้ำ และความดันในการสกัด

## 4.3.3 การทดลองหาเวลาที่ใช้ในการสกัดส้มสายน้ำผึ้งให้ได้ปริมาณมากที่สุด

- กำหนดอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองที่ 2 เป็นอุณหภูมิที่สกัดได้สัดส่วนมากที่สุด
- กำหนดความดัน 12 เมกะปาสกาล จากผลการที่ 1 เป็นอุณหภูมิที่สกัดได้สัดส่วนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรอ้างอิงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากตารางที่ 4.3 นำไปบันทึกค่าในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3 ร้อยละน้ำหนักน้ำมันหอมระเหย และร้อยละน้ำหนักน้ำมีค่ามากที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองหาเวลา

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเปลือก		น้ำหนักกาก		น้ำหนักน้ำ		น้ำหนักน้ำมัน หอมระเหย	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
1	84.80	100	81.93	96.6	0.72	0.9	0	0
2	93.13	100	88.20	94.7	1.32	1.4	0.18	0.2
3	90.21	100	86.23	95.6	0.88	1.0	0.10	0.1



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำมันหอมระเหย ร้อยละน้ำหนักน้ำ และเวลาในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยออกจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้งได้ปริมาณมาก ในขณะที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไม่สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ แต่จะมีเพียงน้ำจากเปลือกส้มเท่านั้น การปรับอุณหภูมิทำให้พบว่า น้ำจากเปลือกส้มแปรผันกับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงมีน้ำจากเปลือกส้มออกมามากขึ้น

การใช้ความดัน 10 เมกะปาสกาลในการสกัดส้มสายน้ำผึ้ง ไม่สามารถสกัดน้ำและน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มได้ เนื่องจากความดันน้อยไม่เพียงพอจะแทรกซึมเข้าไปสกัดสารหอมออกจากเปลือกส้ม ที่ความดัน 14 เมกะปาสกาล สกัดน้ำมันหอมระเหยได้สัดส่วนน้อย เนื่องจากมีน้ำมันบางส่วนระเหยไปพร้อมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะลดความดัน ที่ความดัน 16 เมกะปาสกาล ไม่สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ เนื่องจากความดันสูงเกินไปทำให้เปลือกส้มช้ำ ดังนั้นจากผลการทดลองที่ความดัน 12 เมกะปาสกาล เป็นความดันที่สามารถสกัดส้มสายน้ำผึ้งได้สัดส่วนน้ำมันหอมระเหยมาก

การสกัด 2 ชั่วโมง สามารถสกัดส้มสายน้ำผึ้งได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ

### 5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เครื่องสกัดแบบ 2 ขั้นตอนทำความดันได้สูง 30 เมกะปาสกาลและที่ความดัน 120 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จะสามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยจากส้มสายน้ำผึ้งได้ปริมาณมากที่สุดและจากการทดลองเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบ 2 ขั้นตอนจะลดงานที่ใช้ในการสกัดได้ 18.49 % เมื่อเทียบกับเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบ 1 ขั้นตอน

### 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

เพิ่มตัวแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำมันหอมระเหย เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำมันหอมออกไปพร้อมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เครื่องสกัดแบบ 2 ขั้นตอนนี้ทำความดันได้สูง สามารถเอกลำนำไปสกัดวัตถุดิบที่ต้องการความดันสูงได้ ลดอุณหภูมิก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้บีบเพิ่มความดันไม่ว่ากันแทนเครื่องอัดก๊าซ จะใช้พลังงานในการสกัดน้อยลง อ่องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Ho-Hsien Chen, Chao-Chin Chung, Han-Yan Wang and Tzou-Chi Huang, "Application of taguchi method to optimize extracted ginger oil in different drying condition," 2011 International conference on food engineering and biotechnology IPCBEE vol.9 (2011) IACSIT Press, Singapore.
2. Omprakash H. Nautiyal, Krishan Kant Tiwari, "Supercritical carbon dioxide extraction of indian orange peel oil and hydro distillation comparison on their compositions," Scientific & Academic Publishing, 2012.
3. Teledyne Isco, "Supercritical fluid applications in manufacturing and materials production," Syringe Pump Application Note AN1, 28 September 2012.
4. Qingyong Lang, Chien M. Wai, "Supercritical fluid in herbal and natural product studies a pratical review," The International Journal of Talanta, Volume 53, Issue 4, 5 January 2001.
5. Kenneth Andrew Nielson, "Methods and apparatus for reducing air entrapment in spray application of coatings to a substrate," elated Patent Applications This application contains subject matter related to U.S. Patent No. 4,923,720, May 8.
6. Rui L. Mendes, Beatriz P. Nobre, Miguel T. Cardoso, Ana P. Pereir, Antonio F. Palavra, "Supercritical carbon dioxide extraction of compounds with pharmaceutical importance from microalgae," The International Inorganic Chemistry Journal of Inorganica Chimica Acta, Volume 356, 3 December 2003.
7. Robert L. Norton, "Machine Design an integrated approach," 4<sup>th</sup> ed., Massachusetts, PEARSON, 2011.
8. Robert M. Jones, "Buckling of bars plates and shells," 1<sup>st</sup> ed., Bull Ridgo Publishing, Blacksburg, Virginia, United States of America, 2006.
9. G.Z. Kang, Y.G. Li, J. Zhang, Y.F. Sun, Q Gao, "Uniaxial ratcheting and failure behaviour of two steels," The journal of Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Volume 43, Issue 2, May 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. การออกแบบกระบอกสูบทนความดันสูง

จากทฤษฎีการออกแบบผนังหนา

$$\sigma_c = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$\sigma_c = \frac{(30 \times 10^6) 0.02^2 - (0.1 \times 10^6) 0.032^2}{0.032^2 - 0.02^2} + \frac{0.02^2 0.032^2 ((30 \times 10^6) - (0.1 \times 10^6))}{0.012^2 (0.032^2 - 0.02^2)}$$

$$\sigma_c = 155.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$\sigma_r = \frac{(30 \times 10^6) 0.02^2 - (0.1 \times 10^6) 0.032^2}{0.032^2 - 0.02^2} - \frac{0.02^2 0.032^2 ((30 \times 10^6) - (0.1 \times 10^6))}{0.012^2 (0.032^2 - 0.02^2)}$$

$$\sigma_r = -117.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_a = \frac{(30 \times 10^6) 0.02^2 - (0.1 \times 10^6) 0.032^2}{0.032^2 - 0.02^2}$$

$$\sigma_a = 19.1 \text{ MPa}$$

$\sigma_{c,r,a} < \sigma_y = 215 \text{ MPa}$  แสดงว่าการออกแบบกระบอกสูบนี้นสามารถทนความดันได้ที่กำหนดได้

$\sigma_a$  คือ ความเค้นตามแนวยาว (MPa)

$\sigma_c$  คือ ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (MPa)

$p_i$  คือ ความดันภายในกระบอกสูบ (MPa)

$p_o$  คือ ความดันภายนอกกระบอกสูบ (MPa)

$r_i$  คือ รัศมีภายในกระบอกสูบ (m)

$r_o$  คือ รัศมีภายนอกกระบอกสูบ (m)

$r$  คือ รัศมีส่วนความหนาผนังกระบอกสูบ  $r = r_i - r_o$  (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. แรงที่ทำให้เกิดการโก่งตัว

สมการแรงที่สูงสุดทำให้เกิดการโก่งตัว

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

จะได้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (190 \times 10^9) (7.85 \times 10^{-9})}{0.15^2}$$

ดังนั้น  $P_{cr} = 654 \text{ kN}$

ความเค้นสูงสุดทำให้เกิดการโก่งตัว

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 (190 \times 10^9)}{(0.15/0.01)^2}$$

ดังนั้น  $\sigma_{cr} = 8.33 \text{ GPa}$

L คือ ความยาวก้านสูบ = 0.3 m

$L_e$  คือ ความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวก้านสูบแบบส่วนรองรับยึดสองด้าน (fixed-fixed support) = 0.15 m

E คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น ในที่นี้เราใช้เหล็กกล้าไร้สนิม เอสเอส 304 = 190 GPa

r คือ รัศมีของหน้าตัด = 0.01 m

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดวงกลมมีค่า  $(\frac{1}{4} \pi r^4) = 7.85 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การคำนวณหาขนาดแม่แรง

จากแผนผังวัตถุอิสระของแรงที่กระทำบนก้านสูบดังแสดงในรูปที่ ก.1 เราจะหาแรงที่ความดันกระทำกับลูกสูบ ( $F_p$ ) ได้ดังนี้

$$F_p = PA$$

$$F_p = 30000 \text{ kpa} \times \pi(20 \times 10^{-3})^2$$

$$F_p = 37.7 \text{ kN}$$

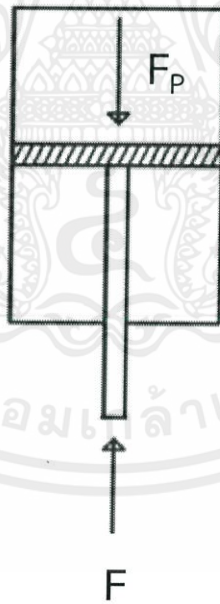
$$F_p = F$$

$$F_s = mg = 37.7 \text{ kN}$$

$$m = \frac{37.7}{9.81}$$

$$m = 3.84 \text{ Mg}$$

ดังนั้น แม่แรงจะต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 5 ตัน



รูปที่ ก.1 แผนผังวัตถุอิสระของแรงที่กระทำบนก้านสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของปาสกาลเราสามารถหาแรงที่โยกแม่แรง ( $F_s$ ) ดังแสดงในรูปที่ ก.2

$$P = P_s$$

$$\frac{F}{A} = \frac{F_s}{A_s}$$

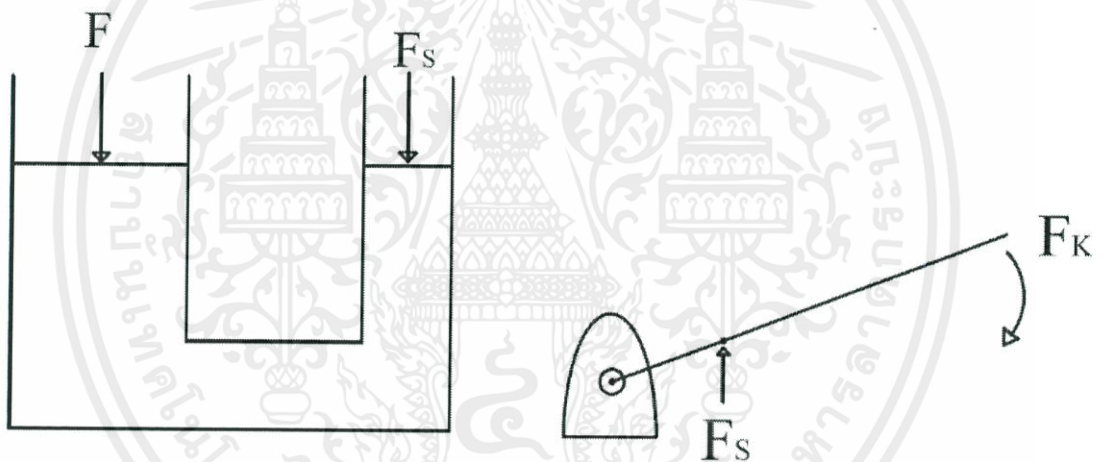
$$\frac{37.7 \text{ kN}}{\frac{\pi}{4} \times (38 \times 10^{-3})^2} = \frac{F_s}{\frac{\pi(12 \times 10^{-3})^2}{4}}$$

$$F_s = 3.76 \text{ kN}$$

จากรูปที่ ก.3 มีแรงที่มากกระทำกับคานโยก 2 จุดคือ  $F_s$ ,  $F_k$  จึงสามารถหาแรงที่ต้องโยกสูงสุดคือ  $F_k$

$$F_s \times 0.04 = F_k \times 0.60$$

$$F_k = 0.25 \text{ kN}$$



รูปที่ ก.2 แสดงกฎปาสกาล

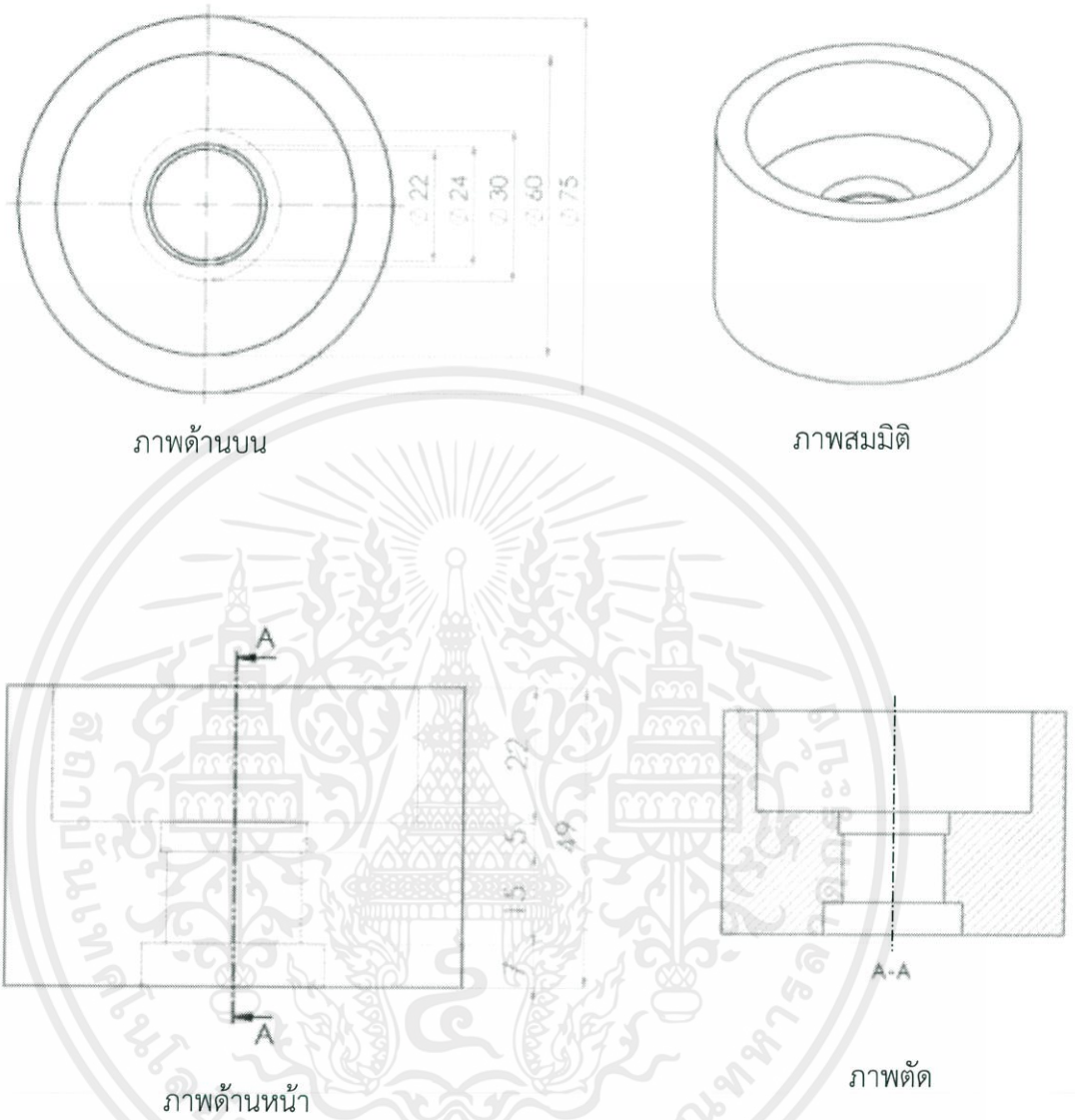
รูปที่ ก.3 แผนภาพวัตถุอิสระแรงที่กระทำกับคานโยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพด้านบน

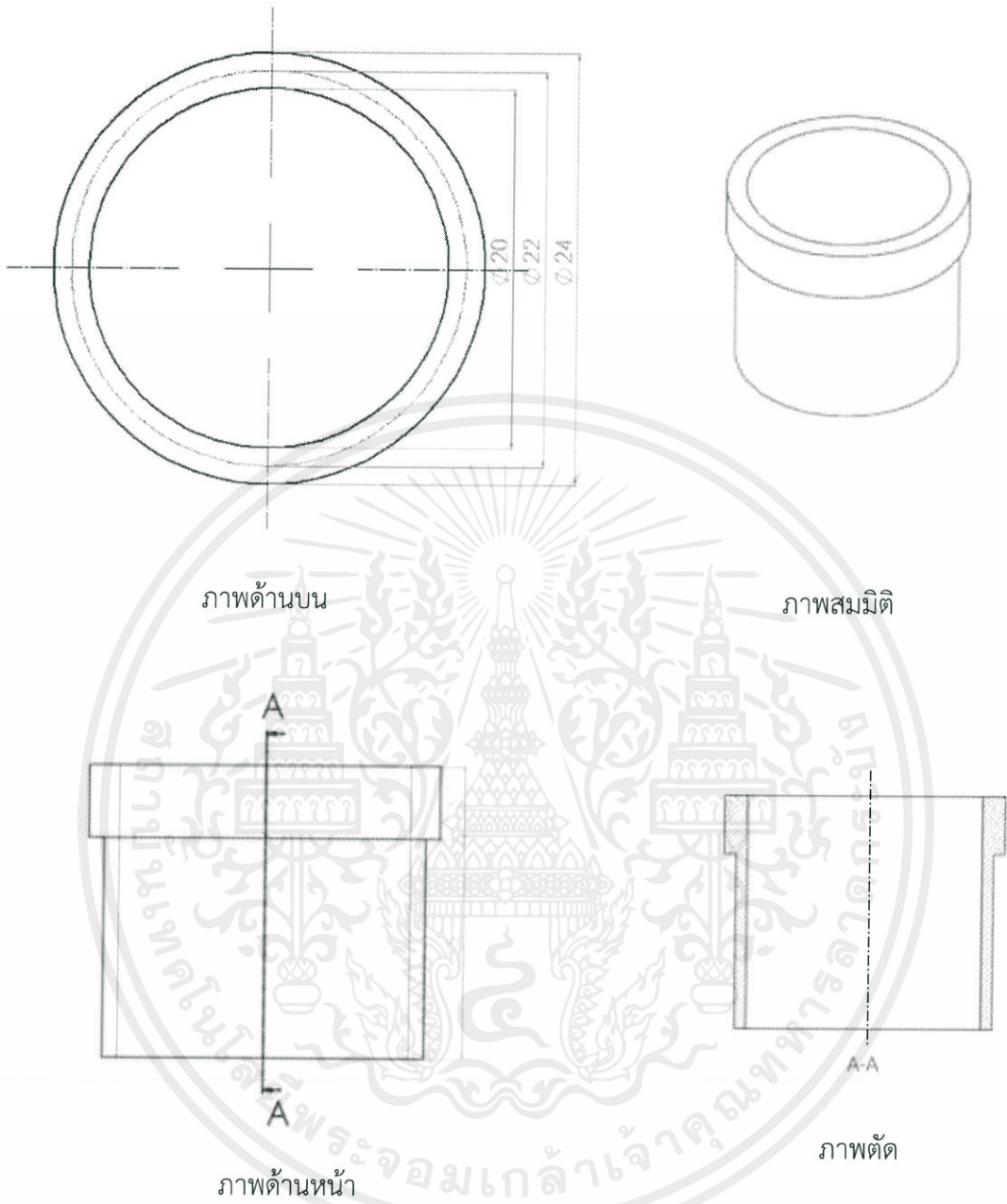
ภาพสมมติ

ภาพด้านหน้า

ภาพตัด

รูปที่ ข.1 ส่วนล่างของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพด้านบน

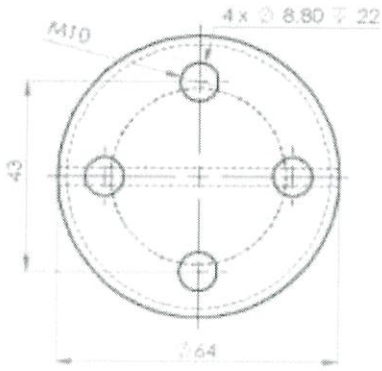
ภาพสมมติ

ภาพด้านหน้า

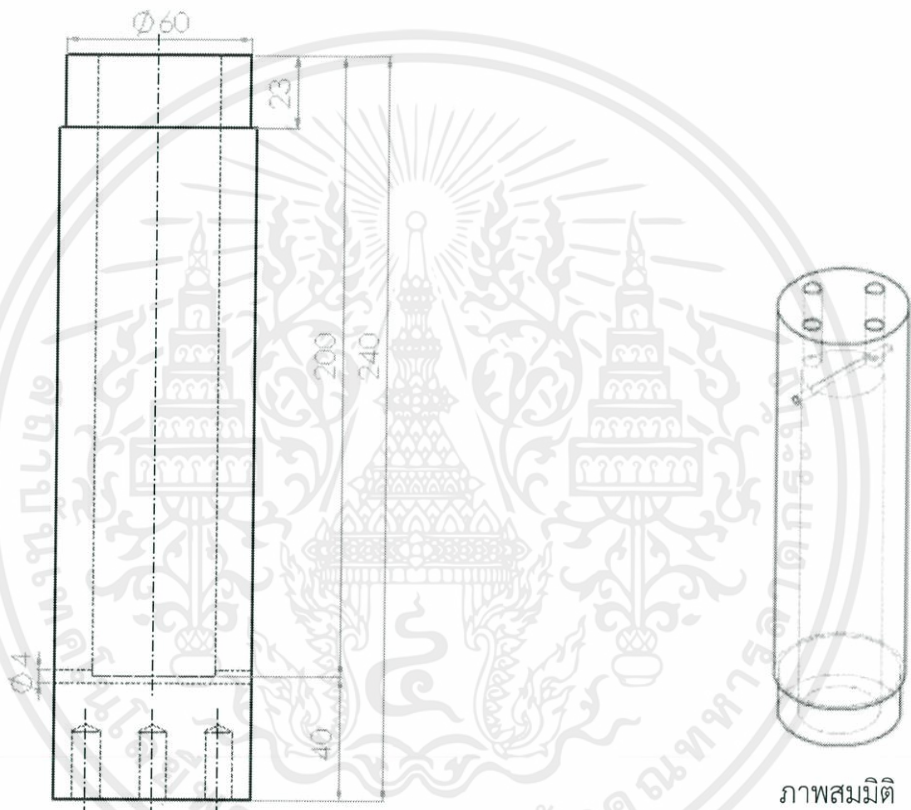
ภาพตัด

รูปที่ ข.2 บุชทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

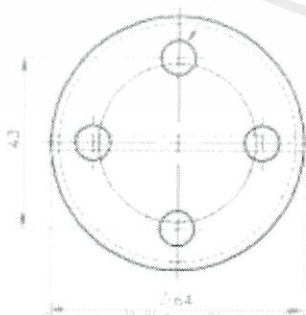


ภาพด้านบน



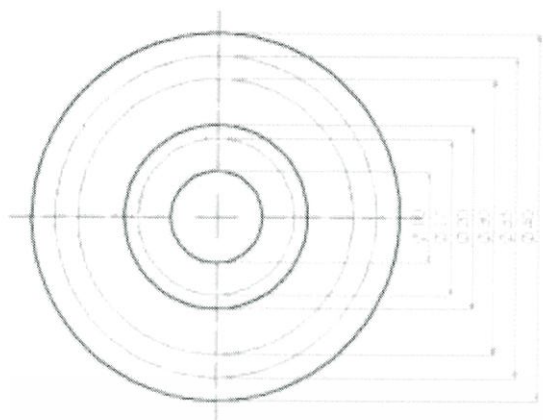
ภาพด้านหน้า

ภาพสมมติ

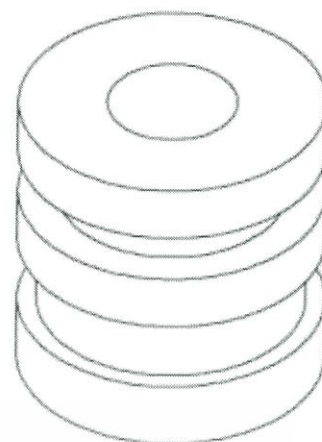


ภาพด้านล่าง

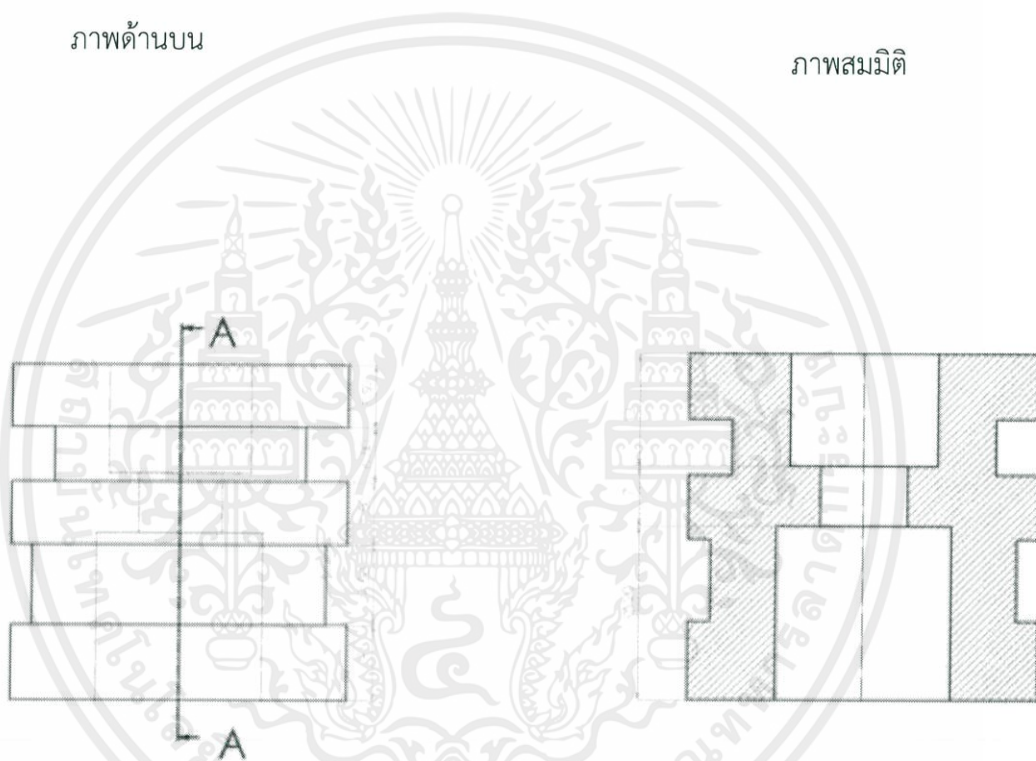
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ ข.3 ส่วนบนของกระบอกสูบ



ภาพด้านบน



ภาพสมมติ



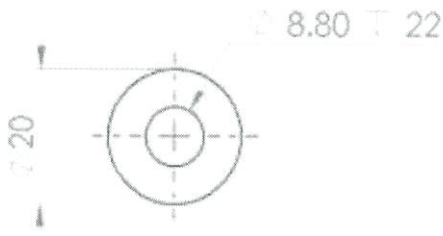
ภาพด้านหน้า

A-A

ภาพตัด

รูปที่ ข.4 ลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

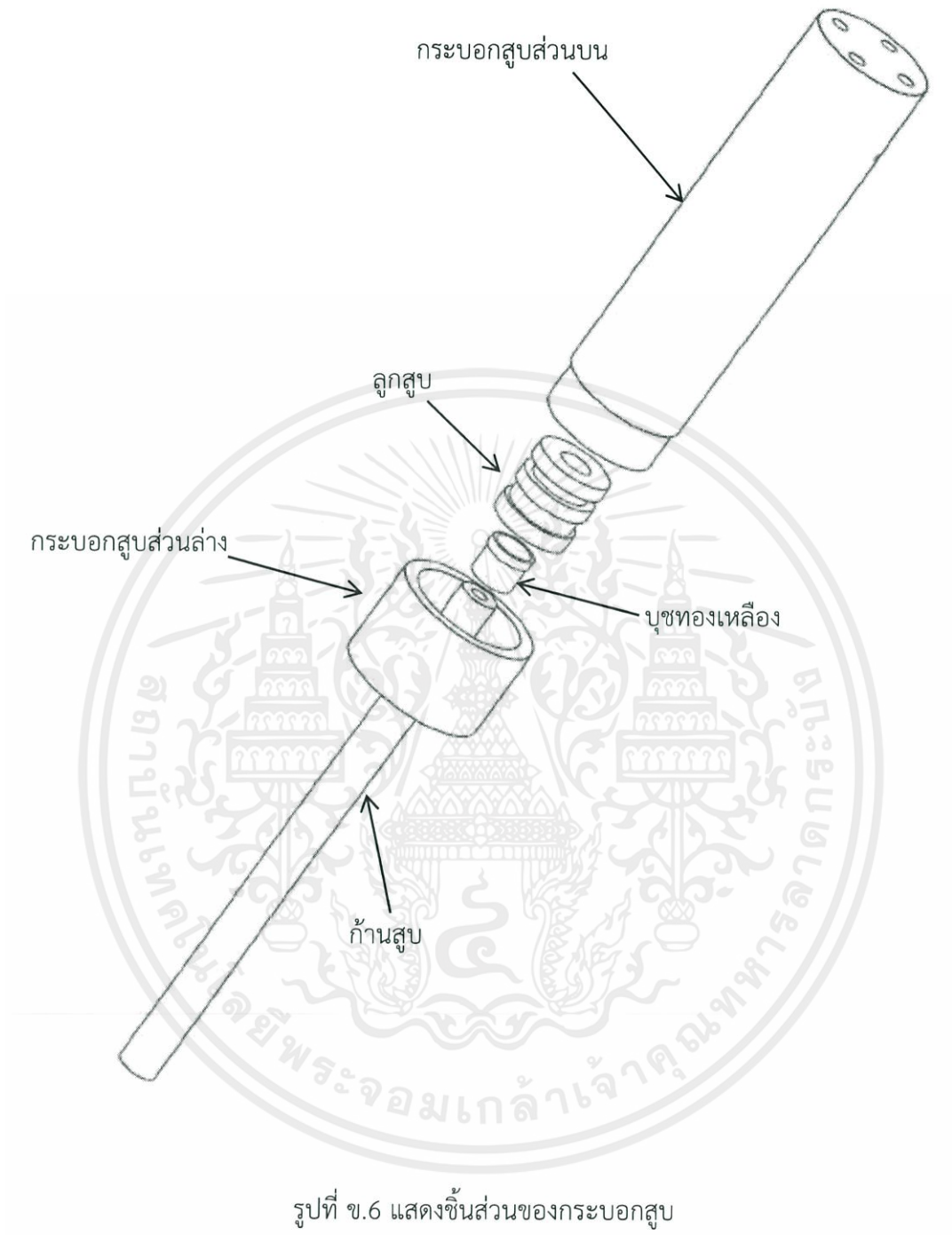


ภาพด้านบน



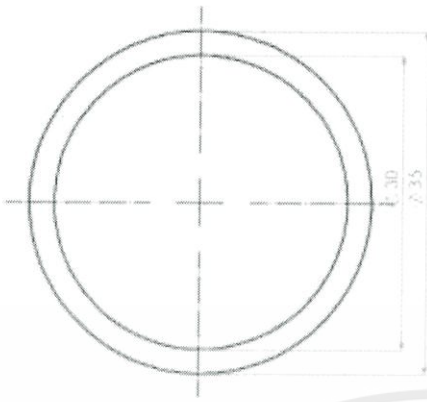
ภาพด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหามาเผยแพร่และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ ข.5 ก้านสูบ

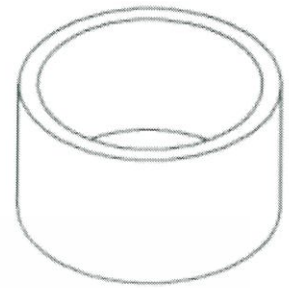


รูปที่ ข.6 แสดงชิ้นส่วนของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพด้านบน



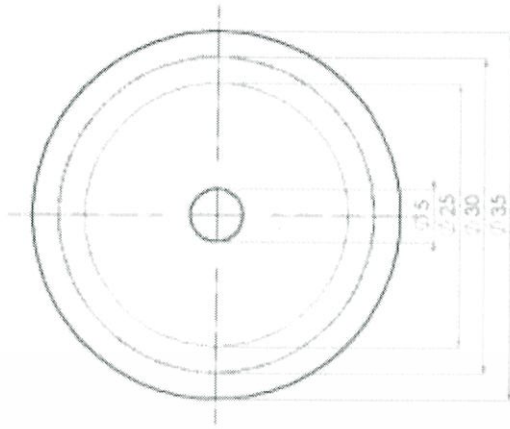
ภาพสมมติ



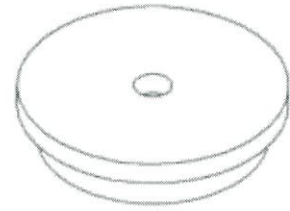
ภาพด้านหน้า

รูปที่ ข.7 ถ้วยรองรับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพด้านหน้า



ภาพสมมติ

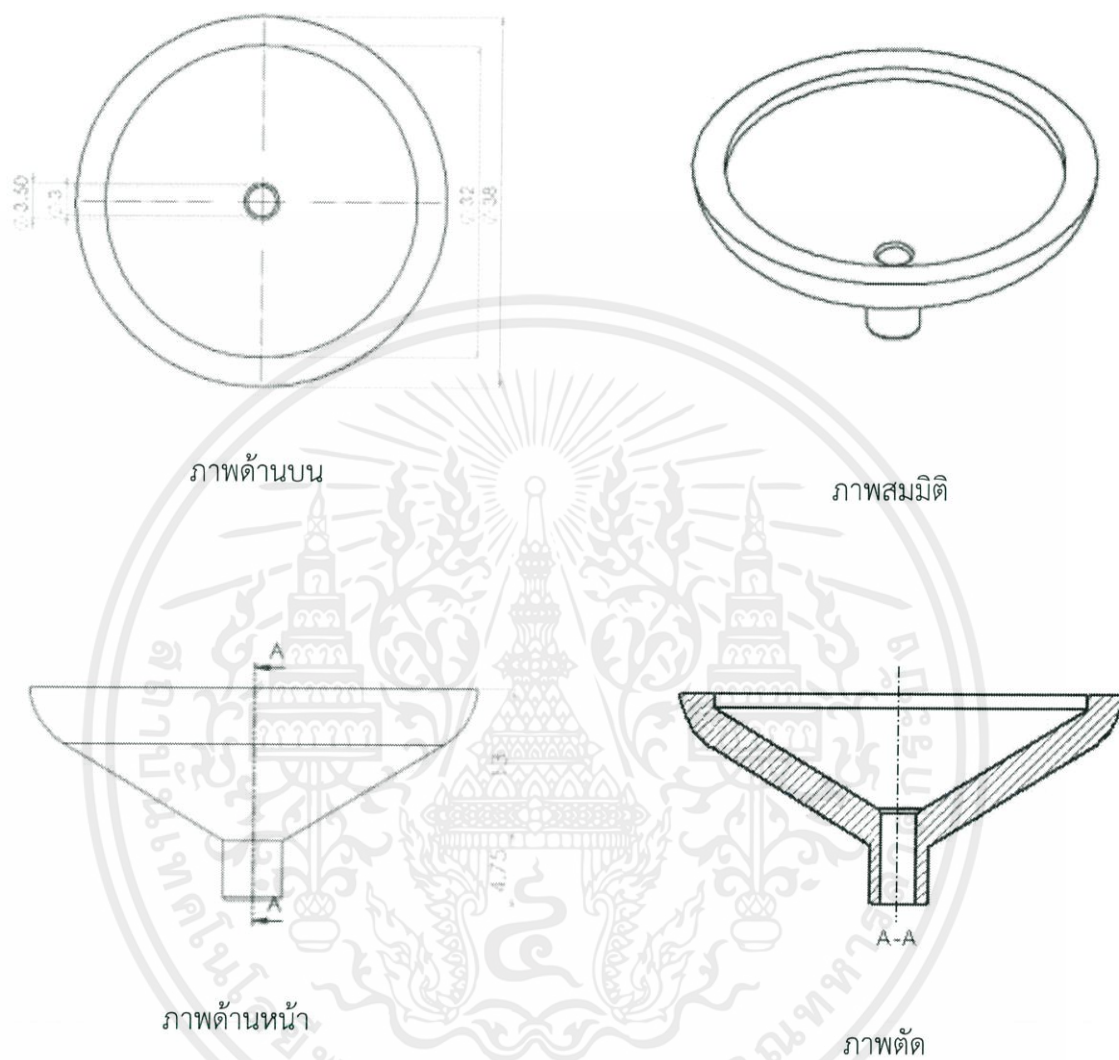


ภาพด้านหน้า

ภาพตัด

รูปที่ ข.8 ฝาปิดถ้วยรองรับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 กรวยรองรับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.10 แสดงการประกอบถ้วยรองรับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้