

การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอล
โดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์

นายสามารถ บุญอาจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2550

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ETHANOL
DISTILLATOR BY USING HEAT ENERGY
FROM ENGINE**

Samart Bun-art

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2007

การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุุณศึกษิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. น.อ.ดร.วราภรณ์ จำพิศ)

ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ.ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์)

กรรมการ

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริญผล)

กรรมการ

(ผศ. ดร.วีรชัย อัจฉาญ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วราภรณ์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สามารถ บุญอาจ : การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อน
จากเครื่องยนต์ (DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ETHANOL DISTILLATOR
BY USING HEAT ENERGY FROM ENGINE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์
เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 101 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลโดยการใช้
พลังงานความร้อนที่ได้จากไอเสียของเครื่องยนต์ซึ่งโดยปกติจะสามารถให้ความร้อนได้สูงจนถึง
จุดเดือดของเอทานอล อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สูญเสียไปจากการทำงานของเครื่องยนต์ โดยปัจจัยที่
ต้องการศึกษาคืออัตราการกลั่นเอทานอลและความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ รวมถึงการ
พัฒนาสมการเพื่อทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลโดยใช้พื้นฐานทฤษฎีการถ่ายเทมวล ในขั้นตอน
การพัฒนาสมการได้สร้างเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าความนำการถ่ายเทมวล (Mass Transfer
Conductance) และดำเนินการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลและนำมาพัฒนาเป็นสมการที่ใช้ในการทำนาย
อัตราการกลั่นเอทานอล หลังจากนั้นได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ
ขึ้นเพื่อพิสูจน์ผลการจำลองสมการ โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล และในขั้นตอนสุดท้ายของการวิจัยได้มีการศึกษา
ถึงพลังงานที่ใช้ในเครื่องกลั่นเอทานอล

ผลการวิจัยพบว่า สมการเพื่อทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนาย
อัตราการกลั่นเอทานอลได้ดี โดยมีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 8-11.7% เมื่อใช้ในช่วงความเข้มข้น
ของเอทานอลที่ถูกต้อง เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบสามารถกลั่นเอทานอลได้ความเข้มข้นสูงสุด
เท่ากับ 95% โดยปริมาตร โดยใช้การกลั่นซ้ำรวม 5 ครั้ง อัตราการกลั่นของเครื่องต้นแบบมีค่าอยู่
ระหว่าง 3.06-33.4 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง พลังงานที่ใช้ในการกลั่นมีค่าอยู่ระหว่าง
0.121-0.3 กิโลวัตต์ ส่วนพลังงานที่ให้กับเครื่องกลั่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.739-0.894 กิโลวัตต์ ซึ่งเมื่อ
เทียบเป็นประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องแล้วจะอยู่ในช่วง 16.37-33.56% และค่าการใช้
พลังงานจำเพาะตลอดทั้งกระบวนการกลั่นเท่ากับ 50,279 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นเกิดการ
สูญเสียพลังงานค่อนข้างมากเนื่องจากข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในการออกแบบ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

SAMART BUNART : DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ETHANOL
DISTILLATOR BY USING HEAT ENERGY FROM ENGINE. THESIS
ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT. LT. KONTORN CHAMNIPRASART,
Ph.D., 101 PP.

ETHANOL DISTILLATOR / MASS TRANSFER CONDUCTANCE /
RENEWABLE ENERGY

The objectives of this thesis were to design and develop an ethanol distillator by using exhaust gas as a heat source. The exhaust gas temperature is generally high enough to reach the boiling point of ethanol and is waste energy from an engine. The interested factors in this study are a possible distillation rate and its corresponding final concentration. Predictive models of distillation rates were also developed using principle of mass transfer. A testing device of mass transfer conductance was fabricated and tested to collect the data which were used for formulating predictive models of distillation rates. Thereafter, a prototype of ethanol distillator was designed and developed to prove those distillation rate models by comparing the experiment results with predictive model results. Finally, the energy requirements for the ethanol distillation were determined.

The results showed that the predictive models were capable of efficiently predicting the distillation rates having percent error in the range of 8 to 11.7% when an appropriate range of concentration was applied. The prototype of distillator can produce the ethanol to the final concentration of 95% by volume with a repeating of 5 times. The distillation rates of ethanol were found between 3.06 and 33.4 kg/(m².hr).

The energy requirements for ethanol distillation ranged from 0.121 to 0.3 kW while the energy supplied to the distillator ranged from 0.739 to 0.894 kW. In other words, the energy efficiencies of the ethanol distillator were around 16.37 and 33.56%. However, the whole process showed a high value of specific energy consumption of 50,279 kJ/kg. The high energy loss resulted from the limitation of safety design.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2007

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ที่ได้ให้ความกรุณาดูแล แนะนำและให้ คำปรึกษา ในการดำเนินงานมาตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ ตลอดจนให้ความกรุณาช่วยตรวจทาน และ แก้ไขให้วิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วราภรณ์ จำพิศ ประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาชี้แนะ และแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้องและสมบูรณ์มาก ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาดูแล ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาผู้เขียนตลอดมาตั้งแต่การหาที่ฝึกงานให้ในระดับ ปริญญาตรี การหาหัวข้อและให้โอกาสผู้เขียน ได้ทำวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท ตลอดจนการ ชี้แนะแนวทางทำวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช อาจหาญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือผู้เขียนมาโดยตลอดตั้งแต่การให้โอกาสผู้เขียนได้เข้ามาศึกษาต่อในระดับ ปริญญาเอก การหาทุนให้ผู้เขียนได้มีโอกาสทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้แนะนำและแก้ไข วิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอบคุณเพื่อนร่วมงานในสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจในการ ดำเนินงานเสมอมา เพื่อน ๆ พี่น้องสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน พี่พรเทพ ราชนาวิ ที่ให้ กำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ขอบคุณคุณบุญหลง ศรีบัว ที่เป็นกำลังสำคัญในการ ดำเนินงานวิจัยในทุก ๆ ด้านตลอดมา

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้ความกรุณาดูแลลูกอย่างดีที่สุด และได้ ให้โอกาสในการศึกษาต่อจนกระทั่งลูกได้มาถึงวันนี้ คุณพ่อและคุณแม่จะเป็นแบบอย่างที่ดีของลูก ตลอดไป ขอกราบขอบพระคุณและระลึกถึงบุญคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอนและ ให้การศึกษาผู้เขียนตลอดมา และขอขอบคุณครอบครัวของผู้เขียน คุณอรอุมา ด.ญ.ปรมาพร และ ด.ช.บวรวิศิษฐ์ บุญอาจ สำหรับความเชื่อมั่นและกำลังใจที่มีให้กันทุกวัน ทุกเวลา ตลอดมา

สามารถ บุญอาจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เอทานอลและการใช้ประโยชน์.....	5
2.2 สถานการณ์ทั่วไปของเอทานอลในโลก.....	6
2.3 สถานการณ์ทั่วไปของเอทานอลในประเทศไทย	7
2.4 การใช้เอทานอลในประเทศไทย	7
2.5 วัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นเอทานอลในประเทศไทย.....	9
2.6 ศักยภาพการผลิตเอทานอลของประเทศไทย	10
2.7 นโยบายและการอุดหนุนของรัฐ	11
2.8 กระบวนการผลิตเอทานอล.....	11
2.9 การเตรียมน้ำตาลเพื่อการหมักเอทานอล.....	12
2.10 ขบวนการหมักเอทานอล	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11	ปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของยีสต์ในขบวนการหมัก	12
2.12	การกลั่นเอทานอล.....	14
2.13	การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์.....	15
2.14	ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding	19
2.14.1	Reynolds Flow Model.....	19
2.14.2	The Modified Reynolds Flow Model	21
2.14.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง g กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน.....	24
3	วิธีดำเนินการวิจัย	26
3.1	วิธีวิจัย	26
3.2	การพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล	26
3.2.1	สมการทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล	27
3.2.2	การหาค่า Driving Force.....	27
3.2.3	การประเมินค่า Mass Transfer Conductance.....	29
3.2.4	การทำการทดลองเพื่อประเมินค่า Mass Transfer Conductance	32
3.3	การออกแบบ สร้าง และพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	32
3.4	การทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	32
3.5	การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับการทำนายอัตราการกลั่น	33
3.6	การศึกษาในเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่น	33
3.6.1	สมดุลพลังงานที่สารถาย	34
3.6.2	สมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่น	35
3.7	เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.8	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.9	วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	38
3.10	การสร้างเครื่องมือและเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	38
3.10.1	เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance.....	38
3.10.2	เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ.....	39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.11 การเก็บรวบรวมข้อมูล	39
3.11.1 การเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล.....	39
3.11.2 การเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับผลการทำนายอัตราการกลั่น	41
3.11.3 การเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาในเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่น	41
3.12 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
3.12.1 การพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล	42
3.12.2 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับผลการทำนายอัตราการกลั่น.....	43
3.12.3 การศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น	43
4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	44
4.1 ผลการสร้างเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance	44
4.2 ผลการหาค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้	48
4.3 ผลการพัฒนาสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance	49
4.4 สมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 10% ถึง 55% โดยปริมาตร.....	55
4.5 สมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 70% ถึง 90% โดยปริมาตร.....	58
4.6 ผลการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ.....	60
4.7 ผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลจากการทำนายอัตราการกลั่น.....	64
4.8 ผลการศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น	69
4.8.1 สมดุลพลังงานที่สารละลาย.....	69
4.8.2 สมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่น	75
4.9 ผลการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 บทสรุป.....	80
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	80
5.2 การประยุกต์ผลการวิจัย.....	81
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป.....	82
รายการอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลอง.....	87
ภาคผนวก ข. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากการกลั่น.....	48
4.2	ความผิดพลาดของผลที่ได้จากการคำนวณ.....	68
4.3	ข้อมูลส่วนประกอบไอเสียของเครื่องยนต์ต้นกำลัง.....	72
4.4	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ.....	78
ก1	ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance	88
ก2	ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 1	93
ก3	ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 2	96

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	Reynolds Flow Mode	20
2.2	The Modified Reynolds Flow Model	22
3.1	แสดงการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องกลั่นเอทานอล	33
3.2	เครื่องกลั่นเอทานอลแบบถาด	38
4.1	เครื่องมือทดสอบหาค่า Mass Transfer Conductance	46
4.2	ผิวควบแน่นและระบบหล่อเย็น	46
4.3	ถาดรองรับเอทานอล	47
4.4	ตำแหน่งติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิ	47
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh และ $GrSc$ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่าง ๆ	51
4.6	แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการกลั่นจากการทดลอง	52
4.7	แสดงค่า Driving Force จากการทดลอง	53
4.8	แสดงค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้จากการทดลอง	54
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ $GrSc$ ที่ความเข้มข้น 10% ถึง 55%	55
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง ($Sh/GrSc$) กับความเข้มข้น 10% ถึง 55%	56
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง ($Sh/$ ความเข้มข้น 10% ถึง 55%) กับค่า $GrSc$	57
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ $GrSc$ ที่ความเข้มข้น 70% ถึง 90%	58
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง ($Sh/GrSc$) กับความเข้มข้น 70% ถึง 90%	59
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง ($Sh/$ ความเข้มข้น 70% ถึง 90%) กับค่า $GrSc$	59
4.15	เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	62
4.16	ระบบหล่อเย็นของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	62
4.17	ถาดรับเอทานอลของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	63
4.18	โครงสร้างภายนอกและภายในของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ	63
4.19	ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น	64
4.20	ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 10%)	65
4.21	ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 40%)	65

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 80%)	66
4.23	ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 90%)	66
4.24	ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 93%)	67
4.25	พลังงานที่ใช้ในการระเหยของสารละลาย.....	70
4.26	พลังงานที่ใช้ในการพาความร้อนของสารละลาย	70
4.27	พลังงานที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของสารละลาย	71
4.28	พลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่น.....	73
4.29	ความร้อนที่สูญเสียทางด้านนอกของเครื่องกลั่น.....	74
4.30	พลังงานที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของผิวควบแน่น	76
4.31	พลังงานที่ถูกนำออกโดยน้ำหล่อเย็น.....	76
4.32	พลังงานที่สูญเสียทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่ของถาดรับเอทานอล, m^2
B	=	Driving Force
C_{pi}	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะแบบความดันคงที่ของสาร i, kJ/kgK
D_{ai}	=	Diffusivity ของสาร i ในอากาศ, m^2/s
Ethanol _{st}	=	ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลโดยปริมาตร
g	=	ความนำการถ่ายเทมวล (Mass Transfer Conductance), kg/m^2s
g^*	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, $9.81 m/s^2$
Gr	=	Grashof Number
H	=	เอนทาลปี, kJ/kg
h_c	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2K
h_{fgi}	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสาร i, kJ/kg
k_i	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสาร i, W/mK
L	=	ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างผิวระเหยกับผิวควบแน่นภายในเครื่องกลั่น, m
m_i	=	อัตราส่วนโดยมวลของสาร i
M_i	=	น้ำหนักโมเลกุลของสาร i
m_i''	=	อัตราการถ่ายเทมวลของสาร i, kg/m^2s
Nu	=	Nusselt Number
Pr	=	Prandtl Number
q_c	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการพาความร้อนของสารละลาย, kW
q_e	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยของสารละลาย, kW
q_r	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของสารละลาย, kW
q_{rc}	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของผิวควบแน่น, kW
q_s	=	พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านนอกของเครื่องกลั่น, kW
q_{sc}	=	พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น, กิโลวัตต์
kW	=	กิโลวัตต์
q_t	=	พลังงานความร้อนที่ให้กับระบบ, kW
q_w	=	พลังงานความร้อนที่ถูกนำออกโดยน้ำหล่อเย็น, kW

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Sc	=	Schmidt Number
SEC	=	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ, kJ/kg
Sh	=	Sherwood Number
$T_{p,i}$	=	อุณหภูมิของสารที่สภาวะ i, K
V_i	=	ปริมาตรโมเลกุลของสาร i
X_i	=	อัตราส่วนโดยโมลของสาร i
ϵ_i	=	Emissivity ของสาร i
μ	=	ความหนืดของสารผสม, kg/ms
ν	=	Kinematic Viscosity ของสารผสม, m ² /s
ρ	=	ความหนาแน่นของสารผสม, kg/m ³
σ	=	ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann, 5.67x10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเครื่องยนต์สันดาปภายในมีบทบาทและความสำคัญต่อการใช้ชีวิตของสังคมไทย และสังคมโลกเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการขับเคลื่อนกิจกรรมในภาคการผลิตต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น ภาคการคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม เป็นต้น ซึ่งเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายคือ เครื่องยนต์แก๊สโซลีน เนื่องจากข้อดีในด้านของการผลิตกำลังต่อหน่วยน้ำหนัก อัตราเร่ง การสิ้นเปลืองและเสียงจากการทำงานที่มีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล ทำให้มีการใช้งานกันมากในภาคขนส่ง เช่น ใช้ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ อีกทั้งใช้กันทั่วไปในภาคเกษตรกรรม เช่น ใช้เป็นต้นกำลังในเครื่องจักรกลเกษตรขนาดเล็กที่ต้องการความคล่องตัวในการทำงาน แต่เนื่องจากในการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจำเป็นต้องใช้น้ำมันแก๊สโซลีนซึ่งเป็นทรัพยากรที่ประเทศไทยไม่สามารถผลิตเองได้พอเพียงต่อการใช้งาน จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดและควบคุมราคาน้ำมันได้เอง ซึ่งราคาน้ำมันในตลาดโลกได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดปัญหาขึ้นภายในประเทศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อีกทั้งน้ำมันดิบซึ่งนำมาผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด การนำมาใช้งานในอัตราสิ้นเปลืองในปัจจุบันนี้จะเป็นการลดปริมาณน้ำมันดิบสำรองในอนาคตและจะทำให้หมดไปในที่สุด

จากความสำคัญของปัญหาสองประการข้างต้น คือปัญหาราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและน้ำมันที่จะเหลือน้อยและหมดไปจากโลก จึงจำเป็นต้องพิจารณาเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเร่งด่วน ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าววิธีหนึ่งคือ ต้องหาทางทดแทนน้ำมันแก๊สโซลีนด้วยเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติในการทำงานใกล้เคียงหรือเหมือนกับน้ำมันแก๊สโซลีน และที่สำคัญที่สุดคือ ต้องสามารถผลิตขึ้นเองได้โดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนและสามารถผลิตได้อย่างยั่งยืน ซึ่งงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ได้มีการวิจัยมาแล้วพบว่า เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหานี้คือ เอทานอล ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำงานใกล้เคียงกับน้ำมันแก๊สโซลีน และสามารถผลิตได้โดยใช้การหมักจากวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศ เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลผลิตหลักของประเทศเกษตรกรรมอย่างเช่นประเทศไทยอยู่แล้วแต่ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งในการผลิตเอทานอลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

แก๊สโซลีนคือขั้นตอนการกลั่น เนื่องจากการกลั่นในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลมักจะใช้การกลั่นแบบลำดับส่วน โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากไอน้ำซึ่งเป็นกระบวนการที่มีต้นทุนการผลิตสูง ส่งผลให้สามารถดำเนินการได้เฉพาะแต่ในภาคอุตสาหกรรมเท่านั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในภาคครัวเรือนหรือในระดับชุมชนได้

สำหรับขบวนการกลั่นเอทานอลเพื่อใช้งานในระดับชุมชนนั้น ได้มีความพยายามหาทางเลือกใหม่ในการใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่มีค่าใช้จ่ายถูกลง เช่น การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่ปัญหาสำคัญของการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์คือ อัตราการกลั่นต่ำจึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งานจริงได้

จากการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการใช้แหล่งพลังงานความร้อนแบบต่าง ๆ พบว่าการเลือกใช้พลังงานความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์นับเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าจะนำมาทดแทนแหล่งความร้อนจากไอน้ำหรือแสงอาทิตย์ได้ เนื่องจากไอเสียที่ได้จากเครื่องยนต์จัดเป็นแหล่งพลังงานที่สูญเปล่าในกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ ถ้าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในกระบวนการกลั่นเอทานอล อีกทั้งยังสามารถหาแหล่งพลังงานความร้อนนี้ได้จากเครื่องยนต์ทั่วไปที่ใช้กันในภาคขนส่ง หรือภาคเกษตรกรรมของประเทศไทย

โดยทั่วไปแล้วพลังงานความร้อนที่ออกมาจากเครื่องยนต์ จะได้รับการระบายออกสู่บรรยากาศเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกได้รับการระบายไปกับน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ และส่วนที่สอง ความร้อนจะออกสู่บรรยากาศทางไอเสียของเครื่องยนต์ แต่วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ อย่างหนึ่งก็คือ เพื่อใช้ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้พัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้ได้จริงในยานยนต์ต่อไปในอนาคต ดังนั้นหากจะเลือกใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่มาจากน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ ในการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลเพื่อใช้งานในรถยนต์จริงในอนาคตอาจยุ่งยาก เพราะต้องจัดระบบหล่อเย็นเครื่องยนต์ใหม่ อีกทั้งยังอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของรถยนต์ด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่มาจากไอเสียของเครื่องยนต์ เนื่องจากหากจะนำไปใช้กับเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้ในรถยนต์แล้ว น่าจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของยานยนต์น้อยกว่า

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อพยายามแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการกลั่นเอทานอล โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากไอน้ำหรือแสงอาทิตย์ โดยการนำแหล่งพลังงานความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่เหลือใช้จากขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์ จึงจัดเป็นแหล่งพลังงานความร้อนต้นทุนต่ำ อีกทั้งยังสามารถผลิตพลังงานความร้อนได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และสามารถทำงานได้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน ซึ่งการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์นั้น สามารถทำงานได้ดีที่สุดประมาณ 2-3 ชั่วโมงต่อวันเท่านั้น ส่งผลให้การใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์จึงน่าจะมี

อัตราการกลั่นที่สูงกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการกลั่นโดยใช้ไอน้ำในภาคอุตสาหกรรมปัจจุบัน

รายละเอียดของเนื้อหาในงานวิจัยนี้ จะนำเสนอในเรื่องสถานการณ์โดยทั่วไปและประวัติของการใช้เอทานอลมาเป็นเชื้อเพลิงทั้งในระดับโลกและในประเทศไทย ลำดับขั้นการวิจัย การพัฒนาในเรื่องกระบวนการกลั่นเอทานอลที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ รวมถึงการพัฒนาของกระบวนการกลั่นน้ำโดยใช้แสงอาทิตย์ซึ่งใช้ทฤษฎีเดียวกันกับทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding (Spalding, 1963) ซึ่งใช้เป็นวิธีวิจัยหลักในงานวิจัยนี้ ลำดับขั้นวิธีวิจัยตลอดจนถึงกระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัยที่ได้ศึกษามาโดยละเอียด และสรุปผลการวิจัย รวมไปถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ สำหรับการวิจัยในเรื่องเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้แหล่งพลังงานจากเครื่องยนต์ที่จะมีขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์ให้สามารถกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 10% โดยปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายประมาณ 95% โดยปริมาตร

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายอัตราการกลั่นสำหรับเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์

1.2.3 เพื่อพิสูจน์ผลการออกแบบทางทฤษฎี โดยการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

1.2.4 เพื่อนำพลังงานที่เหลือใช้จากเครื่องยนต์กลับมาใช้ใหม่

1.2.5 เพื่อใช้เป็นฐานความรู้ในการพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลในประเทศไทยต่อไป

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้มีข้อตกลงเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1.3.1 เครื่องกลั่นเอทานอลและเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนจะเป็นเครื่องแบบติดตั้งประจำที่และเป็นเครื่องขนาดเล็ก สามารถพัฒนาให้บรรทุกบนยานพาหนะได้

1.3.2 สารละลายเอทานอลที่ใช้ในการวิจัยจะเป็นสารละลายที่เจือจางจากเอทานอลความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร และน้ำบริสุทธิ์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

- 1.4.1 จะศึกษาในเรื่องการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลโดยใช้กระบวนการกลั่นเท่านั้น
- 1.4.2 ออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีความสามารถในการกลั่นเอทานอลเริ่มต้นประมาณ 10% โดยปริมาตร ให้ได้เอทานอลความเข้มข้นประมาณ 95% โดยปริมาตร
- 1.4.3 ตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษาในงานวิจัยนี้คือ อัตราการกลั่นเอทานอลที่ใช้พลังงานความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ

- 1.5.1 ได้พัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอล
- 1.5.2 ได้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราการกลั่นสำหรับเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์
- 1.5.3 ได้เครื่องกลั่นต้นแบบเพื่อใช้กลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ได้
- 1.5.4 สามารถนำพลังงานเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ได้
- 1.5.5 ได้รับความรู้เพื่อนำไปออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลรูปแบบต่าง ๆ ต่อไป

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอทานอลและการใช้ประโยชน์

เอทานอลเป็นสารประกอบมีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถติดไฟได้ เป็นสารเคมีอินทรีย์ที่หมักได้จากพืชในกลุ่มแป้งหรือน้ำตาล เอทานอลเป็นที่รู้จักกันในชื่อทั่วไปว่า เอทิลแอลกอฮอล์ มีผสมอยู่ในสุราหรือเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์ทุกชนิดที่ใช้บริโภค เอทานอลมีลักษณะและโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับสารเคมีอินทรีย์อีกชนิดหนึ่งคือ เมทานอล หรือเมทิลแอลกอฮอล์ แต่เมทานอลสกัดจากขบวนการกลั่นวัสดุปิโตรเคมีและเป็นวัสดุที่มีพิษเมื่อนำมาบริโภค ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมที่ผลิตภัณฑ์ไม่นำมาบริโภคหรือนำมาใช้โดยตรงกับมนุษย์หรือสัตว์ อย่างไรก็ตาม เอทานอลยังสามารถสังเคราะห์มาได้โดยขบวนการทางเคมีอีกด้วย

เอทานอลเป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_5OH เอทานอลบริสุทธิ์มีจุดเดือดที่ 78.5 องศาเซลเซียส เอทานอลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้โดยตรงโดยไม่ต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ และยังสามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มตัวเลขออกเทนในน้ำมันแก๊สโซลีนได้ ทำให้มีการใช้ผสมแก๊สโซลีนอย่างแพร่หลายแทนสารผสมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือสาร Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) ซึ่งมีการค้นพบว่าเป็นสารที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการรั่วไหลออกสู่แหล่งน้ำ สาธารณะและเคยมีกรณีปนเปื้อนในน้ำดื่มในสหรัฐอเมริกา และหากมีการห้ามใช้สาร MTBE ผสมในน้ำมันแก๊สโซลีนจะทำให้มีความต้องการใช้เอทานอลเพิ่มขึ้น

ในปัจจุบันมีการผลิตเอทานอลในทุกภูมิภาคของโลกประมาณ 50,000 ล้านลิตร โดยประมาณ 2 ใน 3 ของกำลังการผลิตเอทานอล ถูกผลิตที่ทวีปอเมริกาโดยสหรัฐอเมริกา และที่ประเทศบราซิล ส่วนที่เหลือ หนึ่งผลิตในแถบเอเชียแปซิฟิก และราวอีกหนึ่งผลิตในยุโรป และที่อื่น ๆ เอทานอลทั้งหมดผลิตจากพืชน้ำตาลประมาณร้อยละ 60 ส่วนที่เหลือร้อยละ 35 ผลิตจากเมล็ดพืชและพืชกลุ่มแป้ง มีปริมาณราวร้อยละ 5 ที่ผลิตโดยการสังเคราะห์จากขบวนการทางเคมี

การใช้งานเอทานอลจะประยุกต์ใช้กับกลุ่มอุตสาหกรรมหลัก 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเครื่องดื่ม กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ ยาและสี และกลุ่มวัสดุเชื้อเพลิงซึ่งมีปริมาณการใช้งานมากที่สุดถึงร้อยละ 80 ของปริมาณรวม การใช้งานเอทานอลในอุตสาหกรรมมีการขยายตัวสูงมากจากแนวโน้มของโลกที่มีการพึ่งพาขบวนการผลิตที่ใช้สารอินทรีย์มากยิ่งขึ้น

2.2 สถานการณ์ทั่วไปของเอทานอลในโลก

ปัจจุบันหลายประเทศได้กำหนดเป็นวาระที่ต้องจัดการในระยะยาวตามพันธกรณีสิ่งแวดล้อมโลก ตาม Kyoto Protocol 1997 เพื่อเพิ่มการใช้พลังงานทางเลือกอื่นนอกจากพลังงานจากปิโตรเลียม เช่น กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปได้ตั้งเป้าให้ประเทศสมาชิกใช้พลังงานทดแทนในอัตราส่วนร้อยละ 12 ของพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ. 2550 หรือเทียบได้กับ 127,000,000 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (Ton of Oil Equivalent, TOE) ซึ่งในส่วนนี้เป็นพลังงานจากเชื้อเพลิงทดแทนถึง 90,000,000 TOE ที่จะต้องพัฒนาขึ้นจากการใช้วัตถุดิบที่เป็นพืชหลายชนิด เช่น ข้าวบาเลย์ ข้าวสาลี ในการนี้มีการปรับมาตรการทางภาษีสรรพสามิตเพื่อสนับสนุนการผลิตและจำหน่ายเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทน

ในประเทศบราซิลได้ใช้โอกาสคราวเกิดวิกฤติน้ำมัน ปี พ.ศ. 2517 จัดตั้งโครงการ Pro-alcohol ขึ้นในปี พ.ศ. 2518 เพื่อศึกษาการใช้เอทานอลผสมเชื้อเพลิงปิโตรเลียม และในปี พ.ศ. 2522 ได้เกิดวิกฤติราคาน้ำมันของโลกเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้เกิดการตื่นตัวและมีการวิจัยอย่างกว้างขวางโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเอทานอลบริสุทธิ์มาใช้เป็นเชื้อเพลิง จนในปี พ.ศ. 2523 โดยความร่วมมือของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์และรัฐบาลบราซิลได้จัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลและผลิตรถยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง โดยการสนับสนุนอย่างจริงจังจากทุกภาคส่วน ในปี พ.ศ. 2530 บราซิลมีรถใหม่ใช้เอทานอล 96 หรือ E 96 (ส่วนผสมเอทานอล 96%) ถึง 4,000,000 คัน และในปี พ.ศ. 2538 มีรถใหม่ที่ใช้เอทานอล 22 หรือ E 22 (ส่วนผสมเอทานอล 22%) ถึง 5,000,000 คัน

สหรัฐอเมริกาเริ่มมีการใช้เอทานอลในกองทัพตั้งแต่ช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 และเริ่มมีการส่งเสริมอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2521 โดยการลดภาษีการค้า ส่งผลให้มีการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจุบัน สหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตเอทานอลรายใหญ่ลำดับต้น ๆ และมีกฎหมายที่เข้มแข็งเพื่อสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงอื่นทดแทนปิโตรเลียมให้ได้ ร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2553 สหรัฐอเมริกาจะสามารถผลิตเอทานอลได้ประมาณ 3,000,000,000 แกลลอนต่อปี (ประมาณ 10,000,000,000 ลิตร) มีโรงงานผลิต 60 โรงงาน และยังมีโรงงานผลิตเอทานอลอีก 47 แห่งที่กำลังก่อสร้าง มีการผลิตใน 10 มลรัฐและผลิตมากที่สุดที่รัฐไอโอวา

การใช้เอทานอลของสหรัฐอเมริกามีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศและเป็นการสามารถยกระดับราคาผลผลิตทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ภาครัฐได้ใช้มาตรการทางภาษีอากรสนับสนุนอย่างเต็มที่ มีการออกกฎหมายบังคับทั้งทางด้านมลภาวะ มาตรฐานน้ำมัน และประเภทของยานยนต์อีกทั้งยังมีการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาอย่างแพร่หลาย

ในประเทศฝรั่งเศสมีการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลจากข้าวบาเลย์ประมาณ 1,300,000 ลิตรต่อวัน แล้วนำไปผลิตเป็นสารเพิ่มตัวเลขออกเทนในอัตราวันละประมาณ 3,000,000 ลิตร

ประเทศสวีเดนได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงเอทานอลอย่างจริงจังและนำไปใช้ในยานยนต์

ทั้งในรูปแบบของน้ำมันผสม และ FFV (Flexible Fuel Vehicle) และรถของระบบขนส่งมวลชนที่ใช้เอทานอล 95 หรือ E 95 ได้ผลดีอีกด้วย

สำหรับประเทศอื่น ๆ ก็มีการพัฒนาด้านนี้เช่นกัน และมีการเริ่มเปิดโรงงานผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล เช่น ประเทศสเปน อิตาลี เนเธอร์แลนด์ เม็กซิโก และแคนาดา

2.3 สถานการณ์ทั่วไปของเอทานอลในประเทศไทย

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญของการพัฒนาและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานรวมประมาณ 1,548 พันบาร์เรลน้ำมันดิบเทียบเท่าต่อวัน ในจำนวนนี้เป็นกรนำเข้าน้ำมัน 673 พันบาร์เรลน้ำมันดิบเทียบเท่าต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 43 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศ ในปี พ.ศ. 2550 ความต้องการใช้พลังงานของประเทศคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,636 พันบาร์เรลน้ำมันดิบเทียบเท่าต่อวัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1 ซึ่งหากพิจารณาถึงความต้องการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ จะพบว่าในภาคคมนาคมขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม แต่ละภาคมีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 37 รองลงมาคือ ภาคที่อยู่อาศัย และพาณิชย์กรรมร้อยละ 20 และภาคเกษตรกรรมใช้ร้อยละ 6

ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงการปรับโครงสร้างสัดส่วนการใช้และการจัดหาพลังงานจากแหล่งต่าง ๆ ให้สมดุลมากขึ้น โดยมุ่งสู่การลดสัดส่วนการใช้พลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งมีความผันผวนด้านราคาในช่วงที่ผ่านมา เพื่อให้ผลกระทบจากราคาวัสดุปิโตรเลียมที่มีต่อระบบเศรษฐกิจอยู่ในระดับที่จัดการได้อย่างมั่นคงขึ้น แนวทางการปรับโครงสร้างเพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานโดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดแผนเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนให้ได้ในระบบเป็นร้อยละ 8 ของพลังงานรวมในปี พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานเทียบเท่ากับน้ำมันปิโตรเลียม 8,000,000 TOE โดยพลังงานทดแทนในเป้าหมายคือ เชื้อเพลิงผสมเอทานอล และไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2548 ได้เร่งรัดให้เร็วขึ้นอีกโดยกำหนดเป้าหมายให้ใช้พลังงานทดแทนทุกรูปแบบให้ได้ร้อยละ 15 ในปี พ.ศ. 2551 และเป็นร้อยละ 20 ในปี พ.ศ. 2554

2.4 การใช้เอทานอลในประเทศไทย

การริเริ่มใช้เอทานอลในประเทศไทยอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมมีมาเมื่อ 20 ปีที่แล้ว โดยมีการใช้เอทานอลผสมน้ำมันแก๊สโซลีนเพื่อการผลิตแก๊สโซฮอล์ขึ้น โดยดำเนินการจากแนวพระราชดำรินในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเมื่อปี พ.ศ. 2528 ในโครงการส่วนพระองค์ โดยในครั้งนั้นได้ศึกษาการผลิตแก๊สโซฮอล์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยผลิตเอทานอลจากอ้อย หลังจากนั้นจึงเกิดความตื่นตัวทั้งจากภาครัฐและภาคเอกชนเข้ามาร่วมพัฒนาและนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์อื่น ๆ เป็นต้นมา

เมื่อวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2543 คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบในหลักการโครงการผลิตเอทานอลจากพืชเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง และกระทรวงอุตสาหกรรมได้ตั้งคณะกรรมการเอทานอลแห่งชาติเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2543 ต่อมาในการประชุมคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2543 ได้มีมติเห็นชอบแนวทางการส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตและการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง โดยรัฐจะสนับสนุนให้ภาคเอกชนลงทุนจัดตั้งโรงงานผลิตเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง และให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์กำหนดแผนการผลิตอ้อยและมันสำปะหลังเพื่อรองรับและสอดคล้องกับการลงทุนผลิตเอทานอลไปพร้อมกัน ในระหว่างปี พ.ศ. 2543 การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยเริ่มดำเนินการทดสอบการใช้แก๊สโซฮอล์และดีโซฮอล์ในรถยนต์ โดยการผสมเอทานอล 10% หรือ E 10 พบว่าช่วยลดมลพิษ ประหยัดน้ำมัน และไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และได้มีการผลิตเอทานอลจากหัวมันสดจากโรงงานต้นแบบโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งได้ส่งเอทานอลให้โรงกลั่นของบริษัทบางจากผลิตเป็นแก๊สโซฮอล์และได้ทดลองจำหน่ายให้ประชาชนทั่วไปเมื่อปี พ.ศ. 2544 ในสถานีบริการน้ำมันของบางจาก 5 แห่งในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีราคาจำหน่ายต่ำกว่าน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 95 อยู่เล็กน้อย ซึ่งได้ผลตอบรับจากผู้บริโภคในระดับที่น่าพอใจ ในปีเดียวกันนี้ สมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยได้สำรวจข้อมูลรถยนต์ต่าง ๆ ที่สามารถใช้แก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงตามข้อกำหนดคุณภาพของน้ำมันเบนซินออกเทน 95 ตามประกาศเดิม (ก่อน 21 ตุลาคม พ.ศ. 2545) พบว่า รถยนต์ที่ใช้ระบบการผสมน้ำมันแบบคาร์บูเรเตอร์ไม่สามารถใช้แก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซินออกเทน 95 ได้ แต่รถยนต์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 (1995) ที่ใช้ระบบการจ่ายน้ำมันแบบหัวฉีด (Electronic Fuel Injection, EFI) สามารถใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้

สำหรับน้ำมันดีโซฮอล์ซึ่งหมายถึง น้ำมันดีเซลผสมเอทานอล โดยในการผสมน้ำมันดีโซฮอล์จะใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร (Hydrated Ethanol) หรือสูงกว่า 99% โดยปริมาตร (Anhydrous Ethanol) ผสมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และต้องมีการผสมสารเติมแต่งประเภท Emulsifier เพื่อช่วยให้เอทานอลละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว การผสมเอทานอลในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วทำให้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเปลี่ยนไปบ้าง ที่สำคัญได้แก่ค่าตัวเลขซีเทนลดลงและจุดวาบไฟของน้ำมันดีโซฮอล์มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ดังนั้น จึงต้องชดเชยค่าตัวเลขซีเทนโดยการเติมสารเติมแต่งประเภทเพิ่มค่าตัวเลขซีเทน (Cetane Number Improver) ลงไปเพื่อเพิ่มค่าตัวเลขซีเทนและต้องเติมสารเติมแต่งป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor) เพื่อป้องกันหัวฉีดเชื้อเพลิงกัดกร่อน สถาบันวิจัยและพัฒนา การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยได้ทดสอบการใช้น้ำมันดีโซฮอล์กับรถโดยสาร ขสมก. พบว่า สามารถลดควันดำลงได้ประมาณร้อยละ 30-40 แต่ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นประมาณร้อยละ 7-9

ในปี พ.ศ. 2546 กระทรวงพลังงานจึงมีการกำหนดแผนยุทธศาสตร์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของประเทศ และส่วนสำคัญคือให้มีการพัฒนาใช้พลังงานทดแทนให้มีสัดส่วนเพิ่มเป็นร้อยละ 8 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ในรูปแบบต่าง ๆ คือ ผลิตพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน เชื้อเพลิงชีวภาพจากพืชพลังงาน ซึ่งกำหนดเป็น 2 แนวทางหลัก คือ เอทานอล และไบโอดีเซล

ในปี พ.ศ. 2548 มีการปรับเร่งรัดนโยบายการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย กระทรวงพลังงานโดยการอนุมัติของคณะรัฐมนตรีได้กำหนดแผนให้ใช้พลังงานทดแทนในทุกภาคเพิ่มเป็นร้อยละ 15 ของการใช้พลังงานรวมในปี พ.ศ. 2551 และให้เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 20 ในปี พ.ศ. 2554 โดยในภาคคมนาคมขนส่งมีเป้าหมายให้ใช้ แก๊ส NGV แทนน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และในปี พ.ศ. 2551 ต้องทดแทนน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซลหมุนเร็วให้ได้ร้อยละ 10 โดยการใช้เอทานอลผสมน้ำมันแก๊สโซลีน 10% (แก๊สโซฮอล์ E 10) และใช้ไบโอดีเซล รวมถึงการกำหนดแผนเร่งรัดให้มีสถานีบริการที่ขายแก๊สโซฮอล์จาก 730 แห่ง เป็น 4,000 แห่งทั่วประเทศ

2.5 วัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นเอทานอลในประเทศไทย

ประเทศไทยมีวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นเอทานอลอยู่หลายชนิด โดยวัตถุดิบที่สามารถใช้ในการผลิตเอทานอลในประเทศไทยได้อย่างพอเพียงจะเป็นพืชในกลุ่มแป้งและน้ำตาล เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันสำปะหลังและอ้อย โดยถ้าไม่นับข้าวที่สามารถนำมาใช้บริโภคได้โดยตรงและข้าวโพดที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ซึ่งจะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าการนำมาผลิตเป็นเอทานอลแล้ว จะพบว่าตามสภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ทั้งมันสำปะหลังและอ้อยมีความเหมาะสมเหนือพืชอื่นในแง่ที่มีวัตถุดิบปริมาณมากพอสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีความพร้อมในด้านความรู้ ความเข้าใจรายละเอียดและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย

ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมมันสำปะหลังมานานมากกว่า 40 ปี ในอดีตประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นผู้ส่งออกแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดในโลก และได้มีการพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยการขยายออกสู่อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยาโรค และล่าสุดได้มีการพัฒนามันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ย่อยสลายได้

ปัจจุบันมีปริมาณการผลิตหัวมันสำปะหลังสดรวม 20 ล้านตันต่อปี ปริมาณมันสำปะหลังประมาณร้อยละ 50 ใช้ในการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อส่งขายเป็นอาหารสัตว์ในประเทศแถบยุโรป ซึ่งปริมาณวัตถุดิบในส่วนนี้สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลได้เกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ยังสามารถมีทางเพิ่มปริมาณการผลิตมันสำปะหลังได้อีกโดยการเพิ่มผลผลิต

ต่อไร่ซึ่งปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ต่ำกว่า 3,000 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ผลผลิตในไร่ที่มีการจัดการด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นถึงระดับ 5,000 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ในด้านการเพิ่มผลผลิตต่อไร่แล้ว ยังสามารถปรับปรุงพันธุ์และการจัดการด้านการเก็บเกี่ยวให้มีปริมาณแป้งมากขึ้นได้อีก

อย่างไรก็ตาม ยังมีความเป็นไปได้ที่จะใช้วัตถุดิบที่มีศักยภาพอื่น ๆ เช่น ข้าวฟ่างหวานมาผลิตเอทานอล โดยปัจจุบันมีการศึกษาและพบว่า ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่ทนอากาศแห้งแล้งได้ดีปลูกได้ในทุกสภาพอากาศ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ดีและมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้น้ำอ้อย เนื่องจากเป็นพืชอายุสั้นเพียง 100-120 วัน จึงมีโอกาสปลูกหมุนเวียนได้ปีละ 2-3 รอบ ทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าอ้อยมากกว่าเท่าตัว ในขณะที่มีปริมาณน้ำตาลต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกัน แต่ข้าวฟ่างหวานมีส่วนที่เป็นแป้งปนอยู่ ทำให้มีความไม่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตน้ำตาลโดยตรง ศักยภาพของข้าวฟ่างหวานเมื่อเทียบกับพืชอื่น ๆ นั้น โดดเด่นในแง่ของการเพิ่มกำลังการผลิตต่อไร่ได้โดยทันทีโดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดในปัจจุบัน หากเทียบกับการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ในพืชอื่น ๆ เช่น อ้อยหรือมันสำปะหลัง การที่เป็นพืชอายุสั้นจึงมีระบบการจัดการในแปลงปลูกที่ง่ายและสามารถปรับให้สอดคล้องกับการผลิตระดับโรงงาน เช่น ช่วงเวลาการปลูก การเก็บเกี่ยว และการจัดส่งโรงงาน โดยในสหรัฐอเมริกามีแผนเพิ่มการใช้ข้าวฟ่างหวานในการผลิตเอทานอลและลดการใช้ข้าวโพดลง โดยเหตุผลคือข้าวฟ่างหวานมีความทนทานและให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าข้าวโพด

2.6 ศักยภาพการผลิตเอทานอลของประเทศไทย

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลมีการขยายตัวโดยมีโรงงานผลิตเอทานอลได้รับการส่งเสริมจากหน่วยงานของรัฐถึง 24 โรงงาน มีกำลังการผลิตรวม 4.88 ล้านลิตรต่อวัน ส่วนที่เริ่มผลิตแล้ว 9 โรงงานมีกำลังการผลิตรวม 1.12 ล้านลิตรต่อวัน การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยได้ประกาศแผนการทดแทนเบนซินออกเทน 95 ด้วยแก๊สโซฮอล์ (เอทานอลผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีน 10%, E 10) ให้เร็วขึ้นอีก 1 ปี ในขณะเดียวกัน บริษัทไทยออยล์ จำกัด ก็ประกาศจะลงทุนโครงการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังขนาดใหญ่ระดับกำลังการผลิต 1 ล้านลิตรต่อวัน โดยจะใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลไปใช้ผลิตไฟฟ้า

2.7 นโยบายและการอุดหนุนของรัฐ

การดำเนินนโยบายเกี่ยวกับการผลิตเอทานอลเป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์การพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน ซึ่งประกอบด้วย 4 กลยุทธ์หลักคือ

1) **กลยุทธ์ภาคบังคับ** โดยการกำหนดมาตรการให้การลงทุนอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากฟอสซิล เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน ต้องสร้างโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีกำลังการผลิตขนาดร้อยละ 5 ของกำลังการผลิตติดตั้ง

2) **กลยุทธ์การส่งเสริม** โดยการใช้มาตรการด้านการเงิน เช่น การหาแหล่งเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ การยกเว้นการส่งเงินเข้ากองทุน การรับซื้อผลิตภัณฑ์ในราคาพิเศษ หรือมาตรการให้สิทธิพิเศษด้านการลงทุน ด้านภาษี

3) **กลยุทธ์ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม** เพื่อให้มีการสร้างองค์ความรู้และวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ เพื่อลดต้นทุนการผลิตพลังงานทดแทน ซึ่งรวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ได้จากการผลิตพลังงานทดแทนและนวัตกรรมใหม่ด้านการขนส่ง

4) **กลยุทธ์การประสานและบูรณาการ** โดยการนำแนวทางบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนเข้ามาดำเนินงาน ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินงานในระดับนโยบายหรือระดับปฏิบัติ และทั้งในส่วนกลางและส่วนภูมิภาค รวมถึงประชาชนในท้องถิ่นมีส่วนร่วมในการพัฒนาโครงการพลังงานท้องถิ่นมากขึ้น และให้ทำหน้าที่ตัวกลางการดำเนินธุรกิจระหว่างเจ้าของเทคโนโลยี ผู้ลงทุน และผู้ใช้เทคโนโลยี

2.8 กระบวนการผลิตเอทานอล

การผลิตเอทานอลที่มาจากพืชเริ่มจากขั้นตอนการนำวัตถุดิบที่ได้มาทำการหมัก โดยถ้าเป็นวัตถุดิบประเภทแป้งและเซลลูโลส จะต้องนำมาย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อนโดยใช้กรด แบคทีเรีย หรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบที่เป็นน้ำตาลสามารถนำมาหมักกับเชื้อยีสต์ได้โดยตรง ใช้เวลาในการหมักประมาณ 2-3 วัน กรณีที่เป็นการหมักแบบดั้งเดิม ส่วนถ้าเป็นการหมักแบบต่อเนื่องจะใช้เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง จะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 8-12% โดยปริมาตร จากนั้นต้องนำไปกลั่นแยกแบบลำดับส่วน จะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร ในกรณีที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ในรูปของแก๊สโซฮอล์และดีโซฮอล์จะต้องแยกส่วนน้ำออกจากเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5% โดยปริมาตร โดยใช้วิธีการแยกแบบอื่นที่ไม่ใช่การกลั่นด้วยความร้อน เช่น การกลั่นกับสารตัวที่สาม การแยกโดยใช้วิธี Molecular Sieve หรือการแยกโดยใช้เยื่อแผ่น

2.9 การเตรียมน้ำตาลเพื่อการหมักเอทานอล

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเอทานอล ถ้าวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นพืชประเภทแป้งจะนำมาหมักโดยตรงไม่ได้ จะต้องมีการขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาลก่อน ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมเปลี่ยนแปลงหรือวัสดุเซลลูโลสอื่นเป็นน้ำตาลเพื่อให้มีสภาพเหมาะกับการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ในส่วนต่อไป โดยวัตถุดิบส่วนที่เป็นแป้งที่ได้จากธัญพืชจำเป็นต้องผ่านขบวนการย่อยสลายแป้งโดยใช้เอนไซม์ร่วมในขบวนการ ซึ่งเอนไซม์นี้อยู่ในกลุ่มอไมเลส (Amylase)

2.10 ขบวนการหมักเอทานอล

การหมักเอทานอลส่วนมากจะใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces Cerevisiae* ซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้สูงและสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีเอทานอลสูงได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น การทำงานของยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลจะเกิดขึ้นในระดับเซลล์และจะปลดปล่อยเอทานอลออกมาภายนอกเซลล์

ตามทฤษฎี การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลจะทำได้ประมาณ 51.1% สำหรับส่วนที่เหลืออีก 48.9% จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลทำได้ 51.1% นั้น จะมีน้ำตาลประมาณ 95% เท่านั้นที่เปลี่ยนเป็นเอทานอล ส่วนที่เหลือยีสต์จะใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างสารอื่น ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก กลีเซอริน กรดแลกติก กรดซัลซินิก อซิเตตไฮดริลฟูเรออล และเฟอฟูรอล

การทำงานของยีสต์ในการหมักเอทานอลเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ ยีสต์จะใช้กลูโคสส่วนใหญ่ในการผลิตเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานในรูปแบบ Adenosine Tri Phosphate (ATP) ขั้นตอนนี้เรียกว่า Ethanol Fermentation ส่วนในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่มาก ยีสต์จะใช้กลูโคสส่วนใหญ่เพื่อการเจริญเติบโต ผลิตเซลล์ และพลังงานในรูปแบบ ATP เรียกขั้นตอนนี้ว่า Respiration

2.11 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของยีสต์ในขบวนการหมัก

เพื่อให้มีประสิทธิภาพการหมักสูงสุดและได้ปริมาณเอทานอลสูง จำเป็นต้องมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของยีสต์ในการหมักเอทานอล โดยมีองค์ประกอบที่เป็นปัจจัยสำคัญ ดังต่อไปนี้

1) ปริมาณคาร์บอน ในการหมักเอทานอล ยีสต์จะใช้คาร์บอนจาก น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสซึ่งมาจากการนำตาล น้ำอ้อย และข้าวฟ่างหวาน ส่วนถ้าเป็นวัตถุดิบประเภทแป้ง เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด และธัญพืชต่าง ๆ ยีสต์จะใช้คาร์บอนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งด้วย

เอนไซม์ และถ้าเป็นวัตถุดิบที่มาจากเซลล์ulos เช่นกระดาษ ใยจากต้นพืชและขี้เลื่อย คาร์บอนจะมาจากคาร์บอนเซลล์ulosด้วยขบวนการทางจุลชีวเคมีหรือขบวนการทางเคมี

2) ปริมาณไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ และจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่กระตุ้นการหมักหรือการผลิตเอทานอล โดยในตัวของยีสต์เองจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 10% ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนใหญ่ยีสต์จะสามารถใช้ในไนโตรเจนในรูป แอมโมเนียมไอออนได้ในอุตสาหกรรมการผลิต เอทานอลนิยมใช้เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นแหล่งให้ธาตุไนโตรเจน และให้ซัลเฟอร์ไปพร้อมกัน ส่วนยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอลบางชนิดอาจใช้ในไนโตรเจนในรูป กรดอะมิโน

3) ปริมาณซัลเฟอร์ ซัลเฟอร์เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ ยีสต์มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ 0.4% โดยแหล่งซัลเฟอร์ที่ยีสต์ใช้ได้ก็คือ กรดแอมมอโนเมทาไทโอนีน และเกลือซัลเฟตในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟต

4) ความเข้มข้นของน้ำตาล ในสภาพการหมักที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจะช่วยลดการปนเปื้อนเชื้ออื่นได้ดี แต่น้ำตาลที่สูงจะยับยั้งการเจริญเติบโตและการหมักเอทานอล คุณสมบัตินี้เป็นลักษณะประจำสายพันธุ์ของยีสต์ เมื่อเทียบกับกับกรณีความเข้มข้นเอทานอลสูงจะมีผลยับยั้งการหมักรุนแรงกว่า แต่หากมีทั้งภาวะน้ำตาลเข้มข้นและเอทานอลสูงจะยิ่งเสริมกันให้มีลักษณะยับยั้งการหมักรุนแรงยิ่งขึ้น

5) ระดับอุณหภูมิ ในขบวนการหมัก ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces Cerevisiae* สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิปานกลางในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่จะทนได้คือ 5-10 องศาเซลเซียส ในสภาพที่อาหารอุดมสมบูรณ์ ยีสต์จะทนอุณหภูมิสูงได้ดี และจะหยุดเจริญเติบโตเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 และเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิในการหมักเชิงอุตสาหกรรมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประสิทธิภาพการหมักที่ดี และจำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิในถังหมักเอทานอล

6) ค่า pH ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces Cerevisiae* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพการหมักเอทานอลจากน้ำตาลที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 2.4-8.6 โดยมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.5 ซึ่งในสภาพเป็นกรดอ่อนนี้สามารถช่วยควบคุมการปนเปื้อนแบคทีเรียได้ดี การหมักเอทานอลจากซูโครสมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH มากกว่าการใช้กลูโคส

7) ความเข้มข้นของเอทานอล ในสภาพที่มีเอทานอลสูง การเจริญเติบโตและการหมักยีสต์จะถูกยับยั้งเพราะ เอทานอลมีผลต่อเอนไซม์และสรีรวิทยาของเซลล์ เมื่อเปอร์เซ็นต์เอทานอลมากกว่า 1% โดยน้ำหนัก จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลงและจะหยุดเมื่อมีเอทานอล 4.7-4.8%

โดยน้ำหนัก โดยต่อจากนั้นจะเป็นการหมักเอทานอลจนถึงความเข้มข้น 14% โดยน้ำหนัก การที่ยีสต์ไม่เจริญเติบโตทำให้อัตราการหมักลดลงด้วย

8) ปริมาณออกซิเจน ในขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อยีสต์ ออกซิเจนมีความสำคัญมาก เนื่องจากยีสต์มีการเจริญเติบโตสูงในสถานะที่มีออกซิเจนมาก แต่จะมีผลให้การหมักลดลง ออกซิเจนจะเสริมให้การออกซิเดชันสมบูรณ์และมีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ออกซิเจนยังเกี่ยวข้องกับการสลายไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีความสำคัญทำให้ออกซิเจนต่อเอทานอลได้มากขึ้น ดังนั้นในสถานะที่ขาดออกซิเจน ยีสต์จึงไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ จึงต้องมีการเติมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพื่อให้ออกซิเจนสามารถอยู่รอดได้ ยีสต์ใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นในกระบวนการหมักอย่างต่อเนื่องจึงควรมีการให้อากาศบ้างในระหว่างการหมัก เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ทดแทนเซลล์ที่ตายลง และยังพบว่า การให้อากาศปริมาณเล็กน้อยทำให้การใช้กลูโคสได้มากขึ้น และช่วยให้ออกซิเจนมีความทนทานต่อเอทานอลได้ดี

9) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ทั้งในภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ที่ความดันบรรยากาศปกติหากมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตและการหมักอย่างรุนแรง และคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลต่อเชื้อหุ้มเซลล์ ทำให้การขนถ่ายสารเข้าสู่เซลล์เปลี่ยนไป

2.12 การกลั่นเอทานอล

หลังจากกระบวนการหมักเอทานอลแล้ว จะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 8-12% โดยปริมาตร ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้สูงขึ้นจะต้องนำไปผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยการกลั่นจะเป็นการแยกเอทานอลออกจากน้ำ โดยใช้คุณสมบัติของจุดเดือดที่ต่างกันระหว่างน้ำกับเอทานอล แต่กระบวนการกลั่นโดยใช้ความร้อนนี้เมื่อกลั่นจนถึงความเข้มข้นเอทานอลประมาณ 95% โดยปริมาตรแล้ว จะไม่สามารถกลั่นต่อไปได้ เนื่องจากที่ความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร จะเกิด Azeotropic Point ดังนั้นการแยกน้ำออกจากเอทานอลจนได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงถึง 99.5% โดยปริมาตรนั้น ปัจจุบันสามารถทำได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ

1) การแยกน้ำโดยการกลั่นด้วยการเติมสารตัวที่ 3 วิธีนี้ใช้พลังงานมากและมีต้นทุนสูง โดยต้องใช้สารเติมเพื่อแยกเอทานอลออกจากน้ำ ซึ่งสารที่ใช้คือ เบนซีน (Benzene) ต่อมาพบว่า เป็นสารที่อันตรายมากจึงเปลี่ยนไปใช้สารจำพวกไซโคลเฮกเซน (Cyclo-hexane) แล้วจึงกลั่นแยกเอทานอลออกมาจากสารที่เติมเข้าไปอีกครั้งหนึ่ง

2) การใช้ **Molecular Sieve** วิธีการนี้จะเป็นการใช้ตะแกรงที่มีขนาดเล็กในระดับโมเลกุล มาสกัดหรือกรองเพื่อแยกเอทานอลออกจากน้ำ หรือเป็นการแยกในระดับอนุภาค

3) การแยกน้ำโดยใช้เยื่อแผ่น โดยในการใช้เยื่อแผ่นนี้ จะใช้วิธี Pervaporation ซึ่งเป็นวิธีที่มีความสะดวก ใช้พลังงานน้อย และได้สารที่บริสุทธิ์เช่นเดียวกับวิธีอื่น และมีส่วนช่วยทางด้านการประหยัดพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยการแยกน้ำโดยวิธี Pervaporation นี้ จะอาศัยหลักการที่สารประกอบที่มีสารหลายชนิดประกอบกันจะมีความสามารถในการละลายหรือการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้ไม่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่าใช้ผลต่างของศักย์ทางเคมีเป็นแรงขับในการแยกสารออกจากกัน ทำให้ในการใช้งานวิธี Pervaporation นี้ จะใช้ได้ดีในกรณีที่การแยกสารโดยวิธีการกลั่นทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังเป็นการลดความจำเป็นที่ต้องเติมสารอื่นหรือต้องกำจัดสารอื่น รวมถึงเป็นการลดการใช้พลังงานในขบวนการมากกว่าการกลั่นอีกด้วย

สำหรับในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาในขั้นตอนของการกลั่นโดยใช้ความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการกลั่นโดยใช้ความร้อนนี้ ปัจจุบันในระดับอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจะใช้การกลั่นแบบลำดับส่วนซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ระบบ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนสูง

สำหรับการกลั่นในระดับชุมชนหรือหมู่บ้าน สำหรับในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศในแถบเส้นศูนย์สูตร ทำให้มีพลังงานจากแสงอาทิตย์มากตลอดทั้งปี จึงได้มีผู้วิจัยเกี่ยวกับการกลั่นเอทานอลโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก

2.13 การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานคุณภาพต่ำและหาได้ไม่ยากในประเทศไทย การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนในกระบวนการกลั่นเอทานอลสามารถทำได้โดยการสร้างเครื่องหรือตัวรับรังสีเพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนให้กับเอทานอลที่จะทำการกลั่น ส่วนใหญ่แล้วเครื่องกลั่นที่ใช้ในระบบนี้จะเป็นแบบอ่าง (Basin Type) โดยผิวของอ่างจะมีลักษณะเป็นตัวดูดซับแสงอาทิตย์ ส่วนด้านบนของตัวอ่างจะถูกปิดด้วยวัสดุโปร่งแสง เช่น กระจก ให้มีลักษณะเป็นแนวเอียง สำหรับงานวิจัยและการศึกษาในเรื่องการกลั่นเอทานอลหรือสารต่าง ๆ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีดังต่อไปนี้

Htun and Aftab (1976) ได้ทำการวิจัยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกด้านเดียวจำนวนหลายตัว ใช้มุมเอียงของกระจกระหว่าง 0-13.77 องศา พบว่าเครื่องที่มีมุมเอียงเท่ากับเส้นละติจูดจะมีสมรรถนะในการทำงานสูงที่สุด

อนนท์ โพธิ์หอม (2520) ได้พัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกเอียงด้านเดียวทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ โดยได้พัฒนาออกมา 2 ชนิด คือ แบบอยู่กับที่ ใช้โครงสร้างเป็น

การก่อนอิฐและโบริกปูนทับ และแบบเคลือบที่ได้ใช้โครงสร้างเป็นอลูมิเนียม พื้นเครื่องกลั่นทำด้วยเหล็กและปูด้วยยางสีดำทนความร้อนเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับแสงอาทิตย์ และได้ทำนายอัตราการกลั่นโดยใช้ทฤษฎีของ Spalding พบว่า อัตราการกลั่นที่ทำนายมีค่าต่ำกว่าการทดลองประมาณ 50%

กมล อุปถนอม (2522) ได้พัฒนาเครื่องกลั่นน้ำแบบอยู่กับที่และมีกระจกเอียง 2 ด้านทำมุม 14 องศากับแนวระดับ โครงสร้างทำจากอิฐโบริกปูน ผิวรับแสงฉาบด้วยเหล็กออกไซด์สีดำ ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องกลั่นแบบกระจกเอียงด้านเดียว พบว่า เครื่องกลั่นแบบกระจกเอียงด้านเดียวผลิตน้ำกลั่นต่อพื้นที่รับแสงได้มากกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องกลั่นน้ำแบบกระจกเอียง 2 ด้านสามารถแก้ปัญหาคาบคร่าวของฐานเครื่องกลั่นได้ดีกว่า เพราะมีความยาวของตัวเครื่องกลั่นน้อยกว่าแบบกระจกเอียงด้านเดียว

สุวรรณ สุนทรรัตน์ (2523) ได้ออกแบบสร้างเครื่องกลั่นน้ำโดยใช้พลาสติกเป็นฝาครอบ และออกแบบให้สามารถปรับความเอียงเป็นมุมต่าง ๆ ได้ มีผิวรับแสงปูด้วยยางสีดำทนความร้อน ผลจากการเปรียบเทียบพบว่าเครื่องกลั่นที่มีฝาครอบเอียง 40 องศา ให้อัตราการกลั่นดีที่สุดคือ 2 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน

สมยศ ทัดเทียม (2525) ได้ทดลองสร้างเครื่องกลั่นน้ำแบบเดียวกับสุวรรณ สุนทรรัตน์ แต่เปลี่ยนผิวรับแสงเป็นถ่านไม้เพื่อการเปรียบเทียบ พบว่า อัตราการกลั่นที่ได้ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังปรับปรุงอีกหลายรายการ เช่น มีแผ่นสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มปริมาณแสง มีการปรับระดับน้ำในอ่างทุกวันเพื่อเปรียบเทียบกับระบบบริเจนเนอเรทีฟ (แบบมีอุปกรณ์ปั๊มน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำ) มีการใช้ผ้าฝ้ายสีดำเพื่อทำหน้าที่ดูดแสงแทนการใช้แผ่นสะท้อนแสงและเพื่อเพิ่มการระเหยของน้ำด้วย ผลการทดลอง พบว่าการใช้แผ่นผ้าสีดำเพื่อดูดแสงจะเหมาะสมที่สุด นอกจากนี้การปรับระดับน้ำทุกวันจะมีความสะดวกและประหยัดกว่าระบบบริเจนเนอเรทีฟ

Wibulsawas et al. (1982) ได้ทำการศึกษาเครื่องกลั่นน้ำแบบกระจกเอียงด้านเดียว ผิวดูดซับแสงอาทิตย์เป็นยางเรียบทนความร้อนสีดำมีพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร และเครื่องกลั่นน้ำในแนวตั้ง โดยใช้แผ่นอคริลิกพลาสติกเป็นฝาครอบทรงกระบอกผ่าซีก เส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ด้านบนทำมุม 40 องศากับแนวระดับ ภายในเป็นผิวดูดซับแสงอาทิตย์ลักษณะเป็นท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 198 มิลลิเมตร ยาว 1,000 มิลลิเมตร หุ้มด้วยยางทนความร้อนและผ้าลีสีดำ พื้นที่ 0.31 ตารางเมตร ให้อัตราการกลั่นเฉลี่ย 1.73 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ประสิทธิภาพ 24.5% ในขณะที่เครื่องกลั่นแบบกระจกเอียงด้านเดียวให้อัตราการกลั่น 2.7 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ประสิทธิภาพ 34.8% ที่ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดปี 16.7 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน

ทองใบ อรรถเศรษฐ (2524) ได้ทำการศึกษาเครื่องกลั่นน้ำโดยใช้แสงอาทิตย์แบบแผ่นราบแนวตั้ง โดยใช้ฝาครอบเป็นกระจกและอคริลิกพลาสติก 2 ชั้น วางในแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก โดยมีพื้นที่ระเหย 0.6 ตารางเมตร พบว่าเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ

16.9 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เครื่องกลั่นน้ำโดยใช้แสงอาทิตย์หันไปในแนวเหนือ-ใต้ จะมีสมรรถนะสูงที่สุดโดยให้อัตราการกลั่นเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 2.3 และ 1.9 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน โดยประสิทธิภาพสำหรับฝากรอบแบบกระจกมีค่าเท่ากับ 32% และฝากรอบที่ทำจากอคริลิกจะมีประสิทธิภาพ 28%

Ramli and Wibulsawas (1984) ได้ทำการทดลองสร้างเครื่องกลั่นน้ำแบบผิวดั้ง เพื่อหา ระยะห่างระหว่างฝากรอบใสกับผิวดูดซับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม โดยได้ทดลองสร้างเป็นแบบจำลองขึ้นมาก่อน ซึ่งแบบจำลองจะใช้ลวดไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ให้ความร้อนแทนแสงอาทิตย์ และวัดอัตราการกลั่น พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 40-60 มิลลิเมตร ซึ่งยังขึ้นกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวดูดซับ และได้สร้างเครื่องกลั่นน้ำต้นแบบ มีขนาดเครื่องกลั่นเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ใช้ระยะห่างเท่ากับ 55 มิลลิเมตร ฝากรอบทำจากกระจก พบว่าให้อัตราการกลั่นประมาณ 2 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อหันหน้าผิวดูดซับแสงอาทิตย์เข้าสู่แนวตะวันออก-ตะวันตก ที่ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 16 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และทำนายอัตราการระเหยและอัตราการกลั่นโดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายคลาดเคลื่อนจากอัตราการกลั่นจริงเพียงเล็กน้อย

ธีระทิศ ดวงมุสิก และ ศิริชัย เทพา (2532) ได้ทำนายอัตราการกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้ค่าอุณหภูมิผิวน้ำที่ฝากรอบใสและที่ผิวดูดซับแสงอาทิตย์ กับอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องกลั่นน้ำแบบผิวดั้ง และใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding ที่ปรับปรุงแล้วเทียบกับการกลั่นของเครื่องกลั่นที่มีผิวดูดซับแสงอาทิตย์เป็นผ้าหนาสี่ดำวางตัวในแนวตั้ง ฝากรอบใสทำจากอคริลิกพลาสติก ระยะห่างระหว่างฝากรอบกับผิวดูดซับแสงอาทิตย์เท่ากับ 10 เซนติเมตร เครื่องกลั่นวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตก พบว่าผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2524) ได้ทดลองกลั่นแอลกอฮอล์โดยใช้พลังงานความร้อนจากตัวรับรังสีแผ่นราบ พบว่าสามารถกลั่นแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 8-10% โดยปริมาตร ได้ความเข้มข้นถึง 40% มีอัตราการกลั่น 0.5 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน

ปกรณ์ นุชน้อย (2526) ได้ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทมวลและความร้อนในเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องกลั่นที่ได้สร้างขึ้นเป็นแบบอ่าง สามารถเคลื่อนที่ได้ มีกระจกฝ้าปิดด้านเดียว จำนวน 6 เครื่อง โครงสร้างทำจากเหล็กชุบสังกะสีและหุ้มด้วยโฟม ผิวดูดซับแสงอาทิตย์ปูด้วยถ่านหุงข้าว ผลที่ได้พบว่าอัตราการกลั่นที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าอัตราการกลั่นที่ได้จากการทดลองประมาณ 5-30% และเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้น อัตราการกลั่นจะเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าความเข้มข้นที่กลั่นได้ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวดูดซับ และมีค่าต่ำกว่าการคำนวณ 5-15%

วิชัย ศรีเพียรพล และ สุเมธ จิตวัฒนาศิลป์ (2533) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับผลต่างของอุณหภูมิผิวระเหยและอุณหภูมิผิวควบแน่นที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลต่างกันในเครื่องกลั่นเอทานอล โดยใช้ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งพลังงานของระบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ผิวระเหยให้คงที่ พบว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิดังกล่าวเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองและความเข้มข้นของผลผลิตเพิ่มขึ้น และสมการการคำนวณตัวแปรไร้มิติของไอของสารละลายมีผลต่างจากสมการของอากาศ

มานะ คงดีจันทร์ (2534) ได้ศึกษาการกลั่นเอทานอลในเครื่องกลั่นแนวนอนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ผลที่ได้พบว่ามีอัตราการกลั่นเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.14 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวันสำหรับเอทานอลที่ได้จากกากน้ำตาล และ 1.62 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวันสำหรับเอทานอลที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง โดยความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นเท่ากับ 8-10% โดยปริมาตร หลังจากกลั่นแล้วจะได้รับความเข้มข้นเท่ากับ 14.3% โดยปริมาตร

พิชัย นามประกาย (2539) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลในเครื่องกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเอทานอล โดยใช้ชุดทดลองที่มีผิวระเหยในแนวนอน และผิวควบแน่นเป็นกระจกเอียงด้านเดียว ทำมุม 5-6 องศากับแนวระดับ และปรับอุณหภูมิที่ผิวระเหยให้คงที่โดยอาศัยน้ำร้อนที่ได้รับพลังงานจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านด้านใต้ของชุดทดลอง และปรับอุณหภูมิที่ผิวควบแน่นให้คงที่โดยใช้น้ำเย็นไหลผ่าน ผลการศึกษาพบว่าความสูงของเครื่องกลั่นไม่มีผลต่อความเข้มข้นที่กลั่นได้ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอลกอฮอล์มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและมวล รวมทั้งมีผลต่อความเข้มข้นของผลผลิตที่ได้อีกด้วย

พรประสิทธิ์ กงบุญ และคณะ (2545) ได้ศึกษาสมรรถนะในการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำงานภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อน โดยมีจำนวนชั้นหอกกลั่นที่ศึกษาตั้งแต่ 1-3 ชั้น ภายในหอกกลั่นบรรจุตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ชนิดหลอดแก้วพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.6 ตารางเมตร และใช้ปั๊มสูบให้สารละลายไหลผ่านตัวเก็บรังสีด้วยอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที อัตราการกลั่นและความเข้มข้นที่กลั่นได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10% โดยปริมาตร ผลที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองและผลจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นไปในแนวเดียวกัน โดยผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายได้ว่าความเข้มข้นสูงสุดที่กลั่นได้จากระบบเท่ากับ 62% โดยปริมาตร ที่สารละลายเริ่มต้น 30 ลิตร และอัตราการกลั่นเท่ากับ 3.01 ลิตรต่อวัน

จากงานวิจัยในเรื่องการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านมาทั้งหมดจะพบว่า การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์นั้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในระบบมีค่าต่ำมาก

ส่งผลต่อการกลั่นในระดับชุมชนที่ไม่ต้องการกำลังการผลิตมากนัก แต่ปัญหาสำคัญของกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ก็คือ อัตราการกลั่นที่ได้มีค่าต่ำมาก ไม่ว่าจะใช้เทคนิคหรือวิธีการต่าง ๆ เข้ามาช่วยแล้วก็ตาม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากแหล่งพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์นั้น ไม่สามารถทำให้สารละลายเอทานอลมีอุณหภูมิถึงจุดระเหยของเอทานอลได้โดยสมบูรณ์เนื่องจากเอทานอลบริสุทธิ์มีจุดเดือดเท่ากับ 78.5 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงส่งผลให้อัตราการกลั่นมีค่าต่ำ

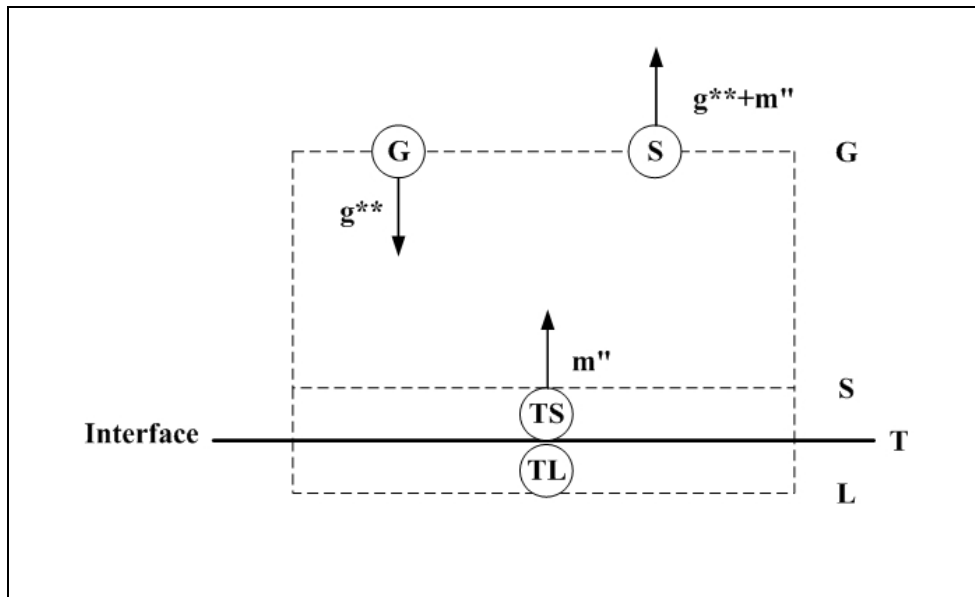
ในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายเอทานอลให้สูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของเอทานอลได้ โดยการใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่มาจากไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งโดยปกติแล้ว ในการทำงานของเครื่องยนต์นั้น ไอเสียที่ออกมาจะมีอุณหภูมิสูงมากอยู่แล้ว ทำให้อัตราการกลั่นที่ได้น่าจะมีค่าสูงกว่ากระบวนการกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์

2.14 ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding

Spalding (1963) ได้อธิบายทฤษฎีการถ่ายเทมวลทั่วไปโดยใช้ Reynolds Flow Model ไว้ว่า การถ่ายเทมวลในที่นี้หมายถึง การถ่ายเทมวลที่ผ่านผิวสัมผัสระหว่างเฟส เช่น ของเหลว-ไอ ในกระบวนการกลั่นหรือกระบวนการเผาไหม้ เป็นต้น โดย Spalding (1963) ได้พัฒนาทฤษฎีนี้ขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายอัตราการถ่ายเทมวลโดยการพาและการแพร่ระหว่าง 2 เฟสที่มีการถ่ายเทความร้อน โดยการพาด้วยในเวลาเดียวกัน สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในทฤษฎีนี้มีชื่อเรียกว่า Reynolds Flow Model ซึ่งมีลักษณะและความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

2.14.1 Reynolds Flow Model

Reynolds Flow Model เป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทมวลเพื่อใช้ประโยชน์ในการทำนายอัตราการถ่ายเทมวลของสารจากเฟสหนึ่งผ่านผิวร่วม (Interface) ไปยังอีกเฟสหนึ่ง โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Reynolds Flow Model

จากรูปที่ 2.1 เป็นภาพแสดงการถ่ายเทมวลของสารข้ามผิวร่วม ซึ่งผิวร่วมในที่นี้คือผิว T ส่วนผิว S คือผิวของเฟสที่พิจารณา อยู่ติดกับชั้นผิวร่วม ผิว L คือผิวของเฟสข้างเคียง อยู่ติดกับชั้นผิวร่วมเช่นเดียวกัน โดยบริเวณ TS และ TL นี้เป็นบริเวณเล็กมาก และโดยปกติแล้วจะถือว่าสภาวะ S ที่อยู่ติดกับผิวร่วม จะสมดุลกับสภาวะ L ที่อยู่ติดกับผิวร่วมเช่นเดียวกัน แต่อยู่ในเฟสข้างเคียง เว้นแต่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ผิวร่วม ส่วน G คือเฟสของสารส่วนใหญ่ที่พิจารณา โดยผิว G นี้เป็นผิวที่ขนานกับผิว S แต่อยู่ไกลออกไปจนสภาวะของสารมีลักษณะเป็นสภาวะ G อนึ่งระหว่างผิว S และผิว G นั้น สภาวะของสารจะแตกต่างจากที่สภาวะ G

การพิจารณาจะถือว่า g^{**} เป็น Reynolds Flux หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความนำการถ่ายเทมวล (Mass Transfer Conductance) โดยใช้สมมติฐานว่าค่า g^{**} จะคงที่ภายใน G-S Control Volume มีสภาวะ G เคลื่อนที่ผ่านผิว G เข้าสู่ G-S Control Volume และ m'' คือ Mass Transfer Flux หรืออัตราการถ่ายเทมวล โดยในงานวิจัยนี้คืออัตราการกลั่นซึ่งมีสภาวะ TS เคลื่อนที่จากสภาวะข้างเคียงผ่านผิว S เข้าสู่ G-S Control Volume ดังนั้น เมื่อมวลเข้าสู่ G-S Control Volume คือ g^{**} และ m'' จากกฎทรงมวลในสภาวะการไหลคงตัวจะได้อัตรามวลที่ออกไปจาก G-S Control Volume คือ $g^{**}+m''$ ซึ่งมีสภาวะ S และเคลื่อนที่ออกจาก G-S Control Volume ผ่านทางผิว G

เนื่องจากใน G-S Control Volume นี้มีสภาวะต่าง ๆ กัน (สภาวะ G, สภาวะ S และสภาวะ TS) ดังนั้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารจึงมีได้หลายสภาวะขึ้นอยู่กับว่าพิจารณาสารนั้นที่ผิวใด

และเมื่อพิจารณาจากกฎทรงตัวของคุณสมบัติของสารภายใน Control Volume ในสภาวะคงตัว (Steady State) จะได้ว่า

$$\text{คุณสมบัติของสารที่เข้าสู่ G-S C.V.} = \text{คุณสมบัติของสารที่ออกจาก G-S C.V.}$$

ทำให้สามารถสร้างเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$m'' \cdot P_{TS} + g^{**} \cdot P_G = (g^{**} + m'') \cdot P_S \quad (2.1)$$

โดยที่ P คือคุณสมบัติใด ๆ ของสารซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นจาก (2.1) จะได้ว่า

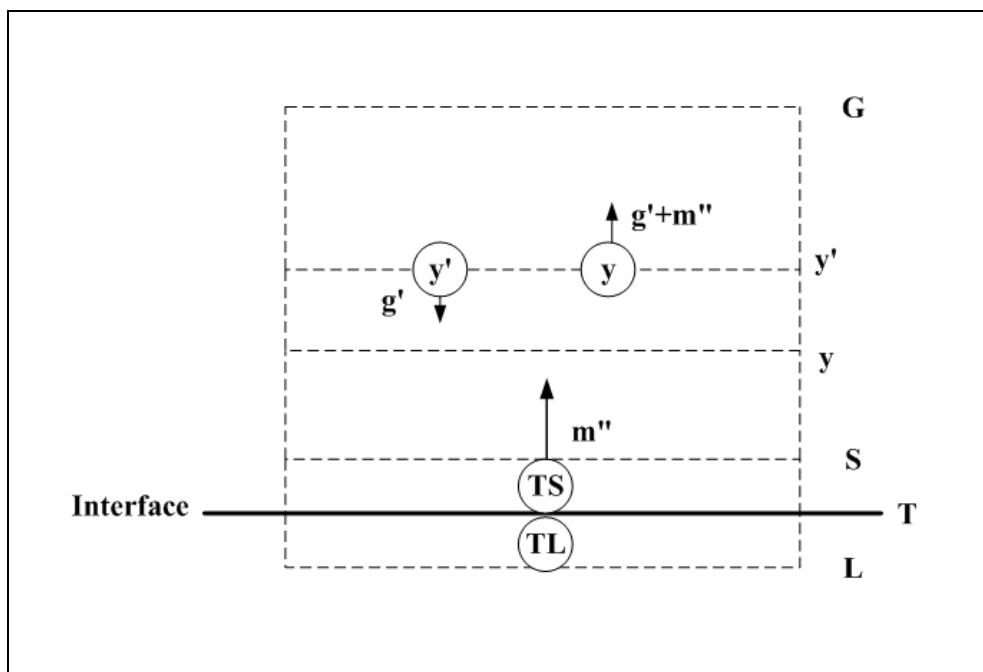
$$\frac{m''}{g^{**}} = \left[\frac{P_G - P_S}{P_S - P_{TS}} \right] = B \quad (2.2)$$

ซึ่ง B คือ Driving Force เป็นความแตกต่างของคุณสมบัติใด ๆ ของสารขึ้นอยู่กับว่าในระบบที่พิจารณาจะเลือกใช้คุณสมบัติใด ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ Mass Fraction ดังนั้นสมการที่ใช้คำนวณหาอัตราการถ่ายเทมวลในที่นี่คือ

$$m'' = g^{**} \cdot B \quad (2.3)$$

2.14.2 The Modified Reynolds Flow Model

ในเวลาต่อมา การทดลองของ Spalding (1963) ได้พบว่า ค่า Mass Transfer Conductance มีค่าไม่คงที่เมื่อ Mass Transfer Flux หรือ Driving Force มีค่าสูง ดังนั้น Spalding จึงได้นำเสนอการปรับปรุง Reynolds Flow Model เดิม โดยตั้งสมมติฐานว่า Mass Transfer Conductance มีค่าคงที่ในบริเวณพื้นที่แคบ ๆ ระหว่างผิว $y-y'$ ที่อยู่ภายใน G-S Control Volume ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 The Modified Reynolds Flow Model

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า Mass Transfer Conductance ในแบบจำลองที่ปรับปรุงนี้มีค่าคงที่เฉพาะในบริเวณแคบ ๆ ระหว่างผิว $y-y'$ เท่านั้น และภายใน G-S Control Volume นี้ ผิว $y-y'$ จะอยู่ใกล้กันมาก โดย Mass Transfer Conductance ระหว่างผิว $y-y'$ หรือ g' (ซึ่งมีค่าคงที่) ที่มีสถานะ y' จะข้ามผิว y' เข้าสู่ผิวร่วม และในทำนองเดียวกัน Mass Transfer Flux และ Mass Transfer Conductance หรือ $g'+m''$ ที่มีสถานะ y ก็จะข้ามผิว y' มาสู่สถานะ G

จะเห็นได้ว่า สมมติฐานที่ถูกปรับปรุงนี้คล้ายกับแบบจำลองเดิม แต่ในกรณีนี้ สมมติฐานที่ปรับปรุงจะใช้กับ $y-y'$ Control Volume ซึ่งเล็กกว่า G-S Control Volume มาก ซึ่งค่า g' เป็นเพียงค่า Mass Transfer Conductance เฉพาะที่เท่านั้น ดังนั้น จาก (2.1) และ (2.2) เมื่อนำมาใช้กับ สมมติฐานที่ปรับปรุงนี้ จะได้ว่า

$$m'' \cdot P_{TS} + g' \cdot P_{y'} = (g'+m'') \cdot P_y \quad (2.4)$$

และ

$$\frac{m''}{g'} = \left[\frac{P_{y'} - P_y}{P_y - P_{TS}} \right] \quad (2.5)$$

แต่เนื่องจาก $y-y'$ Control Volume นี้มีขนาดเล็กมาก ดังนั้น y และ y' อยู่ใกล้กันมาก จะได้ $dP_y = P_{y'} - P_y$ เมื่อถือว่า G-S Control Volume ประกอบด้วย $y-y'$ Control Volume จำนวนมาก ต่อเนื่องกัน ฉะนั้นถ้ารวม $y-y'$ Control Volume ตลอด G-S Control Volume จะได้

$$\begin{aligned} m'' \sum_S^G \frac{1}{g'} &= \int_S^G \frac{dP_y}{(P_y - P_{TS})} \\ &= \ln \left[\frac{P_G - P_{TS}}{P_S - P_{TS}} \right] \\ &= \ln \left[1 + \frac{P_G - P_S}{P_S - P_{TS}} \right] \\ &= \ln(1 + B) \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้น จะได้ค่าใหม่ของสมการเพื่อใช้หาค่าอัตราการถ่ายเทมวลหรืออัตราการกลับ (Mass Transfer Flux) ดังต่อไปนี้

$$m'' = g' \cdot \ln(1 + B)$$

เมื่อแทนค่า g' ด้วย g จะได้

$$m'' = g \cdot \ln(1 + B) \quad (2.6)$$

2.14.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง g กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

โดยจำกัดความแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) อยู่ในรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$h_c = \frac{q_s}{(t_G - t_S)} \quad (2.7)$$

โดยที่ q_s คือ Heat Flux ที่ผ่านผิว S
 t_G คือ อุณหภูมิของสารที่สภาวะ G
 t_S คือ อุณหภูมิของสารที่สภาวะ S

ถ้าไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นภายใน G-S Control Volume และถือว่าความแตกต่างของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีค่าต่ำ จะสามารถเขียนสมการตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ในรูปแบบต่อไปนี้

$$q - w = \Delta h$$

เนื่องจากไม่มีงานภายนอกกระทำต่อระบบ ทำให้ $w = 0$ ส่วน q มีค่าเท่ากับ $-q_s$ ซึ่งทำให้

$$\Delta h = (g + m'') \cdot h_s - g \cdot h_G - m'' \cdot h_{TS}$$

การเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปี (h) เกิดจาก g ซึ่งเดิมมีอุณหภูมิ t_G สัมผัสกับผิว S และกลับออกจากผิว G พร้อมกับ m'' ที่อุณหภูมิ t_s ส่วน m'' ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี เนื่องจากมีอุณหภูมิ t_s เท่าเดิม (t_{TS} มีค่าเท่ากับ t_s เนื่องจากผิว S อยู่ชิดกับผิวร่วม) ดังนั้น

$$\Delta h = g \cdot C_p (t_s - t_G)$$

เนื่องจากไม่คิดผลของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์เพราะมีค่าต่ำ ทำให้สมการตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์จะอยู่ในรูป

$$-q_s = g \cdot C_p (t_s - t_G) \quad (2.8)$$

จาก (2.7) และ (2.8) จะได้ว่า

$$(t_G - t_s) = \frac{q_s}{h_c} = \frac{q_s}{g \cdot C_p}$$

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า

$$g = \frac{h_c}{C_p} \quad (2.9)$$

ซึ่งทำให้สามารถประเมินค่า Mass Transfer Conductance ได้หากทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่าความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) หรือหมายถึงสามารถหาค่า Mass Transfer Conductance ได้จากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั่นเอง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่จะหาคำตอบในเรื่องของกระบวนการกลั่นเอทานอล โดยให้ความร้อนจากเครื่องยนต์ว่าสามารถทำได้จริงหรือไม่และเมื่อสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบออกมาแล้ว จะสามารถกลั่นเอทานอลได้ถึงความเข้มข้นที่ต้องการหรือไม่ อัตราการกลั่นที่ได้มีค่าสูงกว่ากระบวนการกลั่นที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์จริงหรือไม่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นมีลักษณะเป็นอย่างไร รวมไปถึงพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่นมีค่ามากน้อยเพียงใด

เนื่องจากผลผลิตที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยให้ความร้อนจากเครื่องยนต์นี้คือ เอทานอล ซึ่งโดยปกติแล้วหลังจากผ่านกระบวนการกลั่น จะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร จากนั้นจะถูกนำไปเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธีการอื่นให้มีค่าประมาณ 99.5% โดยปริมาตร และนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้โดยตรง หรือนำไปผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนเพื่อเพิ่มค่าตัวเลขออกเทน หรือมีชื่อทางการค้าว่าแก๊ส โซฮอล์ ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในงานวิจัยนี้จึงใช้เป็นเครื่องยนต์แก๊ส โซลีน เพื่อให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ จึงได้มีการออกแบบวิธีวิจัยดังต่อไปนี้

3.2 การพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อตกลงเบื้องต้นและขอบเขตของการวิจัยว่า ในการวิจัยครั้งนี้ ตัวแปรสำคัญที่ต้องการทราบคือ อัตราการกลั่นเอทานอล เนื่องจากหากทราบอัตราการกลั่นเอทานอลแล้ว สามารถนำไปใช้ออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีขนาดกำลังการผลิตตามที่ต้องการได้ ดังนั้นในส่วนแรกของการวิจัยนี้จึงต้องพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลขึ้นมาให้ได้เสียก่อน

ในการทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล จะเลือกใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding ที่ใช้ Modified Reynolds Flow Model ดังที่ได้กล่าวถึงไว้แล้วในบทที่ 2 เป็นหลักในการพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล เนื่องจาก ทฤษฎีการถ่ายเทมวลดังกล่าวได้ผ่านการพิสูจน์มาแล้วว่าสามารถใช้ทำนายอัตราการกลั่นน้ำในกระบวนการกลั่นน้ำโดยใช้แสงอาทิตย์ และทำนาย

อัตราการกลั่นเอทานอลในกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้แสงอาทิตย์จากงานวิจัยที่ได้ปริทัศน์วรรณกรรมแล้ว ดังที่นำเสนอไว้ในบทที่ 2 โดยลำดับขั้นการพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลมีดังต่อไปนี้

3.2.1 สมการทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล

สมการที่ใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลคือสมการ (2.6) จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ อัตราการกลั่นเอทานอล (m'') หรือ Mass Transfer Flux มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที ค่า Mass Transfer Conductance (g) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที เช่นเดียวกับอัตราการกลั่นเอทานอล และค่า Driving Force (B) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติเนื่องจากเป็นอัตราส่วนระหว่างคุณสมบัติใด ๆ ของสาร

การที่จะทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลในกรณีของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ขึ้นมาได้นั้น จำเป็นที่จะต้องทราบค่าตัวแปรอยู่ 2 ค่าด้วยกัน นั่นคือ ค่าของ Mass Transfer Conductance และค่าของ Driving Force ดังในสมการ (2.6)

3.2.2 การหาค่า Driving Force

ในงานวิจัยนี้ ลักษณะการถ่ายเทมวลหรืออัตราการกลั่นจะเป็นการถ่ายเทมวลจากเฟสข้างเคียงซึ่งประกอบไปด้วยสารสองชนิดคือน้ำและเอทานอล โดยเฟสข้างเคียงหมายถึงสารละลายเอทานอลและน้ำซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว และเฟสที่พิจารณาซึ่งอยู่ในสถานะไอ ประกอบไปด้วยสารสามชนิด คือ ไอน้ำ ไอเอทานอล และ อากาศ ดังนั้น อัตราการกลั่นจะมีค่าเท่ากับ อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำและของเอทานอลตามสมการ

$$m'' = m''_{al} + m''_w \quad (3.1)$$

โดยที่ m''_{al} คือ อัตราการถ่ายเทมวลของเอทานอล
 m''_w คือ อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำ

โดยในเฟสที่พิจารณาอยู่ในสถานะไอ ประกอบด้วยสารบริสุทธิ์ 3 ชนิด คือ ไอน้ำ เอทานอล และ อากาศ ประกอบกับระบบคือ G-S Control Volume ทำให้อากาศจะไม่สามารถออกไปจาก Control Volume นี้ได้ อีกทั้งไม่มีการถ่ายเทมวลของอากาศผ่านทางผิวร่วม ดังนั้น อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศจึงเท่ากับศูนย์

สำหรับการหาค่า Driving Force นั้น สามารถหาได้จากสมการ (2.2) นั่นคือหาได้จากความแตกต่างของคุณสมบัติใด ๆ ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสาร โดย Kiatsiriroat et al. (1986) ได้

เสนอให้ใช้คุณสมบัติในด้านอัตราส่วนโดยมวลหรือ Mass Fraction ในการคำนวณหาค่า Driving Force ดังสมการต่อไปนี้

$$B = \left[\frac{m_{iG} - m_{iS}}{m_{iS} - m_{iT}} \right] \quad (3.2)$$

โดยที่ m คือ อัตราส่วนโดยมวล และ i คือสารที่ต้องการพิจารณา

สำหรับในงานวิจัยนี้ เนื่องจากในเฟสที่พิจารณามีสารอยู่สามชนิด ดังนั้นจากสมการ (2.6) แสดงให้เห็นว่าค่า Driving Force ของสารทั้งสามเมื่ออยู่ในระบบเดียวกัน จะต้องมามีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$B = \left[\frac{m_{aG} - m_{aS}}{m_{aS} - m_{aT}} \right] = \left[\frac{m_{alG} - m_{alS}}{m_{alS} - m_{alT}} \right] = \left[\frac{m_{wG} - m_{wS}}{m_{wS} - m_{wT}} \right] \quad (3.3)$$

โดยที่ a คือ อากาศ
 al คือ เอทานอล
 w คือ น้ำ

แต่เนื่องจากอากาศเป็นสารเดี่ยวที่ไม่มีการถ่ายเทข้ามผิวร่วม ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ $m_{aT} = 0$ ดังนั้นสมการเพื่อคำนวณหาค่า Driving Force ในกรณีของอากาศจะมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$B = \left[\frac{m_{aG} - m_{aS}}{m_{aS}} \right] \quad (3.4)$$

ดังนั้น การคำนวณเพื่อหาค่า Driving Force จะสามารถคำนวณได้ง่ายกว่า หากเลือกใช้ค่า Driving Force ของอากาศในการคำนวณ เนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลของอากาศมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง

3.2.3 การประเมินค่า Mass Transfer Conductance

ค่า Mass Transfer Conductance สามารถประเมินได้โดยอาศัยทฤษฎีของ Spalding และการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน เนื่องจาก Mass Transfer Conductance มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว

เครื่องกลั่นเอทานอลในงานวิจัยนี้ เป็นการกลั่นเอทานอลโดยให้ความร้อนกับสารละลายเอทานอลเพื่อให้เอทานอลได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือดและระเหยขึ้นไปควบแน่นด้านบนของเครื่องกลั่น จากลักษณะการให้ความร้อนแบบนี้ จะเห็นได้ว่าเป็นลักษณะของการพาความร้อนโดยธรรมชาติ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ใช้จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติซึ่งรูปแบบของความสัมพันธ์ของการพาความร้อนแบบนี้คือ

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (3.5)$$

$$Nu = \frac{h_c \cdot L}{k}$$

$$Gr = \frac{L^3 \Delta T \cdot g^*}{\rho \nu^2}$$

$$Pr = \frac{\mu}{\left(\frac{k}{C_p}\right)}$$

โดยที่	Nu	คือ	Nusselt Number
	Gr	คือ	Grashof Number
	Pr	คือ	Prandtl Number
	L	คือ	ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างผิวระเหยกับผิวควบแน่นภายในเครื่องกลั่น
	K	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
	ΔT	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่น
	g^*	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของไอของสารผสม (เอทานอล, น้ำ และ อากาศ)
	ν	คือ	Kinematic Viscosity

- μ คือ ความหนืดของไอของสารผสม
 C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะแบบความดันคงที่

แต่สภาพปัญหาโดยทั่วไปของงานวิจัยนี้คือ การหาอัตราการถ่ายเทมวลหรืออัตราการกลั่น ดังนั้น เมื่อนำความสัมพันธ์นี้มาใช้ในการถ่ายเทมวล รูปแบบของสมการ (3.5) จึงมีการปรับเปลี่ยนไปเป็น

$$Sh = f(Gr, Sc) \quad (3.6)$$

$$Sh = \frac{g \cdot L}{\rho \cdot D_{am}} \quad (3.7)$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot D_{am}}$$

- โดยที่ Sh คือ Sherwood Number
 Sc คือ Schmidt Number
 D_{am} คือ Diffusivity ของสารผสม (เอทานอลและน้ำ) ในอากาศ

ซึ่งสมการ (3.6) เป็นการพัฒนาสมการ (3.5) เพื่อนำมาใช้ในการถ่ายเทมวล โดยแทนที่ Nusselt Number ด้วย Sherwood Number และแทนที่ Prandtl Number ด้วย Schmidt Number นั้นเอง

ส่วนสมการ (3.7) คือสมการเพื่อใช้หาค่า Sherwood Number แต่แทนที่ h_c ด้วยค่า Mass Transfer Conductance (g) ตามความสัมพันธ์ในสมการ (2.9) เพื่อให้เหมาะในการประยุกต์หาค่า Mass Transfer Conductance ต่อไป สำหรับค่า Diffusivity ของสารผสมในอากาศนั้น สามารถหาได้ดังนี้

$$D_{am} = \frac{1 - X_a}{\left(\frac{X_w}{D_{aw}}\right) + \left(\frac{X_{al}}{D_{aal}}\right)}$$

$$D_{aw} = 435.7 \frac{T^{\frac{3}{2}}}{p(V_a^{\frac{1}{3}} + V_w^{\frac{1}{3}})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_w}}$$

$$D_{aal} = 435.7 \frac{T^{\frac{3}{2}}}{p(V_a^{\frac{1}{3}} + V_{al}^{\frac{1}{3}})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_{al}}}$$

โดยที่	D_{aw}	คือ	Diffusivity ของน้ำในอากาศ
	D_{aal}	คือ	Diffusivity ของเอทานอลในอากาศ
	X_a, X_w และ X_{al}	คือ	Mole Fraction ของอากาศ น้ำ และ เอทานอล
	V_a, V_w และ V_{al}	คือ	Molecular Volume ของอากาศ น้ำ และ เอทานอล
	M_a, M_w และ M_{al}	คือ	น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ น้ำ และ เอทานอล
	T	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องกลั่น
	P	คือ	ความดันภายในระบบโดยในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ในกรณีของเครื่องกลั่นเอทานอลนั้น Namprakai et al. (1996) ยังพบว่า นอกจากความสัมพันธ์ของ Sherwood Number จะเป็นไปตามสมการ (3.6) แล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลอีกด้วย ดังนั้น หากจะหาความสัมพันธ์ของ Sherwood Number และตัวแปรต่าง ๆ สมการ (3.6) จึงจะต้องรวมผลเนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลด้วย ดังนี้

$$Sh = f(Gr, Sc, Ethanol_{st})$$

หรือ

$$\frac{g \cdot L}{\rho \cdot D_{am}} = f(Gr, Sc, Ethanol_{st}) \quad (3.8)$$

โดยที่ $Ethanol_{st}$ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลโดยปริมาตร

ดังนั้น หากต้องการทราบค่า Mass Transfer Conductance สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการ (3.8) โดยจะหาค่าต่าง ๆ เหล่านี้ได้จากการทดลอง

3.2.4 การทำการทดลองเพื่อประเมินค่า Mass Transfer Conductance

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ว่าถ้าต้องการสมการเพื่อทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลตามสมการ (2.6) ต้องทราบค่า Driving Force และ ค่า Mass Transfer Conductance ให้ได้เสียก่อน สำหรับค่า Driving Force นั้น สามารถหาได้จากการคำนวณอัตราส่วนโดยมวลของอากาศตามสมการ (3.4) ดังนั้น ถ้าทราบความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลเริ่มต้นและความเข้มข้นที่กลั่นได้ รวมถึงอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่น (ผิว S และ ผิว G) ก็จะสามารถหาค่า Driving Force ได้

ส่วนค่า Mass Transfer conductance นั้น ไม่สามารถหาได้โดยตรง เนื่องจากยังไม่ทราบรูปแบบสมการที่แน่นอนในกรณีของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ ดังนั้น จึงต้องทำการทดลองเพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mass Transfer Conductance กับตัวแปรต่าง ๆ ให้ได้เสียก่อน โดยเครื่องมือที่ทำการทดลองจะได้กล่าวถึงในหัวข้อการสร้างเครื่องมือและเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนการเก็บข้อมูลและสร้างสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance จะกล่าวถึงในหัวข้อการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ

3.3 การออกแบบสร้างและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

หลังจากที่ได้สมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลแล้ว เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลใช้ได้จริง จึงต้องทำการออกแบบ สร้าง และพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง หรือสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่น ว่ามีความถูกต้องหรือไม่ สำหรับวัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งของการออกแบบ สร้าง และพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบก็คือ เพื่อใช้พิจารณาว่า เครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์นี้ สามารถใช้งานได้จริงหรือไม่หากมีการนำไปใช้กับรถยนต์ โดยออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบให้มีขนาดเล็กพอที่จะสามารถนำไปติดตั้งไว้ในรถยนต์ได้ โดยรถยนต์ส่วนใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สโซลีนจะเป็นรถยนต์นั่ง ดังนั้นในการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบนี้ จึงมุ่งเน้นไปที่สามารถใส่ไว้ในช่องเก็บของท้ายรถได้

3.4 การทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

หลังจากการออกแบบ สร้าง พัฒนา แก๊ส และปรับปรุงเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมาทดสอบเพื่อหา อัตราการกลั่น ความเข้มข้น

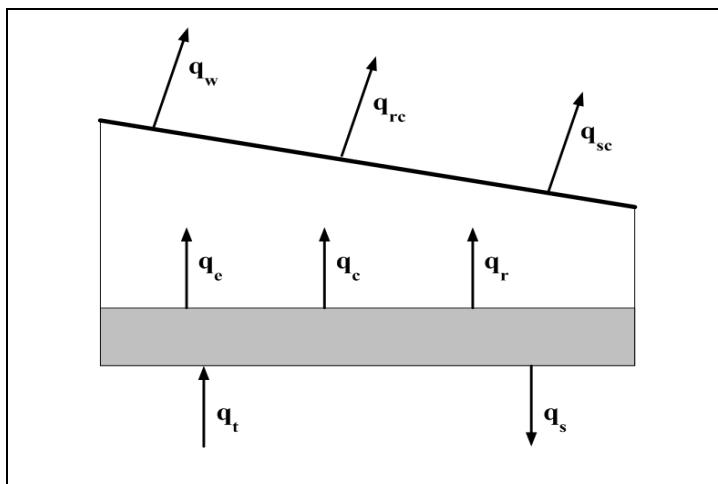
เอทานอลที่กลั่นได้ รวมถึงพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่น และนำผลการทดสอบที่ได้ไปใช้ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากแบบจำลองต่อไป

3.5 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับการทำนายอัตราการกลั่น

ผลการทดสอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองในด้าน อัตราการกลั่น ว่ามีค่าแตกต่างจากการทำนายโดยใช้แบบจำลองหรือไม่ ถ้ามีความแตกต่างมากเกินไป ต้องค้นหาคำตอบให้ได้ว่า เกิดจากสาเหตุใด แบบจำลองมีความผิดพลาดหรือไม่ หรือการทดสอบมีเงื่อนไขไม่ตรงกับที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง และแก้ไข ปรับปรุง แบบจำลองให้มีความถูกต้องต่อไป

3.6 การศึกษาในเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่น

ในขั้นตอนสุดท้ายคือการศึกษาเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่น โดยเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องกลั่นแบบถาด มีสารละลายเอทานอลอยู่ด้านในผิวถาด และให้ความร้อนจากใต้ถาด เอทานอลจะเดือดและระเหยขึ้นไปด้านบน โดยมีผิวควบแน่นอยู่ด้านบน โดยลักษณะของเครื่องกลั่นและการถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องกลั่นเอทานอล

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องกลั่นเอทานอล โดยจะแบ่งการสมดุลพลังงานเป็น 2 ตำแหน่ง คือ ที่สารละลายเอทานอลที่อยู่ในถาด และ

ที่ผิวควบแน่นด้านบนเครื่องกลั่น การศึกษาในส่วนนี้จะเป็นการหาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

3.6.1 สมดุลพลังงานที่สารละลาย

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.1 แล้ว สมดุลพลังงานที่สารละลายภายในเครื่องกลั่นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

พลังงานความร้อนที่ต้องให้กับระบบ (q_t) มีค่าเท่ากับผลรวมของอัตราความร้อนที่ใช้ในการระเหย (q_e), การพาความร้อน (q_c), การแผ่รังสีความร้อน (q_r), ความร้อนสูญเสียทางด้านนอกของเครื่องกลั่น (q_s) และ ความร้อนสะสมในสารละลาย สำหรับสมการสมดุลพลังงานที่สารละลายจะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$q_t = q_e + q_c + q_r + q_s + (m \cdot C_p)_M \frac{dT_m}{dt} \quad (3.9)$$

โดยที่ $(mC_p)_M$ คือ ค่าความจุความร้อนของสารละลาย
 T_m คือ อุณหภูมิที่ผิวระเหย

ซึ่งการหาค่าพลังงานความร้อนที่กล่าวมานี้สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$q_e = \sum m_i'' \cdot h_{f_{gi}} \cdot A$$

$$q_c = h_c A (T_m - T_c)$$

$$q_r = \varepsilon_m \sigma A (T_m^4 - T_c^4)$$

$$q_t = m_{ex}'' \cdot C_{p_{ex}} (T_{in} - T_{out})$$

$$\frac{h_c L}{k_m} = 0.075 (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{3}}$$

โดยที่ m_i''	คือ อัตราการกลั่นของสารที่พิจารณา ซึ่งในที่นี้คือเอทานอลและน้ำ
h_{fgi}	คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารที่พิจารณาซึ่งในที่นี้คือเอทานอลและน้ำ
A	คือ พื้นที่ในการกลั่นหรือพื้นที่ของภาครับเอทานอล
h_c	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในเครื่องกลั่น
T_c	คือ อุณหภูมิที่ผิวควบแน่น
ϵ_m	คือ Emissivity ของสารที่พิจารณา
σ	คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann
m_{ex}''	คือ อัตราการไหลของไอเสียที่เข้าเครื่องกลั่น
C_{pex}	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของไอเสีย
T_{in} และ T_{out}	คือ อุณหภูมิของไอเสียที่ไหลเข้าและออกจากเครื่องกลั่น
k_m	คือ ค่าการนำความร้อนของสารที่พิจารณา

สำหรับในงานวิจัยนี้ จะเก็บข้อมูลในเรื่องของอัตราการกลั่น อุณหภูมิที่ผิวระเหย และ อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ในสถานะคงตัว (Steady State) โดยจะทำการเก็บข้อมูลหลังจากอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นทุกค่ามีค่าคงที่แล้ว ดังนั้น พจน์ทางขวามือสุดของสมการ (3.9) จะมีค่าเท่ากับศูนย์

3.6.2 สมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่น

เนื่องจากเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการรักษาอุณหภูมิของผิวควบแน่นไว้ตลอดเวลา โดยการใช้ น้ำหล่อเย็น ไหลผ่านผิวควบแน่นทางด้านบน ดังนั้น เช่นเดียวกับสมดุลพลังงานที่สารละลาย สำหรับสมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่นของเครื่องกลั่นเอทานอล เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ผลรวมของอัตราความร้อนที่ใช้ในการระเหย (q_e), การพาความร้อน (q_r), การแผ่รังสีความร้อนของสารละลายมายังผิวควบแน่น (q_w) มีค่าเท่ากับ ผลรวมของความร้อนที่ถูกนำออกไปโดยน้ำหล่อเย็น (q_w), การแผ่รังสีความร้อนของผิวควบแน่นออกสู่สิ่งแวดล้อม (q_{rc}), ความร้อนที่สูญเสียออกทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น (q_{sc}) และ ความร้อนสะสมที่ผิวควบแน่น สำหรับสมการสมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่น จะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$q_e + q_c + q_r = q_w + q_{rc} + q_{sc} + (m \cdot C_p)_c \frac{dT_c}{dt} \quad (3.10)$$

โดยที่ $(mC_p)_c$ คือ ค่าความจุความร้อนของผิวควบแน่น

การหาค่าพลังงานความร้อนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$q_{rc} = \varepsilon_c \sigma A (T_c^4 - T_a^4)$$

$$q_w = m_w'' \cdot C_{pw} (T_{win} - T_{wout})$$

โดยที่ ε_c	คือ	Emissivity ของผิวควบแน่น
T_a	คือ	อุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกเครื่องกลั่น
m_w''	คือ	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่เข้าสู่ระบบหล่อเย็นของเครื่องกลั่น
C_{pw}	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำหล่อเย็น
T_{win} และ T_{wout}	คือ	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าและออกจากระบบหล่อเย็น

เช่นเดียวกับกรณีของสมดุลพลังงานที่สารละลาย พจน์ทางขวามือสุดของสมการ (3.10) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากในการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลหลังจากอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นทุกค่ามีค่าคงที่แล้ว

3.7 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับเครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้ ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อตกลงเบื้องต้นและในตอนต้นของบทนี้แล้วว่า เครื่องกลั่นเอทานอลที่จะพัฒนานี้ จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการทำงานแบบติดตั้งประจำที่ เนื่องจากในขั้นตอนการวิจัยจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลในด้านอัตราการกลั่น และความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้อย่างละเอียด เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาสมการเพื่อคำนวณอัตราการกลั่นเอทานอลต่อไป ดังนั้น ในการทำการทดลอง จึงพยายามหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ให้มากที่สุด จึงเลือกที่จะออกแบบ และพัฒนามบนพื้นฐานของเครื่องกลั่นและเครื่องยนต์ที่ติดตั้งประจำที่ โดยเครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย มีดังต่อไปนี้

3.8 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย

1) เครื่องยนต์ต้นกำลังเพื่อผลิตพลังงานความร้อนจากไอเสีย ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีน ยี่ห้อนิสสัน รุ่น RB 20 E เป็นเครื่องยนต์ 6 สูบเรียง ขนาดความจุกระบอกสูบ 1,998 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้การจ่ายเชื้อเพลิงด้วยระบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์

2) เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า **Mass Transfer Conductance** เป็นเครื่องกลั่นเอทานอลแบบถาดโดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์ที่ได้ดำเนินการสร้างขึ้น ใช้เพื่อเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นในการสร้างสมการเพื่อหาค่าอัตราการกลั่นเอทานอล ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดให้หัวข้อ การสร้างเครื่องมือและเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบต่อไป

3) เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ เป็นเครื่องกลั่นเอทานอลแบบถาดเช่นเดียวกับเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า **Mass Transfer Conductance** แต่มีขนาดเล็กกว่า มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ทดสอบและนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการหาค่าอัตราการกลั่นที่ได้พัฒนาขึ้น และใช้ในการศึกษาพลังงานที่ใช้ในเครื่องกลั่นเอทานอลอีกด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดให้หัวข้อ การสร้างเครื่องมือและเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบต่อไป

4) เทอร์โมคัปเปิลแบบ **K** และ **Data Logger** ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิของเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า **Mass Transfer Conductance** และ เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ รวมถึงวัดอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ต้นกำลังด้วย โดยใช้เก็บข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ และก่อนการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลแบบ **K** นี้ ได้มีการปรับเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทในช่วง 0-100 องศาเซลเซียสแล้ว

5) **Alcoholmeter** แบบอ่านค่าโดยปริมาตร ใช้สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล โดย **Alcoholmeter** ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบอ่านค่าโดยปริมาตร และใช้จำนวน 3 เครื่อง โดยเป็นเครื่องที่วัดความเข้มข้นเอทานอลได้ 0-50% โดยปริมาตรหนึ่งเครื่อง ส่วนอีกสองเครื่องเป็นเครื่องที่วัดความเข้มข้นเอทานอลได้ 0-100% โดยปริมาตร สาเหตุที่ต้องใช้หลายเครื่องเนื่องจากจะได้เป็นการยืนยันผลการวัดซึ่งกันและกัน หากใช้เครื่องเดียวแล้วเกิดการวัดค่าผิดพลาดจะไม่อาจทราบได้ อนึ่งในการใช้ **Alcoholmeter** ในงานวิจัยนี้ทุกครั้งจะทำการปรับอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลให้มีค่าเท่ากับ 20 องศาเซลเซียสทุกครั้ง

6) เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ใช้เพื่อวัดอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลและสิ่งแวดล้อม

7) นาฬิกาจับเวลา ใช้จับเวลาในการทำงานของเครื่องมือทดสอบ และ เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

8) เครื่องมือวัดความเร็วรอบ ใช้วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต้นกำลัง

9) เครื่องมือวัดส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอเสีย ใช้เพื่อวัดส่วนประกอบของไอเสียและอัตราการไหลของไอเสีย เพื่อนำไปคำนวณค่าพลังงานความร้อนของไอเสียที่เข้าสู่เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือวัดส่วนประกอบของไอเสีย ยี่ห้อ TESTO รุ่น 350 XL

3.9 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ วัสดุที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย เอทานอลคัดแปลงความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร และน้ำบริสุทธิ์

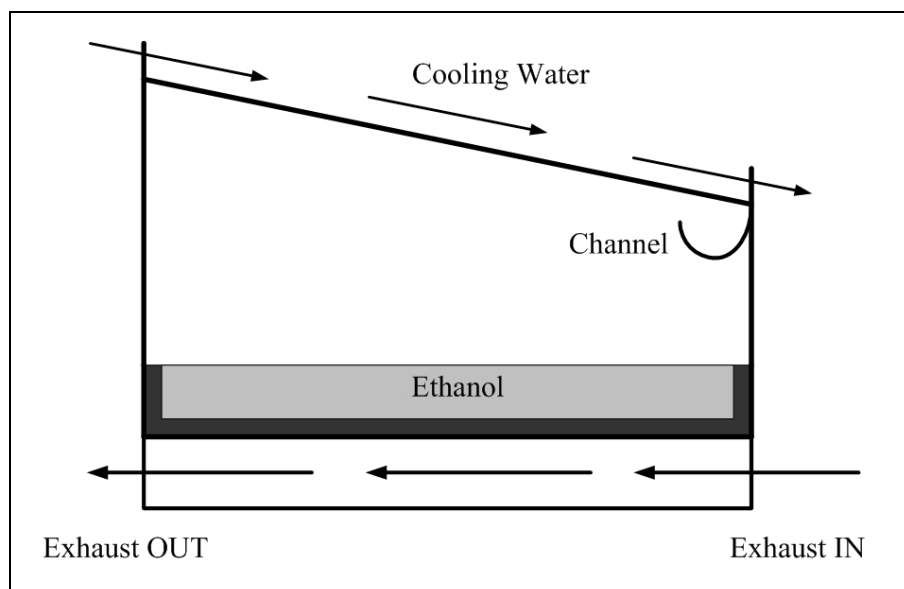
- 1) สารละลายที่ใช้ในการกลั่นส่วนใหญ่ เตรียมจากการเจือจางเอทานอลคัดแปลงความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร โดยน้ำบริสุทธิ์ให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ
- 2) สารละลายที่ใช้กลั่นบางส่วน เตรียมจากผลผลิตที่ได้จากการหมักข้าวเหนียว (สาโท) ความเข้มข้น 8% โดยปริมาตร

3.10 การสร้างเครื่องมือและเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

ในการวิจัยนี้ จะสร้างเครื่องมือทดสอบขึ้นมา 2 ส่วนด้วยกัน คือ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่า Mass Transfer Conductance และ เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทำนายโดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้น ซึ่งรายละเอียดของเครื่องมือที่จะสร้างขึ้นนั้น มีดังต่อไปนี้

3.10.1 เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance นี้ มีลักษณะเป็นเครื่องกลั่น เอทานอลแบบถาด ลักษณะโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องกลั่นเอทานอลแบบถาด

จากรูปที่ 3.2 เอทานอลจะถูกบรรจุอยู่ในถาดทองแดงซึ่งอยู่ภายในเครื่องกลั่น โดยด้านใต้ถาดจะมีไอเสียไหลผ่านท่ออลูมิเนียม เอทานอลที่อยู่ในถาดจะได้รับพลังงานความร้อนจากไอเสียผ่านขึ้นมาจากท่ออลูมิเนียมและถาดทองแดง และจะถึงจุดเดือดก่อนน้ำ โดยจุดเดือดของเอทานอลเท่ากับ 78.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ทำให้เอทานอลลอยตัวขึ้นข้างบนขณะที่น้ำยังอยู่ในสภาพของเหลว

ด้านบนของเครื่องกลั่นจะเป็นผิวควบแน่นซึ่งทำมาจากกระจก โดยมีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา ดังนั้น เมื่อไอเอทานอลลอยตัวขึ้นมาด้านบนจนถึงผิวควบแน่น ก็จะควบแน่นและกลั่นตัวเป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น และไหลออกมาผ่านทางรางรับเอทานอลออกมาสู่ภายนอก

ที่ด้านบนถาดทองแดง ผิวควบแน่น ช่องทางน้ำหล่อเย็นไหลเข้า-ไหลออก และทางเข้า-ออกของไอเสียจะออกแบบให้สามารถติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลแบบ K เพื่อวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดได้ และด้านข้างรวมถึงด้านล่างของเครื่องกลั่นจะออกแบบให้สามารถไล่ความร้อนเพื่อทำหน้าที่กั้นการสูญเสียพลังงานความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุด

ผลการสร้างเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance นี้แสดงในบทที่ 4

3.10.2 เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

หลักการทางานและรูปร่างของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบจะมีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 3.2 และเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance แต่จะออกแบบให้มีขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะสมหากจะพัฒนาต่อเพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องกลั่นเอทานอลในรถยนต์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบคือเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลในด้านอัตราการกลั่นที่ได้จากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ว่าสอดคล้องและใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการเพื่อหาค่าอัตราการกลั่นที่ได้พัฒนาขึ้นมาหรือไม่

ผลการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ แสดงในบทที่ 4 เช่นเดียวกับผลการสร้างเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance

3.11 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลให้สอดคล้องและเป็นไปตามวิธีวิจัยที่ได้นำเสนอมาแล้ว จะแบ่งหัวข้อการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

3.11.1 การเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล

ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปพัฒนาสมการที่ใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลนั้น จะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance โดยติดตั้งเครื่องมือทดสอบเข้ากับท่อไอเสียของเครื่องยนต์ต้นกำลัง และดำเนินการเดินเครื่องกลั่นเอทานอล

โดยในการเริ่มทดสอบนั้น จะใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10% โดยปริมาตร ใส่ลงในภาชนะของเครื่องกลั่น หลังจากนั้นจะเดินเครื่องกลั่นและรอกจนกระทั่งอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลมีค่าเท่ากับจุดเดือดของเอทานอล หลังจากนั้นจะปรับอุณหภูมิของผิวควบแน่น โดยปรับที่อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ให้ผิวควบแน่นมีอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นจะสามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่ผิวระเหย และที่ผิวควบแน่นได้ ในการทดสอบจะเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่ผิวควบแน่น โดยให้มีค่าเท่ากับ 32, 36, 40, 44 และ 48 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิที่ผิวระเหยจะไม่เปลี่ยนโดยจะยังรักษาไว้ที่ 78.5 องศาเซลเซียสเท่าเดิม โดยปกติจะทำการทดสอบซ้ำประมาณ 3 ครั้งเพื่อใช้ยืนยันการทดสอบแต่ละครั้ง

หลังจากนั้น เมื่อได้เอทานอลตามปริมาณที่ต้องการแล้ว ซึ่งโดยปกติจะกลั่นให้ได้ปริมาณเอทานอลประมาณ 300-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงหยุดเดินเครื่อง แล้วนำเอทานอลที่ได้มาวัดความเข้มข้นสุดท้ายที่กลั่นได้โดยใช้ Alcoholmeter และวัดปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้แล้วจึงนำไปหาอัตราการกลั่นเอทานอลต่อไป

เมื่อดำเนินการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะเริ่มต้นการทดสอบใหม่ โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเป็นค่าความเข้มข้นสุดท้ายที่ได้จากการกลั่นครั้งก่อนหน้า และดำเนินการเดินเครื่อง ทดสอบ และเก็บข้อมูลตามกรรมวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วซ้ำจนกระทั่งความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลมีค่าเท่ากับ 95% โดยปริมาตร แต่ถ้าความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลที่กลั่นได้มีค่าแตกต่างกับความเข้มข้นเริ่มต้นมากเกินไป ก็จะทำการเดินเครื่องโดยใช้ความเข้มข้นเอทานอลที่มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นสุดท้ายที่ได้จากการกลั่นครั้งก่อนหน้า ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบและข้อมูลที่ละเอียดที่สุดในการนำไปวิเคราะห์เพื่อพัฒนาสมการทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล

ดังนั้น ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลนี้ จะทำการเก็บข้อมูลในเรื่องต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล
2. ความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอล
3. อัตราการกลั่นเอทานอลที่เครื่องกลั่นสามารถกลั่นได้
4. อุณหภูมิที่ผิวระเหยและอุณหภูมิที่ผิวควบแน่น
5. เวลาที่ใช้ในการกลั่น

หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้ไปพัฒนาสมการเพื่อทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลต่อไป

3.11.2 การเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับผลการทำนายอัตราการกลั่น

การเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายอัตราการกลั่นนั้น จะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ โดยหลังจากที่ได้ออกแบบ สร้าง และปรับปรุงเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบที่ได้มาทำการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล โดยวิธีการทดสอบจะใช้วิธีเดียวกับการทดสอบเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้กล่าวไปแล้ว ต่างกันที่ในการทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบนี้ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลจะใช้เท่ากับ 10% โดยปริมาตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลที่จะดำเนินการในครั้งต่อไปจะใช้เท่ากับความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลที่กลั่นได้ก่อนหน้าโดยตรง

โดยการเก็บข้อมูลในส่วนนี้ จะทำการเก็บข้อมูลในเรื่องต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล
2. ความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอล
3. อัตราการกลั่นเอทานอลที่เครื่องกลั่นสามารถกลั่นได้
4. อุณหภูมิที่ผิวระเหยและอุณหภูมิที่ผิวควบแน่น
5. เวลาที่ใช้ในการกลั่น

หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการทำนายอัตราการกลั่นต่อไป

3.11.3 การเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาในเรื่องพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่น

ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ในเรื่องพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นนั้น จะทำควบคู่ไปกับการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายอัตราการกลั่น โดยจะทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบเช่นเดียวกัน โดยข้อมูลที่ต้องทำการเก็บรวบรวมมีดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิไอเสี่ย ณ ทางเข้าและทางออกจากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ
2. อุณหภูมิที่ผิวระเหยและอุณหภูมิที่ผิวควบแน่น
3. อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าและออกจากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ
4. อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ
5. อัตราการไหลของไอเสี่ยที่เข้าสู่เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ
6. ส่วนประกอบของไอเสี่ยที่เข้าสู่เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมนี้ไปวิเคราะห์หาพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่นต่อไป

3.12 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของ การวิเคราะห์ข้อมูล จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อเช่นเดียวกัน ดังต่อไปนี้

3.12.1 การพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล

การทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล จะใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding โดยใช้สมมติฐานของ Modified Reynolds Flow Model ดังนั้น สมการที่ใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลในที่นี้ก็คือ สมการ (2.6) แต่เนื่องจากสมการดังกล่าวมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวแปรด้วยกัน คือ ค่า Driving Force และ ค่า Mass Transfer Conductance ซึ่งการคำนวณหาค่า Driving Force นั้นสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (3.4) โดยใช้ข้อมูลของอัตราส่วนโดยมวลที่ผิว S และที่ผิว G ของอากาศ ซึ่งถ้าทราบความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเอทานอลและความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลที่กลั่นได้ จะสามารถหาค่าอัตราส่วน โดยมวลของอากาศได้ เนื่องจากความดันใช้งานของเครื่องกลั่นเอทานอลในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ

ส่วนค่า Mass Transfer Conductance นั้น เนื่องจากไม่ทราบสมการที่ใช้คำนวณโดยตรง ทราบแต่เพียงว่า ค่า Mass Transfer Conductance มีความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ Gr, Sc และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลในรูปของ Sherwood Number ตามสมการ (3.8) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้หาความสัมพันธ์ของค่า Mass Transfer Conductance กับตัวแปรดังกล่าว เพื่อสร้างเป็นสมการเพื่อใช้ประเมินค่า Mass Transfer Conductance ด้วย เพื่อจะได้นำไปหาค่าอัตราการกลั่นเอทานอลจากสมการ (2.6) ต่อไป โดยสมการเพื่อใช้ประเมินค่า Mass Transfer Conductance จะหาได้จากการทดลองโดยใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยขั้นตอนการพัฒนาสมการเพื่อประเมินค่า Mass Transfer Conductance มีดังต่อไปนี้ ซึ่งจากสมการ (2.6) ค่า Mass Transfer Conductance สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.11)

$$g = \frac{m''}{\ln(1 + B)} \quad (3.11)$$

โดยค่าอัตราการกลั่นและค่า Driving Force สามารถหาได้จากการทดลองโดยใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance สำหรับค่า Driving Force จะหาได้จากสมการ (3.4) โดยใช้ข้อมูลความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอล ส่วนอัตราการกลั่นได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองจากเครื่องมือทดสอบโดยตรง

หลังจากได้ค่า Mass Transfer Conductance แล้ว จึงดำเนินการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของไอผสม (เอทานอล, น้ำ และอากาศ), ค่า Diffusivity ของสารผสม (น้ำและเอทานอล) ในอากาศ และค่าความสูงเฉลี่ยของเครื่องมือทดสอบ หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่า Sherwood Number จากสมการ (3.7)

ดำเนินการหาค่า Grashof Number และ ค่า Schmidt Number โดยใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance จากนั้นจึงนำค่า Sherwood Number, Grashof Number, Schmidt Number และ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเพื่อนำมาใช้หาค่าความสัมพันธ์เพื่อสร้างเป็นสมการเพื่อประเมินค่า Mass Transfer Conductance ต่อไป

3.12.2 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลจากการทำนายอัตราการกลั่น

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ จะเป็นการนำข้อมูลอัตราการกลั่นที่เก็บรวบรวมได้จากขั้นตอนการทดสอบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมาเปรียบเทียบกับการทำนายอัตราการกลั่นโดยใช้สมการทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลที่พัฒนาขึ้น ว่าข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบนั้น มีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทำนายหรือไม่และสมการทำนายอัตราการกลั่นที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อถือได้หรือไม่ โดยผลการเปรียบเทียบจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

3.12.3 การศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น

ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมมาในส่วนนี้ ประกอบไปด้วยข้อมูลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิของไอเสียที่เข้าสู่เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของไอเสีย และข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

1. ความร้อนที่ใช้ในการระเหยของสารละลาย (q_c)
2. การพาความร้อนของสารละลาย (q_c)
3. การแผ่รังสีความร้อนของสารละลาย (q_r)
4. ความร้อนสูญเสียทางด้านนอกของเครื่องกลั่น (q_s)
5. ความร้อนที่ถูกนำออกไปโดยน้ำหล่อเย็น (q_w)
6. การแผ่รังสีความร้อนของผิวควบแน่นออกสู่สิ่งแวดล้อม (q_{rc})
7. ความร้อนที่สูญเสียออกทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น (q_{sc})

โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปหาค่าพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการกลั่นต่อไป ตลอดจนวิธีดำเนินการวิจัยที่ได้นำเสนอมาตามลำดับนี้ จะถูกใช้เพื่อดำเนินงานวิจัย เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำไปสู่การนำเสนอผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผลในบทต่อไป ว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้ผลตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ตั้งไว้หรือไม่

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

เมื่อได้ดำเนินการวิจัยตามวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย รวมถึงได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นำมาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แล้ว จึงได้เรียบเรียงนำเสนอเป็นผลการวิจัยดังที่จะได้แสดงต่อไปนี้ โดยผลการวิจัยที่จะนำเสนอในบทที่ 4 นี้ จะนำเสนอเป็นลำดับและสอดคล้องกับขั้นตอนการวิจัยที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสร้างเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance

ดังที่ได้นำเสนอไว้ในขั้นตอนการวิจัยแล้วว่า ขั้นตอนวิจัยเริ่มต้นจากการพัฒนาสมการเพื่อทำนายอัตราการกลั่นเอทานอล ซึ่งการที่จะพัฒนาสมการขึ้นมาได้ จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองกลั่นเอทานอลจริงเพื่อนำไปพัฒนาสมการดังกล่าวขึ้นมา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างเครื่องมือเพื่อทดสอบหาค่า Mass Transfer Conductance ขึ้นมาเป็นลำดับแรก ซึ่งเครื่องมือทดสอบที่ได้สร้างและพัฒนาขึ้นมา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance มีลักษณะเป็นเครื่องกลั่นเอทานอลแบบถาดชนิดผิวควบแน่นเชิงด้านเดียว โดยถาดรับเอทานอลทำจากทองแดงเนื่องจากต้องการให้เอทานอลได้รับพลังงานความร้อนจากไอเสียให้ได้มากที่สุด ถาดมีความกว้างเท่ากับ 40 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 50 เซนติเมตร ความหนาของถาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร เนื่องจากถ้าทองแดงที่ใช้ทำถาดมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตรจะทำให้เกิดรอยแตกในขณะที่ขึ้นรูป จึงเลือกใช้ความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร มีพื้นที่ถาดเท่ากับ 2000 ตารางเซนติเมตร ได้ถาดเป็นพื้นที่ให้ความร้อนซึ่งออกแบบให้มีลักษณะคล้ายหม้อพักไอเสียในรถยนต์นั่นคือมีลักษณะเป็นกล่องและให้ไอเสียไหลวนเวียนอยู่ภายในเพื่อเป็นการทำให้ไอเสียสามารถส่งผ่านพลังงานความร้อนได้ดีที่สุด โดยพื้นที่ให้ความร้อนนี้ทำจากอลูมิเนียมมีความหนา 3 มิลลิเมตรและอยู่ชิดกับถาดรับเอทานอล ทางเข้าและทางออกของไอเสียมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

เครื่องมือทดสอบมีความสูงเฉลี่ยระหว่างผิวระเหยและผิวควบแน่นเท่ากับ 13 เซนติเมตร วัดจากผิวบนสุดของเอทานอลในถาดถึงผิวควบแน่น โดยในระหว่างการทดสอบ จะบรรจุเอทานอลประมาณ 4 ลิตรผิวควบแน่นทำจากกระจกมีความหนา 5 มิลลิเมตร มีความเอียง 5 องศา โดยด้านบน

ผิวควบแน่นออกแบบให้มีการระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น เพื่อทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิที่ผิวควบแน่นให้ได้ตามที่ต้องการ ในการดำเนินการวิจัย น้ำหล่อเย็นนำมาจากน้ำประปาที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องและหลังจากหล่อเย็นแล้วไม่นำกลับมาใช้ใหม่ ผิวควบแน่นด้านที่ต่ำที่สุดมีรางเพื่อรวมเอทานอลที่กลั่นตัวแล้วนำออกมาสู่นอกเครื่องมือทดสอบ

ผิวด้านล่างและด้านข้างทั้งหมดของเครื่องมือทดสอบถูกบุด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาเท่ากับ 30 มิลลิเมตรและผิวชั้นนอกสุดของเครื่องมือทดสอบถูกปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตรอีกชั้นหนึ่ง

เครื่องมือทดสอบถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ผ่านได้เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ในขณะทดลอง โดยมีจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด 8 จุดด้วยกัน ดังนี้

1. ทางเข้าของไอเสียที่เข้าสู่เครื่องมือทดสอบ
2. ทางออกของไอเสียที่ออกจากเครื่องมือทดสอบ
3. ด้านข้างของเครื่องมือทดสอบจำนวน 3 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิของผิวระเหย
4. ด้านบนของเครื่องมือทดสอบจำนวน 2 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิของผิวควบแน่น
5. ทางออกของน้ำหล่อเย็น

โดยจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่โครงสร้างของเครื่องมือทดสอบนั้น ออกแบบให้มี O-ring รองรับทุกจุด เพื่อป้องกันความร้อน เอทานอล หรือ น้ำหล่อเย็นเล็ดรอดออกมาจากจุดติดตั้งได้

ภาพของเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้น สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.1-4.4



รูปที่ 4.1 เครื่องมือทดสอบหาค่า Mass Transfer Conductance



รูปที่ 4.2 ผิวควบคุมแน่นและระบบหล่อเย็น



รูปที่ 4.3 ถาดรองรับเอทานอล



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิ

4.2 ผลการหาค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้

โดยทั่วไป กระบวนการกลั่นเอทานอลจะเริ่มต้นกระบวนการโดยใช้เอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 10% โดยปริมาตร และกลั่นซ้ำจนได้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร จึงเปลี่ยนไปใช้กระบวนการอื่นเพื่อให้เอทานอลมีความเข้มข้นสูงถึง 99.5% โดยปริมาตรต่อไป

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 10% โดยปริมาตรเพื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการกลั่น โดยในขั้นแรกจะกลั่นโดยใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance และใช้อุณหภูมิในการกลั่นเท่ากับ 78.5 องศาเซลเซียส หลังจากกลั่นเสร็จแล้วจะนำมาหาค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้โดยใช้ Alcoholmeter เพื่อตรวจสอบความเข้มข้นโดยปริมาตร โดยในการหาค่าความเข้มข้นของเอทานอล ต้องรักษาอุณหภูมิของสารละลายที่ระดับ 20 องศาเซลเซียสตลอดเวลา

หลังจากทราบความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้แล้ว ในการกลั่นครั้งต่อไป จะใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเท่ากับความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลที่กลั่นแล้วก่อนหน้า ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยต่อไป ซึ่งข้อมูลในส่วนของความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้จะแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากการกลั่น

ครั้งที่	ความเข้มข้นเริ่มต้น หน่วย : ร้อยละโดยปริมาตร	ความเข้มข้นสุดท้าย หน่วย : ร้อยละโดยปริมาตร
1	10	40
2	40	80
3	80	90
4	90	93
5	93	95

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ในกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์นี้ จะต้องใช้การกลั่นทั้งสิ้นจำนวน 5 ครั้ง ถึงจะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้ จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้แสงอาทิตย์พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลประมาณ 10% โดย

ปริมาณกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้แสงอาทิตย์จะสามารถกลั่นได้ความเข้มข้นตั้งแต่ 14.3% โดยปริมาตรถึง 40% โดยปริมาตร แต่โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้แสงอาทิตย์ จะมีความเข้มข้นที่กลั่นได้โดยเฉลี่ยประมาณ 25% โดยปริมาตร สาเหตุที่ความเข้มข้นของเอทานอล ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์มีสาเหตุมาจากการที่สามารถใช้อุณหภูมิในการกลั่นได้สูงจนถึงจุดเดือดของเอทานอล นั่นคือประมาณ 78.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่การกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในด้านการเพิ่ม อุณหภูมิของสารละลายเอทานอล โดยอุณหภูมิที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ได้จาก แสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งโดยปกติจะไม่สามารถทำให้สารละลายเอทานอลมีอุณหภูมิสูงจนถึง จุดเดือดได้

ในกรณีที่อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นแต่มีค่าไม่สูงจนถึงจุดเดือดของเอทานอลนั้น สารละลายบางส่วนจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ อากาศที่อยู่ภายในเครื่องกลั่นด้านล่างจะ ได้รับความร้อนและลอยตัวสูงขึ้นพร้อมกับการพาไอของเอทานอลและน้ำขึ้นไปควบแน่นด้านบน ด้วย และอากาศด้านบนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าก็จะเคลื่อนที่ลงด้านล่างและจะวนเวียนเช่นนี้ตลอดการ กลั่น แต่เนื่องจากเอทานอลมีน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่าน้ำ ดังนั้น เอทานอลจึงเคลื่อนที่ขึ้นไป ด้านบนช้ากว่าน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้มีค่าไม่สูงมาก ลักษณะเช่นนี้จะตรงกับ กรณีของการกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์

แต่ในกรณีของการกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์นี้ สามารถเพิ่มอุณหภูมิ ได้สูงจนถึงจุดเดือดของเอทานอล ดังนั้น สารละลายที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จะประกอบไปด้วยเอทานอลเป็นส่วนมาก จึงทำให้ปริมาณของเอทานอลที่เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนมีค่า สูงกว่าในกรณีของการกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ความเข้มข้นที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่า อย่างเห็นได้ชัด

4.3 ผลการพัฒนาสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ว่าการพัฒนาสมการเพื่อนำไปทำนายอัตราการกลั่น เอทานอลมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ เพราะวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ประการหนึ่งคือการ หาค่าอัตราการกลั่นเอทานอลให้ได้ว่าเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์นี้ มี ความสามารถในการทำงานหรือสามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณเท่าใด เมื่อทราบอัตราการ กลั่นแล้วจึงสามารถนำไปออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีขนาดตามต้องการได้

สมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นในงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่พัฒนามาจาก Modified Reynolds Flow Model โดยมีรูปแบบของสมการตามสมการ (2.6) ซึ่งสามารถหาอัตราการกลั่นได้ จากการทำนายค่าตัวแปรที่สำคัญ 2 ประการด้วยกัน คือ Driving Force และค่า Mass Transfer

Conductance สำหรับค่า Driving Force นั้น เมื่อทราบค่าความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลที่กลั่นได้จะสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.4)

แต่สำหรับค่า Mass Transfer Conductance นั้น เนื่องจากรูปแบบสมการเพื่อหาค่าดังกล่าว สำหรับในกรณีของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์นี้ยังไม่มีการพัฒนาขึ้นมา จึงทราบแต่เพียงความสัมพันธ์ตามสมการ (3.8) เท่านั้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงต้องพัฒนาสมการขึ้นมาเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance สำหรับในกรณีของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ อันจะนำไปสู่การหาค่าอัตราการกลั่นได้ต่อไป

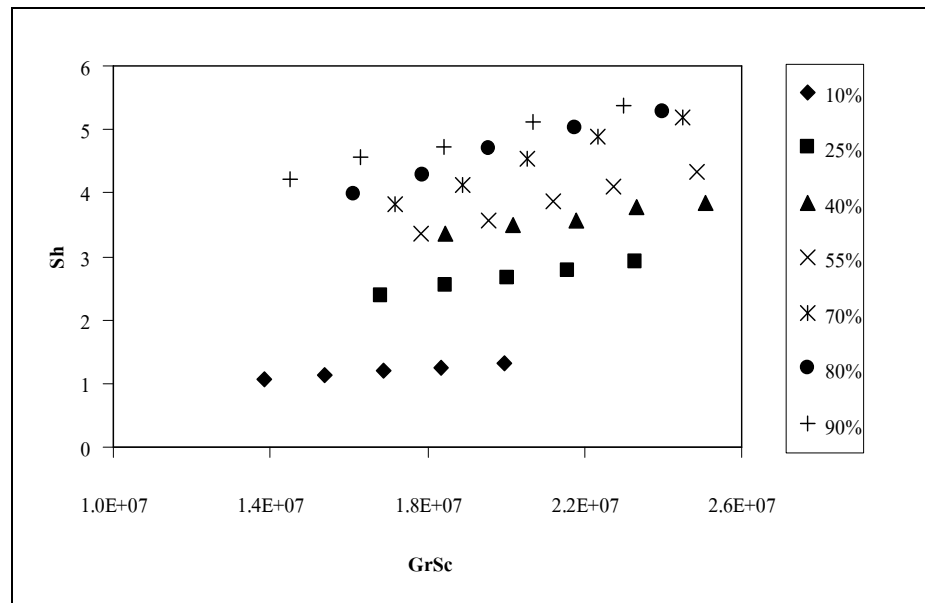
ในการพัฒนาสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance นั้น จะใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้สร้างขึ้นมาเป็นหลักในการหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ โดยในการทดลองจะต่อเข้ากับท่อไอเสียของเครื่องยนต์ต้นกำลัง และใช้น้ำหล่อเย็นจากแหล่งน้ำภายนอกเครื่องโดยไม่มีการนำน้ำหล่อเย็นมาหมุนเวียนใช้งานอีก

สำหรับข้อมูลที่ต้องการในการนำมาพัฒนาสมการนั้น เมื่อพิจารณาจากสมการ (3.4) แล้ว จะประกอบไปด้วย Sherwood Number, Grashof Number, Schmidt Number และ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลที่นำมากลั่น ในส่วนของ Grashof Number และ Schmidt Number นั้น เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองนี้แล้ว พบว่าต้องทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่นซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จึงจะได้ข้อมูลของตัวแปรดังกล่าวได้

ส่วน Sherwood Number นั้น เมื่อพิจารณาจากสมการ (3.7) แล้ว พบว่าข้อมูลที่สำคัญคือค่า Mass Transfer Conductance ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลองโดยทำการดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลของอัตราการกลั่นที่ได้และค่า Driving Force และนำมาคำนวณตามสมการ (3.11) ดังนั้นวิธีการทดลองและเก็บข้อมูลจึงสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

ดำเนินการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance โดยเริ่มต้นจากการใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10% โดยปริมาตร และรักษาอุณหภูมิผิวระเหยไว้ที่ 78.5 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิผิวควบแน่นจะใช้ที่ 32, 36, 40, 44 และ 48 องศาเซลเซียสตามลำดับทำการทดลองซ้ำประมาณ 3 ครั้งเพื่อใช้ยืนยันความถูกต้อง เก็บรวบรวมข้อมูลในเรื่องของอัตราการกลั่น, ความเข้มข้นเริ่มต้นและสุดท้ายของเอทานอล และอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่น โดยทำการทดลองจะมีการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเป็น 25%, 40%, 55%, 70%, 80% และ 90% โดยปริมาตรตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก.

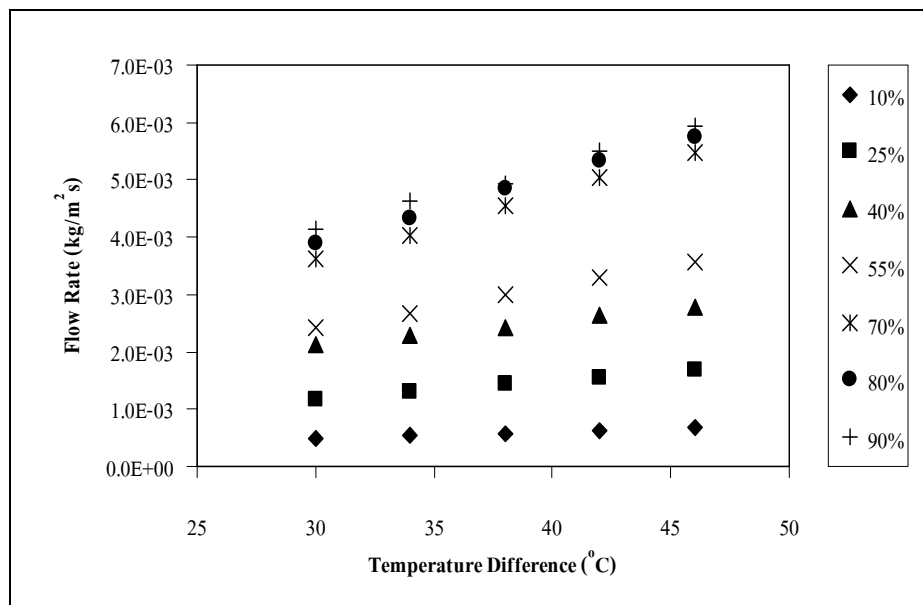
เมื่อได้ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว จึงนำมาสร้างความสัมพันธ์ตามสมการ (3.8) โดยการนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟระหว่างค่า Sh (Sherwood Number), ค่า $GrSc$ (Grashof และ Schmidt Number) โดยเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่าง ๆ ซึ่งผลของการทดลองได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ดังที่แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh และ $GrSc$ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.5 แล้วจะพบว่า ยิ่งความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลสูงขึ้น จะทำให้ค่า Sherwood Number มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการกลั่นเอทานอลที่ได้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลนั้นส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของ Sherwood Number ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการ (3.8)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างผิวระเหยและผิวควบแน่น ก็ส่งผลต่อความสัมพันธ์ตามสมการ (3.8) เช่นเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า Sherwood Number ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถนำมาสร้างเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ $GrSc$ และ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลได้ แต่จากการทดลองนั้น พบว่าถ้านำความสัมพันธ์นี้มาสร้างสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance โดยตรงนั้น ผลที่ได้จะยังไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากอัตราการกลั่นที่ได้เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล มีค่าที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่ไม่เท่ากันซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการกลั่นดังกล่าวจะนำเสนอในรูปที่ 4.6

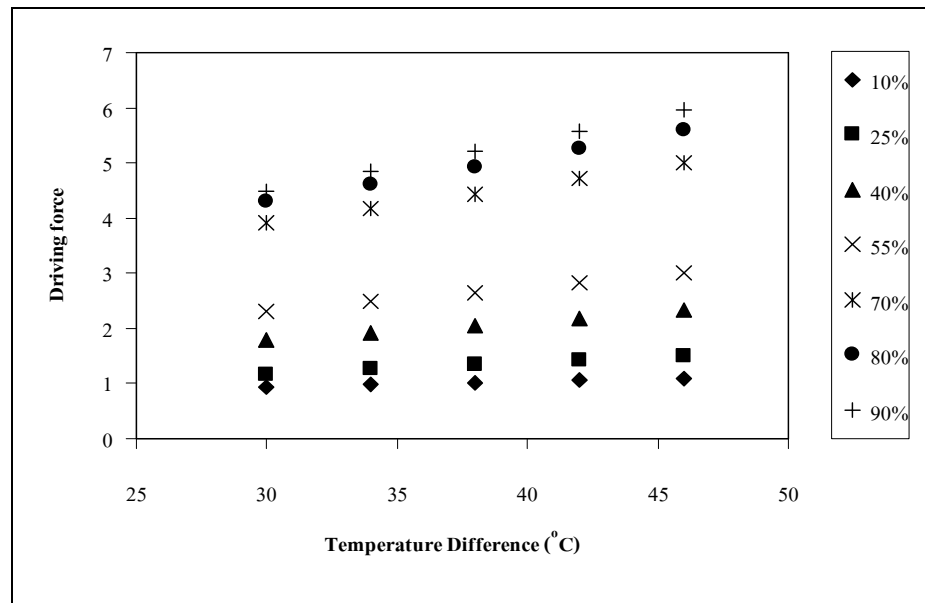


รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการกลั่นจากการทดลอง

จากรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่น กับอัตราการกลั่นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่าอัตราการกลั่นจะแบ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ช่วงแรกที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลในช่วง 10% ถึง 55% โดยปริมาตร อัตราการกลั่นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนในช่วงที่สอง คือในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 70% โดยปริมาตรจนถึง 90% โดยปริมาตร อัตราการกลั่นมีค่าสูงแต่มีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกันมาก

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในขณะที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลยังไม่มากนัก ปริมาณเอทานอลที่มีอยู่ในสารละลายยังมีน้อย เมื่อเอทานอลเดือดและกลายเป็นไอจึงมีปริมาณน้อยตามไปด้วย ทำให้อัตราการกลั่นที่ได้มีค่าไม่สูงนัก และจะเพิ่มอัตราการกลั่นขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงประมาณ 70% โดยปริมาตรขึ้นไป ความเข้มข้นของเอทานอลในสภาวะของเหลวและในสภาวะไอมีความแตกต่างกันน้อย จึงทำให้การเพิ่มขึ้นของอัตราการกลั่น ไม่มากนักเมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่ำกว่า

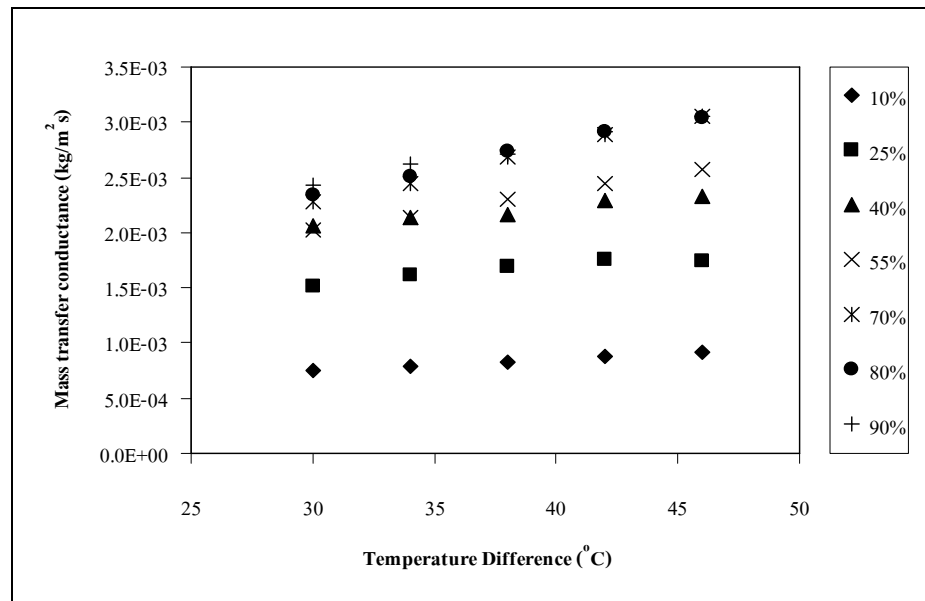
รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่า Driving Force เมื่อเปรียบเทียบกับผลต่างของอุณหภูมิในขณะกลั่น



รูปที่ 4.7 แสดงค่า Driving Force จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของ Driving Force นั้น จะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการกลั่น กล่าวคือ ในช่วงที่ Driving Force มีการเปลี่ยนแปลงมาก อัตราการกลั่นก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาจากสมการ (2.6) แล้ว จะพบว่า อัตราการกลั่นจะขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัวด้วยกัน คือ ค่า Driving Force และค่า Mass Transfer Conductance สำหรับค่า Driving Force นั้นจะมีความสัมพันธ์ดังที่ได้นำเสนอไปแล้ว ส่วนค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้จากการทดลองนั้น จะมีความสัมพันธ์ดังที่แสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า Mass Transfer Conductance นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับอัตราการกลั่นและค่า Driving Force คือจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลและเมื่อความเข้มข้นสูงการเปลี่ยนแปลงจะน้อยลง



รูปที่ 4.8 แสดงค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้จากการทดลอง

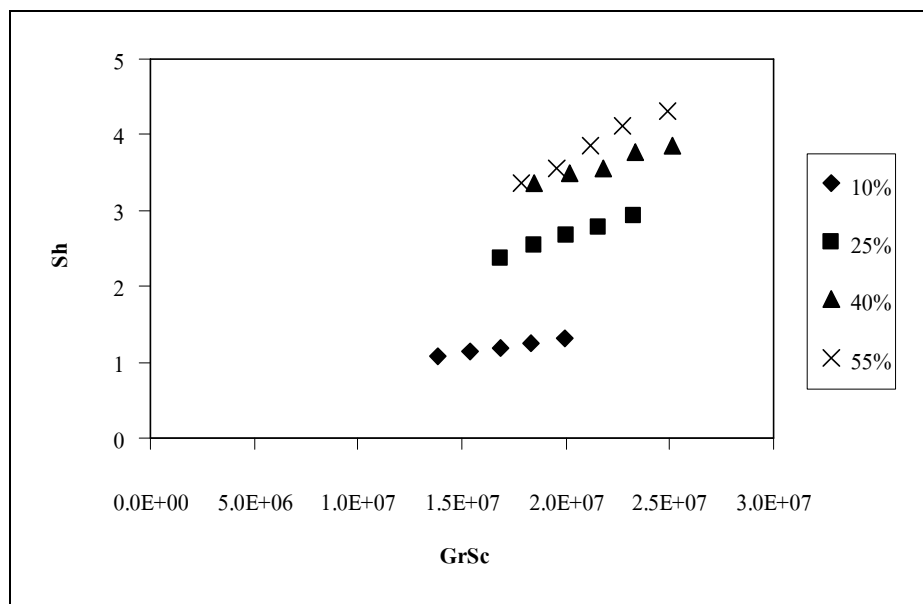
จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ จะพบว่าการสร้างสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance นั้น ไม่สามารถสร้างจากความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ GrSc และความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลทั้งหมดได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการกลั่นหรือ Driving Force นั้นมีค่าไม่คงที่ตลอดความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล ซึ่งจะส่งผลให้ค่า Mass Transfer Conductance มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ตามไปด้วย หากจะสร้างความสัมพันธ์โดยใช้ข้อมูลดังกล่าว ผลที่ได้จะมีค่าไม่ถูกต้องตลอดช่วงของความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล

แต่ผลจากการทดลองที่ได้นั้น แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จะแบ่งเป็น 2 ช่วง นั่นคือ ช่วงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 10% จนถึง 55% โดยปริมาตร ค่า Mass Transfer Conductance จะมีค่าเพิ่มขึ้นและค่อย ๆ ลดลง ส่วนในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 70% โดยปริมาตรขึ้นไปนั้น ค่า Mass Transfer Conductance จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการสร้างสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ในงานวิจัยนี้ จึงแบ่งสมการออกเป็น 2 ช่วงด้วยกัน กล่าวคือ ช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 10% ถึง 55% โดยปริมาตร และช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 70% ถึง 90% โดยปริมาตร ซึ่งผลการพัฒนาสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ที่แบ่งเป็น 2 ช่วงดังกล่าวนี้จะสอดคล้องกับผลของการหาค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้ในงานวิจัยนี้ดังที่ได้แสดงไว้แล้ว

4.4 สมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 10% ถึง 55% โดยปริมาตร

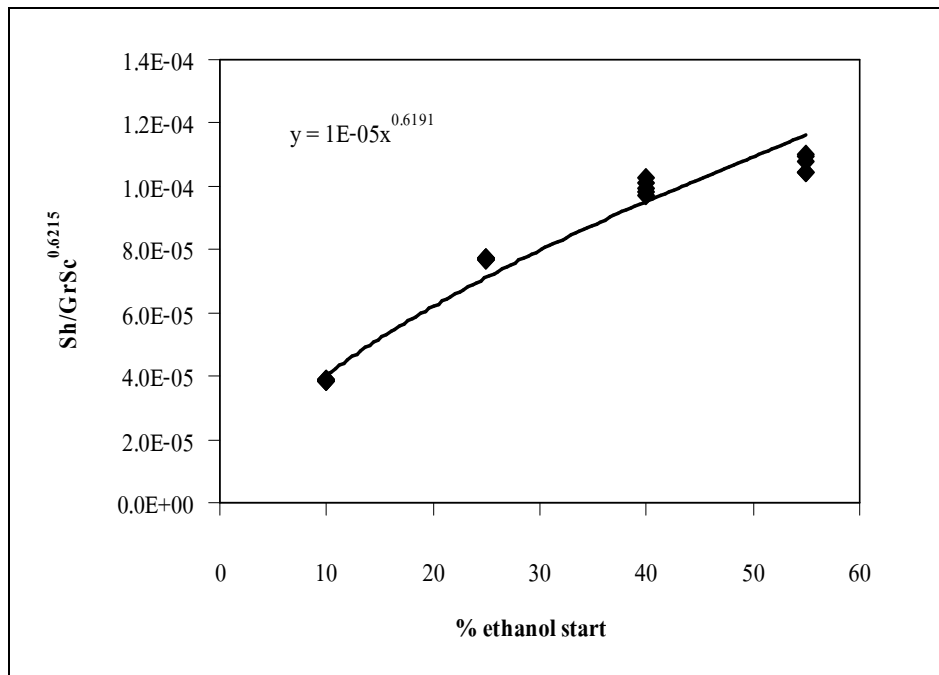
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลดังที่แสดงในรูปที่ 4.5 และผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า Mass Transfer Conductance ที่แบ่งเป็นช่วงใหญ่ ๆ ได้ 2 ช่วงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้การพัฒนาสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance จึงต้องแบ่งช่วงของการสร้างสมการออกเป็น 2 ช่วงเพื่อให้สอดคล้องกับค่า Mass Transfer Conductance และเพื่อผลการทำนายที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในช่วงแรก นี้จะใช้ข้อมูลการทดสอบในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเท่ากับ 10% โดยปริมาตรถึง 55% โดยปริมาตร และใช้ข้อมูลที่ได้นำเสนอมาแล้วดังรูปที่ 4.5 แต่จะใช้ข้อมูลที่จะนำมาสร้างสมการเฉพาะช่วงดังกล่าว ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้นี้จะแสดงในรูปที่ 4.9



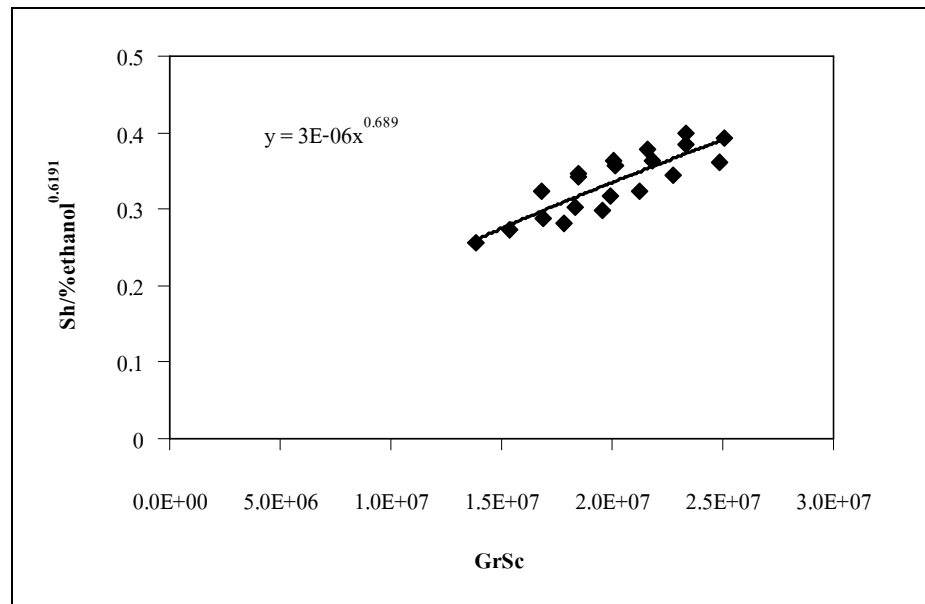
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ $GrSc$ ที่ความเข้มข้น 10% ถึง 55%

เนื่องจากค่า Sherwood Number มีความสัมพันธ์กับทั้ง $GrSc$ และ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล ดังนั้นการหาความสัมพันธ์เพื่อนำมาพัฒนาเป็นสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance นั้น จะเริ่มต้นจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า ($Sh/GrSc$) และความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง (Sh/GrSc) กับความเข้มข้น 10% ถึง 55%

เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่าง (Sh/GrSc) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลในช่วง 10% ถึง 55% โดยปริมาตรดังรูปที่ 4.10 แล้ว จึงนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ (0.6191) มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง (Sh/ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล) กับ GrSc เพื่อหาความสัมพันธ์และสร้างเป็นสมการ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง (Sh/ความเข้มข้น 10% ถึง 55%) กับค่า GrSc

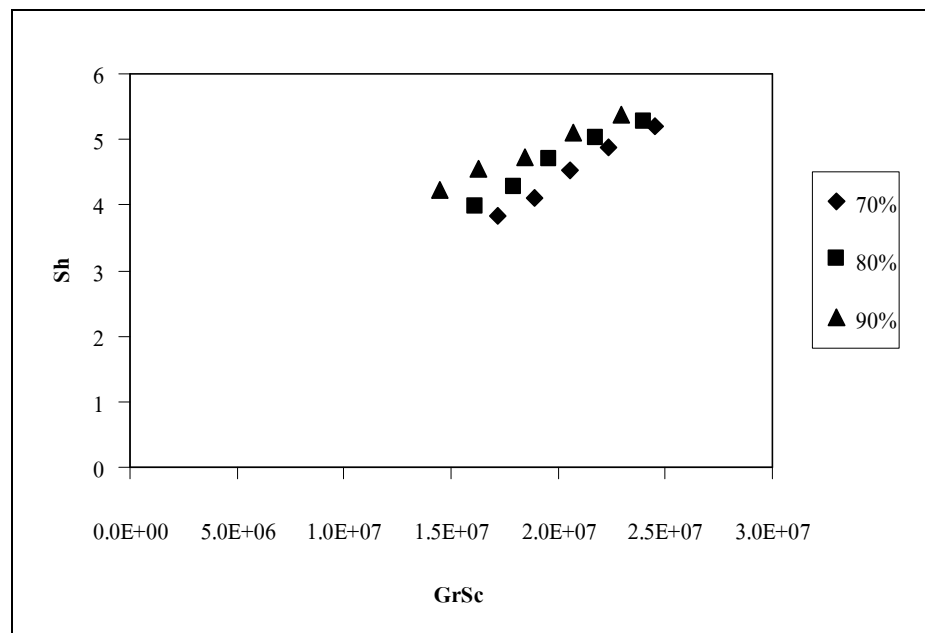
จากรูปที่ 4.11 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (Sh/ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล) กับค่า GrSc และเมื่อนำมาสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์จะได้เลขชี้กำลังเท่ากับ 0.689 และค่าคงที่เท่ากับ 3×10^{-6} ดังนั้นเมื่อรวมความสัมพันธ์จากรูปที่ 4.10 เข้าด้วยกัน จะได้สมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance สำหรับช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเท่ากับ 10% ถึง 55% โดยปริมาตรดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{g \cdot L}{\rho \cdot D_{am}} = 3 \times 10^{-6} ([Gr \cdot Sc]^{0.689} \cdot Ethanol_{st}^{0.6191}) \quad (4.1)$$

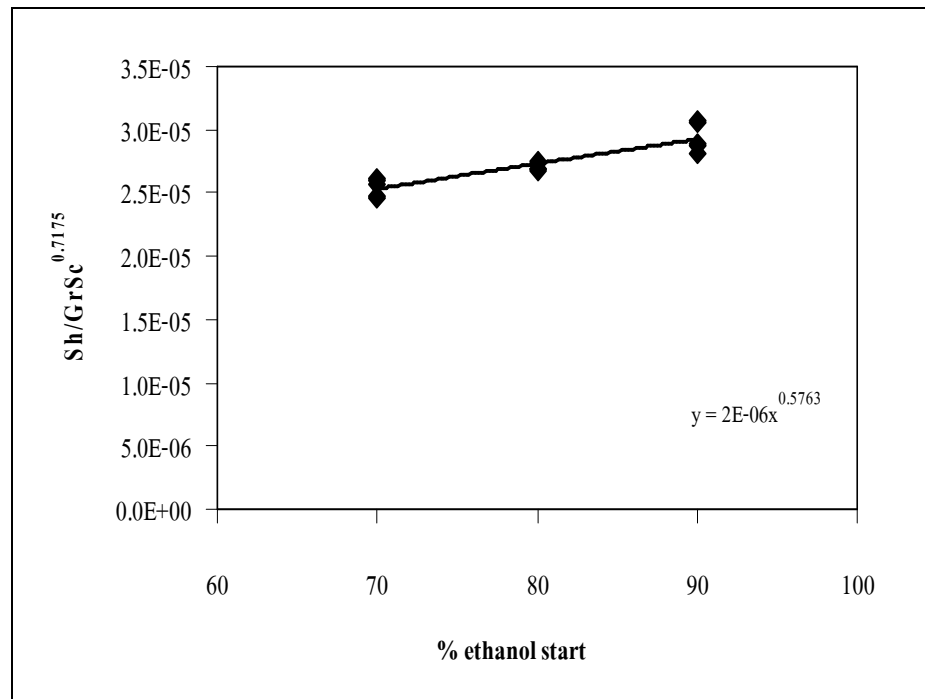
โดย $Ethanol_{st}$ หมายถึง ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล ซึ่งสมการ (4.1) เป็นสมการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้หาค่า Mass Transfer Conductance และนำไปทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลสำหรับเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ในช่วงความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 10% ถึง 55% โดยปริมาตร

4.5 สมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 70% ถึง 90% โดยปริมาตร

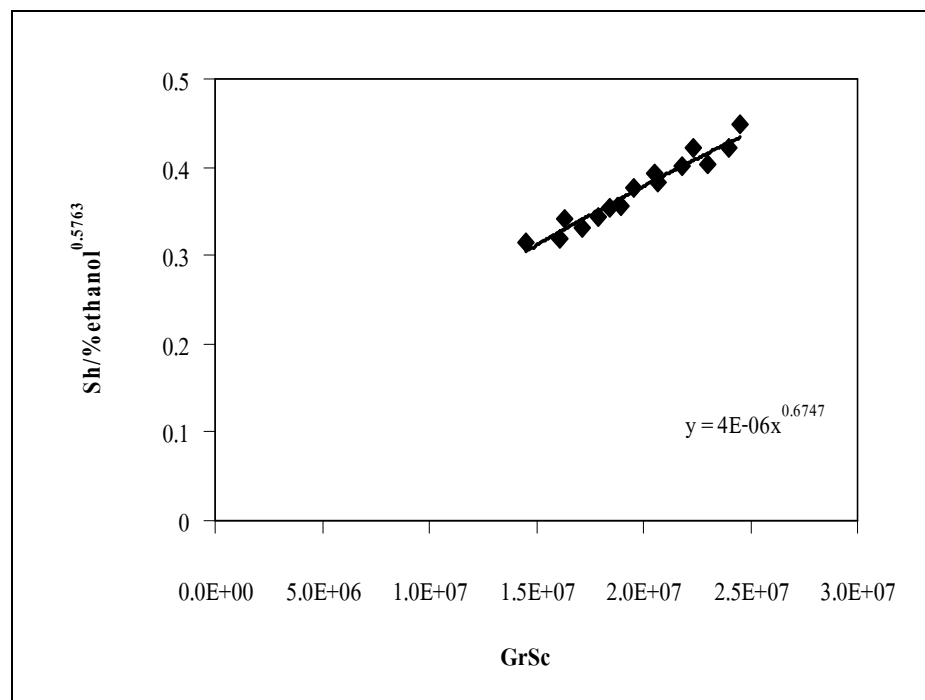
การพัฒนาสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance สำหรับช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเท่ากับ 70% ถึง 90% โดยปริมาตร ก็เช่นเดียวกับการพัฒนาสมการในช่วงที่ผ่านมาแล้ว ในสมการ (4.1) กล่าวคือ จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 70% ถึง 90% โดยปริมาตรมาหาความสัมพันธ์ โดยขั้นตอนและวิธีการจะเป็นเช่นเดียวกับในช่วงที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 4.12-4.14



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ $GrSc$ ที่ความเข้มข้น 70% ถึง 90%



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง (Sh/GrSc) กับความเข้มข้น 70% ถึง 90%



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง (Sh/ความเข้มข้น 70% ถึง 90%) กับค่า GrSc

และเมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวทั้งหมดมารวมเข้าด้วยกัน จะได้สมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance สำหรับช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเท่ากับ 70% ถึง 90% โดยปริมาตรดังต่อไปนี้

$$\frac{g \cdot L}{\rho \cdot D_{am}} = 4 \times 10^{-6} ([Gr \cdot Sc]^{0.6747} \cdot Ethanol_{st}^{0.5763}) \quad (4.2)$$

ซึ่งสมการ (4.2) เป็นสมการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้หาค่า Mass Transfer Conductance และนำไปทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลสำหรับเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ในช่วงความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 70% ถึง 90% โดยปริมาตร

โดยในงานวิจัยนี้จะได้นำสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ทั้งสองสมการนี้ไปใช้ทำนายอัตราการกลั่นที่กลั่นได้โดยเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบและจะได้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายกับผลที่ได้จากการทดลองต่อไป

4.6 ผลการสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

เมื่อได้พัฒนาสมการเพื่อทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลดังที่ได้นำเสนอไปแล้ว จึงนำผลการพัฒนาสมการที่ได้มาออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบต่อไป โดยวัตถุประสงค์ของการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบประการหนึ่งคือเพื่อพิสูจน์ผลการพัฒนาสมการทำนายอัตราการกลั่นว่าสามารถทำนายอัตราการกลั่นได้ถูกต้องเพียงใด และวัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งคือเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเครื่องกลั่นเอทานอลไปใช้งานในรถยนต์จริง โดยการออกแบบให้เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมีขนาดเล็กและนำไปติดตั้งในรถยนต์ได้ อนึ่ง ในการกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์นั้น จากผลการหาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลที่ได้นำเสนอไปแล้ว จะพบว่าต้องใช้กระบวนการกลั่นเอทานอล 5 ครั้ง ดังนั้น หากจะนำเครื่องกลั่นเอทานอลไปใช้งานจริงกับรถยนต์ได้ เครื่องกลั่นควรจะต้องเล็กกว่าพื้นที่ติดตั้งในรถยนต์อย่างน้อย 5 เท่า (เนื่องจากต้องใช้เครื่องกลั่น 5 เครื่อง)

เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมีลักษณะเป็นเครื่องกลั่นเอทานอลแบบภาชนะชนิดผิวควบแน่นเอียงด้านเดียวเช่นเดียวกับเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance แต่มีขนาดเล็กกว่า โดยภาชนะเอทานอลทำจากทองแดงเช่นเดียวกัน ภาชนะมีความกว้างเท่ากับ 13 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 17 เซนติเมตร ความหนาของภาชนะเท่ากับ 3 มิลลิเมตร มีพื้นที่ภาชนะเท่ากับ 221 ตารางเซนติเมตร ได้ภาชนะเป็นพื้นที่ให้ความร้อนซึ่งออกแบบให้มีลักษณะคล้ายหม้อพักไอเสียในรถยนต์ นั่นคือมีลักษณะเป็นกล่องและให้ไอเสียไหลวนเวียนอยู่ภายในเพื่อเป็นการทำให้ไอเสียสามารถ

ส่งผ่านพลังงานความร้อนได้ดีที่สุด โดยพื้นที่ให้ความร้อนนี้ทำจากอลูมิเนียมมีความหนา 3 มิลลิเมตรและอยู่ชิดกับถาดรับเอทานอล ทางเข้าและทางออกของไอเสียมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25 มิลลิเมตร

เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมีความสูงเฉลี่ยระหว่างผิวระเหยและผิวควบแน่นเท่ากับ 7 เซนติเมตร วัดจากผิวบนสุดของเอทานอลในถาดถึงผิวควบแน่นโดยในระหว่างการทดสอบ จะบรรจุเอทานอลประมาณ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ผิวควบแน่นทำจากกระจกมีความหนา 5 มิลลิเมตร มีความเอียง 14 องศาซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่า เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance เนื่องจากต้องการให้อเอทานอลที่กลั่นได้ ไหลออกมาจากเครื่องได้มากที่สุด ด้านบนผิวควบแน่นมีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น เพื่อทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิที่ผิวควบแน่นให้ได้ตามที่ต้องการ ในการดำเนินการวิจัย น้ำหล่อเย็น นำมาจากน้ำประปาที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องและหลังจากหล่อเย็นแล้วไม่นำกลับมาใช้ใหม่ ผิวควบแน่นด้านที่ต่ำที่สุดมีรางเพื่อรวมเอทานอลที่กลั่นตัวแล้วนำออกมาสู่นอกเครื่องมือทดสอบ

ผิวด้านล่างและด้านข้างทั้งหมดของเครื่องมือทดสอบถูกบุด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาเท่ากับ 30 มิลลิเมตรและผิวชั้นนอกสุดของเครื่องมือทดสอบถูกปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียม ความหนา 3 มิลลิเมตรอีกชั้นหนึ่ง

เนื่องจากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมีขนาดเล็กกว่าเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ค่อนข้างมาก จึงออกแบบให้สามารถสอดเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ผ่านได้เพื่อ วัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ในขณะทดลอง โดยมีจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด 5 จุดด้วยกัน ดังนี้

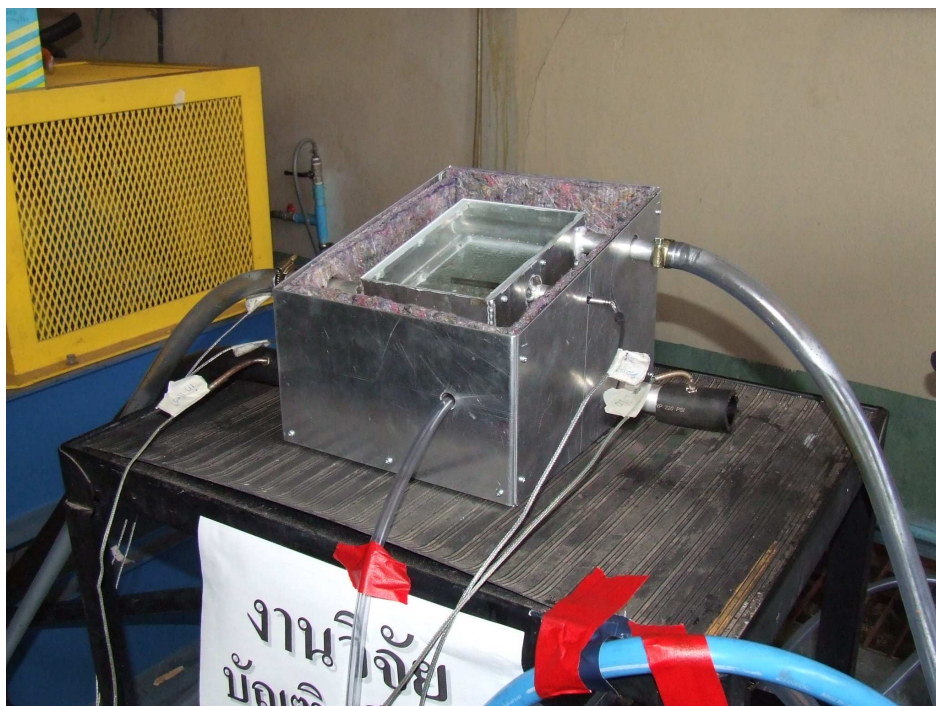
1. ทางเข้าของไอเสียที่เข้าสู่เครื่องมือทดสอบ
2. ทางออกของไอเสียที่ออกจากเครื่องมือทดสอบ
3. ด้านข้างของเครื่องมือทดสอบ เพื่อวัดอุณหภูมิของผิวระเหย
4. ด้านบนของเครื่องมือทดสอบ เพื่อวัดอุณหภูมิของผิวควบแน่น
5. ทางออกของน้ำหล่อเย็น

โดยจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่โครงสร้างของเครื่องมือทดสอบนั้น ออกแบบให้มี O-ring รองรับทุกจุด เพื่อป้องกันความร้อน เอทานอล หรือ น้ำหล่อเย็นเล็ดรอดออกมาจากจุดติดตั้งได้

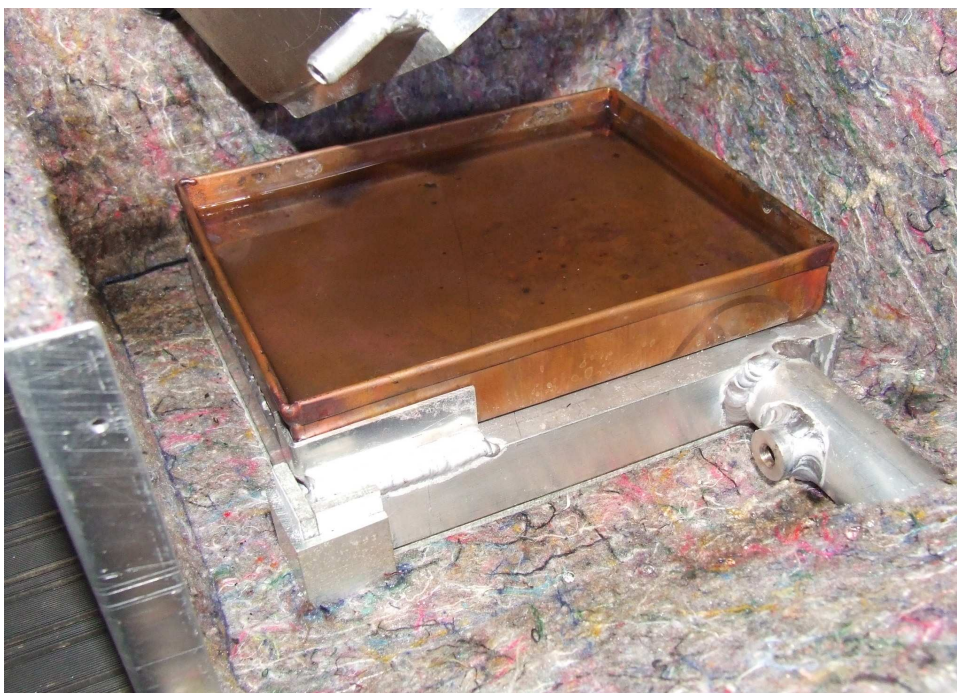
เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นมา มีจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งภาพของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้น สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.15-4.18



รูปที่ 4.15 เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ



รูปที่ 4.16 ระบบหล่อเย็นของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ



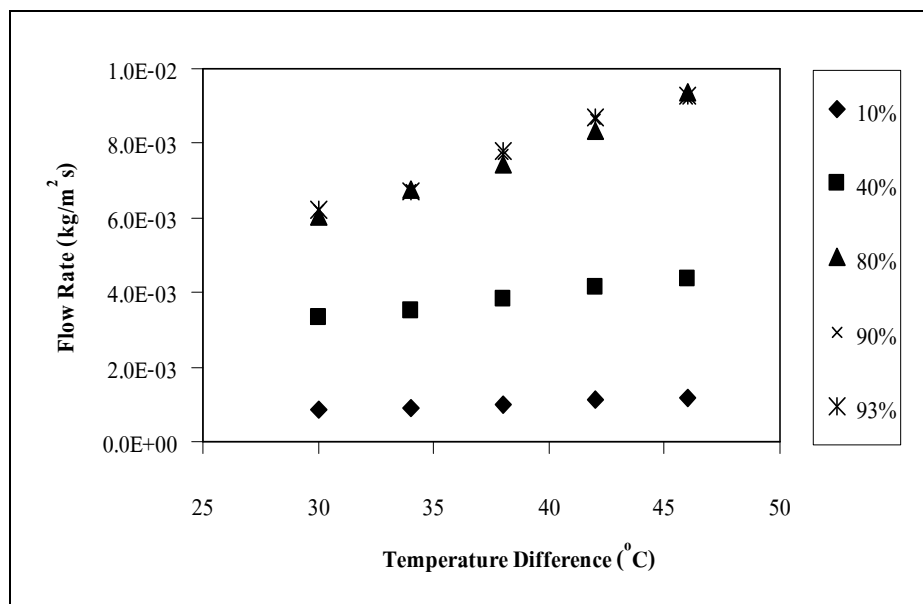
รูปที่ 4.17 ถาดรับเอทานอลของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ



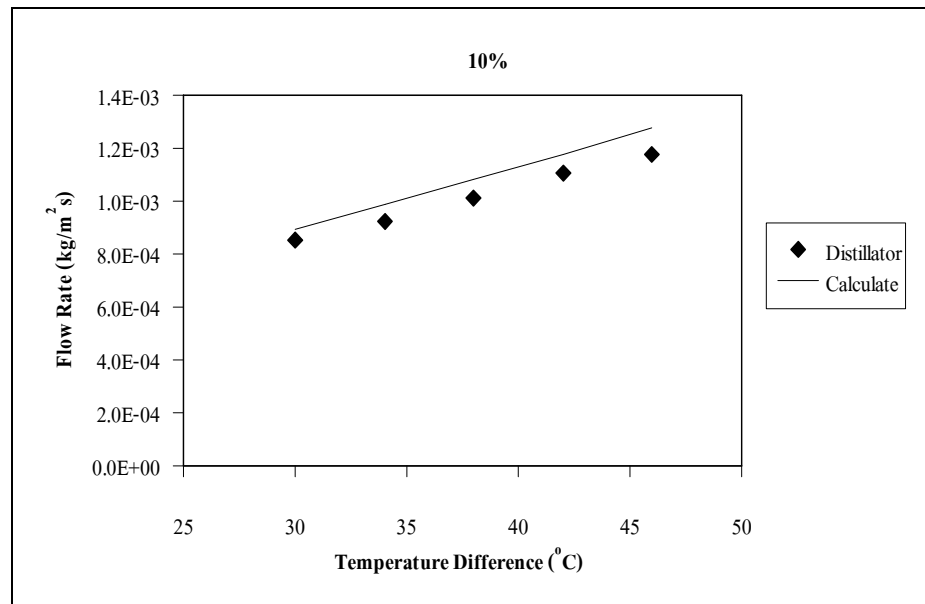
รูปที่ 4.18 โครงสร้างภายนอกและภายในของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

4.7 ผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลจากการทำนายอัตราการกลั่น

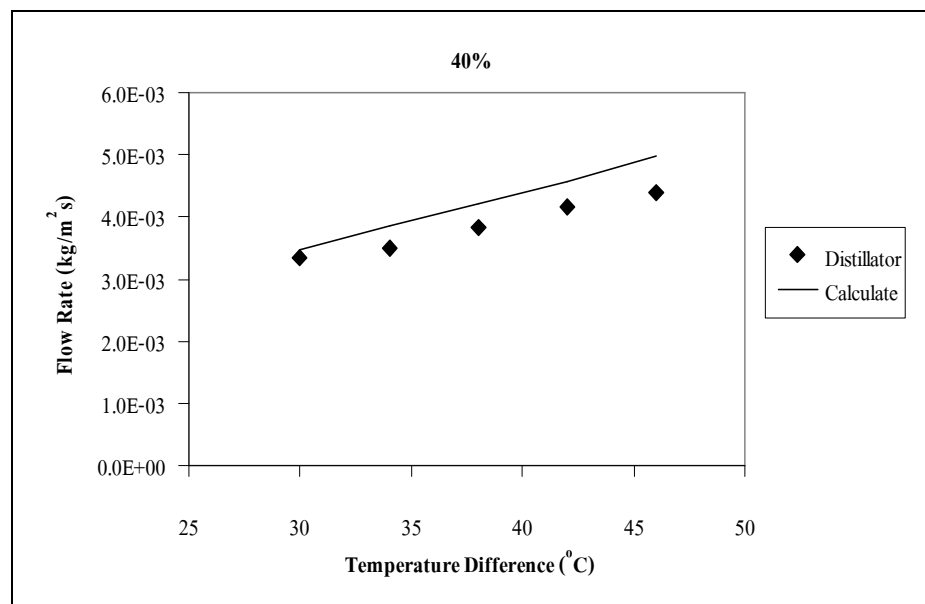
เมื่อได้ออกแบบ สร้างและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบเรียบร้อยแล้วจึงได้นำเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบมาดำเนินการทดสอบโดยทำการกลั่นเอทานอลด้วยความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10% โดยปริมาตร พบว่าความเข้มข้นสุดท้ายที่กลั่นได้เท่ากับ 40% โดยปริมาตร ซึ่งมีค่าเท่ากับผลการกลั่นโดยใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้นำเสนอไปแล้ว ดังนั้นในการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในด้านอัตราการกลั่น จึงได้ทำการกลั่นโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10%, 80%, 90% และ 93% โดยปริมาตร ตามลำดับ และในขณะที่ทำการทดลองจะให้เครื่องกลั่นทั้ง 3 เครื่องทำงานพร้อมกัน โดยแยกท่อไอเสียจากเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็น 3 ทางเพื่อจ่ายไอเสียให้กับเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบแต่ละเครื่อง สำหรับขั้นตอนการดำเนินการจะเป็นขั้นตอนเดียวกันกับการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ที่ได้นำเสนอไปแล้ว กล่าวคือ การทดลองแต่ละครั้งจะทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ผิวควบแน่น (32, 36, 40, 44 และ 48 องศาเซลเซียส) ส่วนผิวระเหยจะรักษาไว้ที่ 78.5 องศาเซลเซียส และทดลองซ้ำประมาณ 3 ครั้ง โดยผลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก ก และผลการทดลองนี้ได้นำเสนอในรูปกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.24 โดยจะนำเสนอเปรียบเทียบในด้านผลต่างของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น และนำเสนอประกอบไปกับค่าที่ได้จากการทำนายอัตราการกลั่น



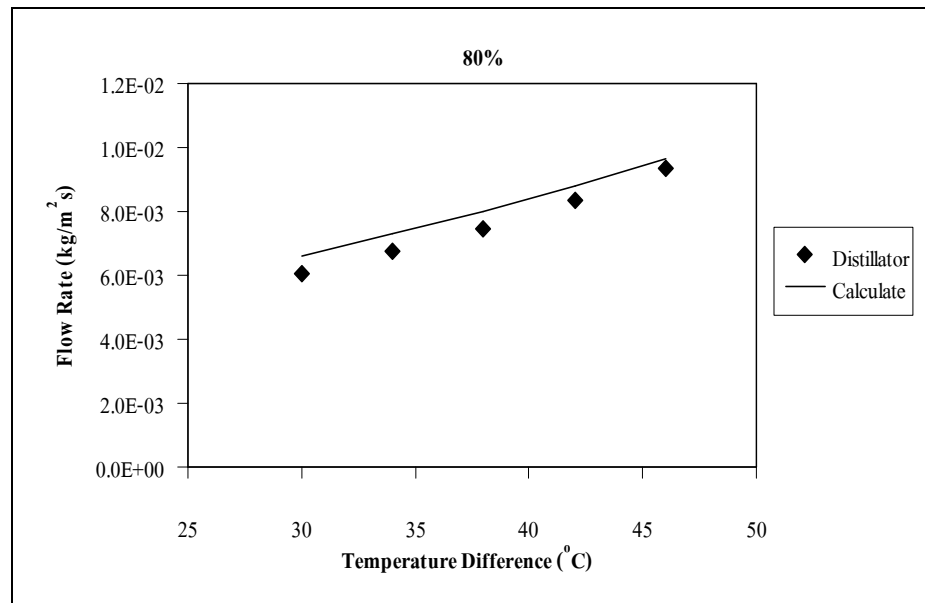
รูปที่ 4.19 ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น



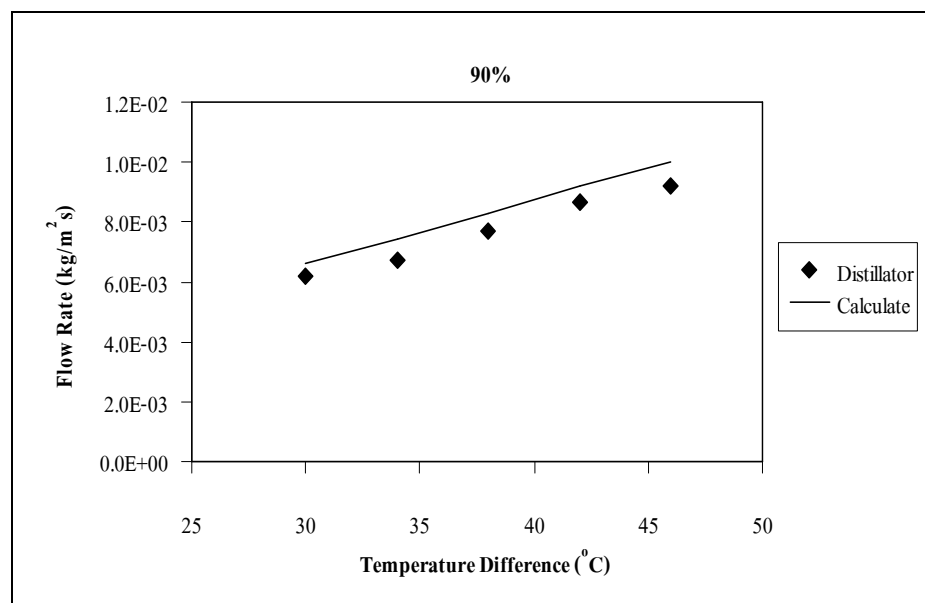
รูปที่ 4.20 ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 10%)



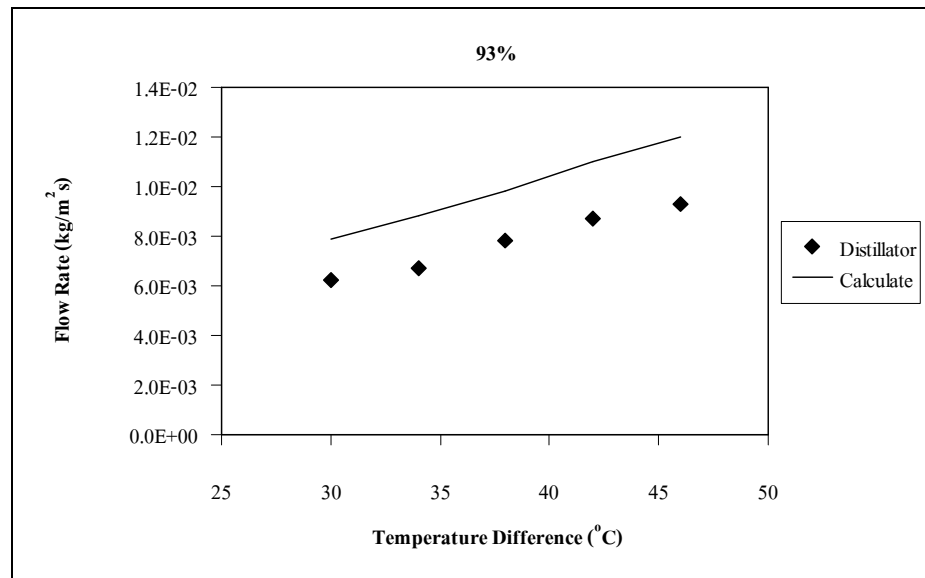
รูปที่ 4.21 ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 40%)



รูปที่ 4.22 ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 80%)



รูปที่ 4.23 ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 90%)



รูปที่ 4.24 ผลของผลต่างอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการกลั่น (ความเข้มข้นเริ่มต้น 93%)

รูปที่ 4.20-4.24 เป็นการเปรียบเทียบผลของผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่น ที่มีผลต่ออัตราการกลั่น โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการทดลองแสดงโดยจุดสี่เหลี่ยม และค่าที่ได้จากการทำนายอัตราการกลั่นโดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้นแสดงโดยเส้นทึบ โดยรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 คำนวณอัตราการกลั่นโดยใช้สมการ (4.1) ส่วนรูปที่ 4.22-4.24 คำนวณอัตราการกลั่นโดยใช้สมการ (4.2)

จากข้อมูลที่แสดง จะพบว่าอัตราการกลั่นจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่นประกอบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.06 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ถึง 33.4 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

จะเห็นว่าข้อมูลอัตราการกลั่นที่ได้จากการทดลองนี้ มีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการทำนายอัตราการกลั่นที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยผลที่ได้จากการคำนวณอัตราการกลั่นมีความผิดพลาดดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความผิดพลาดของผลที่ได้จากการคำนวณ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล หน่วย : ร้อยละโดยปริมาตร	ผลที่ได้จากการคำนวณมีความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ หน่วย : ร้อยละ
10	8.2
40	11.7
80	8.4
90	8
93	23.4

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่า การใช้สมการ (4.1) และ (4.2) ในการคำนวณอัตราการกลั่นเอทานอลในช่วงที่ถูกต้อนั้น มีความผิดพลาดจากผลการคำนวณอยู่เท่ากับ 8-11.7% ซึ่งถ้าพิจารณาจากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณนั้น พบว่า ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสิ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ประการหนึ่งเนื่องมาจากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีขนาดเล็ก และรวบรวมเอทานอลที่อยู่ภายในเครื่องกลั่นไม่สามารถส่งเอทานอลออกมาได้ทั้งหมด ทำให้ยังเหลือเอทานอลที่กลั่นได้บางส่วนตกค้างอยู่ในรวบรวมเอทานอล ส่งผลให้อัตราการกลั่นที่วัดจากปริมาณของเอทานอลที่ไหลออกมาด้านนอกเครื่องกลั่นมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง

ส่วนการกลั่นที่ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 93% โดยปริมาตรนั้น จะพบว่าความผิดพลาดจากการคำนวณมีค่าประมาณ 23.4% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการกลั่นที่ความเข้มข้นอื่นจะมีค่าความผิดพลาดสูงกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ประการที่หนึ่งมาจากสมการที่ใช้คำนวณอัตราการกลั่นตามสมการ (4.2) ได้พัฒนามาสำหรับช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 90% โดยปริมาตร ดังนั้น เมื่อนำมาคำนวณในช่วงที่เกินกว่า 90% โดยปริมาตรจึงเกิดความผิดพลาดขึ้นได้มาก สาเหตุอีกประการหนึ่งมาจากที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 93% โดยปริมาตรนี้ ความเข้มข้นของเอทานอลในสถานะของเหลวและในสถานะไอมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในการกลั่นจึงส่งผลให้อัตราการกลั่นลดลงอย่างมาก ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีความผิดพลาดสูงกว่าช่วงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่ำกว่า

จากผลการเปรียบเทียบที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการพัฒนาสมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องย่นนี้ สามารถนำมาใช้คำนวณอัตราการกลั่นเอทานอลได้เป็นอย่างดี โดยมีความผิดพลาดประมาณ 8-11% ทั้งนี้ในการนำสมการดังกล่าวไปใช้งานควรจะต้องใช้ให้ถูกต้องกับช่วงของความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลที่อ้างอิง และหากใช้กับเครื่องกลั่นเอทานอล

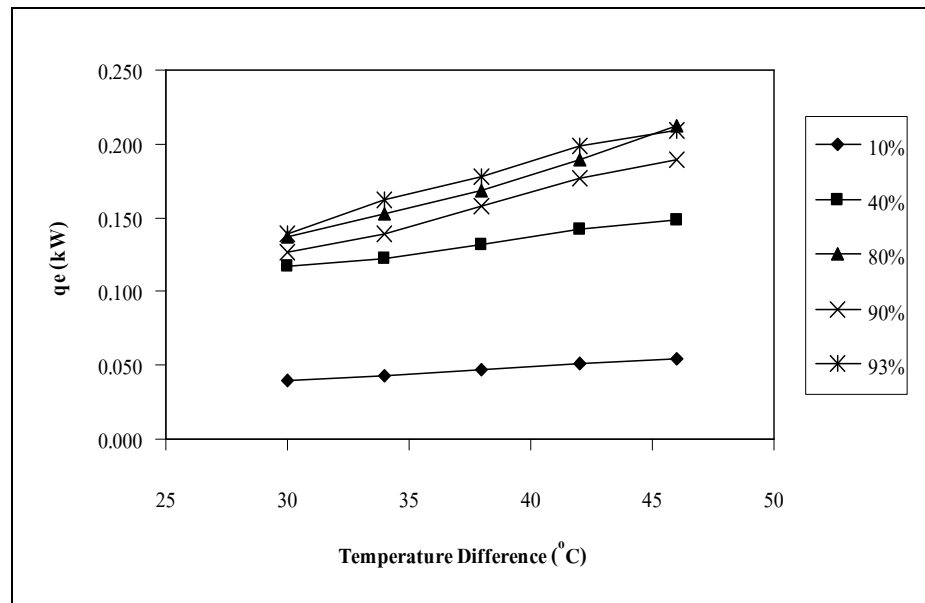
โดยใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น ควรตรวจสอบด้วยว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นมีค่าเท่ากับจุดเดือดของเอทานอลหรือไม่ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสมการดังกล่าวขึ้นมาบนพื้นฐานของเครื่องกลั่นเอทานอลที่มีอุณหภูมิในขณะกลั่นเท่ากับจุดเดือดของเอทานอล

4.8 ผลการศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น

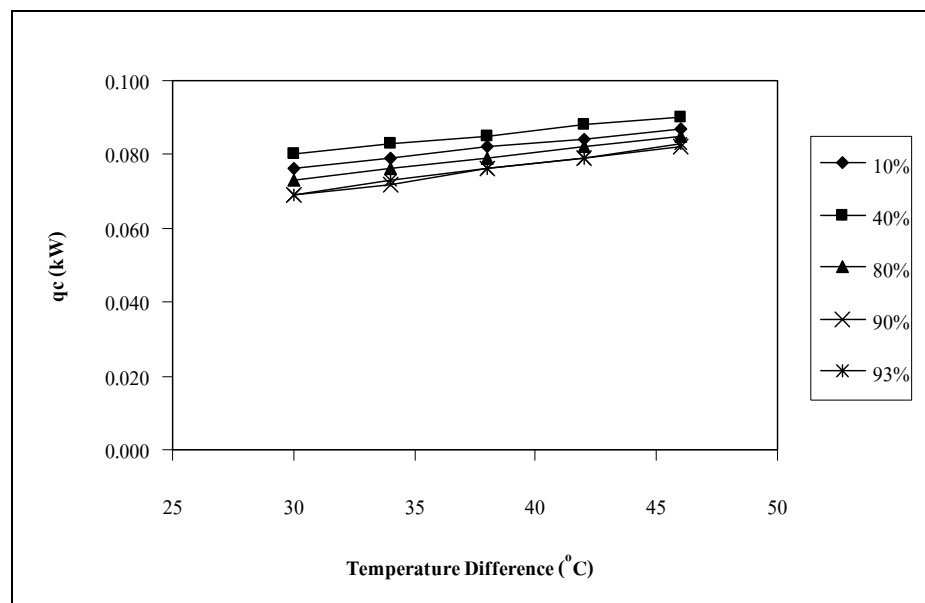
ในการศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นนั้น ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ สมดุลพลังงานที่สารละลายเพื่อศึกษาว่าในการกลั่นนั้นมีการใช้พลังงานความร้อนในส่วนใดบ้าง และสมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่น ซึ่งในการนำเสนอผลการศึกษานี้จะได้นำเสนอ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนดังกล่าว

4.8.1 สมดุลพลังงานที่สารละลาย

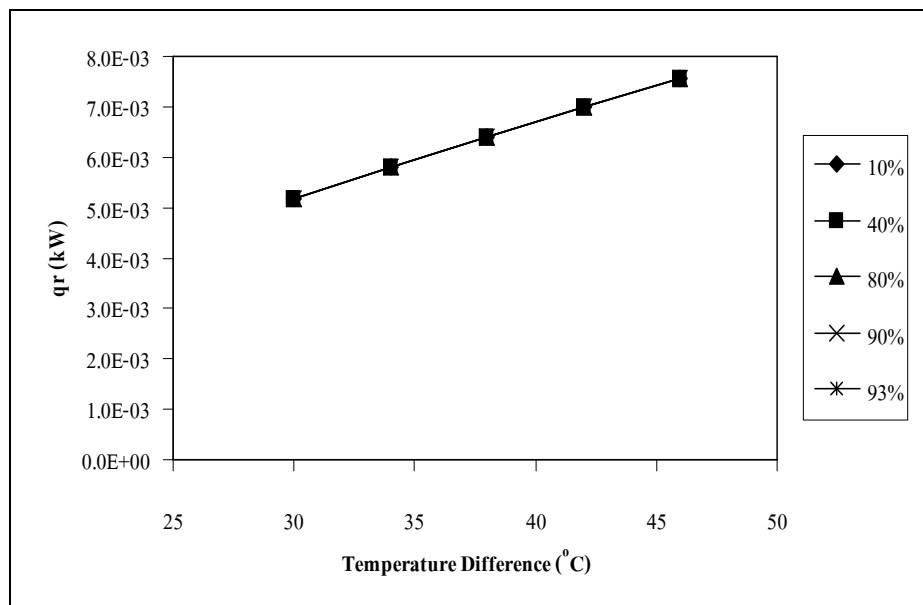
ตามที่ได้นำเสนอถึงขั้นตอนการวิจัยในส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในเครื่องกลั่นที่ผ่านมาแล้วว่า ที่สารละลายจะมีการใช้พลังงานความร้อนไปในรูปของการระเหยของสารละลายซึ่งประกอบด้วยเอทานอลและน้ำ, การพาความร้อนโดยไอเอทานอล, น้ำ และอากาศขึ้นสู่ผิวควบแน่นด้านบน และการแผ่รังสีความร้อนจากสารละลายขึ้นไปสู่ผิวควบแน่น และความร้อนที่สูญเสียออกจากเครื่องกลั่นทางด้านข้างและทางด้านล่าง ดังนั้น พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานความร้อนที่กล่าวมานี้ทั้งหมด โดยการหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหย, การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของสารละลาย จะใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ (ดู ภาคผนวก ก.) และใช้การคำนวณ โดยสมการที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.25-4.27 โดยจะนำเสนอเปรียบเทียบพลังงานความร้อนที่ใช้กับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวระเหยและผิวควบแน่นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 4.25 พลังงานที่ใช้ในการระเหยของสารละลาย



รูปที่ 4.26 พลังงานที่ใช้ในการพาความร้อนของสารละลาย



รูปที่ 4.27 พลังงานที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของสารละลาย

จากรูปที่ 4.25-4.27 จะพบว่า ในกระบวนการกลั่นโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ การใช้พลังงานความร้อนจะถูกใช้โดยการระเหยของสารละลายมากที่สุด ส่วนการแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อพิจารณาจากการระเหยของสารละลายแล้ว พบว่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวระเหยและผิวควบแน่นส่งผลต่อการใช้พลังงานในการระเหยมาก และอีกปัจจัยหนึ่งคือความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลก็จะมีผลทำให้การใช้พลังงานความร้อนในการระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากการใช้พลังงานความร้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10% โดยปริมาตรแล้วจะพบว่ามีการใช้พลังงานความร้อนในระดับที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นอื่น ๆ

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้มาจาก ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 10% โดยปริมาตรนั้น อัตราการถ่ายเทมวลของเอทานอลและน้ำหรืออัตราการกลั่นนั้นมีค่าน้อยมาก เนื่องจากปริมาณเอทานอลในสารละลายยังมีจำนวนน้อยอยู่ อีกทั้งในการกลั่นจะใช้อุณหภูมิในการระเหยเท่ากับ 78.5 องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำที่มีปริมาณมากไม่สามารถระเหยได้ ดังนั้นการใช้พลังงานความร้อนในช่วงนี้จึงมีค่าน้อย ส่วนที่ความเข้มข้นอื่น ๆ ปริมาณเอทานอลในสารละลายมีค่าสูงขึ้นตามลำดับจึงทำให้การใช้พลังงานในการระเหยมีค่าสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.26 จะพบว่าพลังงานที่ใช้ในการพาความร้อนโดยสารละลายของกรกลั่น ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะพบว่า พลังงานที่ใช้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นสูงถึง 40% โดยปริมาตร พลังงานที่ใช้จะมีค่าสูงที่สุด และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลประมาณ 40% โดยปริมาตรนั้น ผลต่างของความเข้มข้นสุดท้ายและความเข้มข้นเริ่มต้นมีค่าสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น จึงส่งผลให้การใช้พลังงานในการพาความร้อนโดยสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การแผ่รังสีความร้อนของสารละลายไปยังผิวควบแน่นดังแสดงในรูปที่ 4.27 นั้น จะพบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นไม่มีผลต่อการแผ่รังสี เนื่องจากปัจจัยในการแผ่รังสีความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่นและคุณสมบัติของสารละลายเท่านั้น ดังนั้นในการทดลองที่ใช้อุณหภูมิของผิวระเหยและผิวควบแน่นเหมือนกัน การแผ่รังสีความร้อนจึงมีค่าเท่ากันและไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแต่อย่างใด

จากผลการวิจัยที่น่าเสนอไปแล้วจะพบว่า พลังงานที่สารละลายใช้ในการกลั่นจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิผิวระเหยและผิวควบแน่น และยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลอีกด้วย โดยพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.121-0.3 กิโลวัตต์

พลังงานความร้อนที่ต้องให้กับระบบสามารถพิจารณาได้จากพลังงานความร้อนของไอเสียที่ถูกส่งเข้าสู่เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ซึ่งในการทดลองได้มีการเก็บข้อมูลในส่วนของอัตราการไหลของไอเสียที่เข้าสู่เครื่องกลั่นและส่วนประกอบของไอเสียเพื่อนำไปคำนวณเป็นพลังงานความร้อนที่ให้กับระบบ โดยข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของไอเสียจะนำเสนอในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลส่วนประกอบของไอเสียของเครื่องยนต์ต้นกำลัง

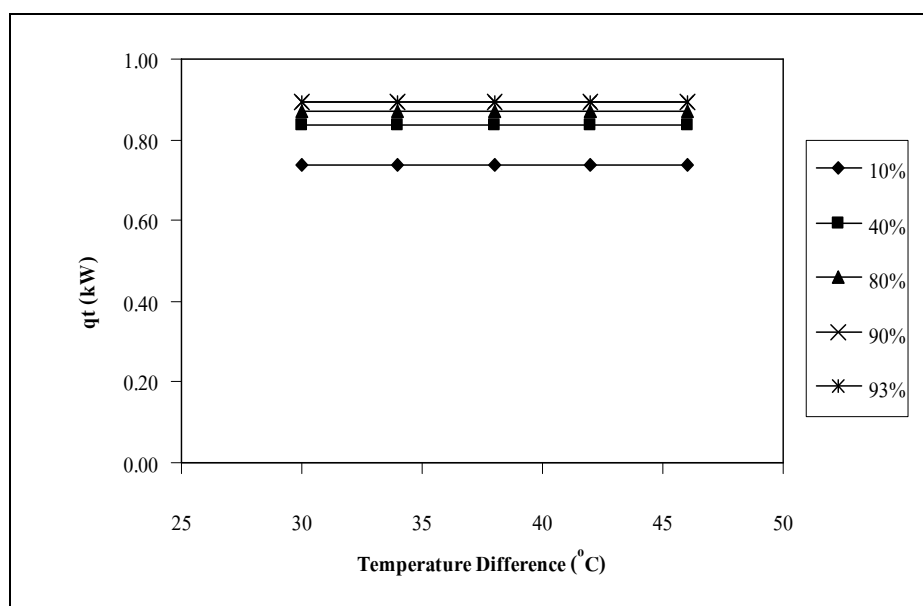
ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ออกซิเจน	0.8
คาร์บอนไดออกไซด์	17
ไนโตรเจน	82

เมื่อได้ข้อมูลส่วนประกอบของไอเสียแล้วจึงได้นำข้อมูลดังกล่าวไปหาค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักและอัตราส่วนโดยมวลเพื่อนำไปหาค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของไอเสีย สำหรับความเร็วเฉลี่ยของไอเสียที่ได้พบว่ามีค่าอยู่ประมาณ 19.5 เมตรต่อวินาที และอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลโดยในการดำเนินการทดลองสำหรับช่วงความเข้มข้นเริ่มต้น

ของเอทานอลต่ำจะมีการหยุดเดินเครื่องยนต์เป็นบางช่วงเพื่อรักษาอุณหภูมิที่ผิวระเหยให้ได้ตามที่กำหนดส่งผลให้อัตราการไหลมีค่าน้อยกว่าในช่วงที่เดินเครื่องโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลสูงขึ้น อนึ่ง ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นสูงนั้น จะมีการหยุดเดินเครื่องยนต์เช่นเดียวกันแต่น้อยกว่าในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่ำจึงส่งผลให้อัตราการไหลมีค่าสูงกว่า

เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ต้นกำลังแบบติดตั้งประจำที่ อีกทั้งยังเป็นเครื่องยนต์เพื่อทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เครื่องกลั่นอย่างเดียว ในการดำเนินการทดลองจึงสามารถหยุดเดินเครื่องเป็นระยะเพื่อรักษาอุณหภูมิที่ผิวระเหยให้คงที่ได้ แต่หากเป็นการใช้งานจริงในรถยนต์จำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบระบบรักษาอุณหภูมิผิวระเหยให้คงที่โดยไม่ต้องหยุดเดินเครื่องยนต์ต้นกำลัง เช่น การออกแบบให้ทางเข้าเครื่องกลั่นมีระบบเปิด-ปิดไอเสียเพื่อเข้าเครื่องหรือระบายออกโดยตรงได้และใช้เครื่องมือวัดเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่ผิวระเหย เมื่อได้ตามที่ต้องการแล้วจึงควบคุมให้ระบบทำการระบายไอเสียออกไปโดยตรง เป็นต้น

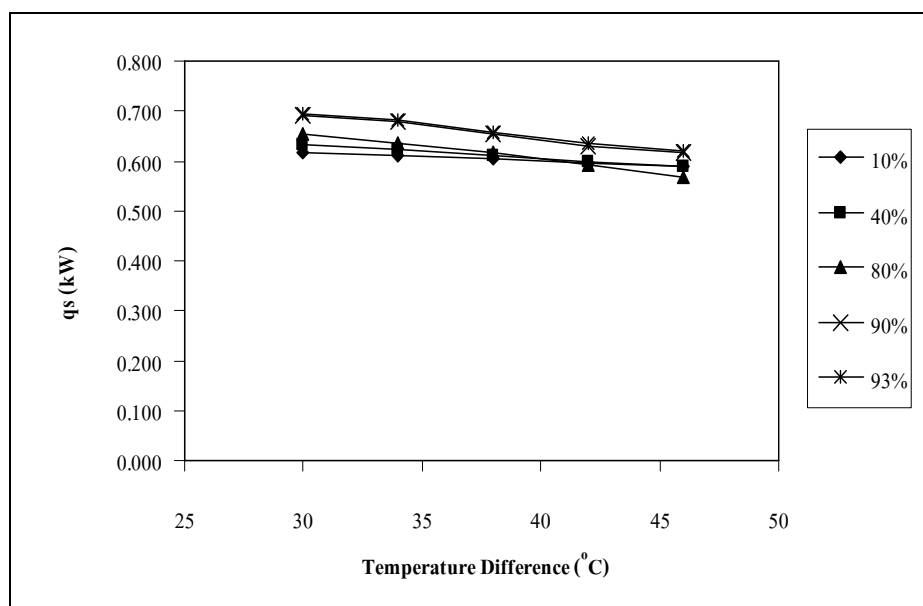
เมื่อได้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการไหลของไอเสียครบถ้วนแล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนจากไอเสียที่ต้องให้กับเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 พลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่น

ในการดำเนินการทดลองนั้น จะรักษาอุณหภูมิของผิวระเหยภายในเครื่องกลั่นไว้เท่ากับ 78.5 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.28 จะพบว่า ในการกลั่นที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเดียวกันนั้น ไม่ว่าจะเปลี่ยนความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่นให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นพลังงานที่ให้กับเครื่องกลั่นจะมีค่าเท่ากันเสมอ เนื่องจากจะต้องรักษาอุณหภูมิของผิวระเหยดังกล่าวมาแล้ว และพลังงานที่ใช้ในการระเหยของสารละลาย การพาความร้อนของสารละลาย และการแผ่รังสีความร้อนของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่นนี้จะมีค่าน้อย เพราะเครื่องกลั่นต้องสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่ไปกับความร้อนที่สูญเสียทางด้านข้างและด้านล่างประกอบกับเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอาจมีความละเอียดไม่มากพอ จึงไม่สามารถแสดงถึงความแตกต่างของพลังงานที่ให้กับเครื่องกลั่นในระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเดียวกันได้ ส่วนการกลั่นที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลแตกต่างกันนั้น มีความแตกต่างของพลังงานที่ใช้ในการระเหย การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนมากพอ จึงสามารถแสดงพลังงานที่ให้กับเครื่องกลั่นที่แตกต่างกันได้ โดยพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่นนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.739-0.894 กิโลวัตต์

เมื่อทราบพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่นและพลังงานความร้อนที่ใช้ไปในกระบวนการต่าง ๆ แล้ว จากสมการ (3.9) จะสามารถหาความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านนอกของเครื่องกลั่นได้โดยการสมดุลพลังงานที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ความร้อนที่สูญเสียทางด้านนอกของเครื่องกลั่น

จากรูปที่ 4.29 จะพบว่าความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านนอกของเครื่องกลั่นนั้นขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิผิวระเหยและผิวควบแน่น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในการหาค่าพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่นยังไม่สามารถหาค่าได้ละเอียดและแม่นยำพอ จึงทำให้พลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่นที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเดียวกันมีค่าเท่ากัน ส่งผลให้ความร้อนสูญเสียที่ได้จากการคำนวณนี้มีความละเอียดน้อยลงไปด้วย

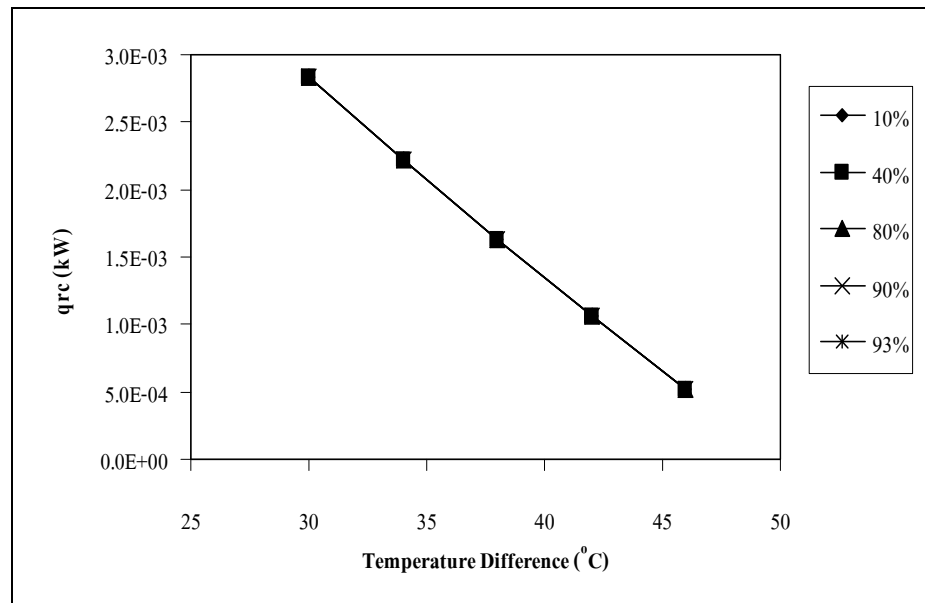
ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลในช่วง 10% ถึง 80% โดยปริมาตรไม่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางด้านนอกของเครื่องกลั่นเนื่องจากกราฟที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงและไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 90% โดยปริมาตรขึ้นไป พบว่ามีการสูญเสียความร้อนทางด้านนอกมากกว่า เนื่องจากการกลั่นที่ระดับความเข้มข้นนี้จะเข้าใกล้จุดที่ความดันไอของเอทานอลในสถานะของเหลวและในสถานะไอมิค่าเท่ากันจึงต้องการพลังงานในการระเหยและการพาความร้อนมาก ส่งผลให้มีพลังงานที่สูญเสียมากเช่นกัน

สาเหตุอีกประการหนึ่งมาจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ นั่นคือ การระเหย การพาความร้อน และ การแผ่รังสีความร้อนนั้น มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านนอกของเครื่องกลั่น ดังนั้น ความร้อนที่ให้กับเครื่องกลั่นจึงถูกใช้ไปกับความร้อนที่สูญเสียทางด้านนอกเป็นส่วนใหญ่ เนื่องมาจากในการออกแบบระบบให้ความร้อนกับถาดรับเอทานอลนั้น หากออกแบบให้มีลักษณะที่ท่อไอเสียไหลผ่านเอทานอลโดยตรงจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเครื่องกลั่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แต่เนื่องจากการดำเนินการทดลองนั้น ต้องใช้งานกับเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง หากออกแบบโดยใช้ระบบให้ความร้อนแบบท่อไหลผ่านเอทานอลโดยตรงนั้น มีโอกาสที่อาจเกิดการรั่วไหลของไอเสียที่ผ่านเอทานอลและทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ ในงานวิจัยนี้จึงหลีกเลี่ยงระบบให้ความร้อนแบบดังกล่าว โดยเลือกใช้ระบบให้ความร้อนที่ไม่เกิดการสัมผัสกันระหว่างไอเสียกับเอทานอลโดยตรงแทน

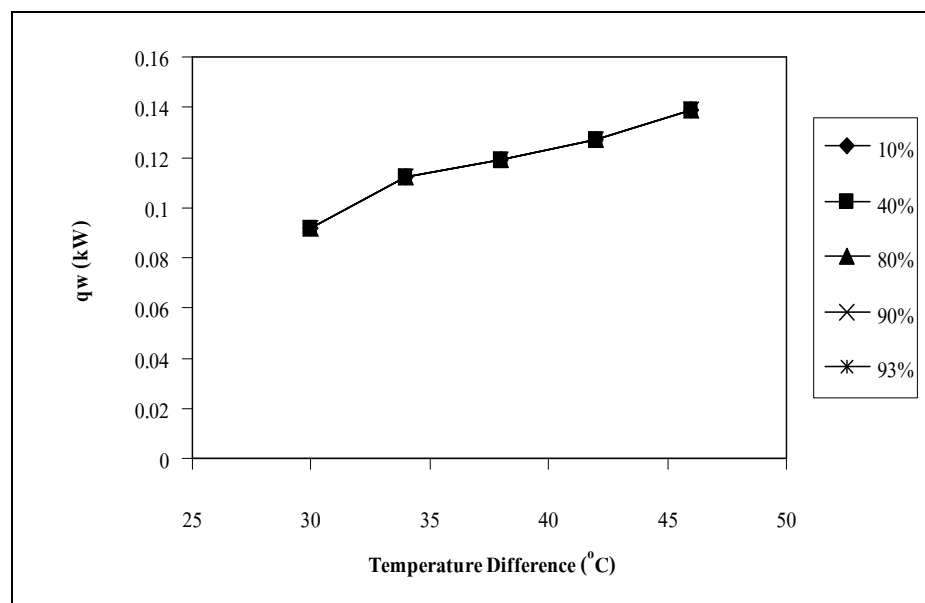
4.8.2 สมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่น

ดังที่ได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 3 ว่า สมดุลพลังงานที่ผิวควบแน่นประกอบไปด้วยพลังงานที่เข้าสู่ผิวควบแน่นนั่นคือ พลังงานความร้อนจากการระเหยของสารละลาย การพาความร้อนของสารละลาย และ การแผ่รังสีความร้อนของสารละลายมายังผิวควบแน่น ส่วนพลังงานที่ออกจากผิวควบแน่นประกอบไปด้วย พลังงานจากการแผ่รังสีของผิวควบแน่นออกสู่บรรยากาศภายนอก ความร้อนที่ถูกนำออกไปโดยน้ำหล่อเย็น และ ความร้อนที่สูญเสียทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น

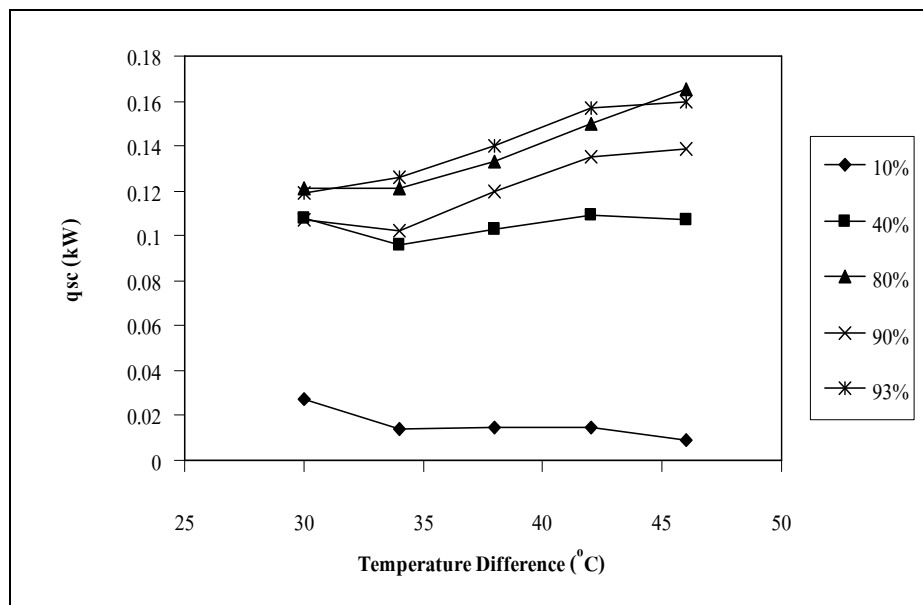
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 3 จึงได้วิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวและนำเสนอในส่วนของพลังงานความร้อนที่ผิวควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.30-4.32 โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้นำเสนอในภาคผนวก ก.



รูปที่ 4.30 พลังงานที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของผิวควบแน่น



รูปที่ 4.31 พลังงานที่ถูกนำออกโดยน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 4.32 พลังงานที่สูญเสียทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น

เมื่อพิจารณาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนของผิวควบแน่นไปสู่อากาศภายนอกในรูปที่ 4.30 จะพบว่า ลักษณะของพลังงานที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายกับการแผ่รังสีความร้อนของสารละลายมายังผิวควบแน่น กล่าวคือ จะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวควบแน่นและบรรยากาศภายนอกประกอบกับคุณสมบัติของผิวควบแน่นเท่านั้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นหรือความเข้มข้นสุดท้ายของเอทานอลแต่อย่างใด

ส่วนลักษณะของกราฟที่แตกต่างจากการแผ่รังสีความร้อนของสารละลายนั้นคือ เส้นกราฟจะมีความชันเป็นลบ เนื่องจากเป็นการคำนวณจากอุณหภูมิของผิวควบแน่นซึ่งผลต่างอุณหภูมิน้อยหมายถึงผิวควบแน่นมีอุณหภูมิสูง และเมื่อผลต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหมายถึงผิวควบแน่นมีอุณหภูมิต่ำลง ส่งผลให้การแผ่รังสีความร้อนลดลงตามไปด้วย ซึ่งลักษณะที่กล่าวนี้จะตรงกันข้ามกับการแผ่รังสีของสารละลายมายังผิวควบแน่น

พลังงานที่ถูกนำออกโดยน้ำหล่อเย็นในรูปที่ 4.31 จะเป็นเช่นเดียวกับพลังงานที่ให้กับเครื่องกลั่นในรูปที่ 4.28 กล่าวคือ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของผิวควบแน่นและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นประกอบกับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเท่านั้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการรักษาและเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของผิวควบแน่นให้เท่ากันตลอดทุกช่วงความเข้มข้นของเอทานอลที่ทำกรกลั่น ผลที่ได้จึงมีลักษณะเป็นกราฟเส้นเดียว โดยไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของเอทานอลแต่อย่างใด

รูปที่ 4.32 แสดงพลังงานที่สูญเสียทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่น จะพบว่า พลังงานความร้อนที่สูญเสียจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกลั่นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10% โดยปริมาตรมีการใช้พลังงานความร้อนที่ต่ำที่สุด และต่ำกว่าในระดับความเข้มข้นของเอทานอลที่สูงขึ้นค่อนข้างมาก ดังนั้น พลังงานที่สูญเสียออกทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่นจึงน้อยตามไปด้วย

การที่การสูญเสียพลังงานความร้อนทางด้านบนและด้านข้างของผิวควบแน่นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวระเหยและผิวควบแน่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ระบบการหล่อเย็นไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีพอเมื่อมีการใช้พลังงานมากขึ้นจึงส่งผลให้การสูญเสียพลังงานความร้อนมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ผลการศึกษาในด้านพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการกลั่นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ปรับปรุง และพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์หรือความร้อนจากแหล่งอื่นได้ต่อไป

4.9 ผลการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

เมื่อทราบอัตราการกลั่นจากเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ และได้หาค่าพลังงานที่ต้องให้กับเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบแล้ว จะสามารถหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ได้ ซึ่งค่าการใช้พลังงานจำเพาะในการกลั่นเอทานอลสำหรับเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบในงานวิจัยนี้ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ

ความเข้มข้นเริ่มต้น หน่วย : ร้อยละ โดยปริมาตร	Specific Energy Consumption หน่วย : kJ/kg
10	28,612
40	8,649
80	4,221
90	4,420
93	4,376
รวมตลอดทั้งกระบวนการ	50,279

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะในการกลั่นเอทานอลสำหรับเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ โดยคำนวณมาจากอัตราการกลั่นที่สูงที่สุดในแต่ละระดับความเข้มข้นเริ่มต้น จากข้อมูลที่แสดง จะพบว่าการใช้พลังงานจำเพาะจะมีค่าสูงมากที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่ำ และจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลต่ำนั้น อัตราการกลั่นที่ได้จะมีค่าน้อย ส่วนพลังงานที่ต้องให้กับระบบเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.28 จะพบว่า ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นั้น พลังงานที่ให้กับระบบมีค่าไม่ต่างกันมากนักซึ่งเป็นผลมาจากพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับการสูญเสียพลังงานทางด้านนอกของเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบเนื่องจากข้อจำกัดของการออกแบบดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงส่งผลให้การใช้พลังงานจำเพาะมีค่าสูงมากตามไปด้วย ส่วนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณเอทานอลที่อยู่ในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการกลั่นที่ได้จึงมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้น จึงส่งผลให้การใช้พลังงานจำเพาะมีค่าต่ำลงตามลำดับ ส่วนช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล 80-93% โดยปริมาตรนั้น จากข้อมูลที่แสดง พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากอัตราการกลั่นที่ได้ในช่วงความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อนำผลที่ได้ทั้งหมดมารวมกัน จะพบว่าการใช้พลังงานจำเพาะตลอดทั้งกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบนี้มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 50,279 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากเนื่องจากในงานวิจัยนี้ ค่าการสูญเสียพลังงานทางด้านนอกของเครื่องกลั่นมีค่าที่สูง แต่เมื่อพิจารณาถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่มาจากไอเสียของเครื่องยนต์ซึ่งโดยปกติเป็นพลังงานที่ต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์อยู่แล้ว การนำพลังงานที่สูญเสียไปนี้กลับมาใช้ใหม่ได้จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า แม้ว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะจะสูงอยู่บ้าง

แนวทางการลดค่าการใช้พลังงานจำเพาะในกรณีของเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์นี้อาจทำได้โดยการลดการสูญเสียพลังงานทางด้านนอกของเครื่องกลั่นให้ได้มากที่สุด หรือออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอเสียกับสารละลายเอทานอลให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าที่เป็นอยู่ แต่ควรคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำงานของเครื่องกลั่นเอทานอลด้วย สำหรับการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะอื่น ๆ จะได้นำเสนอในบทต่อไป

บทที่ 5

บทสรุป

รายละเอียดของงานวิจัยที่ได้นำเสนอมาแล้วทั้งหมดนี้ แสดงให้เห็นถึงการนำพลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์มาใช้ประโยชน์ในการกลั่นเอทานอลได้จริง อีกทั้งเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมานั้น มีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานจริงได้กับรถยนต์ต่อไป โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการวิจัยซึ่งเป็นการสรุปประเด็นผลการวิจัยทั้งหมด และลักษณะของการนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในภายหน้า รวมถึงข้อเสนอแนะในงานวิจัยด้านเครื่องกลั่นเอทานอลต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบโดยใช้ความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในการกลั่น ซึ่งมาจากแนวความคิดสองประการด้วยกัน กล่าวคือ ประการที่หนึ่งเพื่อเป็นการนำพลังงานที่สูญเสียไปมาใช้ประโยชน์ ประการที่สองเนื่องจากไอเสียของเครื่องยนต์นั้น มีอุณหภูมิสูงพอจนสามารถทำให้เอทานอลมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดได้จึงส่งผลให้อัตราการกลั่นน่าจะมีค่าสูงกว่าการกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์ที่มีมาแต่เดิม

ในขั้นตอนแรกของการวิจัยได้มีการพัฒนาสมการขึ้นเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นของเอทานอลที่ได้จากเครื่องกลั่น โดยสมการที่พัฒนาขึ้นจะใช้พื้นฐานของแบบจำลองการไหลของ Reynolds (Reynolds Flow Model) ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วเป็นหลักในการพัฒนา

การที่จะได้สมการเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลได้นั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลที่มีรายละเอียดเพียงพอเพื่อนำมาพัฒนาสมการดังกล่าว จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance ขึ้นมา โดยเครื่องมือดังกล่าวมีลักษณะเป็นเครื่องกลั่นเอทานอลแบบผิวควบแน่นเอียงด้านเดียว ซึ่งเครื่องมือทดสอบนี้ได้ถูกนำมาใช้ทดลองและเก็บข้อมูลที่จำเป็นเพื่อนำไปใช้พัฒนาสมการทำนายอัตราการกลั่นได้เป็นผลดี

ผลการพัฒนาสมการทำนายอัตราการกลั่นหรือสมการเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการกลั่นเอทานอลนั้น การเปลี่ยนแปลงของค่า Mass Transfer Conductance มีการเปลี่ยนแปลงโดยแบ่งเป็นช่วงใหญ่ ๆ 2 ช่วงด้วยกัน ดังนั้น สมการที่ถูกพัฒนาขึ้นจึงได้แบ่งเป็น 2 สมการเพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการทำนายอัตราการกลั่นเมื่อได้

พัฒนาสมการขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายอัตราการกลั่นได้แล้ว จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการพิสูจน์ถึงผลการพัฒนาสมการทำนายอัตราการกลั่นว่ามีความถูกต้องหรือไม่ และมาน้อยเพียงใด และวัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งคือเพื่อศึกษาว่าหากออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบให้เล็กจนนำไปใช้งานจริงกับรถยนต์ได้นั้น เครื่องกลั่นเอทานอลจะยังสามารถทำงานได้หรือไม่

ผลที่ได้จากการทดลองกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบพบว่า เมื่อเครื่องกลั่นมีขนาดเล็กจนนำไปใช้ในรถยนต์ได้แล้ว จะยังมีความสามารถในการกลั่นเอทานอลได้จริง โดยอัตราการกลั่นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลและมีค่าอยู่ในช่วง 3.06 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ถึง 33.4 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงกว่ากระบวนการกลั่นโดยใช้แสงอาทิตย์มาก ส่วนผลในด้านอัตราการกลั่นที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทำนายอัตราการกลั่นโดยใช้สมการทำนายอัตราการกลั่นนั้น พบว่ามีค่าเป็นที่น่าพอใจ โดยมีความผิดพลาดเพียง 8-11.7% เมื่อใช้สมการทำนายอัตราการกลั่นในช่วงความเข้มข้นของเอทานอลที่ถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตาม หากนำไปทำนายในช่วงที่นอกเหนือจากสมการแล้ว อาจมีความผิดพลาดมากขึ้นได้ ดังนั้น ผลการวิจัยในส่วนนี้จึงชี้ให้เห็นว่า สมการที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำนายอัตราการกลั่นโดยใช้พื้นฐานของแบบจำลองการไหลของ Reynolds ที่ปรับปรุงแล้วสามารถนำมาใช้งานได้ดี และทฤษฎีการถ่ายเทมวลของ Spalding สามารถนำมาใช้กับการกลั่นเอทานอลได้จริง

ในขั้นตอนสุดท้ายของการวิจัย ได้ศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่น ทั้งที่สารละลายเอทานอลใช้ในการกลั่นและในส่วนของผิวควบแน่น โดยพบว่าพลังงานที่ใช้จะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิผิวระเหยและผิวควบแน่น และยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอลอีกด้วย โดยพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.121-0.3 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่าพลังงานที่ต้องให้กับเครื่องกลั่นมีค่าสูงกว่าพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.739-0.894 กิโลวัตต์ และเมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องแล้วจะอยู่ในช่วง 16.37-33.56% ค่าการใช้พลังงานจำเพาะตลอดทั้งกระบวนการกลั่นเท่ากับ 50,279 กิโลจูลต่อกิโลกรัม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการออกแบบระบบให้ความร้อนกับถาดรองรับเอทานอลยังมีการสูญเสียพลังงานความร้อนอยู่มากซึ่งเป็นข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในงานวิจัยนี้

5.2 การประยุกต์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยที่ได้ทั้งหมดนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ต่อไปได้เป็นอย่างดี โดยสามารถนำสมการที่พัฒนาขึ้นทั้งสองสมการไปใช้ให้เหมาะสมกับช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของเอทานอล

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการนำพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึงจุดเดือดของเอทานอลเป็นหลัก ดังนั้น สมการที่พัฒนาขึ้นมาจึงเหมาะสมกับการทำนายอัตราการกลั่นเอทานอลเมื่อใช้กับเครื่องกลั่นที่มีแหล่งให้ความร้อนในลักษณะดังกล่าว หากจะนำไปใช้กับเครื่องกลั่นเอทานอลที่ใช้แหล่งให้ความร้อนชนิดอื่นหรือไม่สามารถทำให้อุณหภูมิในการกลั่นสูงจนถึงจุดเดือดของเอทานอลได้จะไม่สามารถใช้งานสมการดังกล่าวได้ เนื่องจากอัตราการกลั่นของเอทานอลที่มีอุณหภูมิไม่ถึงจุดเดือดมีค่าต่ำมากอันเป็นลักษณะเฉพาะของเอทานอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก (เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำและอากาศ)

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาข้อจำกัดและปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำการวิจัย ทำให้มีข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไปดังนี้

ในการออกแบบระบบให้ความร้อนกับถาดเอทานอลนั้น หากออกแบบให้ไอเสียสามารถถ่ายเทความร้อนสู่เอทานอลได้โดยตรงเช่น ออกแบบให้ไอเสียไหลผ่านท่อที่ไหลผ่านเอทานอลได้ จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ดี ลดการสูญเสียพลังงานความร้อนลง แต่ต้องพิจารณาในด้านความปลอดภัยในการทำงานด้วย เนื่องจากเอทานอลความเข้มข้นสูงเป็นสารที่ไวต่อการลุกไหม้ การออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลเพื่อนำไปใช้งานได้จริงในรถยนต์นั้น ควรออกแบบให้เครื่องกลั่นแต่ละชุดมีขนาดที่เหมาะสมกับอัตราการกลั่น กล่าวคือ ออกแบบให้เครื่องกลั่นชุดหลังมีขนาดเล็กกว่าเครื่องกลั่นชุดก่อนหน้า เพื่อให้อัตราการกลั่นที่ได้มีความต่อเนื่องกัน และเนื่องจากพลังงานความร้อนที่ใช้จากไอเสียในรถยนต์ที่ใช้งานจริงมีค่าสูงกว่าพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมาก จึงควรออกแบบให้มีระบบจ่ายไอเสียเข้าสู่เครื่องกลั่นที่แม่นยำและมีความแข็งแรงสูง

เนื่องจากเครื่องกลั่นเอทานอลนี้ สามารถนำไปใช้งานในการกลั่นเอทานอลที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนักได้ จึงสามารถนำไปใช้ในการกลั่นสุรา หรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์อื่น ๆ นอกเหนือจากเชื้อเพลิงด้วย แต่เนื่องจากเครื่องกลั่นนี้เป็นการใช้ไอเสียของรถยนต์ซึ่งมีแก๊สที่เป็นอันตรายกับมนุษย์อยู่ด้วย หากจะมีการวิจัยดังกล่าวจึงควรหลีกเลี่ยงไปใช้กับแหล่งความร้อนอื่น เช่น แหล่งพลังงานความร้อนจากน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์

รายการอ้างอิง

- กมล อุปลานนท์. (2522). การทดลองเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่มีกระจกเอียงสองด้าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. มรกต ตันติเจริญ. จิรศักดิ์ จิระวารี. และ วีรชัย แก่นทรัพย์. (2524). การกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยตัวรับรังสีแผ่นราบ. การประชุมวิชาการปัญหาพลังงานและการแก้ไข (16 หน้า). สงขลา.
- ทองใบ อรรถเศรษฐ. (2524). เครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ในแนวตั้งแบบแผ่นราบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธีรชาติ ดวงมุสิก และ ศิริชัย เทพา. (2532). เครื่องกลั่นน้ำผิวดังฝาคอบอคริลิก. วารสาร สจธ. ปีที่ 12 ฉบับที่ 1(หน้า 16-39)
- ปกรณ์ นุชน้อย. (2526). การศึกษากระบวนการการถ่ายเทมวลและความร้อนในเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปิยะสาร ประเสริฐธรรม. (2530). หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรประสิทธิ์ คงบุญ. ณัฐ วรยศ. ชีรพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล. และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2545). การกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16. ภูเก็ต.
- พรประสิทธิ์ คงบุญ. ณัฐ วรยศ. ชีรพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล. และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2546). การกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17. ปรานีบุรี.
- พอพงศ์ อนุศิษฐ์. (2544). การศึกษาการลดพลังงานในการกลั่นเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- พิชัย นามประกาย. (2539). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลในเครื่องกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎีบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มานะ คงดีจันทร์. (2534). การกลั่นเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรโดยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิชัย ศรีเพียรพล และ สุเมธ จิตวัฒน์ศิลป์. (2533). การศึกษาการระเหยของสารผสมแอลกอฮอล์-น้ำ-อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วีรพจน์ ลือประสิทธิ์กุล. (2536). วิศวกรรมการกลั่น จากห้องทดลองถึงโรงงาน. กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- ศจี ปิยะพงศ์, วิชา ต้นวิระชัยสกุล และ เกรียงศักดิ์ ศิริพงษ์โรจน์. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- สมยศ ทัดเทียม. (2525). การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุวรรณ สุนทรรัตน์. (2523). เครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้พลาสติกเป็นฝาปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อนนท์ โพธิหอม. (2520). เครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Byron, R.B., Warren, E.S. and Edwin, N.L. (1960). **Transport phenomena**. Singapore. John Wiley&Sons.
- Cheremisinoff, N.P. (2000). **Handbook of chemical processing equipment**. Malaysia. Butterworth-Heinemann.
- Chiang, A.S.T. and Chao, Keui-jung. (2001). **Membranes and films of zeolite and zeolite-like materials**. Journal of Physics and Chemistry of Solids. Vol. 62, Issue 9(pp.1899-1910). Elsevier.

- Cortella, G. and Porto, C.D. (2003). **Design of a continuous distillation plant for the production of spirits originating from fermented grape.** Journal of food engineering. Vol. 58, Issue 4(pp.379-385).
- He, B.Q., Shuai, S.J., Wang, J.X. and He, H. (2003). **The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine.** Atmospheric environment. Vol. 37, Issue 35(pp.4965-4971)
- Htun, M.N. and Afab, M.P. (1976). **A study of the efficiencies of various designs of solar stills.** Journal of the science society of Thailand. Vol. 2 No. 1(pp.22-34).
- Holman, J.P. (1992). **Heat transfer (7th ed.).** Singapore. McGraw Hill.
- Kiatsiriroat, T., Bhattacharaya, S.C. and Wibulsawas, P. (1986). **Prediction of mass transfer in solar still.** Energy. Vol.11, Issue 9(pp.881-886). Elsevier.
- Kjelstrup, S. and Koeijer, G.M. (2003). **Transport equations for distillation of ethanol and water from the entropy production rate.** Chemical engineering science. Vol. 58, Issue 7(pp.1147-1161).
- Koeijer, G.M. and Kjelstrup, S. (2002). **Application of transport equations for heat and mass transfer to distillation of ethanol and water.** Computer aided chemical engineering. Vol. 10(pp.235-240).
- Kurt, C. Rolle. (2000). **Heat and mass transfer.** U.S.A. Pearson Education.
- Liu, R., Li, J. and Shen, F. (2008). **Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation.** Renewable energy. Vol. 33, Issue 5(pp.1130-1135).
- Ma, Y., Tong, W., Zhou, H. and Suib, S.L. (1999). **A Review of zeolite-like porous materials.** Microporous and mesoporous materials. Vol. 37, Issue 1(pp.243-252). Elsevier.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. (1993). **Unit operations of chemical engineering.** New York. McGraw Hill.
- Meukam, P., Njomo, D., Gbane, A. and Toure, S. T. (2004). **Experimental optimization of a solar still: Application to alcohol distillation.** Chemical engineering and processing. Vol. 43, Issue 12(pp.1569-1577). Elsevier.
- Namprakai, P., Hirunlabh, J. and Kiatsiriroat, T. (1996). **Ethyl alcohol distillation in basin solar still.** Renewable energy. Vol. 11 Issue 2(pp.169-175). Elsevier.

- Namprakai, P. and Hirunlabh, J. (2007). **Theoretical and experimental studies of an ethanol basin solar still**. Energy. Vol. 32, Issue 12.(pp.2376-2384). Elsevier.
- Nguyen, T.L. and Gheewala, S.H. (2008). **Fuel ethanol from cane molasses in Thailand: Environmental and cost performance**. Energy policy. Vol. 36, Issue 5(pp.1589-1599).
- Perry, R.H. and Grenn, D.W. (1984). **Perry's Chemical engineers' handbook**. New York. McGraw Hill.
- Ramli, M. and Wibulsawas, P. (1984). **Solar still with vertical absorbing surface**. In proceeding of regional seminar on simulation and design in solar energy applications(14 p.). Bangkok. UNESCO-KMITT-USAID.
- Ruiz, C.C., Ballesteros, M., Manzanares, P., Negro, M. and Castro, E. (2008). **Production of fuel ethanol from steam-explosion pretreated olive tree pruning**. Fuel. Vol. 87, Issue 6(pp.692-700).
- Sadik, K. and Yaman, Y. (1995). **Convective heat transfer**. U.S.A. CRC Press.
- Spalding, D.B. (1963). **Convective mass transfer**. London. Edward Arnold.
- Toure, S., Salami, H. and Meukam, P. (1999). **Theoretical and experimental studies of a solar still type suitable for alcoholic distillation**. Renewable energy. Vol. 16, Issues 1(pp.739-742). Elsevier.
- Vorayos, N. and Kiatsiriroat, T. (2006). **Performance analysis of solar ethanol distillation**. Renewable energy. Vol. 31, Issue 15(pp.2543-2554). Elsevier.
- Wang, Q., Ma, H., Xu, W., Gong, L., Zhang, W. and Zou, D. (2008). **Ethanol production from kitchen garbage using response surface methodology**. Biochemical engineering journal. Vol. 39, Issue 2(pp.604-610).
- Wibulsawas, P. Suntrirat, S. Direkstapom, B. and Kaitsiriroat, T. (1982). **Development of solar stills having acrylic-pastic covers in Thailand**. Alternative Energy.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวบรวมจากการทดลอง

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวบรวมจากการทดลอง

ข้อมูลที่น่าเสนอในภาคผนวก ก. จะแบ่งเป็น 2 ส่วน กล่าวคือ ข้อมูลในส่วนแรกเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวบรวมมาขณะทดลองเครื่องมือทดสอบหาค่า Mass Transfer Conductance น่าเสนอโดยตารางที่ ก1 และข้อมูลในส่วนที่สองเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวบรวมมาจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลคั่นแบบ ซึ่งจะนำเสนอโดยตารางที่ ก2 และตารางที่ ก3 ตามลำดับ

ตารางที่ ก1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer Conductance

ลำดับที่	ความเข้มข้นเริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้นสุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิผิวควบแน่น (°C)
1	10	40	192	30	48
2	10	40	194	30	48
3	10	41	199	30	48
4	10	40	210	30	44
5	10	40	213	30	44
6	10	41	216	30	44
7	10	40	231	30	40
8	10	40	225	30	40
9	10	40	234	30	40
10	10	40	250	30	36
11	10	40	248	30	36
12	10	40	249	30	36
13	10	40	267	30	32
14	10	41	265	30	32
15	10	40	269	30	32
16	25	69	168	10	48
17	25	69	169	10	48

ตารางที่ ก1 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer

Conductance (ต่อ)

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
18	25	69	161	10	48
19	25	68	181	10	44
20	25	69	185	10	44
21	25	69	189	10	44
22	25	68	198	10	40
23	25	69	202	10	40
24	25	68	206	10	40
25	25	69	214	10	36
26	25	69	217	10	36
27	25	69	223	10	36
28	25	69	234	10	32
29	25	68	242	10	32
30	25	69	240	10	32
31	40	81	307	10	48
32	40	80	310	10	48
33	40	80	298	10	48
34	40	80	326	10	44
35	40	80	330	10	44
36	40	80	334	10	44
37	40	81	349	10	40
38	40	81	353	10	40
39	40	80	345	10	40
40	40	80	383	10	36
41	40	80	386	10	36
42	40	81	378	10	36

ตารางที่ ก1 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer

Conductance (ต่อ)

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
43	40	80	398	10	32
44	40	80	403	10	32
45	40	80	408	10	32
46	55	84	211	6	48
47	55	84	207	6	48
48	55	84	218	6	48
49	55	84	236	6	44
50	55	85	230	6	44
51	55	85	233	6	44
52	55	84	267	6	40
53	55	84	263	6	40
54	55	84	256	6	40
55	55	84	294	6	36
56	55	85	285	6	36
57	55	84	285	6	36
58	55	84	314	6	32
59	55	84	318	6	32
60	55	84	304	6	32
61	70	86	208	4	48
62	70	86	210	4	48
63	70	86	218	4	48
64	70	86	228	4	44
65	70	86	239	4	44
66	70	85	241	4	44
67	70	86	265	4	40

ตารางที่ ก1 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer

Conductance (ต่อ)

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
68	70	86	266	4	40
69	70	86	270	4	40
70	70	86	292	4	36
71	70	86	298	4	36
72	70	86	295	4	36
73	70	86	326	4	32
74	70	86	321	4	32
75	70	85	316	4	32
76	80	90	236	4	48
77	80	90	226	4	48
78	80	90	231	4	48
79	80	90	252	4	44
80	80	90	254	4	44
81	80	89	262	4	44
82	80	90	287	4	40
83	80	90	290	4	40
84	80	89	289	4	40
85	80	90	313	4	36
86	80	90	310	4	36
87	80	90	325	4	36
88	80	90	340	4	32
89	80	90	334	4	32
90	80	89	346	4	32
91	90	93	245	4	48
92	90	93	251	4	48

ตารางที่ ก1 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า Mass Transfer

Conductance (ต่อ)

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
93	90	93	248	4	48
94	90	93	285	4	44
95	90	93	274	4	44
96	90	92	272	4	44
97	90	93	295	4	40
98	90	93	300	4	40
99	90	93	290	4	40
100	90	93	332	4	36
101	90	93	330	4	36
102	09	93	326	4	36
103	90	93	357	4	32
104	90	92	351	4	32
105	90	93	354	4	32

ตารางที่ ก2 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 1

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
1	10	40	38	30	48
2	10	40	36	30	48
3	10	40	37	30	48
4	10	40	36	30	44
5	10	41	40	30	44
6	10	40	44	30	44
7	10	40	44	30	40
8	10	40	46	30	40
9	10	40	42	30	40
10	10	40	50	30	36
11	10	40	47	30	36
12	10	40	47	30	36
13	10	40	48	30	32
14	10	40	49	30	32
15	10	40	56	30	32
16	40	80	166	30	48
17	40	80	158	30	48
18	40	80	156	30	48
19	40	80	169	30	44
20	40	80	169	30	44
21	40	80	166	30	44
22	40	80	184	30	40
23	40	80	183	30	40
24	40	80	182	30	40
25	40	80	196	30	36
26	40	80	199	30	36

ตารางที่ ก2 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
27	40	80	202	30	36
28	40	80	206	30	32
29	40	80	211	30	32
30	40	80	213	30	32
31	80	91	297	30	48
32	80	90	294	30	48
33	80	90	300	30	48
34	80	90	329	30	44
35	80	91	330	30	44
36	80	90	337	30	44
37	80	90	358	30	40
38	80	90	368	30	40
39	80	90	369	30	40
40	80	90	413	30	36
41	80	90	410	30	36
42	80	91	407	30	36
43	80	90	459	30	32
44	80	90	463	30	32
45	80	90	458	30	32
46	90	93	307	30	48
47	90	93	310	30	48
48	90	93	304	30	48
49	90	93	336	30	44
50	90	93	332	30	44
51	90	93	334	30	44
52	90	92	384	30	40

ตารางที่ ก2 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	ความเข้มข้น เริ่มต้น (% v/v)	ความเข้มข้น สุดท้าย (%v/v)	ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นได้ (cc.)	เวลาที่ใช้ ในการกลั่น (min)	อุณหภูมิ ผิวควบแน่น (°C)
53	90	93	380	30	40
54	90	93	380	30	40
55	90	93	425	30	36
56	90	93	429	30	36
57	90	93	410	30	36
58	90	93	451	30	32
59	90	93	455	30	32
60	90	93	459	30	32
61	93	95	312	30	48
62	93	95	306	30	48
63	93	95	309	30	48
64	93	95	336	30	44
65	93	95	336	30	44
66	93	95	333	30	44
67	93	95	388	30	40
68	93	95	390	30	40
69	93	95	386	30	40
70	93	95	428	30	36
71	93	95	435	30	36
72	93	95	436	30	36
73	93	95	465	30	32
74	93	95	461	30	32
75	93	95	460	30	32

ตารางที่ ก3 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 2

ลำดับที่	อุณหภูมิ ไอลีเยเข้า (°C)	อุณหภูมิ ไอลีเยออก (°C)	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นออก (°C)	อัตราการไหล น้ำหล่อเย็น (kg/s)
1	205	100	30	34	0.0055
2	205	100	30	34	0.0055
3	204	101	30	34	0.0055
4	205	100	30	34	0.0067
5	205	100	30	34	0.0067
6	205	100	30	34	0.0067
7	205	100	30	33	0.0095
8	206	100	30	33	0.0095
9	205	100	30	33	0.0095
10	205	100	30	32	0.0152
11	205	101	30	32	0.0152
12	205	100	30	32	0.0152
13	205	100	30	31	0.0333
14	205	100	30	31	0.0333
15	204	100	30	31	0.0333
16	205	100	30	34	0.0055
17	205	100	30	34	0.0055
18	205	100	30	34	0.0055
19	205	100	30	34	0.0067
20	205	100	30	34	0.0067
21	205	101	30	34	0.0067
22	206	100	30	33	0.0095
23	205	100	30	33	0.0095
24	206	100	30	33	0.0095
25	205	100	30	32	0.0152
26	205	100	30	32	0.0152

ตารางที่ ก3 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 2 (ต่อ)

ลำดับที่	อุณหภูมิ ไอลีเยเข้า (°C)	อุณหภูมิ ไอลีเยออก (°C)	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นออก (°C)	อัตราการไหล น้ำหล่อเย็น (kg/s)
27	206	101	30	32	0.0152
28	205	100	30	31	0.0333
29	205	100	30	31	0.0333
30	204	100	30	31	0.0333
31	205	100	30	34	0.0055
32	205	100	30	34	0.0055
33	205	100	30	34	0.0055
34	205	100	30	34	0.0067
35	205	100	30	34	0.0067
36	205	102	30	34	0.0067
37	206	100	30	33	0.0095
38	205	100	30	33	0.0095
39	205	100	30	33	0.0095
40	205	100	30	32	0.0152
41	205	100	30	32	0.0152
42	205	100	30	32	0.0152
43	206	100	30	31	0.0333
44	205	100	30	31	0.0333
45	205	100	30	31	0.0333
46	205	100	30	34	0.0055
47	205	100	30	34	0.0055
48	205	101	30	34	0.0055
49	204	100	30	34	0.0067
50	205	100	30	34	0.0067
51	205	100	30	34	0.0067
52	205	100	30	33	0.0095

ตารางที่ ก3 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการทดลองเครื่องกลั่นเอทานอลต้นแบบ ส่วนที่ 2 (ต่อ)

ลำดับที่	อุณหภูมิ ไอเสียเข้า (°C)	อุณหภูมิ ไอเสียออก (°C)	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นออก (°C)	อัตราการไหล น้ำหล่อเย็น (kg/s)
53	205	100	30	33	0.0095
54	206	100	30	33	0.0095
55	205	100	30	32	0.0152
56	205	100	30	32	0.0152
57	205	100	30	32	0.0152
58	205	101	30	31	0.0333
59	205	100	30	31	0.0333
60	205	100	30	31	0.0333
61	206	100	30	34	0.0055
62	205	100	30	34	0.0055
63	205	100	30	34	0.0055
64	205	100	0	34	0.0067
65	205	100	30	34	0.0067
66	205	100	30	34	0.0067
67	205	100	30	33	0.0095
68	205	100	30	33	0.0095
69	205	101	30	33	0.0095
70	205	100	30	32	0.0152
71	205	100	30	32	0.0152
72	205	100	30	32	0.0152
73	204	100	30	31	0.0333
74	205	100	30	31	0.0333
75	205	100	30	31	0.0333

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Bun-art, S. and Chamniprasart, K. (2008). Performance evaluation of an ethanol distillator by using heat from engine. **The 1st Rajamangala University of Technology Isan Annual Conference.** 9-11 January 2008, Nakornratchasima, Thailand.

ประวัติผู้เขียน

นายสามารถ บุญอาจ เกิดเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2519 ที่โรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร เป็นชาวจังหวัดสมุทรปราการ เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนจจรโรจน์วิทยา กรุงเทพมหานคร ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนวัดสุทิวราราม กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2537 ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อปี พ.ศ. 2541 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2543 จากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2545 ได้รับทุนพัฒนาอาจารย์ให้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี