

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเพื่อออกแบบถังน้ำมันสำหรับแก๊สโซฮอล์

STUDY OF AUTOMOTIVE FUEL TANK DESIGN FOR GASOHOL



นาย ชاکวิต เอนกพร
นาย รัชวินทร์ สุทธิโชควิญกุล

รฟท.
๔๕๔๖๓๗
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **83211**
วัน,เดือน,ปี..... - 6 ส.ค. 2551

b. 119 62392
i.

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์**

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2550
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเพื่อออกแบบถังน้ำมันสำหรับแก๊สโซฮอล์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2550
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF AUTOMOTIVE FUEL TANK DESIGN FOR GASOHOL



MR. CHACRIT ANAKEPORN
MR. RUDSARIN THITICHOTARIYAKUN

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2007

ปริญญาบัตรเรื่อง

การศึกษาเพื่อออกแบบถังน้ำมันสำหรับแก๊สโซฮอล์

โดย

นายชากริต เอนกพร

นายรัชนีกร จูติโชติธัญกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์

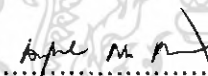
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร


..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.ดวงกมล ณะรอง)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อกินันท์ นัมคณิสร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาเพื่อออกแบบถังน้ำมันสำหรับแก๊สโซฮอล์
โดย	นายชาคริต เอนกพร นายรัสรินทร์ ฐิติโชติอริยกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. สุรคันธ์ อารีรัตน์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมในการออกแบบถังน้ำมันบรรจุแก๊สโซฮอล์ที่สามารถลดปริมาณการระเหยของแก๊สโซฮอล์ ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความสามารถในการระเหยสูงกว่าน้ำมันเบนซิน 91 โดยพิจารณาจากตัวแปรที่มีความสำคัญในการออกแบบ คือ ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล ซึ่งประมาณได้จากผลการทดลองวัดค่าความดันไอของแก๊สโซฮอล์ ที่อุณหภูมิ 30-70 °ซ ร่วมกับการประยุกต์ใช้สมการ Clausius - Clapeyron และข้อมูลจากการทดลองยังสามารถนำไปใช้หาค่าคงที่สมการเอนทาลปีในรูปของสมการ Antoine เพื่อใช้ทำนายค่าความดันไอของแก๊สโซฮอล์ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซฮอล์มีค่าเท่ากับ 39.3 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน 91 ประมาณร้อยละ 8.5 แสดงว่าเมื่อถังน้ำมันได้รับปริมาณความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเท่ากัน แก๊สโซฮอล์จะระเหยออกจากถังน้ำมันได้ง่ายกว่าน้ำมันเบนซิน 91 เมื่อทำการคำนวณเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการระเหยของแก๊สโซฮอล์ระหว่างถังบรรจุน้ำมันรถยนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งนิยมผลิตจากวัสดุ 2 ชนิด คือ สแตนเลสสตีล (Stainless steel) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยการกำหนดสภาวะจำลองจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับแก๊สโซฮอล์พบว่าถังน้ำมันที่ทำจาก HDPE มีปริมาณการระเหยของแก๊สโซฮอล์ที่ประมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร ซึ่งน้อยกว่าสแตนเลสสตีลที่มีปริมาณการระเหยในช่วงร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Study of Automotive Fuel Tank Design for Gasohol
Student Mr. Chacrit Anakeporn
Mr. Rudsarin Thitichotariyakun
Degree Bachelor Degree of Engineering
Major Chemical Engineering
Year 2007
Advisor Asst. Prof. Dr. Surat Areerat
Report for Bachelor's Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This paper is study to find suitable material for fuel tank design which can reduce amount of evaporated Gasohol. By consider an essential variable is used for fuel tank design, Heat of vaporization. It can be estimated from experimental about measurement of vapor pressure of Gasohol at temperature 30-70 °C range and apply Clausius - Clapeyron equation. Moreover, experimental result can be used to obtain empirical equation's constants in Antoine equation which will be useful for prediction of vapor pressure of Gasohol at various temperatures. Experimental results revealed that Gasohol had less Heat of vaporization than Gasoline 91 around 8.5%, implying that Gasohol can evaporate more easily than Gasoline 91 when it is heated from the same environment. The estimations of %evaporated Gasohol from fuel tank which made of Stainless steel and High Density Polyethylene (HDPE) can be achieved from the obtained heat of vaporization and identify simulated circumstance, environmental temperature of 40 °C for 8 hours. Calculated result revealed that about 5 %v/v and 8-10 %v/v evaporated Gasohol for fuel tank which made of HDPE and stainless steel, respectively. So HDPE tank is more efficient of evaporated Gasohol prevention than Stainless steel tank.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี คณะผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุรัตน์ อาริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ อีกทั้งให้ความรู้และประสบการณ์ต่างๆ คุณเลเอาใจใส่การทำงานของคณะผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบน้ำมันแก๊สโซลีน พร้อมทั้งข้อมูลผลการทดสอบน้ำมัน ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพงศ์ประกาศ ปิยมโนชา คุณเศรษฐการ พรหมศิริ คุณนิกร เกิดทองหลาง และคุณปรมินทร์ ขวัญนอน ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่คณะผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนาม ถ้าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและกราบขออภัยมา ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตฉบับนี้ ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้ดำเนินวิจัย โครงการวิจัย

นายชาคริต เอนกพร

นายรัสรินทร์ รุติโชติอริยกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
สัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 การพาความร้อนตามธรรมชาติ.....	4
2.2 การถ่ายเทความร้อนแบบไม่คงตัวหนึ่งมิติ ใน ของแข็งแบบกึ่งอนันต์.....	6
2.3 สมการอองตวน	8
2.4 สมการเคลเซียส-เคลปรีอน	8
2.5 สมดุลไอ-ของเหลว.....	9
2.5.1 พูกาซิตี.....	10
2.5.2 สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี.....	10
2.6 การหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมัน.....	11
2.6.1 การหาค่าแฟคเตอร์การกำหนดคลักขณะยูโอพีและสมบัติของน้ำมัน.....	11
2.6.2 การหามวลโมเลกุลและความหนาแน่นของของผสม.....	14
2.7 แก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมทรี.....	14
2.7.1 คุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	15
2.7.2 คุณสมบัติของเครื่องแมสสเปกโตรเมทรี.....	16
2.7.3 การทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมทรี.....	16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	18
3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา.....	18
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา.....	18
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	18
3.4 วิธีดำเนินงาน.....	19
3.4.1 การออกแบบชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์.....	20
3.4.2 การสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์.....	21
3.4.3 การทดลองวัดค่าความดันไอของแก๊สโซฮอล์.....	21
3.4.4 การหาค่าคงที่ของสมการเอ็มพิริกัล และค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซฮอล์.....	21
3.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ระเหย.....	22
3.4.6 การคำนวณ.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	25
4.1 ชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์.....	25
4.2 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์.....	25
4.3 ผลการทดลองวัดความดันไอ.....	26
4.3.1 ผลของปริมาณแก๊สโซฮอล์ต่อความดันไอ.....	26
4.3.2 ความดันไอของสารต่างๆ.....	27
4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลที่ระเหยโดย GC/MS.....	28
4.5 ผลการคำนวณ.....	29
4.5.1 สมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลีนและแก๊สโซฮอล์.....	29
4.5.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังถึงน้ำมัน.....	30
4.5.3 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	32
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	32
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	36
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	37
ภาคผนวก ข. การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมัน.....	46
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันผสม.....	48
ภาคผนวก ง. การคำนวณความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล.....	50
ภาคผนวก จ. ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลจากข้อมูลอ้างอิงต่างๆ.....	52
ภาคผนวก ฉ. การคำนวณร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย.....	54
ภาคผนวก ช. การคำนวณร้อยละของเอทานอลที่ระเหย.....	56
ภาคผนวก ซ. คำสั่งในการคำนวณบนโปรแกรม Visual Basic for Application.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1	รายละเอียดและภาวะใช้งานของเครื่อง GC/MS..... 22
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM ของแก๊ส โซลีน..... 23
ตารางที่ 4.1	ค่าคงที่สมการเอมพิริกัล และค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของสารต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °ซ..... 28
ตารางที่ 4.2	สมบัติของเอทานอล แก๊ส โซลีนและแก๊ส โซฮอล..... 29
ตารางที่ ก-1	โปรไฟล์ของอุณหภูมิตามความหนาของผนังถึงน้ำมันที่สร้างจาก สแตนเลสสตีล ณ เวลาต่างๆ..... 40
ตารางที่ ก-2	โปรไฟล์ของอุณหภูมิตามความหนาของผนังถึงน้ำมันที่สร้างจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ณ เวลาต่างๆ..... 41
ตารางที่ ก-3	ผลการคำนวณพลັกซ์ความร้อนและปริมาณความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านถึงน้ำมันที่สร้างจาก HDPE ความหนา 5 มิลลิเมตร..... 45
ตารางที่ ง-1	ความดันไอที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของเอทานอล..... 50
ตารางที่ จ-1	ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของเอทานอล ที่ได้จากการทดลองกับเอกสารอ้างอิงต่างๆ..... 52
ตารางที่ จ-2	ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของแก๊ส โซลีน ที่ได้จากการทดลองกับเอกสารอ้างอิงต่างๆ..... 52
ตารางที่ จ-3	ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของแก๊ส โซฮอล ที่ได้จากการทดลองกับเอกสารอ้างอิงต่างๆ..... 53
ตารางที่ ช-1	พื้นที่ได้กราฟของสารมาตรฐานเอทานอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-12 โดยปริมาตร..... 57
ตารางที่ ช-2	พื้นที่ได้กราฟเฉลี่ยและความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างแก๊ส โซฮอล ที่อุณหภูมิต่างๆ..... 58
ตารางที่ ช-3	ร้อยละของเอทานอลที่ระเหยจากแก๊ส โซฮอล ณ อุณหภูมิ..... 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ยของ Nusselt Number ในการพาความร้อนตามธรรมชาติที่เกิดเหนือพื้นผิวแบบต่างๆ.....	5
รูปที่ 2.2 รูปทรงของแข็งกึ่งอนันต์.....	6
รูปที่ 2.3 ลักษณะเฉพาะของแฟคเตอร์ K จากค่า T_B และค่าความถ่วงจำเพาะรวมถึงกราฟสำหรับหามวลโมเลกุลของน้ำมัน.....	12
รูปที่ 2.4 สมบัติพื้นฐานเฉลี่ยของน้ำมัน.....	13
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบพื้นฐานของแก๊สโครมาโทกราฟี.....	16
รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานโครงการ.....	19
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์.....	20
รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์.....	25
รูปที่ 4.2 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์โดยใช้เอทานอล.....	26
รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณแก๊ส โซซอลต์ในภาชนะบรรจุต่อความดันไอ.....	26
รูปที่ 4.4 ความดันไอของสารต่างๆ ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส.....	27
รูปที่ 4.5 ผลการพล็อตกราฟสมการ Clapeyron–Clausius ของสารต่างๆ	28
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นและร้อยละของเอทานอล ที่ระเหยจากแก๊ส โซซอลต์ ณ อุณหภูมิต่างๆ.....	29
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังถังสแตนเลสสตีลและ HDPE ที่เวลาต่างๆ.....	30
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทและร้อยละของแก๊ส โซซอลต์ ที่ระเหยของถังน้ำมันสแตนเลสสตีลและ HDPE.....	31
รูปที่ ก-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในผนังถังสแตนเลสสตีลที่เวลาต่างๆ จากโปรแกรม Comsol.....	41
รูปที่ ก-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในผนังถัง HDPE ที่เวลาต่างๆ จากโปรแกรม Comsol.....	42
รูปที่ ก-3 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังน้ำมันที่ทำจาก HDPE.....	43
รูปที่ ง-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P^{sat}$ กับ $1/T$ ของเอทานอลที่ได้จากการทดลอง.....	51
รูปที่ ช-1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร.....	56
รูปที่ ช-2 กราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานเอทานอล....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

\hat{f}	ฟูกาซีตี้ขององค์ประกอบในของผสม (กิโกลาสคาล)
f	ฟูกาซีตี้ขององค์ประกอบบริสุทธิ์ (กิโกลาสคาล)
g	ความเร่งตามแรงโน้มถ่วง (9.81 เมตรต่อวินาที ²)
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (วัตต์ต่อเมตร ² องศาเซลเซียส)
K	แฟกเตอร์การกำหนดลักษณะ ยูโอพี (-)
k	ความสามารถในการนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร ² องศาเซลเซียส)
L_c	ค่าความยาววิกฤต (เมตร)
MW	มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)
n	จำนวนโมล (โมล)
p^{sat}	ความดันไอ (กิโกลาสคาล)
T	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
T_B	จุดเดือดเฉลี่ยที่ความดัน 1 บรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
T_i	อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)
T_s	อุณหภูมิที่พื้นผิว (องศาเซลเซียส)
T_∞	อุณหภูมิมีสภาวะแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
t	เวลา (วินาที)
R	ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 กิโกลาสคาล ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อ โมล เคลวิน)
$S.G.$	ความถ่วงจำเพาะ (-)
V_{gm}	ปริมาตรต่อ โมลของแก๊ซ (ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อ โมล)
V_{lm}	ปริมาตรต่อ โมลของของเหลว (ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อ โมล)
V	ปริมาตรของก๊าซหรือไอ (ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อ โมล)
x	ระยะทางจากพื้นผิว (เมตร)
x	สัดส่วน โมล (-)
α	ความสามารถในการแพร่กระจายความร้อน (เมตร ² ต่อวินาที)
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตร (องศาเคลวิน ⁻¹)
ρ	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ν	ความหนืดเชิงกล (เมตร ² ต่อวินาที)
φ	สัมประสิทธิ์ฟูกาซีตี้
$\Delta_{vap} H_m$	ความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล (กิโกลูลต่อโมล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในสถานการณ์ปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น ซึ่งมีผลกระทบต่อประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้ทั้งภาครัฐและเอกชนได้ตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและสารเติมแต่งเช่น MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) จากต่างประเทศ และในขณะเดียวกันรัฐบาลทำการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น เช่น การส่งเสริมการใช้ ไบโอดีเซลและแก๊สโซฮอล์ เป็นต้น

สำหรับแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือรหัสทางการค้า E10 เป็นน้ำมันที่ได้จากการผสมระหว่างน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 91 หรือแก๊สโซลีน (Gasoline) กับเอทานอลในอัตราส่วน 9:1 ทำให้ได้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ออกเทน 95 จัดเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยเพิ่มค่าออกเทนของแก๊สโซลีน ช่วยให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ขึ้น ลดปริมาณสารที่ก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ จึงเป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้เอทานอลเป็นสารที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศโดยผลิตจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล เป็นต้น จึงสามารถลดการนำเข้าและช่วยประหยัดเงินตราให้ประเทศได้หลายล้านบาท

ในขณะเดียวกันต้นปี 2550 รัฐบาลได้มีนโยบายที่จะยกเลิกการใช้แก๊สโซลีน 95 (ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2548 [1]) และหันมาสนับสนุนให้ประชาชนใช้พลังงานทดแทน ยังจะเป็นการเพิ่มความต้องการใช้แก๊สโซฮอล์ (E10) มากขึ้น จากข้อมูลการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยช่วง 2 ปีที่ผ่านมา โดยพิจารณาในช่วงเดือนมกราคม – ตุลาคม พบว่า การใช้แก๊สโซลีน 95 ลดลง ร้อยละ 22.9 จากปี 2547 โดยลดลงจาก 2,512 ล้านลิตรเหลือเพียง 1,938 ล้านลิตร และที่น่าสนใจคือมีการใช้แก๊สโซฮอล์เพิ่มขึ้นมากถึงประมาณ 935 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปี 2547 โดยเพิ่มขึ้นจาก 45 ล้านลิตรเป็น 466 ล้านลิตร[2]

แม้ว่าแก๊สโซฮอล์จะมีข้อดีในหลายด้านแต่ก็ยังมีข้อด้อยที่เป็นปัญหา คือ การผสมเอทานอลลงในแก๊สโซลีนในปริมาณไม่มากในช่วงร้อยละ 10-20 โดยปริมาตร ทำให้น้ำมันแก๊สโซฮอล์มีความดันไอสูงกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการระเหยของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มากกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน โดยความสามารถในการระเหยนี้พิจารณาได้จากค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล (Heat of Vaporization) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญในการออกแบบถังน้ำมัน ช่วยให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนสามารถเลือกใช้วัสดุเพื่อผลิตถังบรรจุน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่เหมาะสม ช่วยลดการระเหยของไอน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้พบว่าหลังจากที่ได้เติมแก๊ส โซซอลลงในถังน้ำมันของรถยนต์แล้ว เอทานอลที่มีอัตราการระเหยมากกว่าแก๊ส โซซอลจะเกิดการระเหยออกสู่ภายนอก ซึ่งอัตราการระเหยจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ เป็นผลทำให้แก๊ส โซซอลมีคุณภาพต่ำลง เนื่องจากแก๊ส โซซอลที่ใช้มีค่าออกเทน 95 เช่นเดียวกับแก๊ส โซซอล 95 เมื่อเกิดการระเหยของเอทานอลออกไป จะทำให้ค่าออกเทนนี้ลดลงและหากลดลงจนเหลือ ค่าออกเทน 91 ก็จะทำให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันที่มีค่าออกเทน 95 ได้ เพราะใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทนไม่เหมาะสม โดยอาจทำให้เครื่องยนต์นี้สึกและมีประสิทธิภาพลดลง

เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อการระเหยของเอทานอลดังที่กล่าวมา หากพิจารณาอุณหภูมิของประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนนั้น พบว่าอุณหภูมิจนเฉลี่ยต่ำสุด – สูงสุด อยู่ระหว่าง 23 - 40 องศาเซลเซียส โดยอาจจะมีค่าแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาและสถานที่ [3]

จากปัญหาดังกล่าว โครงการนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาหาวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาทำถังน้ำมันเพื่อใช้บรรจุแก๊ส โซซอลที่สามารถลดปริมาณการระเหยของแก๊ส โซซอลได้ โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส โซซอลที่ระเหยจาก ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากสิ่งแวดล้อมสู่แก๊ส โซซอลที่อยู่ในถังน้ำมัน กับค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลซึ่งประมาณได้จากการทดลอง นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้ยังเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ช่วยส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทน พร้อมทั้งเป็นการเตรียมรับกับความต้องการใช้แก๊ส โซซอลที่มีแนวโน้มมากขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับสมมูลวิภาคของแก๊ส - ของเหลว ของน้ำมันแก๊ส โซซอล
2. เพื่อหาปริมาณเอทานอลที่ระเหยออกจากแก๊ส โซซอล ที่สภาวะความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส
3. เพื่อพัฒนาสมการเอมพิริกัล (Empirical) ที่ใช้หาค่าความดันไอในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ที่ทำการทดลองของแก๊ส โซซอล
4. เพื่อทำนายค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊ส โซซอล
5. เพื่อหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากสภาวะแวดล้อม ไปสู่ถังบรรจุ น้ำมันแก๊ส โซซอล ที่สร้างจากวัสดุต่างชนิดกัน

1.3 ขอบเขต

1. ออกแบบอุปกรณ์วัดความดันไอของแก๊สโซฮอล์ (E10) ที่สามารถทนต่อความดันได้ 0-10 บาร์ อุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส
2. แก๊สโซฮอล์ที่ใช้ในโครงการนี้ได้จากโรงกลั่นน้ำมันบางจากและเอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute Alcohol)
3. หาปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจากสถานะแวดล้อมเข้าสู่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยคำนวณจากสถานการณ์จำลองลักษณะการใช้รถยนต์ในแต่ละวัน ซึ่งวัสดุที่ใช้เปรียบเทียบในการถ่ายเทความร้อน ได้แก่
 - สแตนเลสสตีล (Stainless Steel)
 - พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE)
4. สมมติฐาน : แก๊สโซฮอล์เป็นการผสมทางกายภาพระหว่างแก๊สโซฮอล์ : เอทานอลที่อัตราส่วน 90 : 10 โดยปริมาตร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากสิ่งแวดล้อมสู่ถังบรรจุน้ำมันรถยนต์
2. ศึกษาวิธีการหาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยจากการทดลอง
3. ออกแบบ สร้าง สอบเทียบและปรับปรุงอุปกรณ์วัดความดันไอ
4. ทำการทดลองวัดความดันไอของแก๊สโซฮอล์
5. หาค่าคงที่สมการเอมพิริกัล
6. ทำการทดลองหาปริมาณเอทานอลที่ระเหยจากแก๊สโซฮอล์
7. หาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของแก๊สโซฮอล์
8. หาปริมาณแก๊สโซฮอล์ที่ระเหยจากถังน้ำมันที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ
9. เปรียบเทียบปริมาณแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบถังน้ำมันบรรจุแก๊สโซฮอล์ เช่น การเลือกวัสดุ, ความหนาของถังน้ำมัน เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) [4]

โดยปกติการพาความร้อนจากสภาวะแวดล้อมไปสู่ถังบรรจุน้ำมันเป็นการพาความร้อนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยไม่มีแรงกระทำจากภายนอก เช่น บั้ม พัดลม ต่างจากการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ดังนั้นการเคลื่อนที่ของของไหลจะพิจารณาจากแรงลอยตัวของของไหล ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลมีอุณหภูมิต่างกัน นั่นคือของไหลที่อุ่นกว่า (ความหนาแน่นต่ำ) จะลอยตัวขึ้นและของไหลที่เย็นกว่า (ความหนาแน่นสูง) จะไหลลงมาแทนที่ โดยรูปแบบการไหลของของไหลสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) แบบทรานสิชัน (Transition) และแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งสามารถระบุได้จาก ตัวแปรไร้มิติที่เรียกว่า Grashof Number, Gr_L ซึ่งเป็นสัดส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงเฉือนเนื่องจากความหนืดที่กระทำต่อของไหล สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \quad (2.1)$$

ถ้า $Gr_L < 10^9$ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)
 $Gr_L > 10^9$ เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของของไหลในกรณีการพาความร้อนตามธรรมชาติมีค่าน้อยกว่าความเร็วของการไหลในกรณีการพาความร้อนแบบบังคับ ดังนั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient, h) ในกรณีการพาความร้อนตามธรรมชาตินี้จึงมีค่าน้อยกว่าการพาความร้อนแบบบังคับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

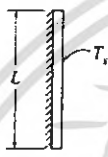
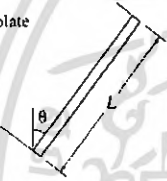
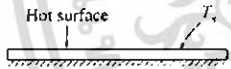
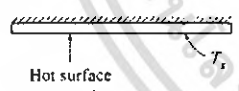

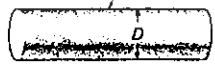
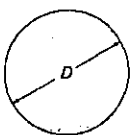
$$h = \frac{kNu}{L_c} \quad (2.2)$$

โดยค่า Nusselt Number, Nu สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.3) ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากเอกสารการทดลองสำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติที่ไหลผ่านวัตถุที่มีรูปร่างต่างกัน โดยมีสมการค่าไม่ว่ากรทั่วไป ดังนี้ อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu = CRa_L^n \quad (2.3)$$

เมื่อ ค่าคงที่ C, n สำหรับวัตถุรูปทรงต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 และ Rayleigh Number, Ra_L สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr \quad (2.4)$$

Geometry	Characteristic length L_c	Range of Ra	Nu
Vertical plate 	L	10^4-10^9 10^9-10^{13} Entire range	$Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (complex but more accurate)
Inclined plate 	L		Use vertical plate equations for the upper surface of a cold plate and the lower surface of a hot plate Replace g by $g \cos \theta$ for $Ra < 10^9$
Horizontal plate (Surface area A and perimeter p) (a) Upper surface of a hot plate (or lower surface of a cold plate)  (b) Lower surface of a hot plate (or upper surface of a cold plate) 	A_s/p	10^4-10^7 10^7-10^{11} 10^5-10^{11}	$Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ (9-23) $Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ (9-24)
Vertical cylinder 	L		A vertical cylinder can be treated as a vertical plate when $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$
Horizontal cylinder 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-25)
Sphere 	D	$Ra_D \leq 10^{11}$ ($Pr \geq 0.7$)	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.459/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$ (9-26)

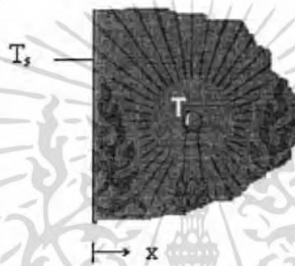
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ยของ Nusselt Number ในการพาความร้อนตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นที่ผิวเรียบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแต่สิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การถ่ายเทความร้อนแบบไม่คงตัวหนึ่งมิติในของแข็งแบบกึ่งอนันต์ [4]

การถ่ายเทความร้อนภายในผนังถึงน้ำมันจัดเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนแบบไม่คงตัวหนึ่งมิติในของแข็งแบบกึ่งอนันต์ โดยพิจารณาผนังของถึงน้ำมันรถยนต์เป็นของแข็งแบบกึ่งอนันต์ (Semi-infinite) ทำให้สามารถหาเส้นแนวโน้มของการเปลี่ยนอุณหภูมิภายในถึงน้ำมันที่เวลาต่าง ๆ และจากเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังถึงน้ำมันได้

รูปทรงของแข็งกึ่งอนันต์ เป็นรูปทรงที่ทุกด้านมีขอบเขตที่ยาวมากถึงอนันต์ ยกเว้นด้านหนึ่งที่สามารถกำหนดเป็นพื้นผิวได้ ดังรูป



รูปที่ 2.2 รูปทรงของแข็งกึ่งอนันต์

การวิเคราะห์ของแข็งชนิดกึ่งอนันต์นี้ เป็นอุดมคติของกรณีจริงหลายกรณี โดยในตอนแรกอุณหภูมิภายในเนื้อของแข็งมีค่าเท่ากันตลอดและมีค่าเท่ากับ T_i และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่พื้นผิวเป็นดังนี้คือ อุณหภูมิที่พื้นผิวถูกทำให้เปลี่ยนแปลงและคงไว้ที่ค่า T_s โดยที่อุณหภูมิที่ T_s นั้นไม่เท่ากับ T_i หรือกรณีที่สองก็มีการพาความร้อนที่พื้นผิว ทั้งสองกรณีเป็นการนำความร้อนมิติเดียวตามแนวแกน x ในสภาวะไม่คงตัว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.5)$$

ทั้งสองกรณีเงื่อนไขเริ่มต้น คือ

$$T(x,0) = T_i \quad (2.6)$$

ผลลัพธ์ของสมการ (2.5) สำหรับแต่ละกรณีหาได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรณีที่อุณหภูมิที่ผิวถูกคงไว้ที่ค่าหนึ่ง
เงื่อนไขที่ขอบเขต

$$T(0, t) = T_s \quad (2.7)$$

การกระจายอุณหภูมิ

$$\frac{T(x, t) - T_i}{T_\infty - T_i} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \quad (2.8)$$

กรณีนี้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient, h) ต้องมีค่าเข้าสู่
อนันต์

2. กรณีที่มีการพาความร้อนที่พื้นผิว
เงื่อนไขที่ขอบเขต

$$\dot{q} = -k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = h[T_\infty - T(0, t)] \quad (2.9)$$

การกระจายอุณหภูมิ

$$\frac{T(x, t) - T_i}{T_\infty - T_i} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) - \exp\left(\frac{hx}{k} + \frac{h^2 at}{k^2}\right) \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}} + \frac{h\sqrt{at}}{k}\right) \right] \quad (2.10)$$

เมื่อทำการคำนวณจนได้ข้อมูลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งและ
เวลาใดๆ แล้ว สามารถหาฟลักซ์ความร้อนของการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อน
(Heat Conduction) ได้จากสมการ

$$\dot{q} = -k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} \quad (2.11)$$

ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนให้กับแก๊สโซฮอล์ภายในถังบรรจุน้ำมันสามารถหาได้

จากสมการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา $Q = \dot{q} A \Delta t$ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนําไปใช้ (2.12)

2.3 สมการองตน (Antoine Equation) [5]

โดยปกติแก๊สโซลล์จะได้รับความร้อนจากสถานะแวดล้อมภายนอกทำให้เกิดการระเหย ซึ่งแปรผันตรงตามอุณหภูมิภายในถัง การระเหยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการระเหยของแก๊สโซลล์ นั่นคือ ค่าความดันไอและค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล

สำหรับความดันไอของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิดนั้นมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและขนาดโมเลกุลของสารนั้น โดยสารกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันไอกับอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และค่าความดันไอของสารบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิใดๆ ในหน่วยองศาเซลเซียสจะสามารถหาได้จาก สมการองตน ดังนี้

$$\ln P^{\text{sat}} = A - \frac{B}{T+C} \quad (2.13)$$

โดย ค่า A, B, C คือ ค่าสัมประสิทธิ์องตนของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด จะสามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง แต่สำหรับแก๊สโซลล์ซึ่งเป็นสารผสมไม่อุดมคติ (Non-ideal Solution) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ได้จากการทดลอง หากความสัมพันธ์ของความดันไอกับอุณหภูมิต่างๆ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์องตนโดยใช้ผลการทดลองและรูปแบบสมการที่ (2.13)

2.4 สมการแคลเซียส-แคลปีรอน (Clapeyron–Clausius Equation) [8, 10]

สมการแคลเซียส-แคลปีรอน เป็นหนึ่งในสมการที่แสดงความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ระหว่างความดันไอและค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล ซึ่งบอกถึงความสามารถในการระเหยของสารนั้น ๆ โดยจะแสดงได้ดังสมการที่ (2.14)

$$\frac{dP^{\text{sat}}}{dT} = \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{T(V_{\text{gm}} - V_{\text{lm}})} \quad (2.14)$$

ทำนองเดียวกัน สมการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้หาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซลล์ได้ โดยอาศัยสมมติฐานดังนี้

1. ปริมาตรต่อโมลของของเหลวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรต่อโมลของแก๊ส ทำให้ V_{lm} คัดทิ้งได้เมื่อเทียบกับ V_{gm}
2. แก๊สหรือไอขณะนั้นประพฤติตัวเป็นแก๊สอุดมคติ นั่นคือ $V_{\text{gm}} = \frac{RT}{P^{\text{sat}}}$

3. ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมมติฐานข้างต้น สมการ (2.14) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{dP^{\text{sat}}}{P^{\text{sat}}} = \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m dT}{RT^2} \quad (2.15)$$

จัดรูปสมการที่ (2.15) ใหม่ จะได้

$$\frac{d \ln P^{\text{sat}}}{d(1/T)} = \frac{-\Delta_{\text{vap}} H_m}{R} \quad (2.16)$$

ดังนั้น ถ้าสร้างกราฟระหว่าง $\ln P^{\text{sat}}$ กับ $(1/T)$ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับการทดลองจะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน (Slope) เท่ากับ $\frac{-\Delta_{\text{vap}} H_m}{R}$ ซึ่งสามารถหาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของสารใดๆ ได้จากผลคูณของความชันของกราฟกับค่าคงที่ของแก๊ส ดังนี้

$$\Delta_{\text{vap}} H_m = -R \times \text{slope} \quad (2.17)$$

โดยปกติค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามการคำนวณด้วยวิธีประยุกต์สมการแคลเซียส-แคลปีรอน (สมมติฐานข้อที่ 3) ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิของชุดข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง

2.5 สมดุลไอ-ของเหลว (Vapor-Liquid Equilibrium) [5, 7]

ระบบปิด (Isolated System) ที่ประกอบไปด้วยวัฏภาคของเหลวกับวัฏภาคไอ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงจมีอุณหภูมิและความดันคงที่คือเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาค (Macroscopic) แต่ในระดับจุลภาค (Microscopic) ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงคือโมเลกุลใดในวัฏภาคของเหลวที่มีพลังงานเพียงพอที่จะสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ผิวของของเหลวได้ จะระเหยไปสู่วัฏภาคไอ ส่วนโมเลกุลในวัฏภาคไอที่มีการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน เมื่อเกิดการชนกับโมเลกุลอื่นจะมีการถ่ายเทพลังงาน โมเลกุลของวัฏภาคไอที่มีพลังงานต่ำหากสัมผัสกับผิวของของเหลวจะเกิดการควบแน่น ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยในระบบจะมีอัตราการระเหยเท่ากับอัตราการควบแน่น แต่มีทิศทางตรงกันข้ามทำให้จำนวนโมลของสารในแต่ละวัฏภาคมีค่าคงที่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ฟูกาซิตี (Fugacity)

“ณ จุดสมดุลของระบบที่ประกอบไปด้วยหลายองค์ประกอบ หลายวัฏภาค ฟูกาซิตีของแต่ละองค์ประกอบในแต่ละวัฏภาคต้องมีค่าเท่ากัน ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน”

สามารถแสดงด้วยสมการ ดังนี้

$$f_i^\alpha = f_i^\beta \quad (2.18)$$

เมื่อ f_i^α , f_i^β คือ ฟูกาซิตีขององค์ประกอบ i ในวัฏภาค α และ β ตามลำดับ โดยมีหน่วยเช่นเดียวกับหน่วยของความดัน และสำหรับแก๊สอุดมคติ f_i^g จะมีค่าเท่ากับ P_i เมื่อ P_i คือความดันย่อยของแก๊ส i ในระบบ

ถ้าในระบบประกอบด้วยวัฏภาคไอและวัฏภาคของเหลว สมการที่ (2.18) จะเปลี่ยนรูปเป็น

$$f_i^v = f_i^l \quad (2.19)$$

ฟูกาซิตีสามารถหาได้จากสมการสถานะ [5] ดังนี้

$$\ln f_i = \frac{1}{RT} \left(\int_V^\infty \left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T,P,n} - \frac{RT}{V} \right) dV - \ln \frac{V}{n_i RT} \quad (2.20)$$

2.5.2 สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี (Fugacity Coefficient); ϕ

สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตีขององค์ประกอบ i ในของผสม นิยามโดย

$$\phi_i = \frac{f_i}{P_i} \quad (2.21)$$

โดยสำหรับแก๊สอุดมคติ f_i^g จะมีค่าเท่ากับ P_i ดังนั้น ϕ_i จะมีค่าเท่ากับ 1

2.6 การหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมัน [9]

เมื่อสามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เกิด โซลอสได้รับและสามารถประมาณค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซลอสแล้ว จำเป็นต้องใช้สมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลอส เช่น มวลโมเลกุล (Molecular Weight, MW) และความหนาแน่น (Density, ρ) เป็นต้น เพื่อหาปริมาณการระเหยในเทอมร้อยละโดยปริมาตร ซึ่งโครงการนี้จะคำนวณสมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลอส บนสมมติฐานที่ว่าแก๊สโซลอสเป็นของผสมซึ่งเกิดจากการผสมทางกายภาพระหว่างแก๊สโซลีนกับเอทานอล จึงสามารถใช้กฎการผสม (Mixing Rule) เพื่อคำนวณสมบัติพื้นฐาน ซึ่งจะกล่าวต่อไป แต่สำหรับสมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลีนซึ่งเป็นสารผสมที่ประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด การที่จะหาสมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลีนจึงมีความยุ่งยากซับซ้อน แต่มีวิธีการซึ่งเป็นที่ยอมรับในการหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเชื้อเพลิงจากทฤษฎี ต่อไปนี้

2.6.1 การหาค่าแฟกเตอร์การกำหนดลักษณะยูโอพีและสมบัติของน้ำมัน

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเป็นข้อมูลที่ใช้แสดงความแตกต่างของน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งสมบัติเหล่านี้ สามารถวัดได้โดยตรงตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน เอเอสทีเอ็ม (American Society for Testing and Materials, ASTM) โดยนำข้อมูลการกลั่นแบบ เอเอสทีเอ็ม มาสร้างความสัมพันธ์เพื่อแสดงถึงลักษณะ โดยทั่วไปของน้ำมันแต่ละชนิด และเพื่อความสะดวกและเข้าใจง่ายจึงได้มีการสร้างดัชนีหรือแฟกเตอร์ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสมบัติของน้ำมันขึ้น โดยเรียกว่า แฟกเตอร์การกำหนดลักษณะยูโอพี (UOP Characterization Factor, K) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมันต่อไป

ดังนั้น สิ่งแรกที่ต้องคำนวณเพื่อหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมัน คือ การคำนวณหาแฟกเตอร์การกำหนดลักษณะยูโอพี ดังสมการต่อไปนี้

$$K = \frac{\sqrt[3]{1.8 \times T_B(K)}}{S.G.@15^\circ C} \quad (2.22)$$

โดยปกติข้อมูลจากการทดสอบมาตรฐาน เอเอสทีเอ็ม จะประกอบไปด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่กลั่นน้ำมันได้ปริมาณร้อยละ 10, 30, 50, 70 และ 90 โดยปริมาตร (Volumetric Average Boiling Point) ดังนั้น จากสมการ (2.22) เหลือเพียงค่า Molar average boiling point ที่ไม่ทราบค่า และวิธีการคำนวณค่าดังกล่าว มีดังนี้

การหาค่า T_B (Molar average boiling point)

- หาค่า Volumetric Average Boiling Point โดยใช้สมการ (2.23)

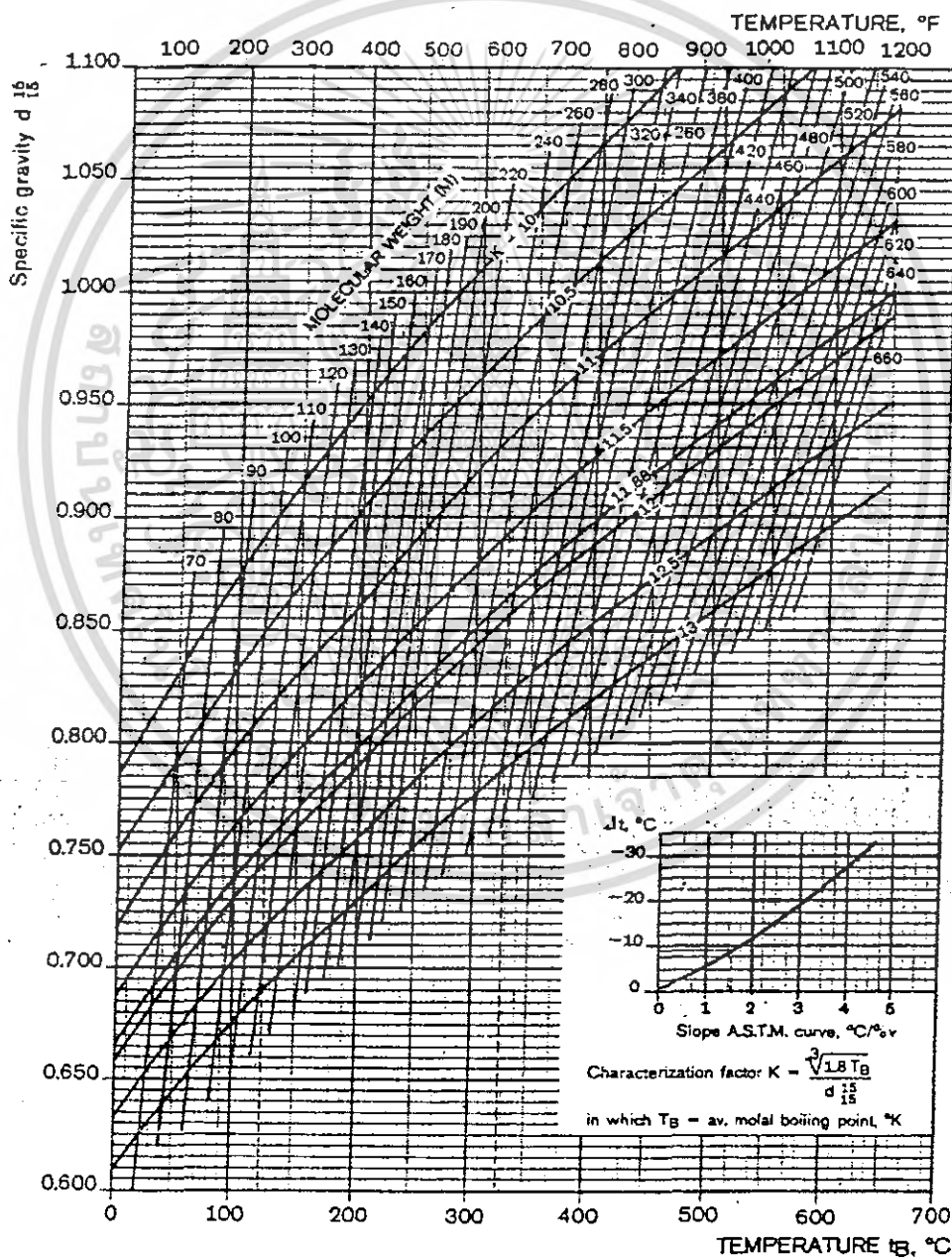
เอกสารนี้เป็นเอกสารหาค่า ความชัน (Slope) ของกราฟเอเอสทีเอ็ม (ASTM Curve) โดยใช้สมการ (2.24) หาค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำค่าความชันของ ASTM Curve มาหาค่าปรับแก้ (Correction Δt) โดยใช้รูปที่ 2.3 เพื่อหาค่า T_B จากสมการ (2.25)

$$\text{Vol. Average Boiling Point} = \frac{\text{Temperature}@10\% + 30\% + 50\% + 70\% + 90\%}{5} \quad (2.23)$$

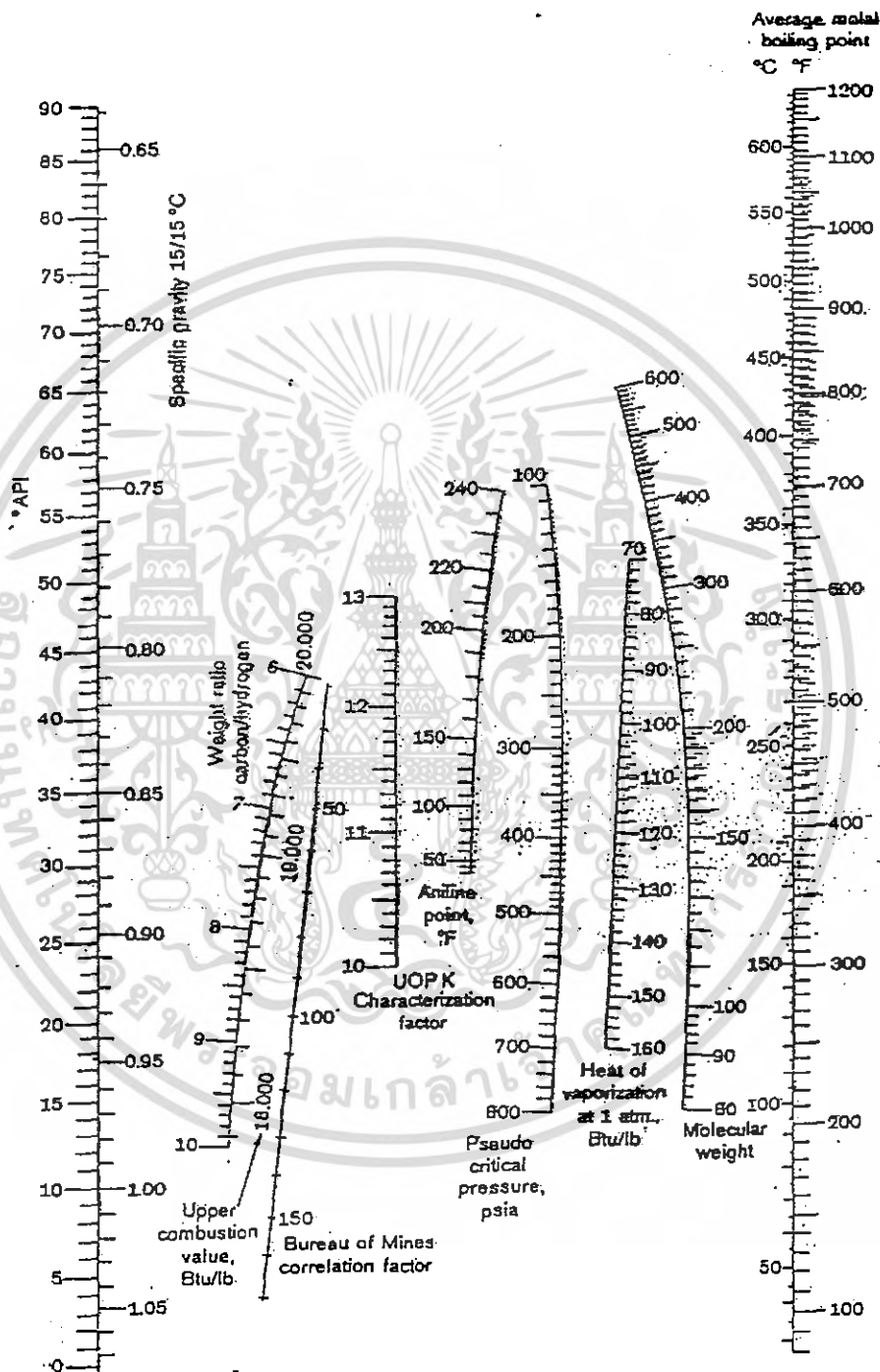
$$\text{ความชันของ ASTM Curve} = \frac{\text{Temperature}@90\% - 10\%}{80} \quad (2.24)$$

$$\text{Molar Average Boiling Point} = \text{Vol. Average Boiling Point} + \text{Correction } \Delta t \quad (2.25)$$



รูปที่ 2.3 ลักษณะเฉพาะของแฟกเตอร์ K จากค่า T_B และค่าความถ่วงจำเพาะรวมถึงกราฟสำหรับหามวลโมเลกุลของน้ำมัน

เมื่อทราบค่าแฟคเตอร์การกำหนดลักษณะยูไอที (K) สามารถหาสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของน้ำมันได้โดยอาศัยรูปที่ 2.4 สมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลีนที่จำเป็นในโครงการนี้ คือ มวลโมเลกุลและความหนาแน่น



รูปที่ 2.4 สมบัติพื้นฐานเฉลี่ยของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การหามวลโมเลกุลและความหนาแน่นของของผสม

สารผสมที่เป็นการผสมกันทางกายภาพ สามารถใช้กฎการผสมเพื่อคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของของผสมนั้น โดยมีสมการพื้นฐาน ดังนี้

$$M_{\text{mix}} = \sum M_i x_i \quad (2.26)$$

เมื่อ M_{mix} คือ สมบัติใด ๆ ของน้ำมันผสม

M_i คือ สมบัติใด ๆ ขององค์ประกอบ i

x_i คือ สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ i สามารถคำนวณได้จาก

$$x_i = \frac{n_i}{n_{\text{total}}} \quad (2.27)$$

จากกฎการผสมหากต้องการคำนวณมวลโมเลกุลของของผสม (MW_{mix}) สมการที่ (2.26) จะถูกเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$MW_{\text{mix}} = \sum x_i MW_i \quad (2.28)$$

เช่นเดียวกับความหนาแน่นของของผสม (ρ_{mix}) ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\rho_{\text{mix}} = \sum x_i \rho_i \quad (2.29)$$

2.7 แก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี [12, 13]

ในการวิเคราะห์ปริมาณที่ระเหยของเอทานอลในตัวอย่างแก๊สโซฮอล์จะใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) เพราะสารตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์มีคุณสมบัติที่สามารถระเหยกลายเป็นแก๊สได้เมื่อถูกความร้อน โดยองค์ประกอบต่างๆ จะไม่ถูกทำให้สลายตัว

แก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างที่นิยมนำมาใช้กันอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass Number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมทรีเป็นเครื่องมือที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างให้ออกมาทีละองค์ประกอบก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (Detector) และ อีกส่วนคือ เครื่องแมสสเปกโตรเมทรีซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องตรวจวัด ในการตรวจสอบว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีนั้นมีเลขมวลเป็นเท่าไร เพื่อที่จะได้สามารถทำนายได้ว่า สารที่นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบอยู่นั้นประกอบด้วย องค์ประกอบชนิดใดบ้าง และมีปริมาณเท่าไร โดยรายละเอียดของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีดังนี้

2.7.1 คุณสมบัติของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีนี้เหมาะที่จะใช้กับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถระเหยกลายเป็นแก๊สได้เมื่อถูกความร้อนและกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างจะอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีคือวัฏภาค 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคที่อยู่กับที่ (Stationary Phase) และวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase) ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดยองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

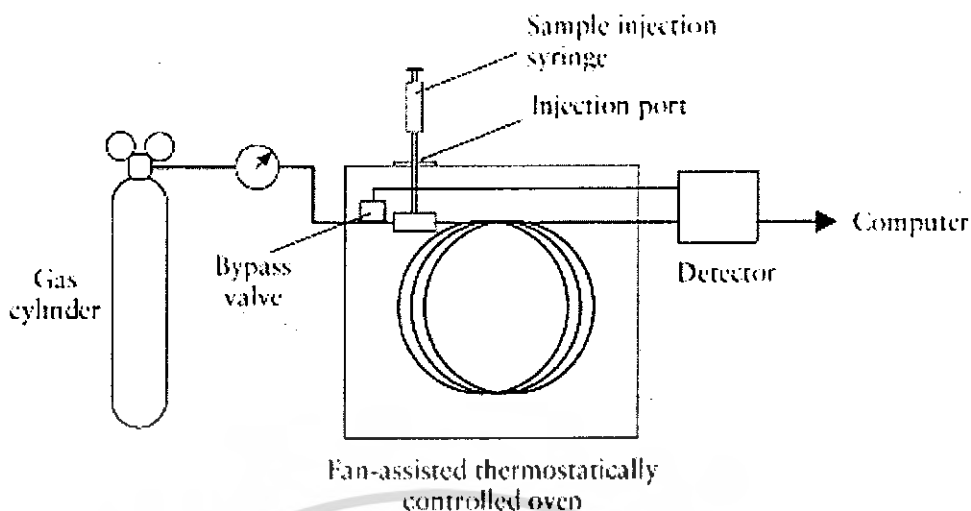
1. ส่วนฉีดสาร (Injector) คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่อง และระเหยเป็นแก๊สพร้อมกับถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะเข้าสู่คอลัมน์ (Column) อุณหภูมิที่เหมาะสมของส่วนฉีดสารควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ถูกทำให้สลายตัว

2. ตู้อบ (Oven) คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์เอาไว้ และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ถูกฉีด ซึ่งอุณหภูมิของตู้อบนั้นจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 แบบคืออุณหภูมิ Isocratic และอุณหภูมิ Gradient แล้วแต่ความต้องการของผู้วิเคราะห์ข้อดีของการใช้อุณหภูมิ Gradient คือสามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์หลังได้อีกด้วย

3. เครื่องตรวจวัด (Detector) คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัด องค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ว่าสารที่สนใจนั้นมีปริมาณอยู่เท่าไร ซึ่งความสามารถของการตรวจวัดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องตรวจวัดที่เลือกใช้ โดยชนิดของเครื่องตรวจวัดที่ใช้กับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีนั้นมีอยู่หลายอย่าง เช่น

- Thermal Conductivity Detector (TCD)
- Flame Ionization Detector (FID)
- Electron Capture Detector (ECD)
- Mass Spectrometry (MS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบพื้นฐานของแก๊สโครมาโทกราฟี

2.7.2 คุณสมบัติของเครื่องแมสสเปกโตรเมตรี

แมสสเปกโตรเมตรี เป็นเครื่องตรวจวัดที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยกลไกคือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟนั้นจะถูกไอออไนซ์ ในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวลเทียบกับข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ๆ องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องแมสสเปกโตรเมตรี แบ่งออกเป็น

1. อิเล็กตรอน ไอออไนเซชัน (Electron Ionization) เป็นการทำให้สารเกิดการแตกหัก โดยใช้ลำอิเล็กตรอนจากเส้นลวดที่ร้อนจะถูกโฟกัสผ่านห้อง ไอออไนเซชันนี้และถูกดึงเข้าหา Repeller Voltage ซึ่งจะให้พลังงานกับอิเล็กตรอน ทำให้ของผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกหัก ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ (Relative Abundance)
2. เคมีคอล ไอออไนเซชัน (Chemical Ionization) เป็นการทำให้สารเกิดการแตกหักด้วยวิธีทางเคมีโดยผสมสารตัวอย่างเข้ากับแก๊สที่ทำปฏิกิริยาด้วยแล้วผ่านสารผสมเข้าไปในห้อง ไอออไนเซชัน โดยการทำให้เกิดการแตกหักด้วยการชนกับอิเล็กตรอนเช่นเดียวกัน แก๊สที่ใช้ได้แก่ มีเทน ไอโซบิวเทนและแอม โมเนีย

2.7.3 การทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี

สารตัวอย่างที่ถูกเตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วจะถูกนำมาฉีดเข้าทางส่วนฉีดสารของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จากนั้นสารก็จะถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อผ่านเข้าสู่คอลัมน์ ที่อยู่ในตู้อบ แต่มีข้อกำหนดว่า ตัวอย่างที่จะนำมาฉีดนั้นจะต้องเป็นสารละลายใสไม่มีตะกอน จากนั้นองค์ประกอบใดที่ถูกแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อนก็จะผ่านเข้าไปในส่วนของเครื่องแมสสเปกโตรเมตรี ซึ่งมีสภาวะเป็นสุญญากาศก่อน แล้วเข้าไปเจอกับ Ion Source ซึ่งจะทำหน้าที่ไอออไนซ์ โมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นประจุจากนั้นประจุเหล่านี้ก็จะเดินทางผ่านเครื่อง

คัดเลือกและแยกแยะขนาดของประจุ (Mass Analyzer) คว้าประจุเหล่านั้นประกอบไปด้วยขนาดมวลเท่าใดบ้าง ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ เพื่อตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปลผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ในสารตัวอย่างนั้น ๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J.A. Pumphrey และคณะได้ทำการวิจัยเพื่อแสดงวิธีการทำนายความดันไอของสารผสมระหว่าง แก๊สโซลีนกับแอลกอฮอล์ 4 ชนิด ได้แก่ เมทานอล, เอทานอล, ไอโซโพรพานอล และบิวทานอล ซึ่งความดันไอของสารผสมนี้ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส (100 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นฟังก์ชันกับสัดส่วนสารผสม จากข้อมูลการทดลองสามารถหาค่า Infinite Dilution Activity Coefficients และใช้ค่าดังกล่าวหาค่าคงที่ในสมการของวิลสัน ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ทำนายค่าความดันไอได้อย่างแม่นยำมาก สำหรับผลการทดลองของสารผสมที่ทำการศึกษาทั้ง 4 ชนิดพบว่าความดันไอของสารผสมเพิ่มขึ้นในช่วงแรก que เพิ่มปริมาณของแอลกอฮอล์ลงไปผสมกับแก๊สโซลีน หลังจากนั้นความดันไอของสารผสมจะลดลงตามปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การทดลองแสดงให้เห็นว่า สารผสมดังกล่าวสามารถที่จะจัดเป็นสารละลายสององค์ประกอบเทียบเพื่อใช้เป็นสมมติฐานในการทำนายได้

Haiyun Sun และคณะได้ทำการศึกษาความดันไอที่จุดเกิดฟองและอุณหภูมิ ณ จุดสมมูลสำหรับของผสมระหว่าง น้ำมันก๊าดที่เป็นน้ำมันไฮโดรคาร์บอนที่มีคุณสมบัติดูดความร้อน (Endothermic Hydrocarbon Fuel, EHF) กับเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่างกัน ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอและอุณหภูมิในรูปสมการองศาสำหรับแต่ละสัดส่วนมวลของเอทานอลในช่วงอุณหภูมิการทดลอง โดยมีความเที่ยงตรงที่น่าพอใจ เส้นจุดเกิดฟองที่เกิดจากการพล็อตกราฟระหว่างความดันกับสัดส่วนมวล และการพล็อตกราฟระหว่างอุณหภูมิกับสัดส่วนมวลสำหรับระบบสององค์ประกอบเทียบของ EHF และเอทานอลนั้นจะมีค่าที่เบี่ยงเบนไปอย่างมากจากกฎของราอูลต์ เป็นผลมาจากการเติมเอทานอลซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อความดันไอของน้ำมัน เอทานอลนั้นเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพจะถูกเติมเพื่อปรับค่าการระเหยของ EHF โดยจากการทดลองพบว่า การผสมเอทานอลลงในน้ำมัน EHF ในสัดส่วนของเอทานอลที่ต่ำนั้นจะทำให้การระเหยมีค่าที่มากขึ้น

83211

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

1. ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่แก๊ส โซซอลต์ผ่านถึงน้ำมันที่ทำจากสแตนเลสสตีลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
2. ความดันไอของแก๊ส โซซอลต์ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิต่าง ๆ
3. ความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง
4. ผลของปริมาณแก๊ส โซซอลต์ภายในภาชนะบรรจุเมื่อเทียบเป็นร้อยละ โดยปริมาตร กับความจุของภาชนะ ที่กระทบต่อค่าความดันไอ
5. ปริมาณของเอทานอลในน้ำมันแก๊ส โซซอลต์ที่เกิดการระเหย

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

1. แก๊ส โซลีนปราศจากเอทานอลจากโรงกลั่นน้ำมันบางจาก
2. เอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute Alcohol)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. ชุดอุปกรณ์วัดค่าความดัน ไอแบบสถิตย์ซึ่งประกอบไปด้วย
 - ภาชนะบรรจุที่ทำจากสแตนเลสสตีล ความจุ 300 มิลลิลิตร
 - เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type K)
 - มาตรวัดความดันที่มีย่านการวัด 0-2 บาร์ ความละเอียดในการวัด 0.1 บาร์
2. อ่างน้ำร้อน (Water bath) สำหรับควบคุมอุณหภูมิ
3. เครื่อง Data Logger ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI 210
4. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)
จากบริษัท Perichrom รุ่น PR 2100 GC
5. แมส สเปกโตรเมตรี (Mass Spectrometry, MS)
จากบริษัท Agilent Technologies รุ่น 5973 Inert Mass Selective Detector
6. คอลัมน์ (Column) จากบริษัท Phenomenex รุ่น Zebron ZB-1MS
ขนาด 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร
7. หลอดฉีดยาละลายขนาด 10 ไมโครลิตร (Liquid Tight Syringe)
8. หลอดฉีดยาละลายขนาด 2 มิลลิลิตร ต่อปลายเข้ากับเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีดำเนินงาน

โครงการนี้สามารถแยกแนวทางในการดำเนินงานออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

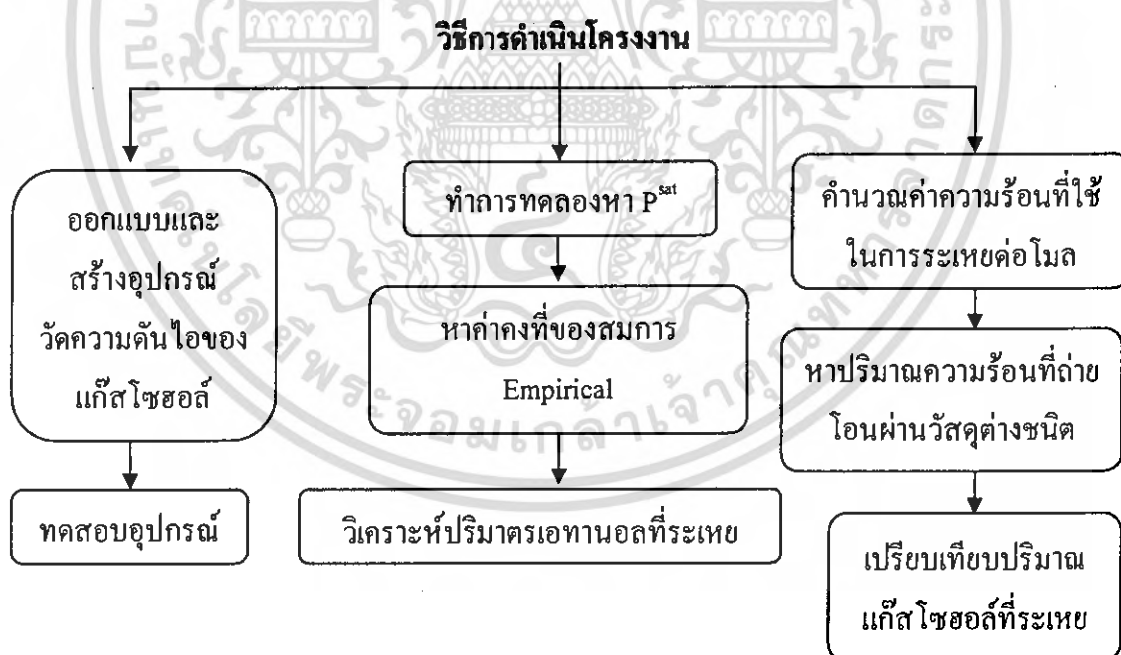
ส่วนที่ 1 เป็นการออกแบบ สร้างและสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์ เพื่อใช้ในการทดลอง

ส่วนที่ 2 การทดลองวัดค่าความดันไอเพื่อหาค่าคงที่ของสมการเอ็มพิริกัล (Empirical) และใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของ แก๊สซโซลต์

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่เกิดการระเหย เมื่อแก๊สโซซอลต์ได้รับความร้อน ที่อุณหภูมิต่างๆ

ส่วนที่ 4 การคำนวณสมบัติพื้นฐานของแก๊สโซซอลต์ การหาปริมาณความร้อนที่แก๊สซโซลต์ได้รับในสถานะจำลองที่กำหนด ผ่านวัสดุที่ทำการศึกษา คือ สแตนเลสสตีลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง รวมถึงทำการคำนวณร้อยละของการระเหยโดยปริมาตรของแก๊สโซซอลต์

วิธีดำเนินงานสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานโครงการ

3.4.1 การออกแบบชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์

ขั้นตอนในการออกแบบชุดอุปกรณ์วัดความดันไอ มีรายละเอียดดังนี้

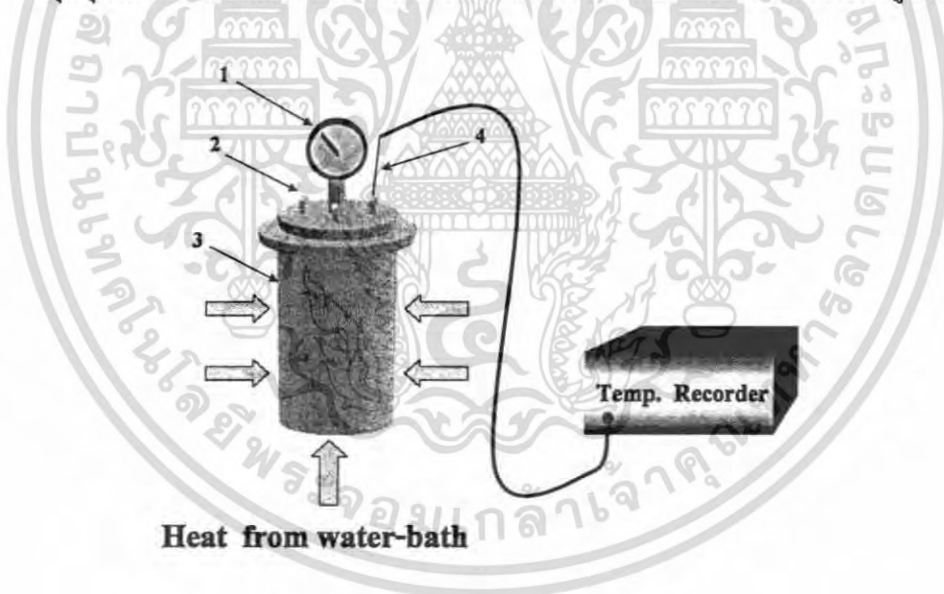
1. เลือกวัสดุที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้บรรจุน้ำมันแก๊ส โซซอล เพื่อให้สามารถทนต่ออุณหภูมิในช่วง 30 - 70 °ซ และความดัน 2 บาร์

2. ระบุเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ เพื่อวัดค่าตัวแปรที่ต้องการศึกษา โดยประกอบไปด้วยมาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) รวมถึงติดตั้งช่องสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊ส โซซอลไปวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลที่ระเหยออกจากแก๊ส โซซอล

3. กำหนดขนาดของอุปกรณ์ โดยความสูงของภาชนะพิจารณาจากระดับน้ำต่ำสุดซึ่งมีระดับสูงกว่าระดับขดลวดให้ความร้อนภายในอ่างน้ำร้อน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิจารณาจากพื้นที่ที่ต้องเพียงพอต่อการติดตั้งอุปกรณ์ในข้อ 2 ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาตรของอุปกรณ์

4. เลือกอุปกรณ์วัดที่จะทำการติดตั้ง ซึ่งมาตรวัดความดันต้องมีความเหมาะสมสำหรับช่วงความดันในการทดลอง และเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค ที่ใช้ร่วมกับเครื่อง Data Logger เพื่อแสดงผลเป็นอุณหภูมิ

ชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์ที่ได้ทำการออกแบบไปจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.2



- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. เกจวัดความดันไอ | 2. ที่เก็บตัวอย่างสาร |
| 3. ภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง | 4. เทอร์โมคัปเปิล |

รูปที่ 3.2 โครงสร้างของอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์

เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบมาสามารถใช้งาน ได้ จึงต้องทำการสอบเทียบ อุปกรณ์ ซึ่งหากอุปกรณ์มีความแม่นยำจึงสามารถทำการทดลองต่อไป แต่ถ้าไม่แม่นยำจะต้องมีการปรับแก้อุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง ขั้นตอนในการสอบเทียบอุปกรณ์ มีดังนี้

1. บรรจุเอทานอลปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในอุปกรณ์วัดความดัน ไอแบบสถิตย์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 °ซ โดยใช้อ่างน้ำร้อน
2. บันทึกค่าความดัน ไอและอุณหภูมิ ณ จุดสมดุล ซึ่งค่าจะได้จากมาตรวัดความดันและเทอร์โมคัปเปิล ตามลำดับ โดยระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล คือ ทั้งความดันและอุณหภูมิที่วัด ได้มีค่าคงที่
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1- 2 โดยเพิ่มอุณหภูมิทีละ 5 °ซ จนถึงอุณหภูมิ 55 °ซ
4. นำชุดข้อมูลผลการทดลองที่ได้ไปพล็อตกราฟ ระหว่างความดัน ไอกับอุณหภูมิของเอทานอล
5. นำกราฟระหว่างอุณหภูมิกับความดัน ไอของเอทานอลที่ได้จากทดลอง เปรียบเทียบกับเส้นกราฟที่คำนวณจากสมการขององควน ถ้าลักษณะแนว ไน้มของเส้นกราฟทั้งสอง ใกล้เคียงกัน แสดงว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถใช้วัดความดัน ไอของสารต่าง ๆ ได้

3.4.3 การทดลองวัดค่าความดันไอของแก๊สโซฮอล์

1. บรรจุแก๊สโซฮอล์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในอุปกรณ์วัดความดัน ไอแบบสถิตย์ และให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 30 °ซ
2. บันทึกค่าความดัน ไอและอุณหภูมิ ณ จุดสมดุล ซึ่งอ่านค่าได้จากมาตรวัดความดันและเทอร์โมคัปเปิล ตามลำดับ โดยระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล คือ ทั้งความดันและอุณหภูมิที่วัด ได้มีค่าคงที่
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1- 2 โดยเพิ่มอุณหภูมิทีละ 5 °ซ จนถึงอุณหภูมิ 70 °ซ
4. ทำซ้ำข้อ 1 – 3 โดยเปลี่ยนปริมาตรของแก๊ส โซฮอล์ภายในภาชนะบรรจุเป็น 100, 150 และ 200 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.4.4 การหาค่าคงที่ของสมการเอ็มพิริกัล และค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซฮอล์

1. ใช้ชุดข้อมูลความดัน ไอที่อุณหภูมิต่างๆ ของแก๊สโซฮอล์ เพื่อหาค่าคงที่ของสมการเอ็มพิริกัล (ค่า A, B, C) ในรูปแบบสมการองควน โดยใช้โปรแกรม Visual Basic for Application (VBA) ช่วยในการคำนวณ

2. ใช้ข้อมูลความดัน ไอที่อุณหภูมิต่างๆ ของแก๊ส โซฮอล์ มาพล็อตกราฟระหว่าง $\ln P^{\text{sat}}$

กับ $\frac{1}{T}$ เพื่อหาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล โดยใช้สมการที่ (2.16) และ (2.17) ไม่ว่าจะวิธีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ระเหย

ปริมาณเอทานอลที่ระเหยสามารถหาได้ โดยการเก็บตัวอย่างแก๊สโซฮอล์ในสถานะของเหลว ณ จุดสมมูล ในช่วงอุณหภูมิ 30-60 °ซ จากภาชนะบรรจุของชุดอุปกรณ์วัดความดันไอมาวินิจฉัยโดยใช้เครื่อง GC/MS ซึ่งมีภาวะที่ใช้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดและภาวะใช้งานของเครื่อง GC/MS

รายการ	รายละเอียดและภาวะใช้งาน
Carrier Gas	แก๊สฮีเลียม อัตราการไหล 1.8 มิลลิลิตรต่อนาที
Detector	MS อุณหภูมิที่ใช้ 150 °ซ
Injector	อุณหภูมิที่ใช้ 150 °ซ
โปรแกรมอุณหภูมิ	อุณหภูมิตู้อบเริ่มต้นที่ 50 °ซ เป็นเวลา 1 นาที อัตราเพิ่มอุณหภูมิ 10 °ซ ต่อนาที มีอุณหภูมิสุดท้ายคือ 100 °ซ

เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณเอทานอลที่ระเหยนั้น จะเริ่มด้วยการทำกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของเอทานอล ซึ่งต้องทำให้ครอบคลุมความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างแก๊สโซฮอล์ที่จะทำการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนการทำได้ดังนี้

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น คือร้อยละ 5, 8, 10, และ 12 โดยปริมาตร โดยผสมแก๊สโซลีนกับเอทานอลให้มีปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ตัวอย่าง ให้มีปริมาตรของเอทานอลที่ 0.5, 0.8, 1.0, และ 1.2 มิลลิลิตร ตามลำดับ
2. ใช้หลอดฉีดสารละลายนำสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นจากข้อ 1 จำนวน 1 ไมโครลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ย (Average Peak Area) ด้วยเครื่อง GC/MS
3. ทำกราฟมาตรฐาน โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง GC/MS มาพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลกับพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ย

เมื่อได้กราฟมาตรฐานแล้ว ต่อไปจึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณของเอทานอลที่ระเหยออกจากแก๊สโซฮอล์ในสถานะของเหลว ณ อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. บรรจุแก๊สโซฮอล์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในชุดอุปกรณ์วัดค่าความดันไอบนสถิติ และให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อน ควบคุมที่อุณหภูมิ 30 °ซ
2. เก็บตัวอย่างแก๊สโซฮอล์ ณ จุดสมมูลโดยนำหลอดฉีดสารละลายขนาด 2 มิลลิลิตร ต่อปลายเข้ากับเส้นใยแก้วนำแสง แทะผ่านช่องเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 0.5 มิลลิลิตร
3. วิเคราะห์สารตัวอย่างจำนวน 1 ไมโครลิตรด้วยเครื่อง GC/MS เพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยแล้วทำการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 โดยเพิ่มอุณหภูมิของอ่างน้ำร้อนทีละ 5 °ซ จนถึงอุณหภูมิ 60 °ซ
ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของเอทานอลกับกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิต่างๆ

6. คำนวณปริมาณของเอทานอลที่ระเหย และคำนวณร้อยละของการระเหย ณ อุณหภูมิต่างๆ

3.4.6 การคำนวณ

การคำนวณในโครงการนี้ประกอบไปด้วย การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของแก๊ส โซฮอล์ การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านถังบรรจุน้ำมันและปริมาณแก๊ส โซฮอล์ที่ระเหย โดยในแต่ละหัวข้อนี้มีรายละเอียด ดังนี้

การคำนวณสมบัติพื้นฐานของแก๊ส โซฮอล์ เนื่องจากต้องการหาปริมาณแก๊สโซฮอล์ที่ระเหยในเทอมร้อยละ โดยปริมาตร ดังนั้น จำเป็นต้องทราบค่าสมบัติพื้นฐานของแก๊ส โซฮอล์ ได้แก่ มวลโมเลกุลและความหนาแน่น เพื่อเปลี่ยนจำนวน โมลที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลกับปริมาณความร้อนที่แก๊สโซฮอล์ได้รับ เป็นปริมาตรของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย ซึ่งการคำนวณมีลำดับขั้นตอน ดังนี้

- หาค่าสมบัติพื้นฐานของแก๊สโซฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สโซฮอล์ผ่านแฟคเตอร์ K ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.22-2.25) โดยใช้ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM ของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้รับมาจากโรงกลั่นน้ำมันบางจาก [11] ซึ่งข้อมูลบางส่วนนั้นได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการกลั่นแบบ ASTM ของแก๊สโซฮอล์

TEST ITEMS	METHOD ASTM / OTHER	SPECS	TEST RESULT
VOLATILITY :			
Distillation: 10%Vol. Evaporated, °C	ASTM D-86	70 Max	52
50%Vol. Evaporated, °C		70 -110	76
90%Vol. Evaporated, °C		170 Max	136
FBP, °C		200 Max	177
Residue, %Vol		2.0 Max	0.5
Raid Vapour Pressure @ 37.8 °C kPa	ASTM D-4953	62 Max	59
API Gravity @ 15.6 °C	ASTM D-1298	Report	60.0
Density @ 15.0 °C g/ml	ASTM D-4052	Report	0.7386

- หาค่าสมบัติพื้นฐาน (มวลโมเลกุลและความหนาแน่น) ของแก๊สโซลีนโดยใช้ค่า K และ T_b ประกอบกับรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4
- คำนวณมวลโมเลกุลและความหนาแน่นของแก๊สโซลีน โดยใช้กฎการผสมตามสมการที่ (2.28) และ (2.29) ตามลำดับ

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนให้กับแก๊สโซลีน ปริมาณความร้อนที่แก๊สโซลีนได้รับเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้แก๊สโซลีนเกิดการระเหย ซึ่งขั้นตอนการคำนวณปริมาณความร้อน มีดังต่อไปนี้

- ตั้งสถานะจำลองของการใช้รถยนต์ คือ นำรถยนต์ไปจอดไว้กลางแจ้งที่มีอุณหภูมิของอากาศรอบนอกเท่ากับ 40°C (อุณหภูมิสูงสุดของประเทศไทย) เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดยที่เวลาเริ่มต้น ถังน้ำมันและแก๊สโซลีนมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดที่ 25°C มีความจุรวม 40 ลิตร ($40 \times 60 \times 16.7$ เซนติเมตร) ขณะนั้นมีแก๊สโซลีนเพียงร้อยละ 80 ของความจุ (32 ลิตร)
- วัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณ ได้แก่ สเตนเลสสตีลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการทำถังน้ำมันในปัจจุบัน
- คำนวณหาเส้นแนวโน้มของการเปลี่ยนอุณหภูมิภายในถังน้ำมันแต่ละชนิด โดยใช้สมการที่ (2.10)
- คำนวณหาฟลักซ์ความร้อน โดยใช้ข้อมูลจากเส้นแนวโน้มของการเปลี่ยนอุณหภูมิข้างต้นและสมการที่ (2.11)
- คำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนให้กับแก๊สโซลีนโดยใช้สมการ (2.12)

การคำนวณร้อยละการระเหยโดยปริมาตรของแก๊สโซลีน ร้อยละของการระเหยของแก๊สโซลีนเป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการป้องกันการระเหยของถังน้ำมัน โดยแก๊สโซลีนที่บรรจุในถังน้ำมันชนิดใดมีค่าร้อยละของการระเหยต่ำ แสดงว่าถังน้ำมันที่ทำจากวัสดุชนิดนั้นสามารถลดการระเหยได้ดีกว่า ถังน้ำมันชนิดที่มีค่าร้อยละของการระเหยสูง ขั้นตอนในการคำนวณร้อยละของการระเหย มีดังนี้

- เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของแก๊สโซลีนที่คำนวณได้จากผลการทดลองกับปริมาณความร้อนที่แก๊สโซลีนได้รับ ทำให้ทราบจำนวนโมลของแก๊สโซลีนที่ระเหยได้
- เปลี่ยนจำนวนโมลแก๊สโซลีนที่ระเหยเป็นปริมาตร โดยใช้มวลโมเลกุลและความหนาแน่นของแก๊สโซลีนที่ได้จากการคำนวณ
- เปรียบเทียบปริมาตรที่เกิดการระเหยกับปริมาตรของแก๊สโซลีนในขณะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงจะได้ค่าร้อยละของการระเหยโดยปริมาตรของแก๊สโซลีนไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์

ชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง แสดงผลในรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วย ภาชนะบรรจุที่ทำจาก สเตนเลสสตีล ความจุสูงสุด 300 มิลลิลิตร สามารถทนต่อแรงดันสูงสุด 10 บาร์ ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค สำหรับวัดอุณหภูมิภายใน และมาตรวัดความดันที่มีย่านการวัด 0-2 บาร์ ความละเอียด 0.1 บาร์ และมีช่องสำหรับการเก็บตัวอย่าง แก๊ส โซลด์เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลที่ระเหย โดยใช้อ่างน้ำร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิระหว่างการทดลอง

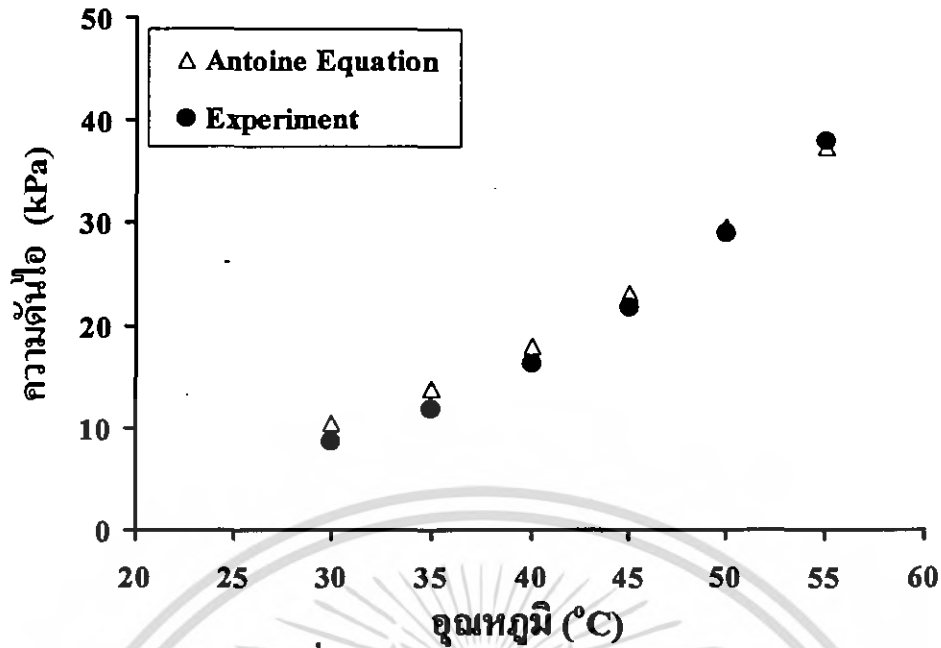


รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์วัดความดันไอแบบสถิตย์

4.2 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์

การสอบเทียบอุปกรณ์วัดความดันไอกับเอทานอลบริสุทธิ์ ในช่วงอุณหภูมิ 30-55 °ซ แล้วเทียบกับผลที่คำนวณจากสมการองตวนในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน ได้ผลดังรูปที่ 4.2 โดยลักษณะแนวโน้มของเส้นกราฟทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน แสดงว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำ สามารถทำการทดลองวัดความดันไอของสารเอทานอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

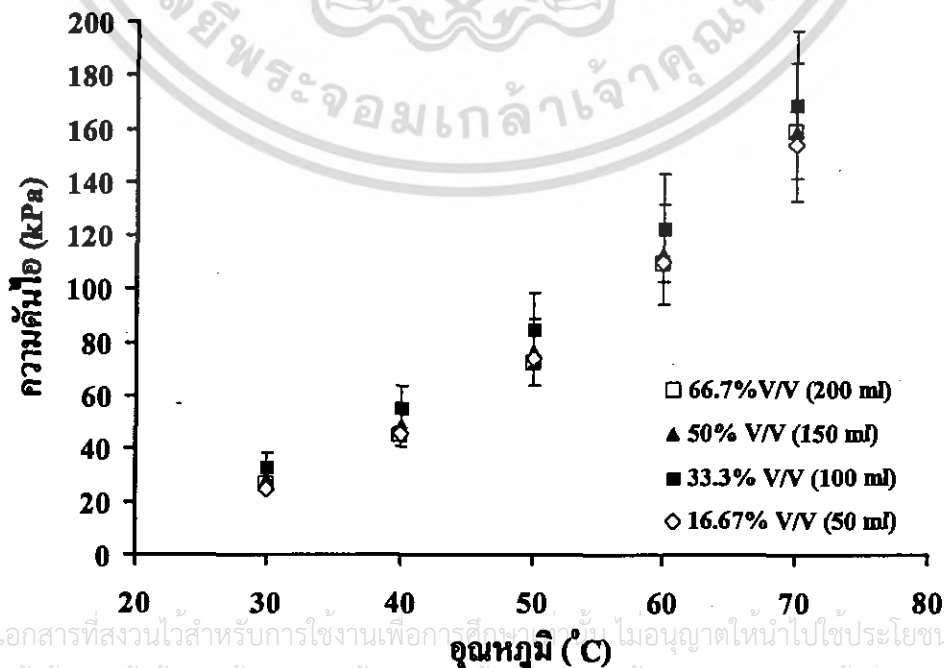


รูปที่ 4.2 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์โดยใช้เอทานอล

4.3 ผลการทดลองวัดความดันไอ

4.3.1 ผลของปริมาณแก๊สไซสอล (เมื่อเทียบเป็นร้อยละโดยปริมาตรกับความจุของภาชนะบรรจุ) ต่อความดันไอ

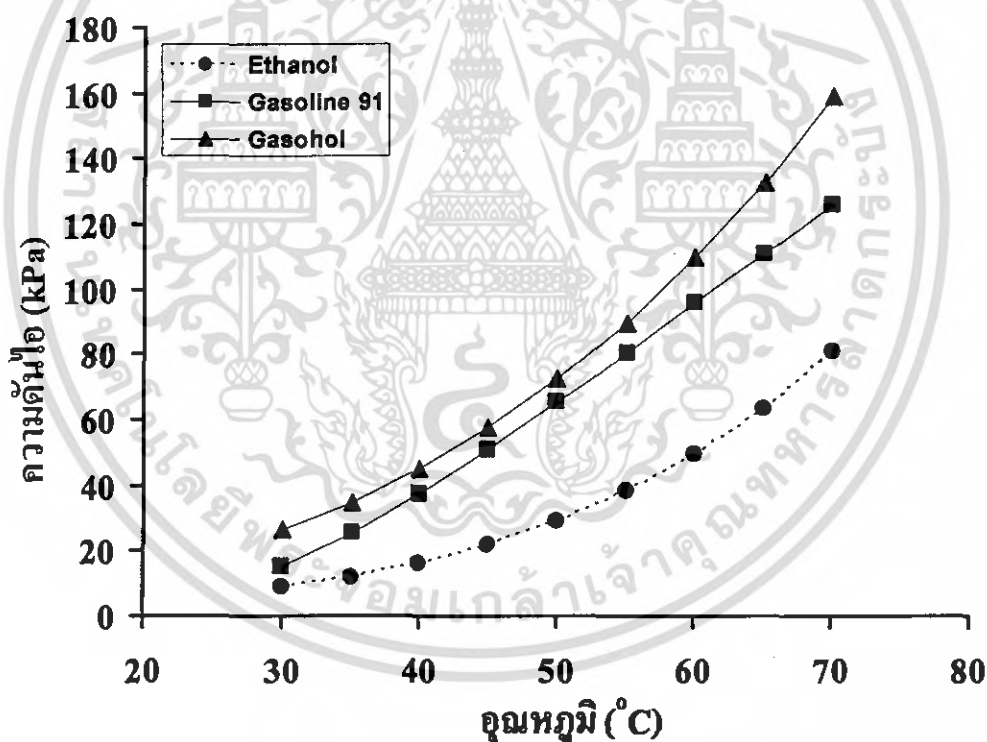
รูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบความดันไอของแก๊สไซสอลที่มีปริมาณร้อยละ 16.67, 33.33, 50 และ 66.67 โดยปริมาตรความจุของภาชนะ (50, 100, 150 และ 200 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 °ซ พบว่า ที่ผลการวิเคราะห์ช่วงความไม่แน่นอนที่ร้อยละ 16 ค่าความดันไอที่ปริมาตรบรรจุต่างๆ อยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งบ่งบอกว่าปริมาณที่บรรจุในอุปกรณ์ไม่มีผลกระทบต่อค่าความดันไอ



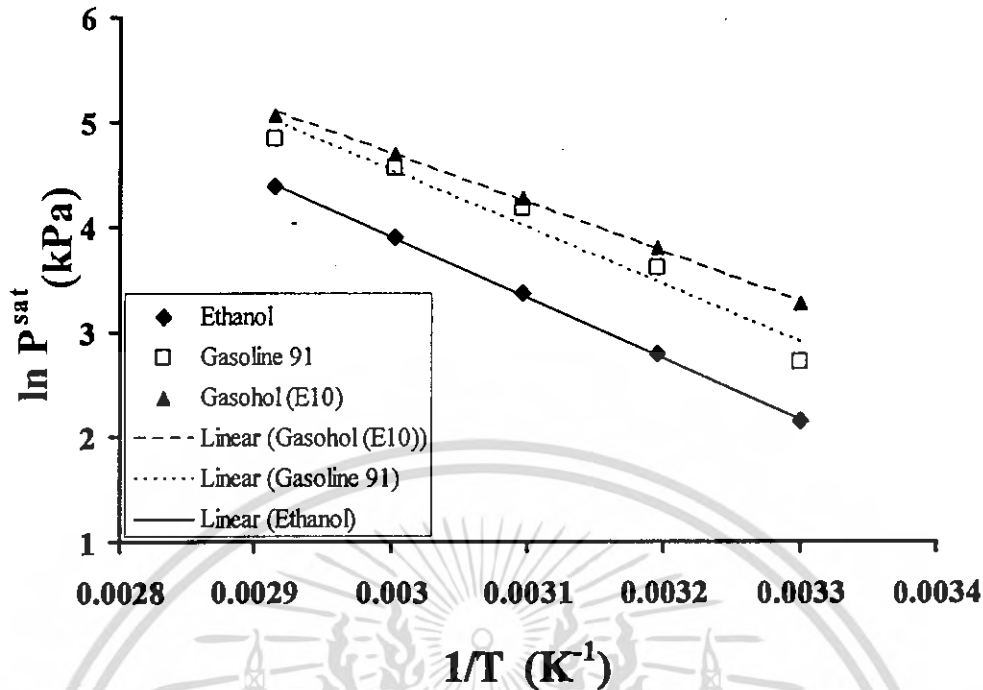
รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณแก๊สไซสอลในภาชนะบรรจุต่อความดันไอ

4.3.2 ความดันไอของสารต่างๆ

การเปรียบเทียบความดันไอของเอทานอล แก๊สโซลีนและแก๊สโซฮอล์ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 °ซ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 จากรูปจะเห็นว่าความดันไอของสารแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอจะมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความดันไอของสารแต่ละชนิด ณ อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า ความดันไอของแก๊สโซฮอล์มีค่ามากที่สุดและความดันไอของเอทานอลมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการผสมเอทานอลลงในแก๊สโซลีนในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร ทำให้ได้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความดันไอสูงกว่าแก๊สโซลีน [7] แสดงถึงความสามารถในการระเหยที่เพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลความดันไอกับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองสามารถหาค่าคงที่ของสมการเอมพิริกัล (โดยใช้โปรแกรม Visual Basic for Application) และค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของสารต่างๆ ที่คำนวณได้จากค่าความชันของกราฟที่พล็อตจากสมการ Clapeyron–Clausius ดังรูปที่ 4.5 และสมการที่ 2.17 จะได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 ความดันไอของสารต่างๆ ใน ช่วงอุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส



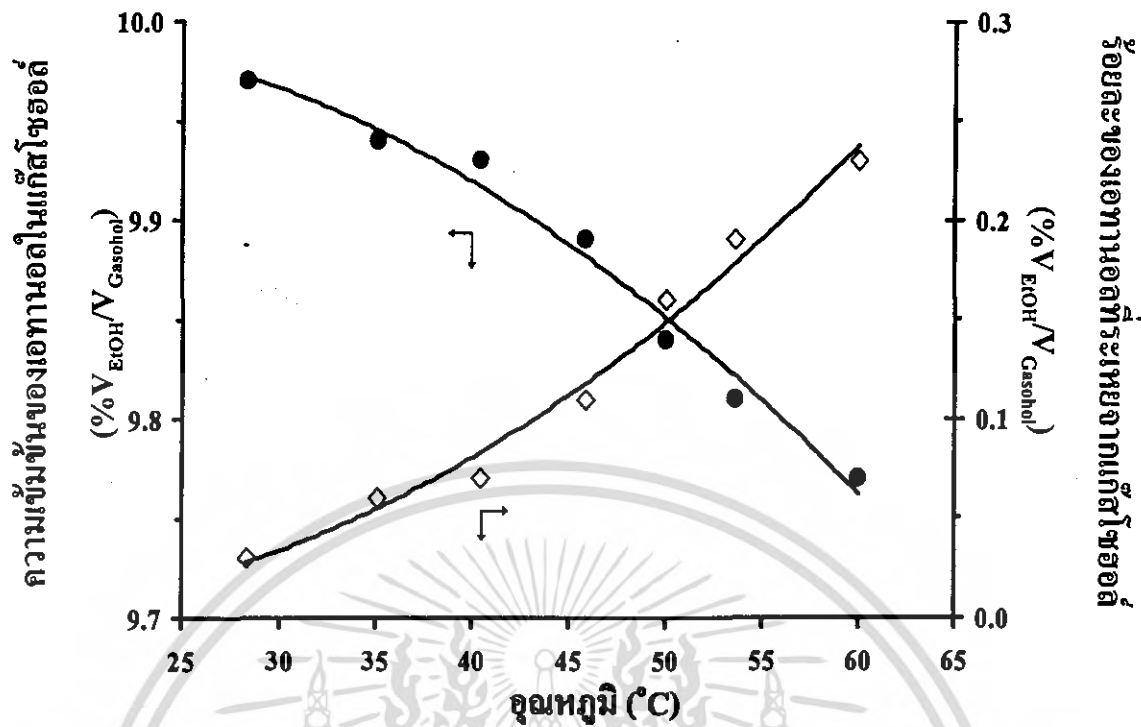
รูปที่ 4.5 ผลการพล็อตกราฟสมการ Clapeyron–Clausius ของสารต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่สมการเอมพิริกัล และค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของสารต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °ซ

สาร	ค่าคงที่สมการเอมพิริกัล			$\Delta_{\text{vap}} H_m$ (kJ/mol)
	A	B	C	
เอทานอล	16.06	2897.39	178.28	49.27
แก๊สโซลีน 91	10.68	1029.48	106.49	42.96
แก๊สโซฮอลล์	11.34	1125.73	109.52	39.32

4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลที่ระเหยโดย GC/MS

สำหรับแก๊สโซฮอลล์ที่มีปริมาณเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร จากการทดลองให้ความร้อนแก่แก๊สโซฮอลล์ที่อุณหภูมิ 28.3 °ซ ที่เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง ทดลองเก็บตัวอย่างในภาชนะของเหลวเพื่อทดลองหาปริมาณเอทานอลโดยใช้ GC/MS พบว่าจะมีความเข้มข้นของเอทานอลเป็นร้อยละ 9.97 โดยปริมาตร และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่าเอทานอลมีการเปลี่ยนจากวัฏภาคของเหลวไปเป็นวัฏภาคไอน้ำมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 60 °ซ จะเหลือความเข้มข้นร้อยละ 9.77 โดยปริมาตร เมื่อแสดงเป็นร้อยละของเอทานอลที่ระเหยเทียบกับปริมาณแก๊สโซฮอลล์ ค่าการระเหยในช่วงอุณหภูมิ 28.3 – 60.0 °ซ จะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.03 – 0.23 โดยปริมาตร ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.6 สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นและร้อยละของเอทานอลที่ระเหยจากแก๊ส โซฮอล์ ณ อุณหภูมิต่างๆ

4.5 ผลการคำนวณ

4.5.1 สมบัติพื้นฐานของแก๊สโซลีนและแก๊สโซฮอล์

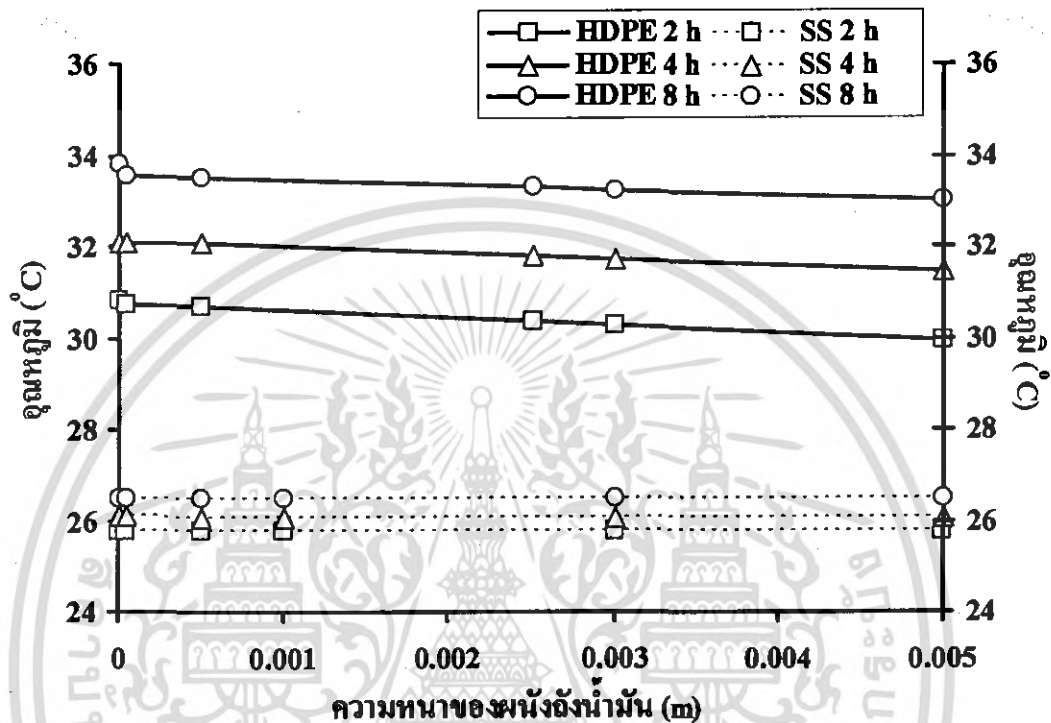
ทำการคำนวณสมบัติของแก๊สโซลีนโดยใช้ข้อมูล ASTM ส่วนสมบัติของแก๊สโซฮอล์คำนวณจากกฎการผสม โดยสมบัติของเอทานอลและผลการคำนวณสมบัติของแก๊สโซลีนและแก๊สโซฮอล์ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติของเอทานอล แก๊ส โซลีนและแก๊ส โซฮอล์

สมบัติ	น้ำมัน		
	เอทานอล	แก๊สโซลีน	แก๊สโซฮอล์
ความหนาแน่น (g/ml)	0.7890	0.7386	0.7481
แฟกเตอร์ K	-	11.66	-
มวล โมเลกุล (g/mol)	46.00	90.00	81.71

4.5.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังถังน้ำมัน

จากสภาวะจำลองที่กำหนดและสมการที่ (2.10) สามารถคำนวณแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังถังน้ำมันที่ทำจากวัสดุ สแตนเลสสตีล และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งผลจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



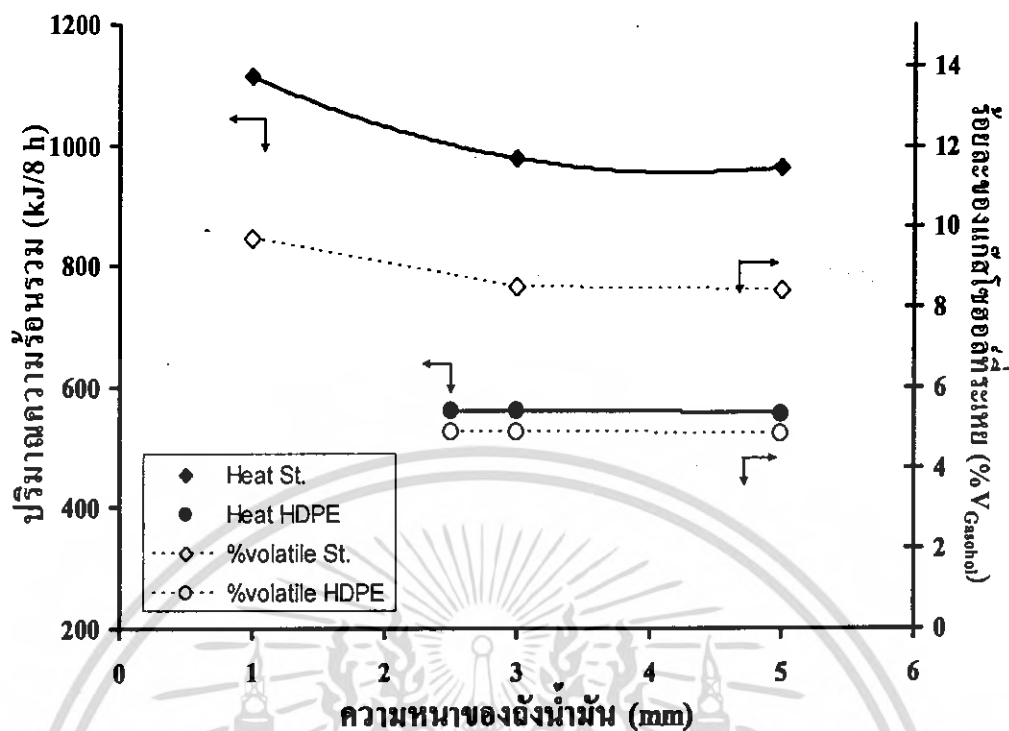
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังถังสแตนเลสสตีลและ HDPE ที่เวลาต่างๆ

ที่สภาวะแวดล้อมเดียวกัน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในวัสดุทั้งสองจะลดลงตามระยะห่างจากผิวด้านนอกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมวลที่เพิ่มขึ้น แต่ถังน้ำมันพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าสแตนเลสสตีล มีค่าการลดลงของอุณหภูมิมากกว่า ซึ่งแสดงได้จากความชันของกราฟ

4.5.3 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์และร้อยละของแก๊สโซฮอล์

ที่ระเหย

จากเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังถังน้ำมัน ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ สามารถใช้สมการที่ (2.11) และ (2.12) เพื่อคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านถังบรรจุ น้ำมันซึ่งทำจากวัสดุสแตนเลสสตีลและ HDPE ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง ที่ความหนาต่างๆ ผลที่ได้จะแสดงในกราฟปฐมภูมิของรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่แก๊สโซฮอล์ได้รับนี้กับค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยคือ โมลของแก๊สโซฮอล์สามารถคำนวณปริมาณแก๊สโซฮอล์ที่ระเหยได้ ซึ่งแสดงผลในกราฟทุติยภูมิดังนี้



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทและร้อยละของแก๊สโซซอลด์ที่ระเหยของถังน้ำมันสแตนเลสสตีลและ HDPE

จากรูปพบว่า สำหรับถังน้ำมันสแตนเลสสตีลที่ความหนา 1 มิลลิเมตร ได้รับความร้อนประมาณ 1115 กิโลจูล จากสภาวะแวดล้อมภายนอกที่มีอุณหภูมิคงที่ 40 °ซ และมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งมีค่าคงที่ประมาณ 970 กิโลจูล เมื่อความหนาของถังน้ำมันเพิ่มขึ้นถึง 5 มิลลิเมตร ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของร้อยละของการระเหยจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณความร้อนที่ได้รับ คือร้อยละ 9.7 ที่ความหนา 1 มิลลิเมตรแล้วลดลงเหลือร้อยละ 8.4 ที่ความหนา 5 มิลลิเมตรจากผิวด้านนอก สำหรับถังน้ำมันพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งมีความเป็นฉนวนความร้อนมากกว่าสแตนเลสสตีล พบว่าทั้งปริมาณความร้อนที่ได้รับและร้อยละของแก๊สโซซอลด์ที่ระเหยมีค่าต่ำกว่าสแตนเลสสตีล และความหนาที่เพิ่มขึ้นของถังน้ำมันไม่แสดงผลกระทบต่อค่าทั้งสอง ซึ่งปริมาณการระเหยอยู่ประมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับความดันไอและค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล พบว่า แก๊สโซฮอล์ที่ผลิตจากการผสมเอทานอลลงในแก๊สโซลีน 91 ในอัตราส่วน 1 : 9 (เอทานอล : แก๊สโซลีน) มีค่าความดันไอบวกกว่าแก๊สโซลีน เนื่องจากค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยของแก๊สโซฮอล์มีค่าเท่ากับ 39.32 กิโลจูลต่อโมล โดยต่ำกว่าแก๊สโซลีน 91 ประมาณ ร้อยละ 8.5 แสดงให้เห็นว่าแก๊สโซฮอล์สามารถระเหยได้ง่ายกว่าแก๊สโซลีน 91

สำหรับการระเหยของแก๊สโซฮอล์จากถังบรรจุนั้น ปัจจัยที่สำคัญและมีผลกระทบต่อปริมาณที่เกิดการระเหย คือ ปริมาณความร้อนที่แก๊สโซฮอล์ได้รับ ถ้าแก๊สโซฮอล์ได้รับความร้อนในปริมาณมากก็จะเกิดการระเหยได้มาก ทางด้านปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ที่เกิดการระเหยในการใช้งานนั้น เมื่อถึงบรรจุน้ำมันได้รับความร้อนที่ถ่ายเทเนื่องจากอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมปกติ ปริมาณเอทานอลที่ระเหยจะมีค่าที่ค่อนข้างน้อย

วิธีการที่จะลดปริมาณการระเหยของแก๊สโซฮอล์ในถังน้ำมันจะทำได้โดยการเลือกวัสดุและการออกแบบถังบรรจุนเพื่อลดปริมาณความร้อนที่จะถ่ายโอนให้กับแก๊สโซฮอล์ ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุสองชนิดที่นิยมใช้ทำถังน้ำมันในปัจจุบัน คือ สแตนเลสสตีลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีความเหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัสดุทำถังบรรจุน้ำมันแก๊สโซฮอล์ในแง่ของการลดการระเหยของแก๊สโซฮอล์และเอทานอล เนื่องจากความเป็นฉนวนความร้อนมากกว่าสแตนเลสสตีล

นอกจากนี้สำหรับผู้ใช้งานโดยทั่วไปเมื่อเติมแก๊สโซฮอล์แล้ว ควรหลีกเลี่ยงการจอดรถยนต์ในบริเวณกลางแจ้ง โดยเฉพาะในเวลากลางวันเป็นระยะเวลานานต่อเนื่องกัน เพื่อป้องกันการระเหยของแก๊สโซฮอล์ในถังบรรจุน้ำมัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการหาสมบัติพื้นฐานของแก๊สโซฮอล์ในโครงการนี้ ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า แก๊สโซฮอล์เป็นสารผสมทางกายภาพระหว่างแก๊สโซลีนกับเอทานอล ซึ่งในความจริงอาจไม่เป็นเช่นนั้น และความคลาดเคลื่อนนี้อาจส่งผลทำให้ปริมาณแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย ที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงอาจต้องทำการทดลองเพื่อหาสมบัติของแก๊สโซฮอล์ เช่น การกลั่น ASTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการทดลองที่ยืนยันว่า พอลิเอทีนชนิดความหนาแน่นสูงมีความเหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัสดุทำถังบรรจุแก๊สโซฮอล์นั้น จะมุ่งไปในแง่ของความสามารถในการลดการระเหยของแก๊สโซฮอล์เท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมถึงความเหมาะสมทางด้านอื่น เช่น ความแข็งแรง ซึ่งการออกแบบถังบรรจุน้ำมันจะต้องคำนึงถึงปัจจัยอีกหลาย ๆ ด้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **แกะรอยพลังงานทดแทน: ขุมทรัพย์ในแผ่นดินไทย.** [Online]. Available: <http://www.eppo.go.th/admin/pr/mtc-2548-08-22.html>
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **น้ำมัน 10 เดือน.** [Online]. Available: <http://www.thaienergynews.com/shownewsdetail.asp?objectID=67>
- [3] กรมอุตุนิยมวิทยา. **อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด-สูงสุด.** [Online]. Available: <http://www.tmd.go.th>
- [4] Yunus A. Cengel, **Heat transfer**, McGraw.Hill, 2nd ed., 2004.
- [5] J. M. Smith, H.C. Van Ness, M.M. Abbott. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics.** McGraw.Hill. 7th ed. 2004.
- [6] Stefan aus der Wiesche, **Industrial thermoforming simulation of automotive fuel tanks.** Applied Thermal Engineering 24(2004) 2391-2409.
- [7] J.A. Pumphrey, J.I. Brand, W.A. Scheller, **Vapour pressure measurements and predictions for alcohol-gasoline blends.** Fuel 79 (2000) 1405-1411.
- [8] Haiyun Sun, Wenjun Fang, Yongsheng Guo, Ruisen Lin. **Investigation of bubble - point vapor pressures for mixtures of an endothermic hydrocarbon fuel with ethanol.** Fuel 84 (2005) 825-831.
- [9] ปราโมทย์ ไชยเวช. **ปิโตรเลียมเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 2548.
- [10] กัญจนา บุญยเกียรติ. **การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 6. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 2547.
- [11] เอกสารการทดสอบน้ำมันของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน). **Laboratory test report.** 9 สิงหาคม 2550.
- [12] ดวงกมล อมรศักดิ์โสภณ. **GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry).** [Online]. Available: <http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/gc.html>
- [13] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์. **แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี.** [Online]. Available: <http://www.kmitl.ac.th/sisc/GC-MS/main.html>
- [14] **Properties of Fuel.** [Online]. Available: www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/fueltable.pdf
- [15] **U.S. Department of Energy.** [Online]. Available: www.eere.energy.gov

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Bruce Hamilton, **Automotive Gasoline** [Online]. Available:
www.turborick.com/gsxr1127/gasoline.html
- [17] **Enthalpy of vaporization.** [Online]. Available:
http://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy_of_vaporization
- [18] M. T. Fallon, H. L. Watson, **Latent Heat of Evaporation.** [Online]. Available:
<http://ieeexplore.ieee.org/iel3/4058/11981/00553418.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=553418>
- [19] D.Kretschmer, **FUEL CORRELATIONS FOR COMBUSTION PURPOSES A SUMMARY OF PROGRESS WITHIN THE PART FIFTEEN YEARS PART 1.**
[Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/iel3/4058/11981/00553414.pdf?arnumber=553414>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ จะสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.10)

$$\frac{T(x,t) - T_i}{T_\infty - T_i} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) - \exp\left(\frac{hx}{k} + \frac{h^2at}{k^2}\right) \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}} + \frac{h\sqrt{at}}{k}\right) \right] \quad (2.10)$$

สมมติฐาน

อุณหภูมิสูงสุดของอากาศในประเทศไทย เท่ากับ 40°C
อุณหภูมิเริ่มต้นของแก๊สโซฮอล์ เท่ากับ 25°C
ระยะเวลาที่ถังน้ำมันได้รับความร้อน เท่ากับ 8 ชั่วโมง หรือ 28,800 วินาที
ถังน้ำมันสร้างจากสแตนเลสสตีลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงขนาดกว้าง $40 \times 60 \times 16.7$ เซนติเมตร (40 ลิตร) หนา 5 มิลลิเมตรและมีแก๊สโซฮอล์อยู่ประมาณร้อยละ 80 ของปริมาตรที่ถังบรรจุได้ (32 ลิตร)

สมบัติของอากาศ

จากสมมติฐานที่กำหนดว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศในประเทศไทย เท่ากับ 40°C และอุณหภูมิเริ่มต้นของแก๊สโซฮอล์ เท่ากับ 25°C การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์จะใช้สมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ $(40+25)/2 = 32.5^\circ\text{C}$ ความดัน 1 บรรยากาศ [4]

ความหนาแน่น (Density, ρ) เท่ากับ $1.1545 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) เท่ากับ $0.02606 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$

ค่าการกระจายความร้อน (Thermal Diffusivity, α) เท่ากับ $0.000022425 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

ความหนืดทางจลน์ (Kinetic Viscosity, ν) เท่ากับ $0.000016315 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

Prandtl number (Pr) เท่ากับ 0.7275

เอกสารนี้เป็นเอกสารสิทธิ์การพาคความร้อน (Heat Transfer Coefficient, h) จะสามารถหาได้จาก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หาค่า Grashof Number (Gr_L) จากสมการ (2.1)

$$\begin{aligned} Gr_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \\ &= \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{1}{(273.15 + 32.5)^\circ\text{C}} \times (40 - 25)^\circ\text{C} \times (0.167\text{m})^3}{\left(0.000016315 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)^2} \\ &= 8,423,860 \end{aligned}$$

2. หาค่า Rayleigh Number (Ra_L) จากสมการ (2.4)

$$\begin{aligned} Ra_L &= Gr_L Pr \\ &= 8,423,860 \times 0.7275 \\ &= 6,128,358 \end{aligned}$$

3. หาค่า Nusselt Number (Nu) จากสมการ (2.3) และรูปที่ 2.1 โดยเลือกรูปทรงแบบแผ่นราบแนวตั้ง (Vertical Plate)

$$\begin{aligned} Nu &= C Ra_L^n \\ Nu &= \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \\ &= \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \times (6,128,358)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.7275}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \\ &= 27.26538 \end{aligned}$$

4. หาค่า Heat Transfer Coefficient (h) จากสมการ (2.2)

$$\begin{aligned} h &= \frac{kNu}{L_c} \\ &= \frac{0.02606 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}} \times 27.26538}{0.167\text{m}} \\ &= 4.255 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของสแตนเลสสตีล

ความหนาแน่น (Density, ρ) เท่ากับ $7913 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

การนำความร้อน (Conductivity, k) เท่ากับ $15.6 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}}$

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, C_p) เท่ากับ $0.456 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$

ค่าการกระจายความร้อน (Thermal Diffusivity, α) ของสแตนเลสสตีล จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{k}{\rho C_p} \\ &= \frac{15.6 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}}}{7913 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 456 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}} \\ &= 4.3233 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\end{aligned}$$

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

ความหนาแน่น (Density, ρ) เท่ากับ $909 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

การนำความร้อน (Conductivity, k) เท่ากับ $0.23 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}}$

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, C_p) เท่ากับ $45.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$

ค่าการกระจายความร้อน (Thermal Diffusivity, α) ของสแตนเลสสตีล จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{k}{\rho C_p} \\ &= \frac{0.23 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}}}{909 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 45190 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}} \\ &= 5.5991 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาโปรไฟล์ของอุณหภูมิตามความหนาของผนังถังน้ำมัน

สำหรับถังน้ำมันที่สร้างจากสแตนเลสตีลความหนาเท่ากับ 0.005 เมตร ระยะเวลาที่ถึงน้ำมันได้รับความร้อนเท่ากับ 8 ชั่วโมง (28800 วินาที) นำค่าต่างๆ แทนลงในสมการ (2.10) จะได้

$$\frac{T(x, t) - T_i}{T_\infty - T_i} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) - \exp\left(\frac{hx}{k} + \frac{h^2at}{k^2}\right) \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}} + \frac{h\sqrt{at}}{k}\right) \right]$$

$$\frac{T(0.005, 28800) - 25}{40 - 25} = \operatorname{erfc}\left(\frac{0.005}{2\sqrt{4.3233 \times 10^{-6} \times 28800}}\right) - \exp\left(\frac{4.255 \times 0.005}{15.6} + \frac{(4.255)^2 \times 4.3233 \times 10^{-6} \times 28800}{(15.6)^2}\right) \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{0.005}{2\sqrt{4.3233 \times 10^{-6} \times 28800}} + \frac{4.255\sqrt{4.3233 \times 10^{-6} \times 28800}}{15.6}\right) \right]$$

$$\frac{T(0.005, 28800) - 25}{40 - 25} = 0.0987$$

$$T(0.005, 28800) = 26.4812^\circ\text{C}$$

ที่ความหนาดังน้ำมันระยะต่างๆ และที่ช่วงระยะเวลาอื่นๆ ก็สามารถที่จะคำนวณออกมาได้โดยใช้วิธีเดียวกัน ซึ่งจะได้ผลตามตารางที่ ก-1 ดังนี้

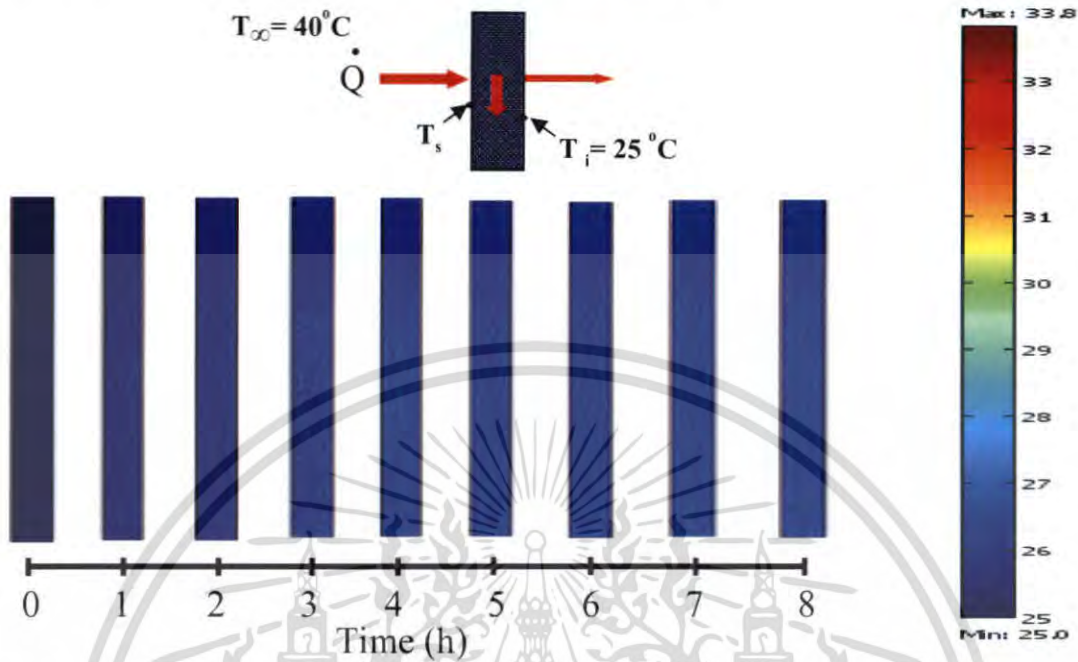
ตารางที่ ก-1 โปรไฟล์ของอุณหภูมิตามความหนาของผนังถังน้ำมันที่สร้างจาก สแตนเลสตีล ณ เวลาต่างๆ

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิที่ความหนาต่างๆ ของผนังถังน้ำมัน (°C)					
	0 มิลลิเมตร	0.00005 มิลลิเมตร	0.0005 มิลลิเมตร	0.001 มิลลิเมตร	0.003 มิลลิเมตร	0.005 มิลลิเมตร
0	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
3,600	25.559	25.559	25.556	25.555	25.546	25.539
7,200	25.781	25.780	25.778	25.776	25.769	25.762
10,800	25.948	25.947	25.945	25.944	25.936	25.928
14,400	26.086	26.086	26.081	26.081	26.074	26.067
18,000	26.206	26.206	26.204	26.202	26.194	26.188
21,600	26.314	26.314	26.312	26.309	26.302	26.295
25,200	26.410	26.410	26.408	26.406	26.399	26.391
28,800	26.500	26.500	26.498	26.496	26.490	26.481

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้เห็นใบนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณสามารถนำผลที่ได้มาแสดงด้วยโปรแกรม Comsol เพื่อดูอุณหภูมิภายในผนังถึงสแตนเลสที่เวลาแต่ละชั่วโมง ซึ่งแสดงผลได้ดังรูปที่ ก-1



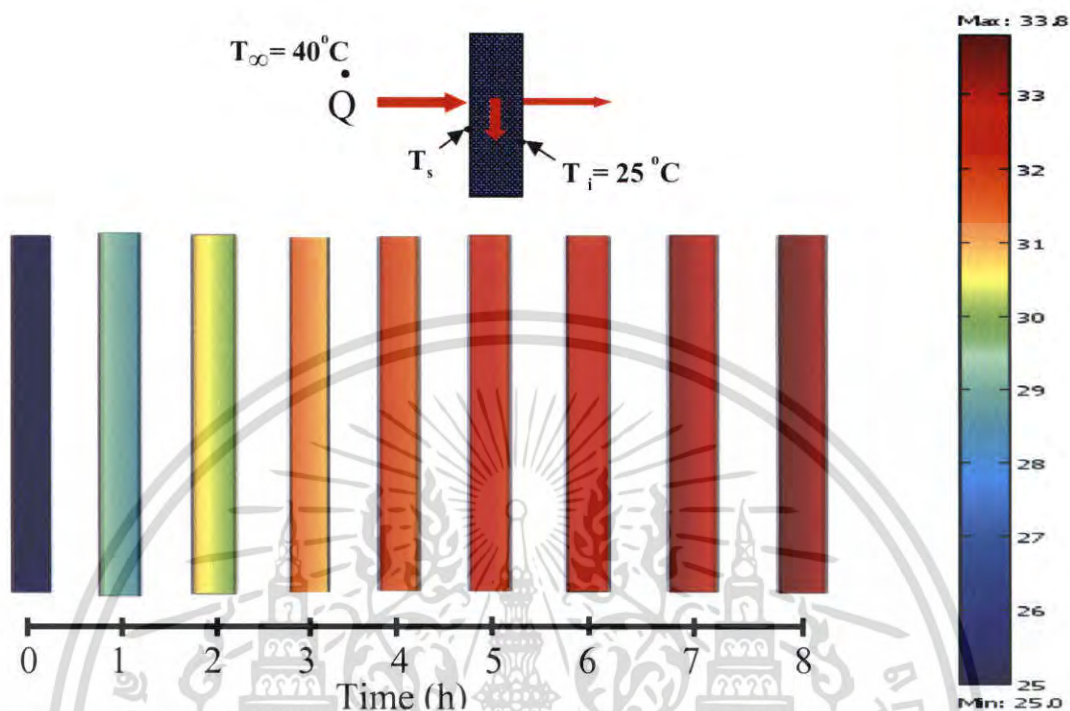
รูปที่ ก-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในผนังถึงสแตนเลสที่เวลาต่างๆ จากโปรแกรม Comsol

สำหรับถึงน้ำมันที่สร้างจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงก็สามารถที่จะคำนวณหาโปรไฟล์ของอุณหภูมิได้จากวิธีเดียวกัน โดยจะแสดงข้อมูลดังตาราง ก-2

ตารางที่ ก-2 โปรไฟล์ของอุณหภูมิตามความหนาของผนังถึงน้ำมันที่สร้างจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ณ เวลาต่างๆ

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิที่ความหนาต่างๆ ของผนังถึงน้ำมัน (°ซ)					
	0 มิลลิเมตร	0.00005 มิลลิเมตร	0.0005 มิลลิเมตร	0.0025 มิลลิเมตร	0.003 มิลลิเมตร	0.005 มิลลิเมตร
0	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
3,600	29.500	29.498	29.411	29.037	28.946	28.596
7,200	30.800	30.751	30.675	30.341	30.259	29.939
10,800	31.600	31.552	31.482	31.176	31.100	30.803
14,400	32.100	32.075	32.075	31.789	31.718	31.440
18,000	32.800	32.602	32.541	32.271	32.204	31.940
21,600	33.000	32.981	32.923	32.666	32.603	32.351
25,200	33.500	33.300	33.245	33.000	32.939	32.698
28,800	33.800	33.575	33.522	33.287	33.228	32.997

สามารถนำผลการคำนวณที่ได้มาแสดงด้วยโปรแกรม Comsol เพื่อดูอุณหภูมิภายในผนังถึงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ณ เวลาแต่ละชั่วโมง ซึ่งแสดงผลได้ดังรูปที่ ก-2

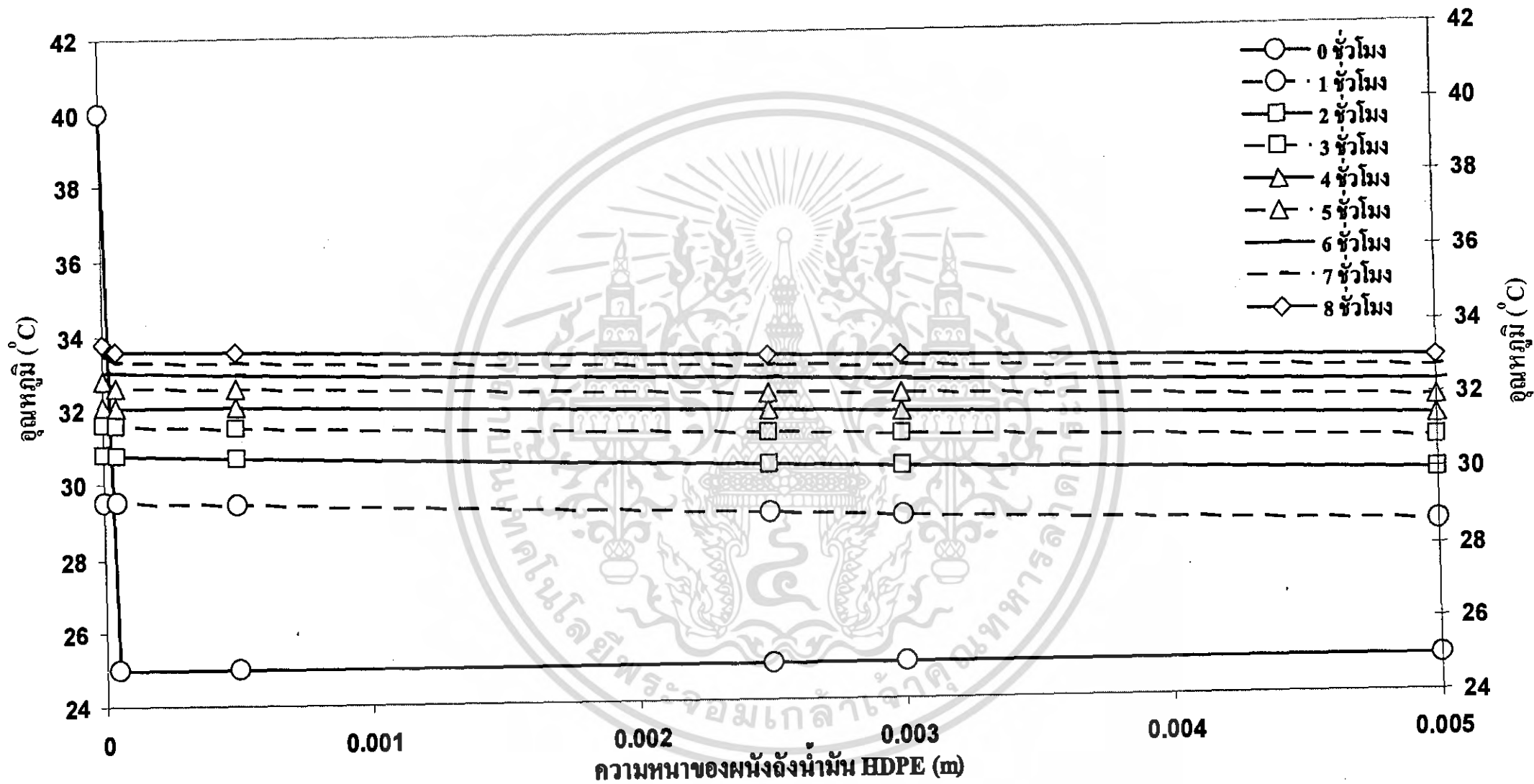


รูปที่ ก-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในผนังถัง HDPE ที่เวลาต่างๆ จากโปรแกรม Comsol

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านถังบรรจุน้ำมันแก๊สโซฮอล์

สำหรับถังบรรจุน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่สร้างจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ความหนา 5 มิลลิเมตรจะหาได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลนำโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่ได้มาพลอตกราฟระหว่างอุณหภูมิและความหนาของผนังถังก๊าซ ซึ่งแสดงดังรูปที่ ก-3 โดยแต่ละเส้นจะแสดงถึงระยะเวลาที่ผนังได้รับความร้อน



รูปที่ ก-3 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังน้ำมันที่ทำจาก HDPE

2. หาฟลักซ์ความร้อนของการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อน (Heat Conduction) และปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนผ่านผนังถึงน้ำมัน โดยฟลักซ์ความร้อนจะได้จากสมการที่ (2.11)

$$\dot{q} = -k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} \quad (2.11)$$

โดยค่า $\frac{\partial T}{\partial x}$ ของแต่ละช่วงเวลาสามารถหาได้จากความชันของกราฟในรูปที่ ก-1 เช่นเมื่อถึงน้ำมันได้รับความร้อนเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะมีค่าความชันของกราฟเท่ากับ -182.66 °ซ ต่อเมตร แทนลงในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \dot{q} &= -k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} \\ \dot{q} &= -0.23 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \times -182.66 \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} \\ \dot{q} &= 42.0118 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนผ่านผนังถึงน้ำมันจะได้จากสมการที่ (2.12)

$$Q = \dot{q} A \Delta t \quad (2.12)$$

โดยจากสภาวะจำลองที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้คำนวณ แทนค่าพื้นที่ทั้งหมดของผนังน้ำมันและระยะเวลาทั้งหมดที่ถึงน้ำมันได้รับความร้อนลงไปในสมการจะได้

$$\begin{aligned} Q &= \dot{q} A \Delta t \\ Q &= 42.0118 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0.574 \text{m}^2 \times 28800 \text{s} \\ Q &= 694,505.5 \text{J} \end{aligned}$$

สำหรับระยะเวลาต่างๆ จะได้ค่าความชันของกราฟและฟลักซ์ความร้อนตามตาราง ก-3 ดังนี้

ตารางที่ ก-3 ผลการคำนวณฟลักซ์ความร้อนและปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านฉนวนที่สร้างจาก HDPE ความหนา 5 มิลลิเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	ความชัน (°ซ ต่อเมตร)	ฟลักซ์ความร้อน (วัตต์ต่อเมตร ²)	ปริมาณความร้อน (จูล)
0	0	0	0
1	-182.66	42.0118	694505.5
2	-164.35	37.8005	624887.6
3	-151.48	34.8404	575953.6
4	-132.86	30.5578	505157.1
5	-133.88	30.7924	509035.3
6	-127.38	29.2974	484321.2
7	-121.73	27.9979	462838.9
8	-116.88	26.8824	444398.3

3. ทำการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณความร้อนที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ทำการคำนวณออกมาจะได้ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนให้ผ่านผนังฉนวนความหนา 5 มิลลิเมตร

$$Q_{HDPE,5mm} = \frac{\left(\frac{694.50 + 624.89 + 575.95}{3} \right) + \left(\frac{505.16 + 509.04 + 484.32 + 462.84 + 444.40}{5} \right)}{2}$$

$$Q_{HDPE,5mm} = 556.47 \text{ kJ}$$

สำหรับการคำนวณหาความร้อนที่ถ่ายเทผ่านฉนวนที่สร้างจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ความหนาต่างๆ และฉนวนที่สร้างจากสแตนเลสสตีลที่ความหนาต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้วิธีเดียวกัน โดยผลจะแสดงดังนี้

$$Q_{HDPE,3mm} = 561.34 \text{ kJ}$$

$$Q_{HDPE,2.5mm} = 561.06 \text{ kJ}$$

$$Q_{SS,5mm} = 963.82 \text{ kJ}$$

$$Q_{SS,3mm} = 978.13 \text{ kJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{SS,1mm} = 1114.57 \text{ kJ}$$

ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมัน

การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันที่เราต้องการคือ มวลโมเลกุลของแก๊สโซลีน ซึ่ง จะทำการหาค่าผ่านแฟกเตอร์การกำหนดลักษณะยูไอพี ดังแสดงในสมการ (2.22)

$$K = \frac{\sqrt{1.8 \times T_B(K)}}{S.G.@15^\circ C} \quad (2.22)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าแฟกเตอร์การกำหนดลักษณะยูไอพี (K)

1. คำนวณค่า T_B (Molal Average Boiling Point) โดยเริ่มจากหาค่า Volumetric Average Boiling Point จากสมการ (2.23)

$$\text{Vol. Average Boiling Point} = \frac{\text{Temperature}@10\% + 30\% + 50\% + 70\% + 90\%}{5} \quad (2.23)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าต้องการอุณหภูมิการกลั่นแบบเอเอสทีเอ็ม ในการคำนวณ ซึ่งตารางที่ 3.1 จะแสดงข้อมูลการกลั่นแบบเอเอสทีเอ็ม บางส่วนของน้ำมันแก๊สโซลีนที่ได้รับมาจากโรงกลั่น นำอุณหภูมิการกลั่นแบบเอเอสทีเอ็มที่ร้อยละ 10, 50 และ 90 แทนค่าลงไป ในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} \text{Vol. Average Boiling Point} &= \frac{\text{Temperature}@10\% + 50\% + 90\%}{3} \\ &= \frac{52 + 76 + 136}{3} \\ &= 88^\circ C \end{aligned}$$

หาค่าความชันของกราฟเอเอสทีเอ็มจากสมการ (2.24)

$$\text{ความชันของ ASTM Curve} = \frac{\text{Temperature}@90\% - 10\%}{80} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าอุณหภูมิการกลั่นลงไปจะได้

$$\begin{aligned}\text{Slope ของ ASTM Curve} &= \frac{136 - 52}{80} \\ &= 1.05\end{aligned}$$

หาค่าปรับแก้จากรูปที่ 2.3 จะได้ค่าปรับแก้ $\Delta t = -6.25^\circ\text{C}$ ดังนั้น ค่า T_B จากสมการ (2.25) จะได้

$$\begin{aligned}\text{Molal Average Boiling Point } (T_B) &= \text{Vol. Average Boiling Point} + \text{Correction } \Delta t \\ &= 88 - 6.25 \\ &= 81.75^\circ\text{C} \text{ (354.9K)}\end{aligned}$$

2. ค่า S.G.@15°C สามารถหาได้จากค่า Density@15°C จากตารางข้อมูลการกลั่นแบบเอเอสทีเอมซึ่งเท่ากับ 0.7386

3. คำนวณค่า K จากสมการ (2.22) โดยการแทนค่า T_B และ S.G. ลงไปจะได้

$$\begin{aligned}K &= \frac{\sqrt[3]{1.8 \times T_B \text{ (K)}}}{\text{S.G. @ } 15^\circ\text{C}} \\ K &= \frac{\sqrt[3]{1.8 \times 354.9 \text{ (K)}}}{0.7386} \\ K &= 11.66\end{aligned}$$

4. จากค่า K จะสามารถหาค่ามวลโมเลกุลได้จาก รูปที่ 2.3 หรือรูปที่ 2.4 จะได้มวลโมเลกุลของแก๊ส โซลีนเท่ากับ 90 g/mol

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันผสม

จากขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดให้แก๊สโซฮอล์เป็นการผสมทางกายภาพระหว่างแก๊สโซลีน : เอทานอล ที่อัตราส่วน 90 : 10 โดยปริมาตร การคำนวณหาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันผสมจะใช้กฎการผสมดังสมการที่ (2.26)

$$M_{\text{mix}} = \sum M_i x_i \quad (2.26)$$

การหาค่ามวลโมลของแก๊สโซฮอล์

1. จำนวนสัดส่วน โมลของแก๊สโซลีนและเอทานอล จะเริ่มจากการหาจำนวน โมลของทั้งแก๊สโซลีนและเอทานอลก่อน โดยตั้งพื้นฐานการคำนวณแก๊สโซฮอล์ที่ 100 มิลลิลิตร จะประกอบไปด้วยแก๊สโซฮอล์ 90 มิลลิลิตร และเอทานอล 10 มิลลิลิตร

$$n_{\text{EtOH}} = \frac{\rho_{\text{EtOH}} V_{\text{EtOH}}}{MW_{\text{EtOH}}} = \frac{0.7890 \times 10}{46} = 0.1715 \text{ mol}$$

และ

$$n_{\text{Gasoline}} = \frac{\rho_{\text{Gasoline}} V_{\text{Gasoline}}}{MW_{\text{Gasoline}}} = \frac{0.7386 \times 90}{90} = 0.7386 \text{ mol}$$

2. จำนวนสัดส่วน โมลของแก๊สโซลีนและเอทานอลได้จากสมการที่ (2.27)

$$x_i = \frac{n_i}{n_{\text{total}}} \quad (2.27)$$

$$\text{จะได้ } x_{\text{EtOH}} = \frac{n_{\text{EtOH}}}{n_{\text{EtOH}} + n_{\text{Gasoline}}} = \frac{0.1715}{0.1715 + 0.7386} = 0.1884$$

$$\text{และ } x_{\text{gasoline}} = 1 - x_{\text{EtOH}} = 1 - 0.1884 = 0.8116$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่ามวลโมเลกุลของของผสมจากสมการที่ (2.28)

$$MW_{\text{mix}} = \sum x_i MW_i \quad (2.28)$$

จะได้ $MW_{\text{Gasohol}} = x_{\text{EtOH}} MW_{\text{EtOH}} + x_{\text{Gasoline}} MW_{\text{Gasoline}}$

$$MW_{\text{Gasohol}} = (0.1884 \times 46) + (0.8116 \times 90) = 81.7104 \text{g/mol}$$

การคำนวณความหนาแน่นของแก๊สโซฮอล์

1. ค่าสัดส่วน โมล ได้จากการคำนวณมวลโมเลกุลของของผสมข้างต้น ซึ่งจะได้สัดส่วนโมลของเอทานอลเท่ากับ 0.1884 และสัดส่วนโมลของแก๊สโซลีนเท่ากับ 0.8116

2. คำนวณความหนาแน่นของของผสมจากสมการที่ (2.29) จะได้

$$\rho_{\text{mix}} = \sum x_i \rho_i \quad (2.29)$$

จะได้ $\rho_{\text{Gasohol}} = x_{\text{EtOH}} \rho_{\text{EtOH}} + x_{\text{Gasoline}} \rho_{\text{Gasoline}}$

$$\rho_{\text{Gasohol}} = (0.1884 \times 0.789) + (0.8116 \times 0.7386) = 0.7481 \text{g/ml}$$

ภาคผนวก ง.

การคำนวณความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล

จากข้อมูลความดันไอที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของสารชนิดต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง สามารถคำนวณค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลได้โดยการประยุกต์ใช้สมการ แคลเซียส-แคลปีรอน เพื่อใช้ทำการเปรียบเทียบปริมาณที่เกิดการระเหยเมื่อได้รับปริมาณ ความร้อนที่เท่ากัน

ตัวอย่างการคำนวณความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล

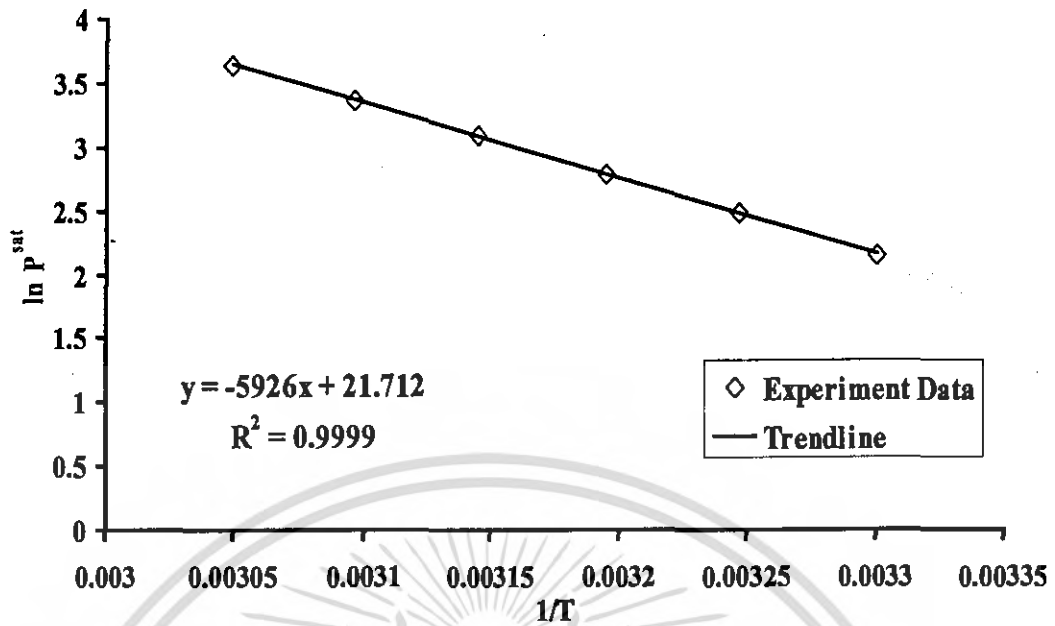
สำหรับเอทานอล ผลของการทดลองวัดค่าความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ จะสามารถแสดง ได้ดังตาราง ง-1

ตารางที่ ง-1 ความดันไอที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของเอทานอล

T (°C)	P ^{sat} (kPa)	T (K)	1/T (1/K)	ln P ^{sat}
30	8.563398	303	0.003300	2.147497
35	11.86531	308	0.003247	2.473619
40	16.19659	313	0.003195	2.784801
45	21.80295	318	0.003145	3.082045
50	28.97023	323	0.003096	3.366269
55	38.02745	328	0.003049	3.638308

จากข้อมูลการทดลองที่แสดงสามารถคำนวณค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอดังนี้

- นำข้อมูลการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P^{\text{sat}}$ กับ $1/T$ ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ ง-1



รูปที่ ง-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P^{\text{sat}}$ กับ $1/T$ ของเอทานอลที่ได้จากการทดลอง

2. นำความชันของกราฟซึ่งเท่ากับ -5926 K มาหาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลได้จากสมการที่ (2.17)

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{vap}} H_m &= -R \times \text{slope} & (2.17) \\
 &= -8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times -5296 \text{K} \times \frac{1 \text{kJ}}{1,000 \text{J}} \\
 &= 49.27 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}
 \end{aligned}$$

ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซลีนและแก๊สโซฮอลล์สามารถทำได้โดยใช้วิธีเดียวกัน โดยสำหรับแก๊สโซลีนจะมีค่าเท่ากับ 42.96 กิโลจูลต่อโมล และแก๊สโซฮอลล์มีค่าเท่ากับ 39.32 กิโลจูลต่อโมล

ภาคผนวก จ.

ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลจากข้อมูลอ้างอิงต่างๆ

ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลที่คำนวณได้จากการทดลอง สามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงต่างๆ และจะสามารถคำนวณร้อยละของความแตกต่างได้

สำหรับเอทานอลที่มีค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลที่คำนวณได้จากผลการทดลองเท่ากับ 49.27 กิโลจูลต่อโมล จะมีข้อมูลที่แสดงความแตกต่างจากค่าในเอกสารอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1 ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของเอทานอลที่ได้จากการทดลองกับเอกสารอ้างอิงต่างๆ

เอกสารอ้างอิง	ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของเอทานอล (กิโลจูลต่อโมล)	ความแตกต่างจากผลการทดลอง (ร้อยละ)
Properties of Fuel [14]	42.37	16.28
U.S. Department of Energy [15]	38.63	27.54
Automotive Gasoline [16]	42.00	17.31
Enthalpy of vaporization [17]	38.60	27.64

แก๊ส โซลีนมีค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลที่คำนวณได้จากผลการทดลองเท่ากับ 42.96 กิโลจูลต่อโมล สามารถแสดงข้อมูลความแตกต่างจากค่าในเอกสารอ้างอิงได้ดังตารางที่ จ-2

ตารางที่ จ-2 ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊ส โซลีนที่ได้จากการทดลองกับเอกสารอ้างอิงต่างๆ

เอกสารอ้างอิง	ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซลีน (กิโลจูลต่อโมล)	ความแตกต่างจากผลการทดลอง (ร้อยละ)
Properties of Fuel [14]	31.40	36.81
U.S. Department of Energy [15]	29.31	46.57
Automotive Gasoline [16]	26.73	60.72
Fallon and Watson [18]	30.36	41.50
Kretschmer [19]	30.93	38.89

แก๊สโซฮอล์มีค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลที่คำนวณได้จากผลการทดลองเท่ากับ 39.32 กิโลจูลต่อโมล สามารถแสดงข้อมูลความแตกต่างจากค่าในเอกสารอ้างอิงได้ดังตารางที่ จ-3

ตารางที่ จ-3 ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการทดลองกับเอกสารอ้างอิงต่างๆ

เอกสารอ้างอิง	ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซฮอล์ (กิโลจูลต่อโมล)	ความแตกต่างจากผลการทดลอง (ร้อยละ)
Fallon and Watson [18]	29.08	35.21

ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจาก ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณมีการตั้งสมมติฐานให้แก๊สในระบบเป็นแก๊สอุดมคติ และค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิงจะเป็นค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมล ณ จุดเดือดของสารนั้นๆ แต่ค่าที่คำนวณได้จากการทดลองจะมีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย

จากการคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านถังบรรจุน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อ โมลของแก๊ส โซฮอล์ และสมบัติพื้นฐานของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ สามารถนำมาคำนวณหาร้อยละของแก๊ส โซฮอล์ที่ระเหยได้

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย

จากการคำนวณค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อโมลของแก๊สโซฮอล์เท่ากับ 39.32 กิโลจูลต่อโมล ค่ามวล โมเลกุลของน้ำมันแก๊สโซฮอล์เท่ากับ 81.7104 กรัมต่อโมล และค่าความหนาแน่นของน้ำมันแก๊สโซฮอล์เท่ากับ 0.7481 กรัมต่อมิลลิเมตร

สำหรับถังน้ำมันที่สร้างจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร จะมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเท่ากับ 556.47 กิโลจูล จะสามารถคำนวณร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหยได้ดังนี้

1. จำนวนจำนวนโมลที่น้ำมันแก๊สโซฮอล์เกิดการระเหย

$$\begin{aligned}n_{\text{vap,HDPE,5mm}} &= \frac{Q_{\text{HDPE,5mm}}}{\Delta_{\text{vap}} H_{\text{m,Gasohol}}} \\n_{\text{vap,HDPE,5mm}} &= \frac{556.47\text{kJ}}{39.32 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \\n_{\text{vap,HDPE,5mm}} &= 14.15\text{mol}\end{aligned}$$

2. เปลี่ยนจำนวนโมลของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่เกิดการระเหยให้อยู่ในหน่วยของปริมาตร

$$\begin{aligned}V_{\text{vap,HDPE,5mm}} &= \frac{n_{\text{vap,HDPE,5mm}} MW_{\text{Gasohol}}}{\rho_{\text{Gasohol}}} \\V_{\text{vap,HDPE,5mm}} &= \frac{14.15\text{mol} \times 81.7104 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.7481 \frac{\text{g}}{\text{ml}}}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง $V_{\text{vap,HDPE,5mm}} = 1,545.77\text{ml}$ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย โดยเปรียบเทียบกับปริมาตรของแก๊สโซฮอล์ทั้งหมดภายในถังบรรจุที่ถูกกำหนดขึ้นในสภาวะจำลอง (32 ลิตร)

$$\%Volalile_{HDPE,5mm} = \frac{V_{vap,HDPE,5mm}}{V_{total}} \times 100\%$$

$$\%Volalile_{HDPE,5mm} = \frac{1,545.77ml}{32,000ml} \times 100\%$$

$$\%Volalile_{HDPE,5mm} = 4.83\%$$

สำหรับการคำนวณหาร้อยละของแก๊สโซฮอล์ที่ระเหย ของถังที่สร้างจากพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงที่ความหนาต่างๆ และถังน้ำมันที่สร้างจากสแตนเลสสตีลที่ความหนาต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้วิธีเดียวกันโดยผลจะแสดงดังนี้

$$\%Volalile_{HDPE,3mm} = 4.87\%$$

$$\%Volalile_{HDPE,2.5mm} = 4.87\%$$

$$\%Volalile_{SS,5mm} = 8.37\%$$

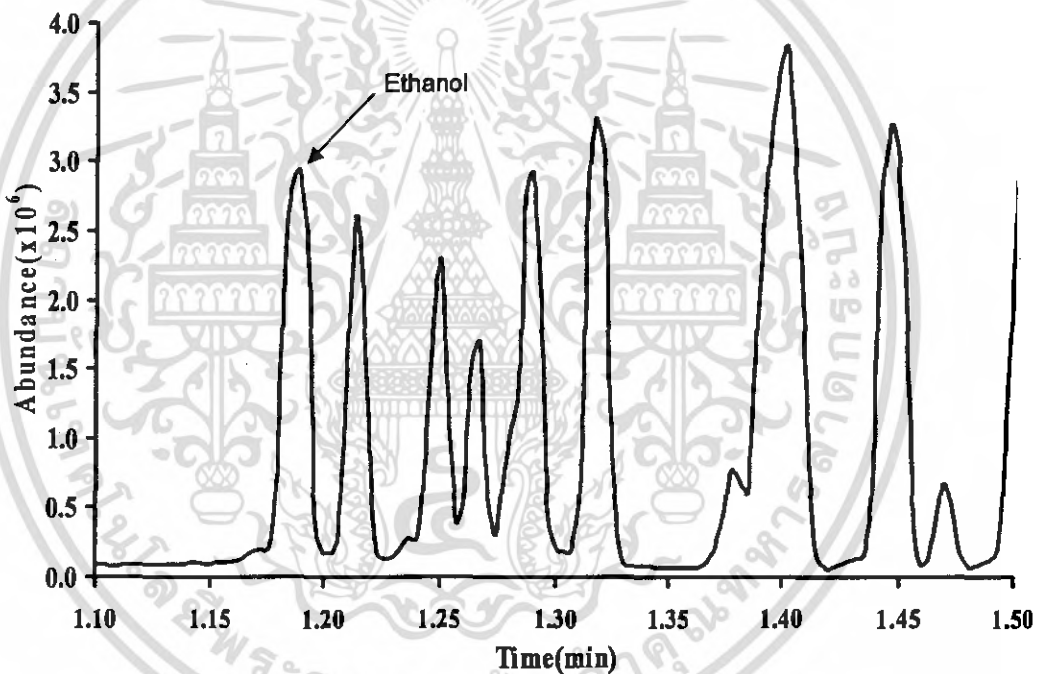
$$\%Volalile_{SS,3mm} = 8.49\%$$

$$\%Volalile_{SS,1mm} = 9.68\%$$

การคำนวณร้อยละของเอทานอลที่ระเหย

การคำนวณปริมาณที่เกิดการระเหยของเอทานอลจากแก๊สโซฮอล์ ที่อุณหภูมิช่วง 30 - 60 °ซ ในการทดลอง โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างที่สถานะของเหลวจะต้องทำการสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่าง สามารถทำได้ดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์สารมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-12 โดยปริมาตร ด้วยเครื่อง GC/MS จะได้โครมาโทแกรมความสัมพันธ์ของค่า Abundance กับเวลา ดังแสดงได้ในรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร

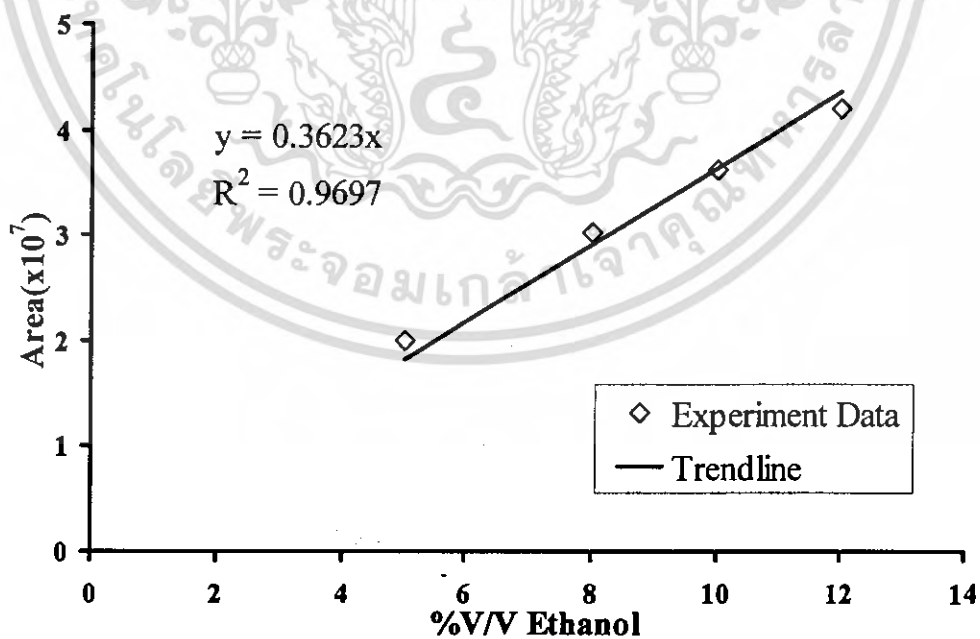
2. หาพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของโครมาโทแกรมความสัมพันธ์ระหว่าง Abundance กับเวลาของสารมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-12 โดยปริมาตร ซึ่งได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมของ GC/MS โดยในแต่ละตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ครั้งและนำพื้นที่ใต้กราฟที่มีความใกล้เคียงกัน 2 ค่ามาหาพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ย ซึ่งผลจะแสดงได้ดังตารางที่ ข-1

3. โครมาโทแกรมที่ได้เมื่อหาพื้นที่ของใต้กราฟทำให้สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานเอทานอล ดังแสดงใน

รูปที่ ข-2 จากความสัมพันธ์ที่ได้สามารถใช้ประมาณค่าหาปริมาณของเอทานอลในตัวอย่างน้ำมัน

ตารางที่ ข-1 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-12 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร)	พื้นที่ใต้กราฟ	พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ย
5	19,058,726	20,006,514
	20,954,302	
	23,477,089	
8	29,337,283	30,290,046
	31,242,809	
	34,503,668	
10	36,427,812	36,175,644
	36,970,023	
	35,923,476	
12	43,268,596	41,851,053.5
	42,058,766	
	41,643,341	



รูปที่ ข-2 กราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้กราฟมาตรฐานของเอทานอลจะสามารถนำพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแก๊ส โซซอล มาเทียบเพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอลของแต่ละอุณหภูมิ ซึ่งผลการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟและความเข้มข้นจะแสดงได้ดังตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยและความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างแก๊ส โซซอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ใต้กราฟ	พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ย	ความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร)
28.3	34,492,327	36,133,870	9.97
	36,696,837		
	35,570,903		
35.1	42,116,642	35,997,823.5	9.94
	33,978,265		
	38,017,382		
40.4	38,248,610	35,982,366	9.93
	36,953,489		
	35,011,243		
45.9	35,240,278	35,831,471	9.89
	36,422,664		
	39,342,012		
50.0	33,693,315	35,654,244	9.84
	52,366,091		
	37,615,173		
53.6	36,793,158	35,541,630	9.81
	35,884,792		
	35,198,468		
60.0	35,052,537	35,384,542.5	9.77
	36,545,350		
	35,716,548		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณร้อยละของเอทานอลที่ระเหยออกจากแก๊สโซฮอล์

คำนวณ โดยนำร้อยละของความเข้มข้น โดยปริมาตรที่อุณหภูมิต่างๆ ลบด้วย 100 จะได้ ร้อยละของเอทานอล โดยปริมาตรที่เกิดการระเหยออกจากแก๊ส โซฮอล์ดังแสดงในตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 ร้อยละของเอทานอลที่ระเหยจากแก๊ส โซฮอล์ ณ อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°ซ)	ร้อยละของเอทานอลที่ระเหยจากแก๊สโซฮอล์ (ร้อยละโดยปริมาตร)
28.3	0.03
35.1	0.06
40.4	0.07
45.9	0.11
50.0	0.16
53.6	0.19
60.0	0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คำสั่งในการคำนวณบนโปรแกรม Visual Basic for Application

```
Dim N9, M9, IJ
```

```
Dim Q9(5), X9(5), D9(5), O9(5), A9(5, 6), C9(5, 6), E9(100), R9(5), P9(5)
```

```
Dim G9(100), B9(100, 5), Z9(100), T9(10), Y9(5), S9(5), X(100)
```

```
Dim RT(100), V1(100), V2(100), T(100), P_cal(100), P_exp(100), AA(100), BB(100), CC(100)
```

```
Dim term1(100), term2(100), term3(100), term4(100), term5(100), Sum_R(100), Err(100), Sum_A(100)
```

Sub cal()

```
Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
```

```
'Initial adjustable parameter
```

```
P9(1) = dataArea.Cells(2, 6).Value
```

```
P9(2) = dataArea.Cells(3, 6).Value
```

```
P9(3) = dataArea.Cells(4, 6).Value
```

```
'Check data numbers!
```

```
For i = 1 To 100
```

```
    If dataArea.Cells(16 + i, 2).Value = "" Then
```

```
        N9 = i - 1
```

```
        Exit For
```

```
    End If
```

```
Next i
```

```
'Input experimental data
```

```
For i = 1 To N9
```

```
    T(i) = dataArea.Cells(16 + i, 3)
```

```
    P_exp(i) = dataArea.Cells(16 + i, 4)
```

```
Next i
```

```
M9 = 3
```

```
Marquardt
```

```
End
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sub Marquardt()

'M9 = number of parameter, m

'N9 = number of data, n

'P9(J) = the jth parameter

'R9(J) = code of jth parameter (= 0; fix := 1; changable)

'U9 = code of printing (=0; print := 1; not print)

Z9(1) = 2: Z9(2) = 0.2: V9 = 0.00001: T9(1) = 0: T9(2) = 0: Z9(4) = 0.0000001

Z9(3) = 0.00000005: F9 = 1.5: Y9(2) = M9 + 1

R9(1) = 1: R9(2) = 1

R9(3) = 1

Func

S9(1) = 0: T9(2) = T9(2) + 1: T9(4) = 0

For K9 = 1 To N9

S9(1) = S9(1) + E9(K9) ^ 2

Next K9

For I9 = 1 To M9

T9(4) = T9(4) + Abs(R9(I9))

Next I9

If T9(4) = 0 Then

GoTo A2

End If

M1 = 1

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

dataArea.Cells(M1 + 1, 17) = S9(1)

dataArea.Cells(M1 + 1, 18) = T9(1)

dataArea.Cells(M1 + 1, 19) = T9(2)

dataArea.Cells(M1 + 1, 20) = P9(1)

dataArea.Cells(M1 + 1, 21) = P9(2)

A3:

-----Calculation of Jacobian Matrix-----

T9(1) = T9(1) + 1

Z9(1) = 2

S9(2) = S9(1)

For J9 = 1 To M9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Q9(J9) = P9(J9)
Next J9
For K9 = 1 To N9
  G9(K9) = E9(K9)
Next K9
For J9 = 1 To M9
  If R9(J9) <> 0 Then
    Y9(1) = (Abs(P9(J9)) + Z9(4)) * Z9(4)
    P9(J9) = P9(J9) + Y9(1)
  Func
  For K9 = 1 To N9
    B9(K9, J9) = (E9(K9) - G9(K9)) / Y9(1)
  Next K9
  P9(J9) = Q9(J9)
End If
Next J9
-----Changing scale of matrix-----
For I9 = 1 To M9
  X9(I9) = 0: O9(I9) = 1
  If R9(I9) <> 0 Then
    For K9 = 1 To N9
      X9(I9) = X9(I9) + B9(K9, I9) * G9(K9)
    Next K9
    For J9 = I9 To M9
      A9(I9, J9) = 0
      If R9(J9) <> 0 Then
        For K9 = 1 To N9
          A9(I9, J9) = A9(I9, J9) + B9(K9, I9) * B9(K9, J9)
        Next K9
      End If
      A9(J9, I9) = A9(I9, J9)
    Next J9
    O9(I9) = Sqr(A9(I9, I9))
    X9(I9) = X9(I9) / O9(I9)
  End If
  GoTo A1
End If
A9(I9, I9) = 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 A9(I9, I9) = 1

```

For J9 = I9 + 1 To M9
    A9(I9, J9) = 0
    A9(J9, I9) = 0
Next J9
A1:
Next I9
For I9 = 1 To M9
    For J9 = I9 To M9
        A9(I9, J9) = A9(I9, J9) / (O9(I9) * O9(J9))
        A9(J9, I9) = A9(I9, J9)
    Next J9
Next I9
Z9(5) = 0
-----
A4:
For I9 = 1 To M9
    For J9 = 1 To M9
        C9(I9, J9) = A9(I9, J9)
    Next J9
    C9(I9, Y9(2)) = -X9(I9)
    C9(I9, I9) = C9(I9, I9) + V9
Next I9
-----Gauss Jordan-----
For I9 = 1 To M9
    H9 = I9 + 1
    For J9 = H9 To Y9(2)
        C9(I9, J9) = C9(I9, J9) / C9(I9, I9)
    Next J9
    For J9 = 1 To M9
        If I9 <> J9 Then
            For K9 = H9 To Y9(2)
                C9(J9, K9) = C9(J9, K9) - C9(I9, K9) * C9(J9, I9)
            Next K9
        End If
    Next J9
Next I9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For I9 = 1 To M9
    D9(I9) = C9(I9, Y9(2)) / O9(I9)
    P9(I9) = Q9(I9) + D9(I9)
Next I9
Func
T9(2) = T9(2) + 1
S9(1) = 0
Z9(5) = Z9(5) + 1
For J9 = 1 To N9
    S9(1) = S9(1) + E9(J9) ^ 2
Next J9
Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
    dataArea.Cells(M1 + 2, 17) = S9(1)
    dataArea.Cells(M1 + 2, 18) = T9(1)
    dataArea.Cells(M1 + 2, 19) = T9(2)
    dataArea.Cells(M1 + 1, 20) = P9(1)
    dataArea.Cells(M1 + 1, 21) = P9(2)
If S9(1) < S9(2) Then
    -----Judgement of convergence-----
    T9(3) = 0
    For J9 = 1 To M9
        If Abs(D9(J9)) / (Abs(P9(J9)) + Z9(4)) > Z9(3) Then
            T9(3) = T9(3) + 1
        End If
    Next J9
    If T9(3) = 0 Then
        If N9 - T9(4) > 0 Then
            S9(3) = Sqr(S9(1) / (N9 - T9(4)))
        End If
        GoTo A5
    End If
    GoTo A6
End If

```

A2:

End If

GoTo A5

End If

GoTo A6

End If

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'-----Increase the value of lampda-----

Z9(1) = Z9(1) * F9

V9 = V9 * Z9(1)

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

dataArea.Cells(M1 + 1, 21) = V9

If V9 > 1000 Then

For I9 = 1 To M9

P9(I9) = Q9(I9)

Next I9

S9(1) = S9(2)

GoTo A2

End If

M1 = M1 + 1

GoTo A4

A6:

'-----Decrease the value of lampda-----

M1 = M1 + 1

If Z9(5) = 1 Then

V9 = V9 * Z9(2)

GoTo A3

End If

GoTo A3

A5:

End Sub

Sub Func()

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

IJ = 1

Do While IJ <= N9

A7:

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")

'Calculation vapor pressuse from constant ; P_cal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_cal(IJ) = \text{Exp}(P9(1) - (P9(2) / (T(IJ) + P9(3))))$

```

'Print out resulting values

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
    dataArea.Cells(16 + IJ, 8).Value = P_cal(IJ)
    dataArea.Cells(5, 6).Value = P9(1)
    dataArea.Cells(6, 6).Value = P9(2)
    dataArea.Cells(7, 6).Value = P9(3)
IJ = IJ + 1

Loop

Sum_A(0) = 0
Sum_R(0) = 0

For i = 1 To N9
    E9(i) = P_cal(i) - P_exp(i)
    Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
    dataArea.Cells(16 + i, 9) = E9(i)
    Sum_A(i) = Sum_A(i - 1) + Abs(E9(i))
    Err(i) = Abs(E9(i) / P_exp(i))
    Sum_R(i) = Sum_R(i - 1) + Err(i)
Next i

Set dataArea = Worksheets("CurveFit").Range("A1")
Add = Sum_R(N9) * (100 / N9)
dataArea.Cells(9, 6).Value = Add

Ard = Sum_A(N9) / N9
dataArea.Cells(8, 6).Value = Ard

End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้