

การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด
แบบวงจรปิด

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CLOSED-LOOP EXTRACTOR USING
SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด
แบบวงจรปิด

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CLOSED-LOOP EXTRACTOR USING
SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CLOSED-LOOP EXTRACTOR
USING SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2559

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดแบบวงจรมอด
Design and construction of a closed-loop extractor using supercritical carbon dioxide

ผู้จัดทำ

1. นายคีต สร้อยทอง รหัสประจำตัว 56010132
2. นายธนพล สุกใส รหัสประจำตัว 56010531
3. นายปิยะพงษ์ พงษ์ภัทระวิทย์ รหัสประจำตัว 56010763



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สยาม สงวนรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด แบบวงจรถัด

นายคีต สร้อยทอง รหัส 56010132
นายธนพล สุกใส รหัส 56010531
นายปิยะพงษ์ พงษ์ภัทระวิทย์ รหัส 56010763
อ.สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาเครื่องสกัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต อุปกรณ์ที่ได้จากโครงการนี้สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพและความบริสุทธิ์สูง ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบที่หาได้ทั่วไปในประเทศไทย อีกทั้งยังมีการออกแบบ และสร้างถึงสกัดให้รองรับความดันสูง ทำให้เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยมีความสามารถในการเลือกสกัดมากขึ้น การสร้างเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤตแบบวงจรถัดนั้นทำให้ประหยัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 35.7 ต่อครั้งที่สกัด และได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.6 ต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดแบบระบบเปิด

คำหลัก: เครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤตแบบวงจรถัด, คาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต, สารสกัดคุณภาพสูง

Design and construction of a closed-loop extractor using supercritical carbon dioxide

Key	Soytong	56010132
Thanapol	Suksai	56010531
Piyapong	Pongpataravit	56010763
Sayam	Saguanrum	Advisor
Year 2016		

Abstract

This project is to study the extractor using carbon dioxide above critical point. The device obtained from this project is able to extract various types of essential oil, which raise value of raw material founded in Thailand. The project is also to design and construct an extractor operated on high pressure allowing to extract a wide range of raw materials. Moreover, the project is to make the extraction to be closed-loop. The closed-loop extraction can saves 35.7 percent of carbon dioxide per cycle and obtain more amount of essential oil, which is 11.6 percent greater than the open-loop extraction.

Keywords: extractor using carbon dioxide above critical point, extraction to be closed-loop, extractor operated on high pressure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ อาจารย์สยาม สงวนรัมย์ เป็นอย่างสูง ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ซึ่งแนะแนวทางในการทำปริญญาานิพนธ์ รวมถึงติดตามความก้าวหน้าของการจัดทำปริญญาานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด จนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สอบปริญญาานิพนธ์ อันได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.จำลองปราบแก้ว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณฑล ใจกุศล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์ศักดิ์ คำมูล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ ในการสอบปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย และมีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ ขวัญพรภักษ์ ที่ช่วยทำให้ห้องทำโครงการนี้ เย็นขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ที่ให้วัสดุติดบอแบ่งมาใช้ในการสกัดน้ำมัน

ขอขอบคุณพี่น้องปวีธ คลังหิรัญ ที่คอยให้คำแนะนำและส่งเสริมการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในกลุ่มที่ทำปริญญาานิพนธ์นี้และที่ทำปริญญาานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกัน ที่ให้ความร่วมมือ ท่วมเท้าน้ำใจ แรงใจ ความรู้ความสามารถ ในการทำงานเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนางวาสนา ม่วงโพธิ์ นายทฤษฎ์ สิริโกศกร และเจ้าหน้าที่ทุกคนในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีส่วนในการอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณ บริษัทเอส เค ไฮดรอลิค จำกัด บริษัท นานาสตีล จำกัด ร้านชัยถาวรรุ่งเรือง และบริษัทเอ็ม เจ บางกอกวาล์ว แอนด์ ฟิตติ้ง จำกัด ที่มีส่วนร่วมในการสร้างอุปกรณ์หลักในชุดทดลอง การเลือกซื้อวัสดุอุปกรณ์ วิธีการใช้ที่ถูกต้อง และการบำรุงรักษา เป็นต้น

น้อมรำลึกถึงครูบาอาจารย์ทุกท่าน ทั้งครูเจ้าของวิชา ครูผู้สืบทอดวิชา ครูผู้สอน ทั้งในโลก ตะวันออกและตะวันตก

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้กำลังใจในการเรียนตลอดระยะเวลา การศึกษา และ การจัดทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

คุณค่าอันเป็นประโยชน์พึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอถวายเป็นพระราชกุศล แต่พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้า พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช สมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมหาวชิราลงกรณ ตลอดจนบูรพกษัตริย์แห่งราชวงศ์จักรีทุกพระองค์ ขออุทิศแด่เจ้าพระยาสุรวงษ์ไวยวัฒน์ (วร บุนนาค) ศ.หลวงพรตพิทยพยัต ท่านเลี่ยม ตลอดจนทุกท่านที่สร้างคุณประโยชน์ให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนึ่งหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำกราบขออภัยในโอกาสนี้ด้วย

นายคีต สร้อยทอง

นายธนพล สุกใส

นายปิยะพงษ์ พงษ์ภัทระวิทย์มมส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	1
1.5 สมมติฐาน.....	1
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.7 แผนการทำงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด	3
2.2 คุณสมบัติของของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่เกี่ยวข้องกับการสกัด	5
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบถังสกัด.....	6
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฝาปิดและตัวยึดตัวต่อท่อ	7
2.5 การเลือกใช้โอรัง	10
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบ	12
3.1 การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แบบวงจรถัด	12
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	12
3.3 การคำนวณความหนาแน่นต่อความดันของถังความดัน	13
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	20
4.1 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในระบบเปิด	20
4.2 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในระบบปิด.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	25
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	25
5.2 วิจัยรณัผลการทดลอง.....	25
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	25
บรรณานุกรม.....	27
ภาคผนวก ก.....	29
ภาคผนวก ข.....	30
ภาคผนวก ค.....	32



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการทำงานปี 2559 และ 2560	2
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของของไหลวิกฤตยิ่งยวด ก๊าซ และของเหลวของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	4
ตารางที่ 2.2	แสดงอุณหภูมิวิกฤต ความดันวิกฤต และความหนาแน่นวิกฤตของสารบริสุทธิ์ต่าง ๆ ...	4
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ทำไอริง	10
ตารางที่ 4.1	ผลของความดันที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ที่อุณหภูมิ 50 เซลเซียส เวลา 75 นาที	20
ตารางที่ 4.2	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ที่ความดัน 105 บาร์ เวลา 75 นาที	21
ตารางที่ 4.3	ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ที่ความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 50 เซลเซียส	22
ตารางที่ 4.4	ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่สกัดแบบระบบปิด ที่ความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 50 เซลเซียส	23
ตารางที่ 4.5	ตารางเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่สกัดด้วยวิธีอย่างง่าย และแบบระบบปิด	24

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงสถานะคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ	3
รูปที่ 2.2 แสดงความเค้นตามแนวแกน แนวรัศมี และแนวเส้นรอบวง	6
รูปที่ 2.3 แสดงขนาดต่าง ๆ ของเกลียว	7
รูปที่ 2.4 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุ.....	8
รูปที่ 2.5 แสดงแรงดัดที่กระทำกับวัตถุ	8
รูปที่ 2.6 รูปแสดงขนาดของตัวแปรที่ใช้กับสมการข้างต้น.....	11
รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบวงจรรปิด	12
รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านข้าง แสดงภาพด้านบน และขนาดของถังความดัน.....	13
รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้าง ภาพด้านบน และขนาดของฝาปิด.....	15
รูปที่ 3.4 แสดงภาพด้านข้าง ภาพด้านบน และขนาดของตัวยึดกับตัวต่อท่อ	15
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของความดันที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด.....	20
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด	21
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของเวลาที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด.....	22
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของเวลาที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดแบบระบบปิด	23
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของเวลาที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดแบบระบบปิด และระบบเปิด	24
รูปที่ ข.1 แผนผังเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤตแบบวงจรรปิด	31
รูปที่ ค.1 คู่มือแสดงการติดตั้งทั่วไป	32
รูปที่ ค.2 คู่มือแสดงการติดตั้งท่อและฟิตติ้ง.....	32
รูปที่ ค.3 คู่มือแสดงการประกอบท่อและฟิตติ้งกลับอีกครั้ง.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำมันหอมระเหยและสารสกัดเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากการสกัด เช่น พืชสมุนไพร เปลือกผลไม้ ลักษณะทั่วไปเป็นของเหลวใส มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว สามารถระเหยที่อุณหภูมิปกติ กลิ่น และรสของน้ำมันหอมระเหยจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยของพืชชนิดต่าง ๆ

กระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดจะเริ่มจากการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ถึงความดันสูงที่บรรจิวัดกบในการสกัด ที่มีความดันสูงเกินความดันวิกฤต (7.29 เมกะปาสกาล) และมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิวิกฤต (31.3 เซลเซียส) ของคาร์บอนไดออกไซด์ การสกัดวิธีนี้เป็นที่นิยมมากของน้ำมันหอมระเหยได้ใกล้เคียงกับธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบ และสร้างถังความดันให้สามารถทนความดันสูง
- 2) เพื่อพัฒนาเครื่องสกัดจากระบบเปิดให้เป็นแบบระบบปิด
- 3) เพื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) เพิ่มปริมาตรถึงความดัน และออกแบบถึงความดันให้รองรับความดันไม่เกิน 200 บาร์
- 2) เปลี่ยนเครื่องสกัดให้เป็นแบบวัฏจักร

1.4 วิธีการดำเนินงาน

อันดับแรกศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด และเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหย จากนั้นออกแบบให้เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยเป็นแบบระบบปิด แล้วจึงสร้างชุดสกัดตามที่เราได้ออกแบบไว้ให้เป็นแบบวัฏจักร สุดท้ายจึงทำการทดลองสกัดที่ความดันสูงและเก็บข้อมูล

1.5 สมมติฐาน

- 1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถอัดตัวได้
- 2) การไหลในท่อไม่คำนึงถึงแรงเสียดทาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจหลักการของของไหลวิกฤตยิ่งยวด และนำความรู้มาใช้ในชีวิตจริง
- 2) นำวัตถุดิบที่หาได้ทั่วไปในประเทศไทยมาเพิ่มมูลค่า
- 3) สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการทำงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการทำงานปี 2559 และ 2560

กิจกรรม	ปี 2559				ปี 2560			
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยในอดีต	■	■						
2.ศึกษาและค้นคว้าอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย		■	■					
3.ออกแบบและคำนวณหม้อสกัด และทำให้เป็นวงจรปิด			■	■				
4.สร้างหม้อสกัด และทำให้เป็นระบบปิด					■	■		
5.ทดลองและเก็บผล						■	■	
6.จัดทำข้อมูล และสรุปผลการทดลอง							■	■



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

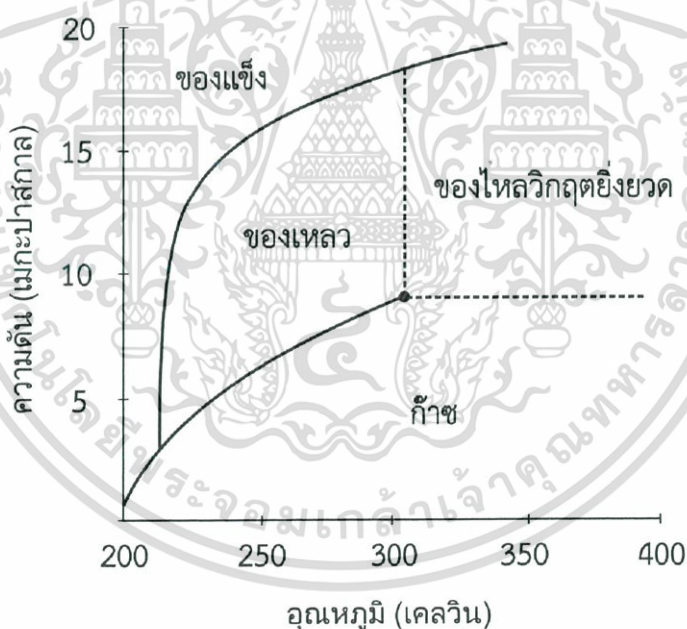
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดภายใต้แรงดันสูงเพื่อทำละลาย สามารถทำให้สารหอมระเหยในพืชละลายในคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดแล้วจึงปล่อยให้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดระเหยในสภาวะความดันปกติเหลือไว้แต่สารหอมจากพืช วิธีนี้ได้สารหอมระเหยที่มีความบริสุทธิ์สูงและสามารถเก็บไว้ได้นาน แต่ข้อเสียคือเครื่องสกัดมีราคาสูง [1]

2.1 การสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด

สารจะมีสถานะเป็นของไหลวิกฤตยิ่งยวดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิวิกฤต และความดันถึงความดันวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้มีความสามารถในการสกัดน้ำมันหอมระเหยออกจากวัตถุดิบได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมือนเป็นของเหลว แต่เป็นของเหลวที่หนืดและสามารถแพร่สู่วัตถุดิบเพื่อดึงสารขณะสกัดได้ดีเหมือนก๊าซ [2] ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของของไหลวิกฤตยิ่งยวด ก๊าซ และของเหลวของคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงสถานะคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของของไหลวิกฤตยิ่งยวด ก๊าซ และของเหลวของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

	คาร์บอนไดออกไซด์		แนฟทาซีนในคาร์บอนไดออกไซด์
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความหนืด (μPa·s)	สัมประสิทธิ์การแพร่ (m ² /s)
ก๊าซ, 313 เคลวิน, 1 บาร์	2	16	5.1×10 ⁻⁶
ของไหลวิกฤตยิ่งยวด, 313 เคลวิน, 100 บาร์	632	17	1.4×10 ⁻⁸
ของเหลว, 300 เคลวิน, 500 บาร์	1029	133	8.7×10 ⁻⁹

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิวิกฤต 31.3 เซลเซียส ต่ำกว่าธาตุและสารประกอบอื่น ๆ และมีความดันวิกฤต 7.29 เมกะปาสกาล ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิวิกฤต ความดันวิกฤต และความหนาแน่นวิกฤตของสารบริสุทธิ์ต่าง ๆ [3,4]

ธาตุและสารประกอบ	สัญลักษณ์	อุณหภูมิวิกฤต (°C)	ความดันวิกฤต (MPa)	ความหนาแน่นวิกฤต (g/cm ³)
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	31.3	7.29	0.448
แอมโมเนีย	NH ₃	132.4	11.25	0.235
น้ำ	H ₂ O	374.15	21.83	0.315
ไนตรัสออกไซด์	N ₂ 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 ₄	-82.1	4.581	0.2
อีเทน	C ₂ H ₆	32.28	4.81	0.203
เอทิลีน	C ₂ H ₄	9.21	4.97	0.218
โพรเพน	C ₃ H ₈	96.67	4.19	0.217
เพนเทน	C ₅ H ₁₂	196.6	3.33	0.232
เมทานอล	CH ₃ OH	240.5	7.89	0.272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่เกี่ยวข้องกับการสกัด

1) คุณสมบัติการถ่ายเท การละลาย และการเลือกสกัด

ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีคุณสมบัติหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการสกัด เช่น คุณสมบัติในการถ่ายเท คุณสมบัติในการละลาย และคุณสมบัติในการเลือกสกัด เป็นต้น

การมีคุณสมบัติในการถ่ายเทที่ดี นั่นคือการที่ตัวทำละลายสามารถแพร่กระจายออกจากบริเวณสกัดไปสู่บริเวณที่เหลือได้ง่าย และรวดเร็ว รวมถึงมีอัตราการถ่ายเทมวลสูง โดยค่าความหนืดและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน จึงต้องมีการปรับอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม เพื่อให้การสกัดมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว สอดคล้องกับคุณสมบัติของไหลวิกฤตยิ่งยวด [3]

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการละลายของตัวทำละลาย ซึ่งการละลายของตัวถูกละลายสามารถถูกกำหนดได้ด้วยการกำหนดอุณหภูมิ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้มีการละลายของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นแต่ความหนาแน่นของของไหลวิกฤตยิ่งยวดลดลง ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของของไหลวิกฤตยิ่งยวดกับตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ทำให้โดยรวมแล้วการละลายของตัวถูกละลายมีค่าลดลง แต่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการเพิ่มความดันให้กับของไหลวิกฤตยิ่งยวดเพื่อเพิ่มความหนาแน่นจนใกล้เคียงกับสถานะเริ่มต้น แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิ

อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการเลือกสกัดค่อนข้างดี ทำให้มีสารปนเปื้อนออกมาน้อยโดยการปรับอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการ [5]

นอกจากนี้ข้อดีจากการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ของไหลวิกฤตยิ่งยวด ยังได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ประหยัดตัวทำละลายที่ใช้ไปในการสกัด และเหมาะสำหรับการสกัดสารที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน ซึ่งกระบวนการสกัดธรรมดาทำไม่ได้ ในที่นี้เลือกใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดมาเป็นตัวทำละลายเพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่ทิ้งสารตกค้าง เนื่องจากจะกลายเป็นสถานะก๊าซที่สภาวะบรรยากาศภายหลังการสกัด ยิ่งกว่านั้นอุณหภูมิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าไม่สูงมากนัก จึงไม่มีปัญหาของการสลายตัวของสารที่สกัดได้อันเนื่องจากความร้อน

2) ผลของความดัน อุณหภูมิ และเวลาการสกัดที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย

โดยทั่วไป ปริมาณน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวทำละลาย และอุณหภูมิ ถ้าพิจารณาที่ความดันคงที่ ถ้าความดันต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จะลดลง เนื่องจากความหนาแน่นของตัวทำละลายลดลง ตามสมการสถานะของก๊าซจริง $P = \rho ZRT$ แต่ถ้าความดันสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้กลับเพิ่มขึ้น แม้ความหนาแน่นของตัวทำละลายลดลง เช่นเดียวกันกับหากพิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าอุณหภูมิต่ำ เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จะลดลง แม้ความหนาแน่นของตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจาก ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวทำละลายเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย ส่วนถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าอุณหภูมิสูง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากขึ้น ตามสมการสถานะของก๊าซจริง $P = \rho ZRT$ แต่เมื่อความดันเกินจุดวิกฤตมากเกินไปทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลงได้ แม้ว่าอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการแพร่ของอนุภาคตัวทำละลายอย่างรวดเร็ว ทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้ปริมาณมาก ส่วนความหนาแน่นของตัวทำละลายสูง ทำให้ความสามารถ

การทำละลายเพิ่มขึ้น แต่สัมประสิทธิ์การแพร่ลดลง อย่างไรก็ตาม ความดันที่สูงเกินไปทำให้การถ่ายเทมวลลดลง จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดลงด้วย

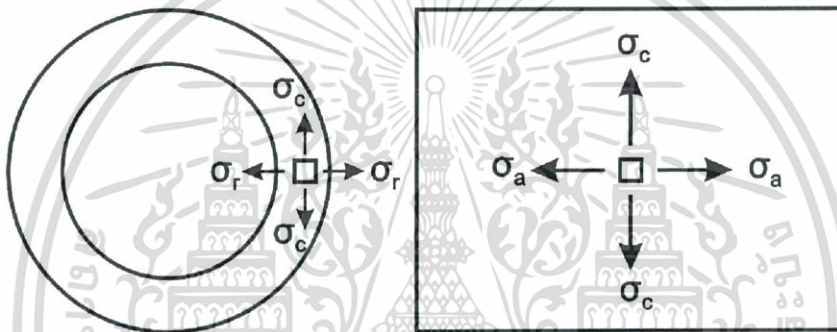
ผลของเวลาการสกัดที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย พบว่าช่วงแรกมีการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้เริ่มคงที่ หรือเรียกว่า จุดอิ่มตัว ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองโลจิสติก

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบถังสกัด

2.3.1 ทฤษฎีความเค้นผนังหนา

จากทฤษฎีความเค้นผนังหนา [6] ถึงความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ต้องมีความดันสูงมาก จึงออกแบบให้สามารถรับความดันสูง โดยการคำนวณความเค้นแบบผนังหนาในแนวต่าง ๆ ดังรูปที่

2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความเค้นตามแนวแกน แนวรัศมี และแนวเส้นรอบวง

สมการความเค้นตามแนวแกน

$$\sigma_a = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (1)$$

สมการความเค้นตามแนวรัศมี

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (2)$$

สมการความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

$$\sigma_c = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	P_i	คือ ความดันภายในกระบอก (เมกะปาสกาล)
	P_o	คือ ความดันภายนอกกระบอก (เมกะปาสกาล)
	r_i	คือ รัศมีภายในกระบอก (เมตร)
	r_o	คือ รัศมีภายนอกกระบอก (เมตร)

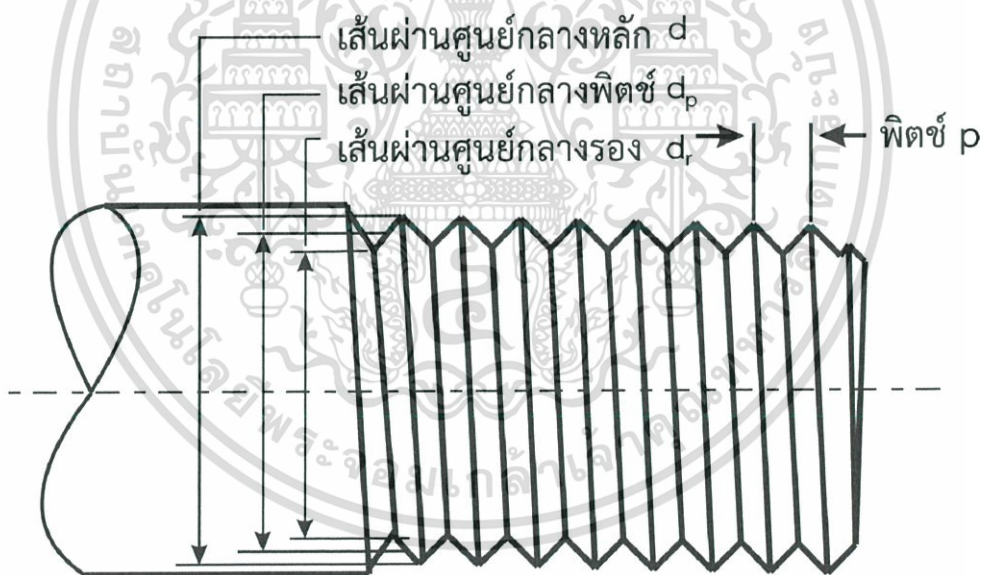
2.3.2 ทฤษฎีการคำนวณหาตัวประกอบความปลอดภัย

จากสูตร

$$SF = \frac{\sigma_u}{\sigma_w} \quad (4)$$

เมื่อ	SF	คือ ตัวประกอบความปลอดภัย
	σ_u	คือ ค่าความเค้นสูงสุด (เมกะปาสกาล)
	σ_w	คือ ค่าความเค้นที่ใช้งาน (เมกะปาสกาล)

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฝาปิดและตัวยึดตัวต่อท่อ



รูปที่ 2.3 แสดงมิติต่าง ๆ ของเกลียว

จากรูปที่ 2.3 เส้นผ่านศูนย์กลางหลัก คือความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางโตนอกของชิ้นงานทั้งของเกลียวนอกและเกลียวในหรือคือขนาดกำหนดนั่นเอง

เส้นผ่านศูนย์กลางรอง คือความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางวัดที่โคนเกลียวทั้งของเกลียวนอกและเกลียวใน

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ คือความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางวัดที่วงกลมพิตช์

ระยะพิตช์ คือระยะห่างระหว่างตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งเดียวกันของเกลียว

ถัดไป เช่น วัดจากยอดเกลียวถึงยอดเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบชิ้นส่วนเกลียว ขนาดของชิ้นส่วนเกลียวจะถูกระบุด้วยการกำหนดระยะพิตช์ [6] เส้นผ่านศูนย์กลางรองสามารถหาได้จาก

$$d_r = d - 1.23p \quad (5)$$

ในขณะที่ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์จะถูกคำนวณจาก

$$d_p = d - 0.65p \quad (6)$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางหลัก (เมตร)
 p คือ ระยะพิตช์ (เมตร)

2.4.1 ทฤษฎีความเค้นเฉือน

จากทฤษฎีความเค้นเฉือน ถึงความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ต้องมีความดันสูงมาก จึงออกแบบให้สามารถรับความดันสูง โดยแสดงแรงที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือนดังรูปที่ 2.4



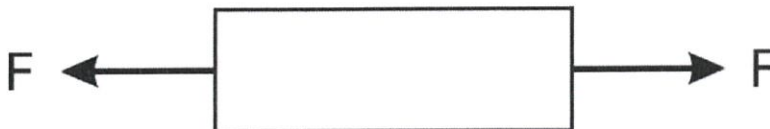
รูปที่ 2.4 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุ

จากสมการความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (7)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น (นิวตันต่อตารางเมตร)
 F คือ แรงที่กระทำกับวัตถุ (นิวตัน)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง (ตารางเมตร)

2.4.2 ทฤษฎีความเค้นดึง



รูปที่ 2.5 แสดงแรงดึงกระทำกับวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการความเค้นดึง

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นดึง (นิวตันต่อตารางเมตร)
 F คือ แรงดึงที่กระทำกับวัตถุ (นิวตัน)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (ตารางเมตร)

2.4.3 สมการในการคำนวณหาพื้นที่รับแรงของเกลียว

จากสมการคำนวณหาพื้นที่รับความเค้นของเกลียว

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_p + d_r}{2} \right)^2 \quad (9)$$

เมื่อ A_t คือ พื้นที่รับความเค้นของเกลียว (ตารางเมตร)
 d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (เมตร)
 d_r คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรอง (เมตร)

จากสมการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเกลียวนอก

$$\text{พื้นที่หน้าตัดเกลียวนอก} = \text{พื้นที่รับความเค้นเกลียว} - \text{พื้นที่หน้าตัดภายในถัง} \quad (10)$$

สมการคำนวณหาความเค้นดึงของฝาเกลียว

$$\text{ความเค้นดึงของฝาเกลียว} = \text{พื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก} - \text{พื้นที่รับความเค้นสกรู} \quad (11)$$

จากสมการคำนวณหาพื้นที่รับแรงเฉือนต่อหนึ่งรอบเกลียว

$$A = \pi d_p \frac{p}{2} \quad (12)$$

เมื่อ d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (เมตร)
 p คือ ระยะพิตช์ (เมตร)

2.4.4 การคำนวณหาตัวประกอบความปลอดภัย

ทฤษฎีการคำนวณหาตัวประกอบความปลอดภัย

จากสูตร

$$SF = \frac{\tau_u}{\tau_s} \quad (13)$$

- เมื่อ SF คือ ตัวประกอบความปลอดภัย
 τ_u คือ ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (เมกะปาสกาล)
 τ_s คือ ค่าความเค้นเฉือนที่ใช้งาน (เมกะปาสกาล)

2.5 การเลือกใช้โอรัง

ซีลสถิติขนาดความแข็ง 80 ถึง 90 ชอร์ เป็นโอรังใช้ในงานในการซีลข้อต่อหรือจุดต่อต่าง ๆ ในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น ภายใต้แรงดันสูงกว่าโอรังปกติทั่วไป โดยที่ในการทำงานของโอรังนั้นไม่มีส่วนที่สัมผัสกับส่วนที่เคลื่อนที่ ในการใช้งานโอรังนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือแรงดันและอุณหภูมิของจุดที่ใช้งานเพื่อที่จะสามารถเลือกค่าความแข็งและวัสดุที่ใช้ทำโอรังได้ถูกต้องตามดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ทำโอรัง

วัสดุที่ใช้ทำโอรัง	อุณหภูมิที่ใช้งานสูงสุด (เซลเซียส)	ค่าความแข็ง (ชอร์)	ความต้านทานต่อแรงดึง	เหมาะสำหรับใช้กับ	อุณหภูมิที่ใช้งาน (เซลเซียส)
ยางสังเคราะห์	105	40-95	ดี	น้ำมันเกือบทุกชนิด เช่น น้ำมันไฮดรอลิก ยกเว้นน้ำมันเชื้อเพลิง	-40 ถึง 110
นีโอพรีน	105	20-90	ดี	ต่าง กรด และ น้ำมันหล่อลื่น	-55 ถึง 140
ซิลิโคน	230	10-90	ไม่ดี	น้ำมันทุกชนิดยกเว้น น้ำมันเชื้อเพลิง ต่าง และกรด	-85 ถึง 230
ฟลูออโร ซิลิโคน	205	40-80	ไม่ดี	น้ำ และกรดต่าง ๆ	-55 ถึง 150
ฟลูออโร อีลาสโตเมอร์	230	60-90	ดี	ใช้ได้กับของไหลเกือบทุกชนิด ยกเว้นสารเคมีประเภทคีโตน และ พอลิเอทิลีนที่ใช้งานได้กับสารที่มีคุณสมบัติเป็นต่าง	-35 ถึง 205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การบอกขนาดของโอริง

การบอกขนาดของโอริงเราจะนิยมบอกขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID) และความหนา (W) หรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวโอริง เช่น โอริงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรหนา 5.3 มิลลิเมตร เราเรียกว่า โอริงขนาด 40 x 5.3 มิลลิเมตร การบอกขนาดของโอริงมีหลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐานอเมริกา AS568 A, มาตรฐานญี่ปุ่น JIS2401

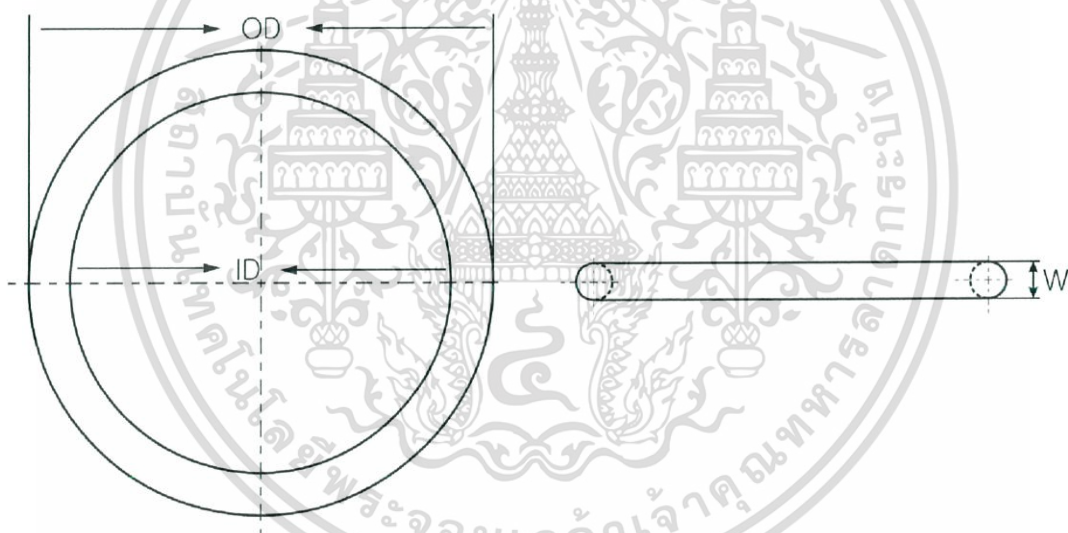
2.5.2 การหามิติต่าง ๆ ของโอริง

มิติต่าง ๆ ของโอริงดังรูปที่ 2.6 ทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก รวมถึงความหนา สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ด้านล่างนี้

$$ID = OD - 2W \quad (14)$$

$$W = (OD - ID) / 2 \quad (15)$$

เมื่อ ID คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เมตร)
 OD คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เมตร)
 W คือ ความหนา (เมตร)



รูปที่ 2.6 รูปแสดงขนาดของตัวแปรที่ใช้กับสมการข้างต้น

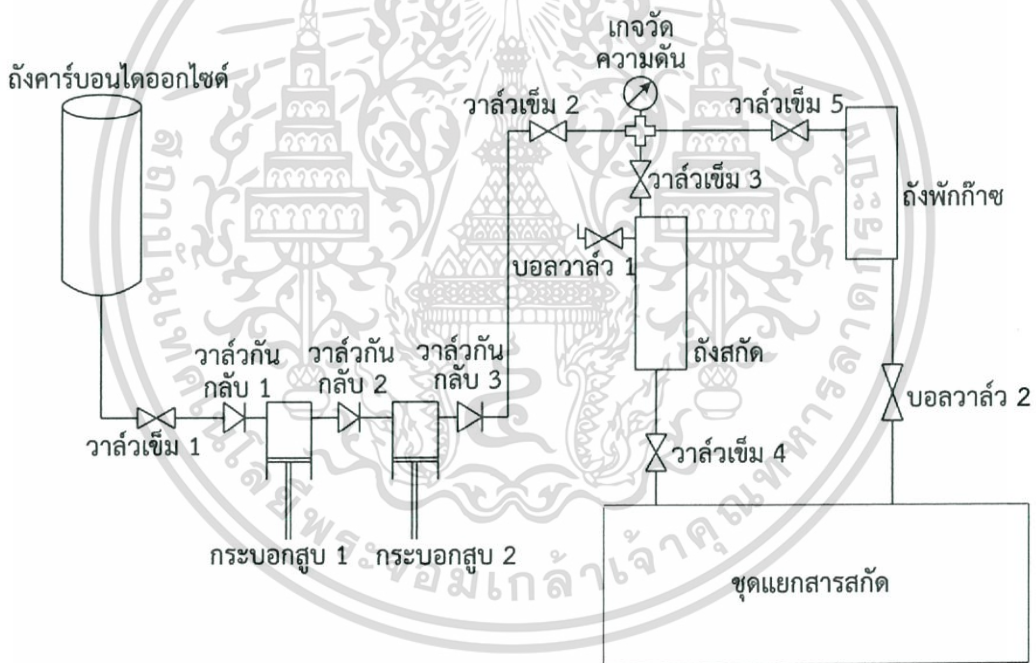
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการออกแบบ

3.1 การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แบบวงจรปิด

เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบวงจรปิดโดยมีกระบวนการทำงานเริ่มจากการเปิดถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะออกจากถังผ่านวาล์วกันกลับตัวที่ 1 ไปที่กระบอกสูบที่ 1 เพื่ออัดความดัน จากนั้นจะไหลผ่านวาล์วกันกลับตัวที่ 2 ไปยังกระบอกสูบที่ 2 แล้วจึงไหลออกจากกระบอกสูบที่ 2 ด้วยความดันที่สูงขึ้น เข้าสู่วาล์วกันกลับตัวที่ 3 แล้วจึงไหลผ่านเกจวัดความดันเข้าสู่ถังสกัด ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดไว้ในถังสกัดตามเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วจึงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากถังสกัดเข้าสู่ชุดแยกสาร แล้วจึงทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนดอีกครั้ง จากนั้นจึงเปิดบอลวาล์วตัวที่ 2 เพื่อปล่อยก๊าซออกจากชุดแยกสารเข้าสู่ถังพักก๊าซ แล้วจึงเปิดวาล์วเข็ม 5 เพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ถังสกัดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบวงจรปิด

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

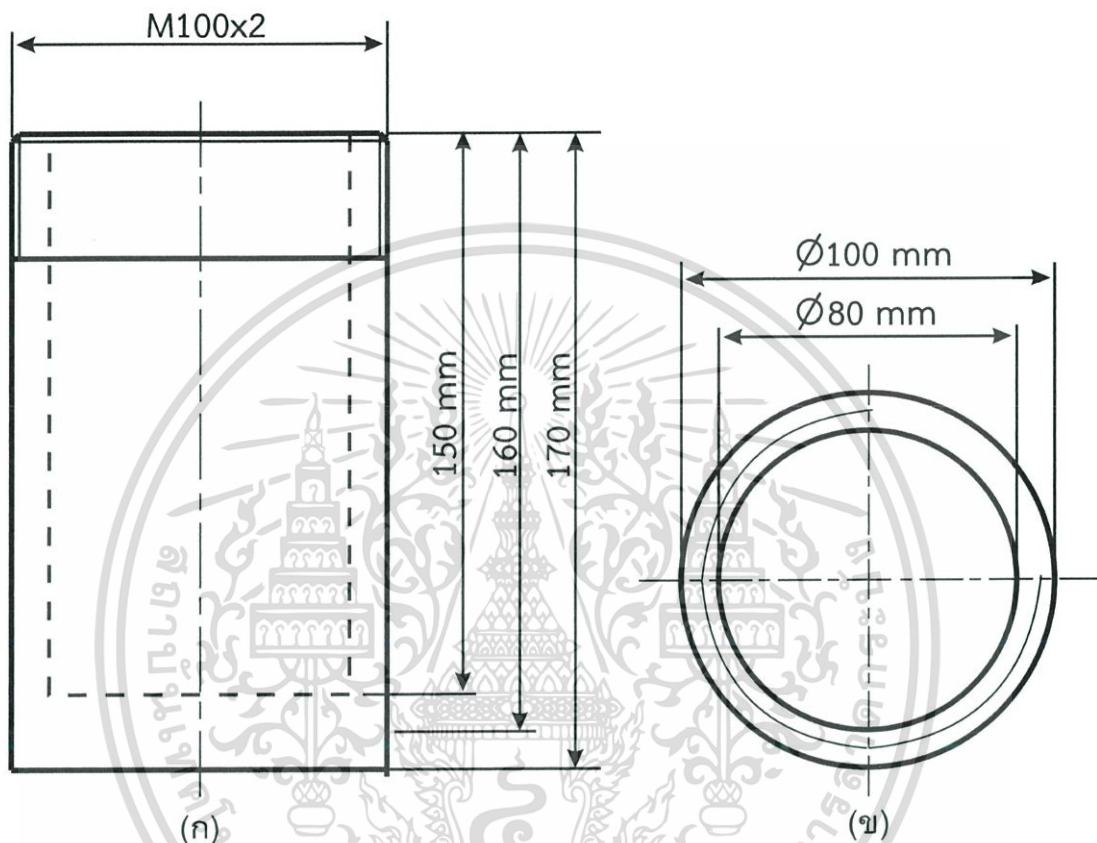
1. ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว
3. วาล์วกันกลับ
4. วาล์วเข็ม
5. คอมเพรสเซอร์
6. ถังสกัดความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มาตรฐานวัดความดัน

8. ชุดแยกสาร

3.3 การคำนวณความทนทานต่อความดันของถังความดัน



รูปที่ 3.2 (ก) แสดงภาพด้านข้าง (ข) แสดงภาพด้านบน และขนาดของถังความดัน

ให้ผนังท่อเป็นแบบผนังหนาคำนวณจาก

ความดันภายในถัง $P_i = 20 \text{ MPa}$

ความดันภายนอกถัง $P_o = 0.1 \text{ MPa}$

รัศมีภายใน $r_i = 0.04 \text{ m}$

รัศมีภายนอก $r_o = 0.05 \text{ m}$

ถ้าพิจารณาภายในถัง $r = 0.04 \text{ m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การคำนวณความเค้นแบบผนังหนาในแนวต่าง ๆ

จากสมการที่ (1) ความเค้นตามแนวแกน

$$\begin{aligned}\sigma_a &= \frac{(20)(0.04)^2 - (0.1)(0.05)^2}{0.05^2 - 0.04^2} \\ &= 35.5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

จากสมการที่ (2) ความเค้นตามแนวรัศมี

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{(20)(0.04)^2 - (0.1)(0.05)^2}{0.05^2 - 0.04^2} + \frac{(0.04)^2(0.05)^2(0.1 - 20)}{(0.04)^2(0.05^2 - 0.04^2)} \\ &= -20 \text{ MPa}\end{aligned}$$

จากสมการที่ (3) ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{(20)(0.04)^2 - (0.1)(0.05)^2}{0.05^2 - 0.04^2} + \frac{(0.04)^2(0.05)^2(0.1 - 20)}{(0.04)^2(0.05^2 - 0.04^2)} \\ &= 90.6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

จากสมการที่ (4) ตัวประกอบความปลอดภัยในแนวแกน c

$$SF = \frac{215}{90.6} = 2.37$$

ตัวประกอบความปลอดภัยในแนวแกน r

$$SF = \frac{215}{20} = 10.8$$

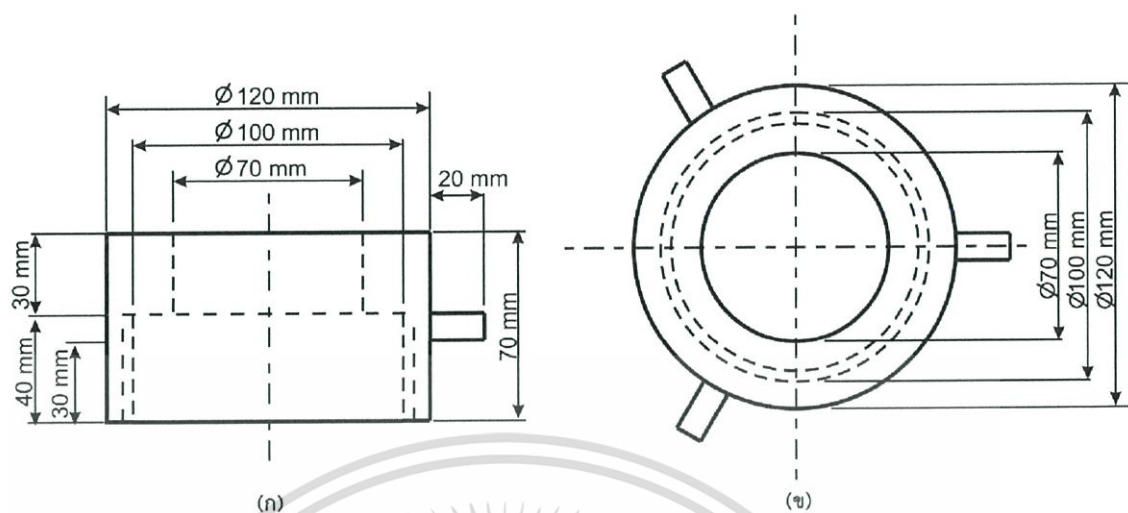
ตัวประกอบความปลอดภัยในแนวแกน a

$$SF = \frac{215}{35.5} = 6.06$$

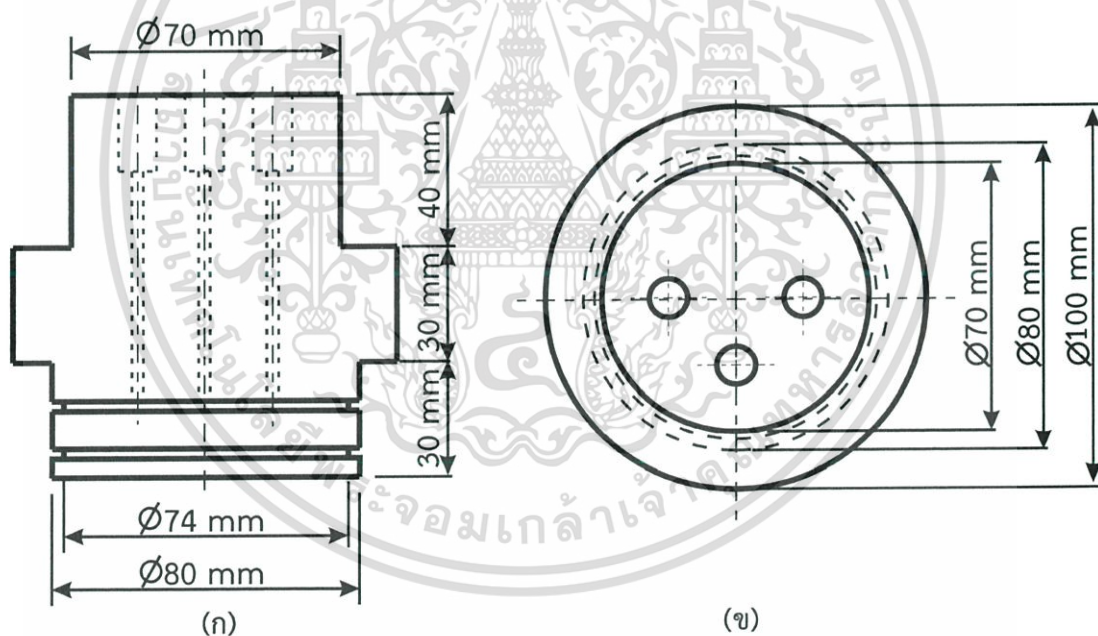
ได้ตัวประกอบความปลอดภัยในแนวแกน c, r และ a คือ 2.37, 10.8 และ 6.06 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 คำนวณความเค้นเฉือนที่จุดรับแรงเฉือนของถังความดัน



รูปที่ 3.3 (ก) แสดงภาพด้านข้าง (ข) ภาพด้านบน และขนาดของฝาปิด



รูปที่ 3.4 (ก) แสดงภาพด้านข้าง (ข) ภาพด้านบน และขนาดของตัวยึดกับตัวต่อท่อ

พื้นที่รับแรงเฉือนของฝาปิด

$$\begin{aligned}
 A &= 2\pi \cdot r \cdot l \\
 &= 2\pi(0.05)(0.04) \\
 &= 1.26 \times 10^{-2} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระทำบนฝาปิด

$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 20 \times (1.26 \times 10^{-2}) \\ &= 252 \text{ kN} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (7) จะได้ความเค้นเฉือนที่ฝาปิด

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{252}{1.26 \times 10^{-2}} \\ &= 2 \times 10^4 \text{ kPa} \\ &= 20 \text{ MPa} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (4) ตัวประกอบความปลอดภัยของความเค้นที่ฝาปิด

$$SF = \frac{215}{20} = 10.8$$

เนื่องจากความแรงครากเฉือนของเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 186 เมกะปาสกาล และแรงที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือนมีค่าต่ำกว่าความแรงครากเฉือนมาก ดังนั้นจึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความเค้นเฉือน โดยมีตัวประกอบความปลอดภัยของความเค้นที่ฝาปิด คือ 10.8

พื้นที่รับแรงเฉือนของตัวยึดกับตัวท่อ

$$\begin{aligned} A &= 2\pi \cdot r \cdot l \\ &= 2\pi(0.04)(0.03) \\ &= 7.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น จากสมการที่ (7) จะได้ความเค้นเฉือนที่ตัวยึดตัวต่อท่อ

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{252}{7.54 \times 10^{-3}} \\ &= 3.34 \times 10^4 \text{ kPa} \\ &= 33.4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (4) จะได้ตัวประกอบความปลอดภัยของความเค้นที่ตัวยึดตัวต่อท่อ

$$SF = \frac{215}{33.4} = 6.44$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความแรงครากเฉือนของเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 186 เมกะปาสกาล และแรงที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือนมีค่าต่ำกว่าความแรงครากเฉือนมาก ดังนั้นจึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความเค้นเฉือน โดยมีตัวประกอบความปลอดภัยของความเค้นที่ตัวยึดตัวต่อท่อ คือ 6.44

3.3.3 คำนวณหาค่าความปลอดภัยจากเกลียวที่ถึงความตัน

เกลียวที่ใช้เป็นเกลียวละเอียด มีขนาดต่าง ๆ ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลาง d คือ 99 มิลลิเมตร

ระยะพิทช์ p คือ 2 มิลลิเมตร

จากสมการที่ (5) และ (6) สามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางรองและพิทช์ ได้

เส้นผ่านศูนย์กลางรอง d_r

$$d_r = d - 1.23p$$

$$d_r = 99 - 1.23(2)$$

$$d_r = 97.5 \text{ mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ d_p

$$d_p = d - 0.65p$$

$$d_p = 99 - 0.65(2)$$

$$d_p = 98.7 \text{ mm}$$

3.3.4 คำนวณหาความเค้นดึงเนื่องจากแรงดึงของเกลียว

ที่ความตัน

$$20 \text{ MPa}$$

ดังนั้นที่รับแรง

$$252 \text{ kN}$$

จากสมการที่ (9) พื้นที่รับความเค้นดึงของสกรู หาได้จากค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรองและเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{0.098 + 0.097}{2} \right)^2$$

$$A_t = 7.56 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

จากสมการที่ (10) สามารถหาพื้นที่หน้าตัดที่เป็นเกลียวนอก

$$= (7.56 \times 10^{-3}) - (5.03 \times 10^{-3})$$

$$= 2.53 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (8) สามารถหาความเค้นดึงที่เกลียวนอก

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{252}{2.53 \times 10^{-3}} \\ &= 9.96 \times 10^4 \text{ kPa} \\ &= 99.6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

จากสมการที่ (4) สามารถหาตัวประกอบความปลอดภัยของความเค้นดึงที่เกลียวนอก

$$\begin{aligned}\text{SF} &= \frac{215}{99.6} \\ &= 2.16\end{aligned}$$

จากสมการที่ (11) สามารถหาพื้นที่รับความเค้นดึงของฝาเกลียว

$$\begin{aligned}&= (1.13 \times 10^{-2}) - (7.56 \times 10^{-3}) \\ &= 3.74 \times 10^{-3} \text{ m}^2\end{aligned}$$

จากสมการที่ (8) สามารถหาจะได้ความเค้นดึงของฝาเกลียว

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{252}{3.74 \times 10^{-4}} \\ &= 6.74 \times 10^4 \text{ kPa} \\ &= 67.4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

จากสมการที่ (10) สามารถหาตัวประกอบความปลอดภัยของความเค้นดึงที่ฝาเกลียว

$$\begin{aligned}\text{SF} &= \frac{215}{67.4} \\ &= 3.19\end{aligned}$$

3.3.5 คำนวณหาความเค้นเฉือนของซีเกลียว

เนื่องจากเป็นวัสดุเดียวกัน ตามสมการที่ (12) พื้นที่หน้าตัดที่เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์จะเป็นตัวรับความเค้นเฉือนทั้งหมดจะได้พื้นที่รับแรงเฉือนต่อหนึ่งรอบเกลียว

เมื่อ

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ d_p คือ 0.0987 เมตร

ระยะพิตช์ p คือ 0.002 เมตร

$$A = \pi(0.0987)\left(\frac{0.002}{2}\right)$$

$$= 3.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (7) ความเค้นเฉือนที่มีต่อ 1 ซีเกลียว

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{252/16}{3.08 \times 10^{-4}} \\ &= 5.1 \times 10^4 \text{ kPa} \\ &= 51 \text{ MPa}\end{aligned}$$

จากสมการที่ (13) หาค่าประกอบความปลอดภัยของความเค้นเฉือนต่อ 1 ซีเกลียว

$$\begin{aligned}\text{SF} &= \frac{\tau_y}{\tau_w} = \frac{186}{51} \\ &= 3.65\end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

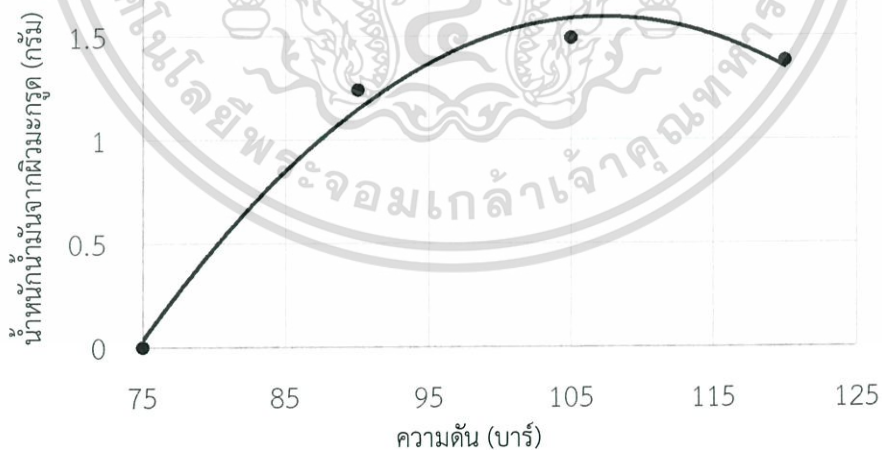
4.1 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในระบบเปิด

4.1.1 ที่อุณหภูมิ 50 เซลเซียส เวลา 75 นาที

ตารางที่ 4.1 ผลของความดันที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ที่อุณหภูมิ 50 เซลเซียส เวลา 75 นาที

ความดัน (บาร์)	น้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักของผิวมะกรูดหลังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำจากผิวมะกรูดที่อยู่ในถังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันจากผิวมะกรูดในถังแยก (กรัม)	ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด
75	200	179	0	0	0
90	200	174	11.8	1.24	0.618
105	200	157	27.8	1.49	0.744
120	200	169	23.7	1.38	0.691

ผลของความดันที่มีต่อปริมาณน้ำมันจากผิวมะกรูดที่อุณหภูมิ 50 เซลเซียส 75 นาที



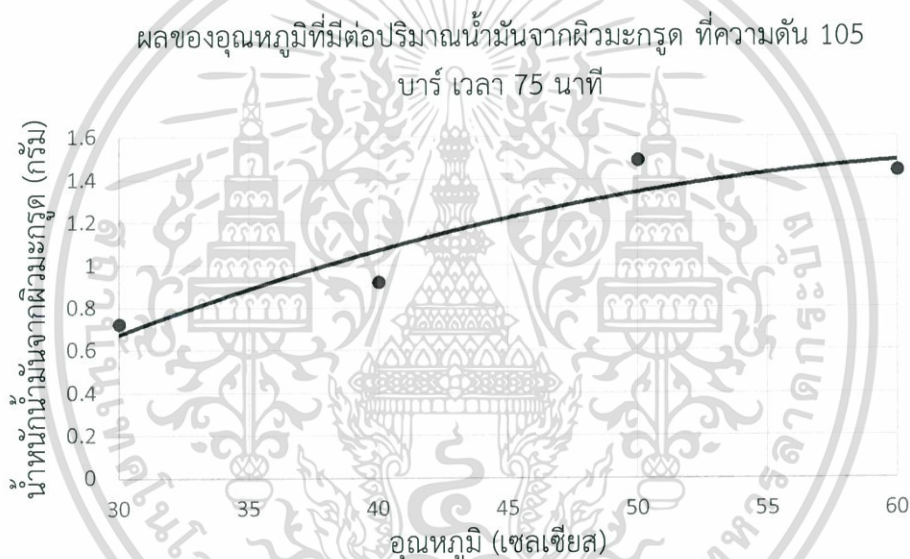
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของความดันที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ที่ความดัน 105 บาร์ เวลา 75 นาที

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ที่ความดัน 105 บาร์ เวลา 75 นาที

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	น้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักของผิวมะกรูดหลังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำจากผิวมะกรูดที่อยู่ในถังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันจากผิวมะกรูดในถังแยก (กรัม)	ร้อยละน้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด
30	200	194	2.04	0.724	0.362
40	200	179	16.6	0.920	0.460
50	200	174	27.8	1.49	0.744
60	200	178	22.2	1.44	0.719

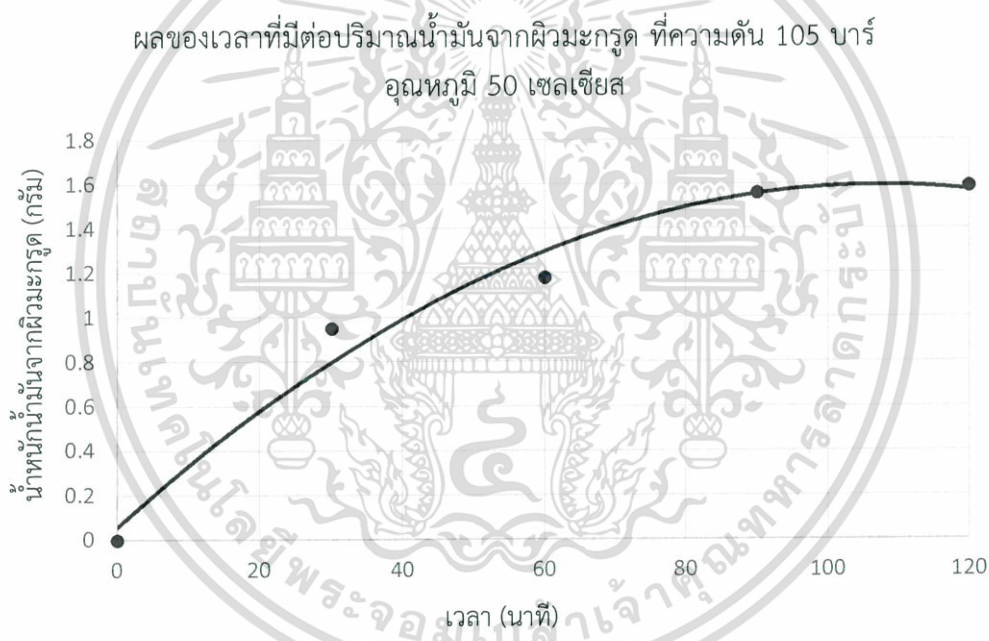


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

4.1.3 ที่ความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 50 เซลเซียส

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด ที่ความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 50 เซลเซียส

เวลา (นาทีก)	น้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักของผิวมะกรูดหลังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำจากผิวมะกรูดที่อยู่ในถังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันจากผิวมะกรูดในถังแยก (กรัม)	ร้อยละน้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด
30	200	178	14.0	0.951	0.476
60	200	176	20.1	1.18	0.588
90	200	178	14.7	1.56	0.780
120	200	171	21.2	1.59	0.795



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของเวลาที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

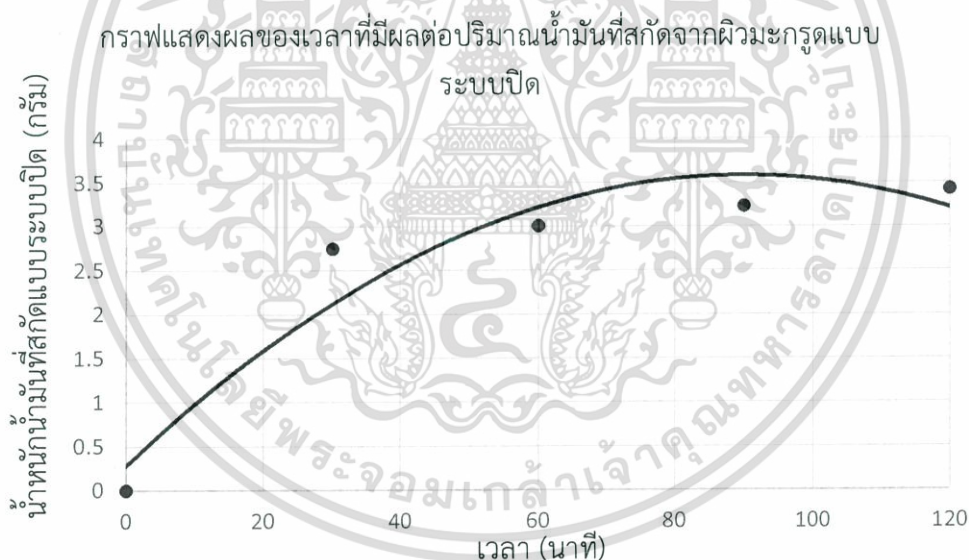
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในระบบปิด

4.2.1 ที่ความดัน 105 บาร์ และ 50 เซลเซียส

ตารางที่ 4.4 ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่สกัดแบบระบบปิด ที่ความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 50 เซลเซียส

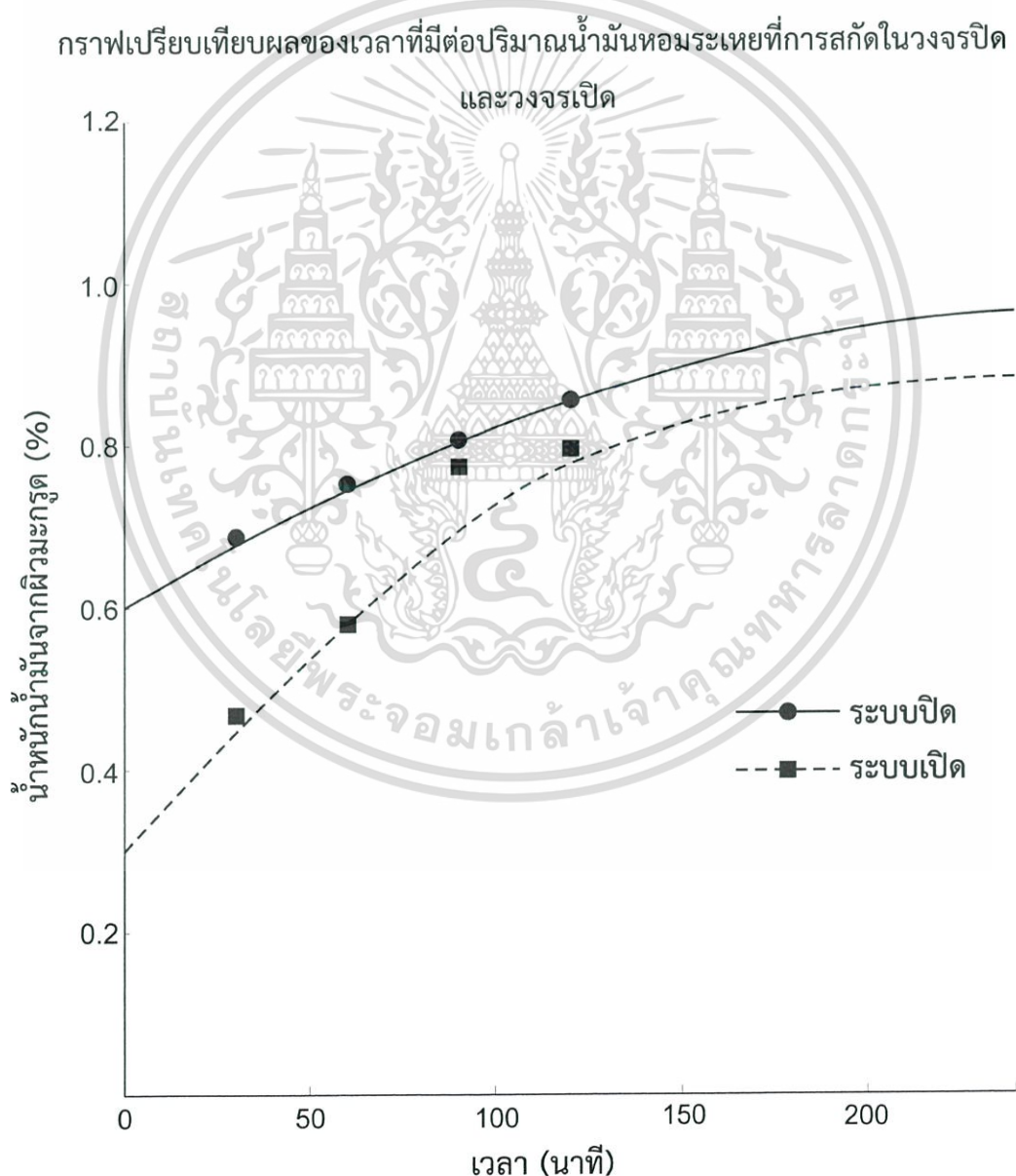
เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาท)	น้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักของผิวมะกรูดหลังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำจากผิวมะกรูดที่อยู่ในถังสกัด (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันจากผิวมะกรูดในถังแยก (กรัม)	ร้อยละน้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด	ร้อยละปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประหยัดได้ต่อรอบการสกัด
30	400	354	41.8	2.75	0.687	33.3
60	400	333	64.4	3.01	0.753	28.6
90	400	333	65.3	3.23	0.807	38.1
120	400	331	67.5	3.42	0.855	42.8



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของเวลาที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดแบบระบบปิด

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่สกัดด้วยวิธีอย่างง่าย และแบบระบบปิด

เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ร้อยละน้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด ด้วยการสกัดแบบระบบเปิด	ร้อยละน้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักของผิวมะกรูดก่อนสกัด ด้วยการสกัดแบบระบบปิด	ผลต่างของร้อยละน้ำหนักน้ำมันที่สกัดแบบระบบปิดและระบบเปิด	สัดส่วนการเพิ่มปริมาณสารหอม
30	0.476	0.687	0.211	44.3
60	0.588	0.753	0.165	28.1
90	0.780	0.807	0.027	3.46
120	0.795	0.855	0.060	7.55



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของเวลาที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดแบบระบบปิด และระบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดสอบถึงความดันที่ออกแบบและทำขึ้นสามารถทนแรงดันได้ถึง 200 บาร์ เพราะจากการคำนวณผู้ออกแบบได้มีการคำนวณค่าความปลอดภัยไว้ 2.37 ซึ่งการที่ถึงความดันทนความดันได้สูงขึ้นทำให้เรามีความสามารถในการเลือกสก็ดมากขึ้นและยังสามารถหาจุดที่เหมาะสมในการสก็ดของวัตถุบิตอื่น ๆ ที่อาจมีจุดเหมาะสมที่ความดันสูงได้อีกด้วย
2. จากการออกแบบและทำเครื่องสก็ดน้ำมันหอมระเหยด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบระบบปิด ทำให้เราสามารถประหยัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ยร้อยละ 35.7 ของปริมาณก๊าซที่ใช้ในแต่ละครั้งของการสก็ด อีกทั้งยังส่งผลให้ลดการสูญเสียของน้ำมันหอมระเหยที่ติดอยู่กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
3. จากการหาจุดที่เหมาะสมต่อการสก็ดน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดนั้น พบว่าจุดที่เหมาะสมต่อการสก็ดอยู่ที่ 105 บาร์ 50 เซลเซียส และ 90 นาที
4. จากการออกแบบและทำเครื่องสก็ดน้ำมันหอมระเหยด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบระบบปิด ทำให้เราได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากขึ้นกว่าการสก็ดแบบระบบเปิดเฉลี่ยร้อยละ 11.6 ของน้ำหนักน้ำมันหอมระเหย

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยนั้น มีหลายปัจจัยที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกัน โดยมีปัจจัยหลัก คือความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสก็ด ส่วนปัจจัยรองก็มีอาทิเช่น เวลาในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ขนาดของการหั่นผิวมะกรูดให้เท่ากันสม่ำเสมอ และปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้ คือปริมาณน้ำมันที่อยู่ในผิวมะกรูดแต่ละลูก ขนาดของมะกรูดที่นำมาทำการทดลอง ความหนาของผิวมะกรูด และค่าความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ของการทดลอง เช่น เกจความดัน เทอร์โมมิเตอร์ และเครื่องชั่งวัตถุบิต เป็นต้น ซึ่งมะกรูดที่เรานำมาสก็ดนั้นควรหาจากแหล่งเดียวกัน และยังสามารถหาจุดที่เหมาะสมในการสก็ดได้จากการใช้สถิติหรือค่าเฉลี่ย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. วัตถุบิตที่นำมาสก็ดควรเป็นวัตถุบิตที่สดใหม่ เนื่องจากการสังเกตของผู้ทำการทดลองนั้นเห็นว่าการนำวัตถุบิตที่จะสก็ดมาเองนั้นจะทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยมากกว่าวัตถุบิตที่ซื้อจากร้านค้า
2. การสก็ดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องใช้ความดันสูง จึงควรที่จะทำให้ท่อและข้อต่อเป็นแนวตรงอยู่เสมอเพื่อลดการรั่วไหลออกสู่บรรยากาศ
3. ควรมีการศึกษาคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยว่ามีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อสี กลิ่น และระยะเวลาการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ควรมีการวัดความดันที่จุดต่าง ๆ ให้ละเอียดมากขึ้นและมีการคุมอัตราการไหลอย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น
5. ควรมีการศึกษาคุณภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลแบบระบบปิดให้มีความบริสุทธิ์ ไม่มีน้ำมันหอมระเหยปนกลับมากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอาจทำให้การสกัดมีคุณภาพสูงมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] วรัชกริช อินทร์ห้างหว่า, ศุภชัย เมตตาทพล, สกล กฤตยานรากรณ์ พ.ศ. 2556: ปริญญาานิพนธ์ การสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบสองขั้นตอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดสำหรับเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล.
- [2] Teledyne Isco, “Supercritical fluid applications in manufacturing and materials production,” Syringe Pump Application Note AN1, 28 September 2012.
- [3] Qingyong Lang, Chien M. Wai, “Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies a practical review,” The International Journal of Talanta, Volume 53, Issue 4, 5 January 2001.
- [4] Kenneth Andrew Nielson, “Methods and apparatus for reducing air entrapment in spray application of coatings to a substrate” related Patent Applications This application contains subject matter related to U.S. Patent No. 4,923,720, May 8.
- [5] Rui L. Mendes, Beatriz P. Nobre, Miguel T. Cardoso, Ana P. Pereira, António 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
- [6] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, “Shigley’s Mechanical Engineering Design,” 10th ed., United states of America, McGraw-Hill Education, 2015.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

สถานที่ติดต่อ ทดสอบ ล้างทำ และจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องมือ

1. บริษัท นานาสตีล จำกัด เป็นร้านที่จำหน่ายวัสดุที่ใช้สร้างถังสกัด
บริษัท นานาสตีล จำกัด
4/1 ถนนเจ้าคุณทหาร แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ ; 0-2737-2717-9 โทรสาร ;0-2737-4257
2. บริษัท เอส เค ไฮดรอลิค จำกัด เป็นร้านทำชิ้นงาน
บริษัท เอส เค ไฮดรอลิค จำกัด
108,110 ซอย 24 ถนนร่มเกล้า แขวงมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
โทรศัพท์: 0-2543-9661 โทรสาร: 0-2543-9670
3. ห้างหุ้นส่วนจำกัด สห เจนเนอรอล แอนด์ ซัพพลาย เป็นร้านที่จำหน่ายซิลโอริง
ห้างหุ้นส่วนจำกัด สห เจนเนอรอล แอนด์ ซัพพลาย
330 หมู่ 10 แขวงลำปลาทิว แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10310
โทรศัพท์: 0-2737-2266
4. บริษัท ชัยถาวรรุ่งเรือง จำกัด เป็นร้านจำหน่ายถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
บริษัท ชัยถาวรรุ่งเรือง จำกัด
6/35 หมู่ 10 ถนนเจ้าคุณทหาร แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์: 0-2360-5741
5. บริษัท เอ็ม เจ บางกอกควาล์ว แอนด์ ฟิตติ้ง จำกัด เป็นตัวแทนจำหน่ายวาล์ว ท่อ เกจวัดความดัน
และฟิตติ้ง
บริษัท เอ็ม เจ บางกอกควาล์ว แอนด์ ฟิตติ้ง จำกัด
ที่อยู่: 88/8 หมู่ 14 ถนนกิ่งแก้ว ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
โทรศัพท์: 0-2062-1599 โทรสาร: 0-2062-1590
6. บริษัท สเป็คซีล จำกัด เป็นร้านจำหน่ายทำซิลเทฟลอนของกระบอกสูบอัดความดัน
บริษัท สเป็คซีล จำกัด
โครงการเอ็นเตอร์ไพรซ์ ปาร์ค เลขที่ 89/64 หมู่ 15 ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
7. บริษัท ซีทีวี ฮาร์ดแวร์ จำกัด เป็นร้านซื้ออุปกรณ์ อื่น ๆ ที่ใช้สำหรับทำเครื่องสกัด
บริษัท ซีทีวี ฮาร์ดแวร์ จำกัด
6/31 ถนนเจ้าคุณทหาร แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์: 0-2737-2330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ขั้นตอนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในระบบปิด

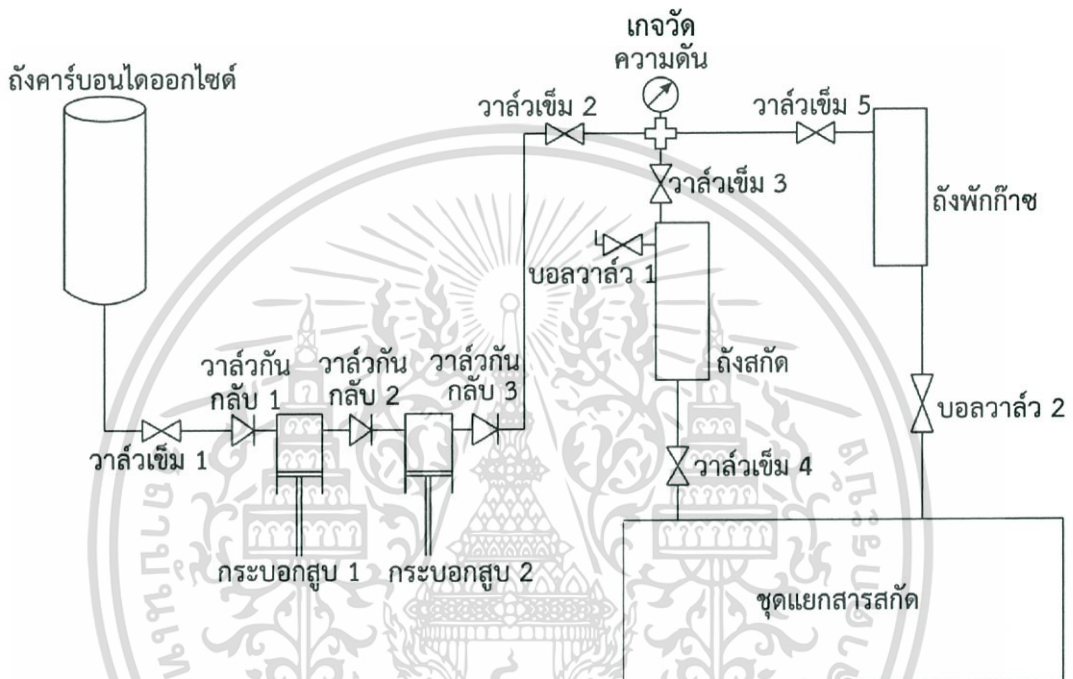
การสกัดน้ำมันหอมระเหยในระบบปิด มีหลายขั้นตอนในการสกัด โดยการสกัดในแต่ละรอบมีการเปลี่ยนแปลงความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ต่างกัน ในที่นี้เราสามารถควบคุมอุณหภูมิในการสกัดจากการใช้น้ำหล่อไว้รอบ ๆ ถึงสกัด ให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้า หรือออกจากถึงสกัด โดยมีขั้นตอนในการสกัดดังนี้

1. ตรวจสอบเช็คอุปกรณ์ และเครื่องสกัดให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์
2. เตรียมวัตถุดิบให้พร้อมในการสกัด
3. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ข้างต้นไปชั่งน้ำหนักและใส่ลงในถุงตาข่าย
4. นำถุงตาข่ายที่มีวัตถุดิบอยู่ภายในใส่ลงไปที่ถึงสกัด
5. จัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ก่อนสกัด
6. ชั่งน้ำหนักของถังคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนสกัด
7. เปิดวาล์วทุกตัวที่ชุดสกัดรวมถึงวาล์วที่ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อไล่อากาศออกจากชุดทดลอง
8. จากนั้นปิดวาล์วทุกตัวยกเว้นวาล์วเข็มตัวที่ 1 2 และ 3
9. ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ถึงสกัดโดยการใช้ น้ำหล่อรอบ ๆ ถึงสกัด
10. ควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ ณ อุณหภูมิที่เรากำหนดตลอดระยะเวลาการสกัด
11. อัดความดันด้วยไฮดรอลิกที่กระบอกสูบ 1 จำนวน 5 ครั้ง
12. อัดความดันด้วยไฮดรอลิกที่กระบอกสูบ 2 จำนวน 1 ครั้ง
13. ทำขั้นตอน 9 และ 10 จนถึงสกัดมีค่าความดันที่กำหนดไว้ และจดเวลาที่เริ่มสกัด
14. เมื่อถึงความดันที่เราต้องการ ให้ทำการปิดวาล์วเข็มตัวที่ 1 2 และ 3 เพื่อป้องกันการรั่วไหล
15. ทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนด
16. เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการเปิดวาล์วเข็มตัวที่ 4 อย่างช้า ๆ เพื่อให้ คาร์บอนไดออกไซด์ไหลเข้าสู่ถึงแยกสาร
17. รอจนกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถึงสกัด และถึงแยกจะไม่มีถ่ายเท แล้วจดค่าความดันที่ถึงแยก
18. จากนั้นเปิดบอลวาล์ว 2 ซ้ำ ๆ เพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ถึงพักก๊าซ
19. รอจนกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถึงแยกและถึงพักก๊าซไม่มีการถ่ายเท แล้วปิดบอลวาล์ว 2
20. ทำการปล่อยความดันออกจากถึงแยกสาร และถึงสกัด
21. เปิดถึงสกัดเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบ (ในการเตรียมวัตถุดิบนั้นให้ทำตามขั้นตอนที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น)
22. ตรวจสอบเช็คเครื่องสกัดให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมสกัด
23. เปิดวาล์วเข็มที่ 5 ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ถึงสกัด และบันทึกค่าความดัน
24. ทำตามขั้นตอน 11 ถึง 16
25. ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากถึงแยกสาร และถึงสกัด อย่างช้า ๆ
26. เก็บน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากถึงแยก
27. นำวัตถุดิบออกจากถึงสกัด พร้อมเก็บน้ำ และน้ำมันที่อยู่ในถึงสกัดออกมาบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28. ทำการซึ่่งน้ำหน้กถ้คาร์บอนไดออกไซด์ วัตถุดิบ น้ำมันหอมระเหย และน้ำจากมะกรูด แล้ว บันที่กผล

- *** หมายเหตุ (ก) ซึ่่งน้ำหน้กวัตถุดิบก่อน และหลังสกัด ทุกครั้งที่ทำการสกัด
 (ข) หน้มน้ตรวจเช้คเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยให้อยู่ในสภาพสมบูรณอยู่เสมอ
 (ค) ก่อนเปิดถ้ถึงความดัน ต้องทำให้แนในว่ในถ้สกัดน้ันไม่มีควมดันหลงเหลืออยู่ แล้ว
 (ง) ซึ่่งตอน 1 ถึง 28 แสดงการสกัดแบบวงจรปิด 2 รอบเท่านั้น



รูปที่ ข.1 แผนผังเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต แบบวงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

คู่มือการติดตั้งท่อและฟิตติง

INSTALLATION INSTRUCTIONS

Installation Instructions

Swagelok tube fittings 1 in./25 mm and smaller can be installed quickly, easily, and reliably with simple hand tools.

Over 1 in./25 mm sizes require use of a hydraulic swaging unit to swage the ferrules onto the tubing.

Safety Precautions

- Do not bleed system by loosening fitting nut or fitting plug.
- Do not assemble and tighten fittings when system is pressurized.
- Make sure that the tubing rests firmly on the shoulder of the tube fitting body before tightening the nut.
- Use the correct Swagelok gap inspection gauge to ensure sufficient pull-up upon initial installation.
- Always use proper thread sealants on tapered pipe threads.
- Do not mix materials or fitting components from various manufacturers—tubing, ferrules, nuts, and fitting bodies.
- Never turn fitting body. Instead, hold fitting body and turn nut.
- Avoid unnecessary disassembly of unused fittings.
- Use only long reducers in female Swagelok end connections.

See the instructions starting below for installation of Swagelok tube fittings, O-seal male connectors, caps and plugs, port connectors, tube adapters, positionable elbows and tees, weld fittings, depth marking tool, and preswaging tool.

INSTALLATION INSTRUCTIONS

Swagelok Tube Fittings

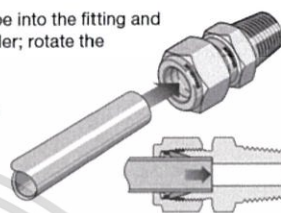
Up to 1 in./25 mm

These instructions apply both to traditional fittings and to fittings with the advanced back-ferrule geometry.

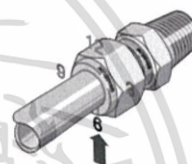
Fully insert the tube into the fitting and against the shoulder; rotate the nut finger-tight.

High-pressure applications and high safety-factor systems:

Further tighten the nut until the tube will not turn by hand or move axially in the fitting.

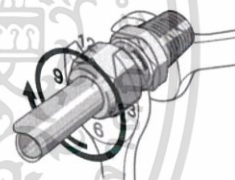


Mark the nut at the 6 o'clock position.



While holding the fitting body steady, tighten the nut one and one-quarter turns to the 9 o'clock position.

For 1/16, 1/8, and 3/16 in., 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the nut three-quarters turn to the 3 o'clock position.



รูปที่ ค.1 คู่มือแสดงการติดตั้งทั่วไป

รูปที่ ค.2 คู่มือแสดงการติดตั้งท่อและฟิตติง

INSTALLATION INSTRUCTIONS

Swagelok Tube Fittings**Reassembly—All Sizes**

You may disassemble and reassemble Swagelok tube fittings many times.

⚠ Always depressurize the system before disassembling a Swagelok tube fitting.

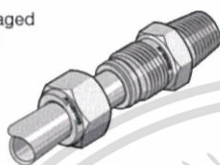
Prior to disassembly, mark the tube at the back of the nut; mark a line along the nut and fitting body flats.

Use these marks to ensure that you return the nut to the previously pulled-up position.



Insert the tube with preswaged ferrules into the fitting until the front ferrule seats against the fitting body.

Over 1 in./25 mm sizes:
If needed, reapply lubricant lightly to the body threads and the rear surface of the back ferrule.



While holding the fitting body steady, rotate the nut with a wrench to the previously pulled-up position, as indicated by the marks on the tube and flats. At this point, you will feel a significant increase in resistance. Tighten the nut slightly.



⚠ Do not use the Swagelok gap inspection gauge with reassembled fittings.

รูปที่ ค.3 คู่มือแสดงการประกอบ
ท่อและพีตติ้งกลับอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้