

อึ่งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการ แตกตัวด้วยความร้อน

THERMAL CRACKING OF WASTE GLYCEROL TO LIQUID FUELS

วิชาการ จารุศิริ¹, จินตนา อุบลวัฒน์¹, กฤตภาส สิงคบุตร และชาตรี วัฒนศิลป์¹

บทคัดย่อ

ปัญหาพลังงานที่ทวีความรุนแรงในปัจจุบันทำให้มีความสนใจที่จะพัฒนาพลังงานใหม่ทดแทนพลังงานจากฟอสซิล กระบวนการผลิตเอสเตอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล ในทางปฏิบัติพบว่าปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอสเตอร์จากกระบวนการทรานส์-เอสเตอร์ฟิเคชัน (transesterification) จะให้กลีเซอรอลจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีความไม่บริสุทธิ์สูง ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตเครื่องสำอาง งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนในการแตกตัวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินหรือน้ำมันดีเซล งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตเอสเตอร์เพื่อให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.925 เซนติเมตร ความยาว 12 เมตร ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ 380 - 550 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสารตั้งต้น 3 - 12 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1 - 10 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนไปเป็นของเหลวได้สูงสุดถึงร้อยละ 94 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสารตั้งต้น 3.30 กรัมต่อนาที เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจืดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่าให้ร้อยละของดีเซล 50.13 ในขณะที่ให้แก๊สโกลีน 11.99 %wt น้ำมันก๊าด 10.61 %wt กากน้ำมัน 22.03 %wt โดยมีของแข็งและแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบาเกิดขึ้นเล็กน้อยประมาณ 5.24 %wt

คำสำคัญ: เมทิลเอสเตอร์, กลีเซอรอล, การแตกตัวด้วยความร้อน, แก๊สออยล์

1. ความเป็นมาของปัญหา

ปัญหาพลังงานได้ทวีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อทุกสาขาเศรษฐกิจ รวมถึงสังคมและคุณภาพชีวิตของผู้คน ในปัจจุบันได้มีการ

แสวงหาแหล่งพลังงานใหม่จากพลังงานชีวภาพ เช่น แก๊สโซล และไบโอดีเซลเป็นต้น รวมถึงได้มีการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการทรานส์-เอสเตอร์

¹ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

เบนทูลูทกณพรม เบนเอทเชล เพื่อสไมรณ
นำไปใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร หรือ
เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำได้ หรือนำมาผสมกับ
น้ำมันดีเซลใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับ
เครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบัน (Fukada *et al.*, 2001;
Demirbas, 2003) ซึ่งในกระบวนการสังเคราะห์ ไบ
โอดีเซลนี้เอง นอกจากจะให้เมทิลเอสเทอร์ที่เป็น
ผลผลิตหลักประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งสามารถ
นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรทาง
การเกษตรโดยตรง หรือแม้กระทั่งนำไปผสมใน
น้ำมันดีเซลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแล้ว ยังให้
กลีเซอรอลจำนวนหนึ่งซึ่งหากนำมาผ่านกระบวนการ
ทำให้บริสุทธิ์แล้วก็จะป็นสารตั้งต้นใช้ใน
กระบวนการผลิตเครื่องสำอางได้เป็นอย่างดี

อย่างไรก็ตามจากการที่มีการส่งเสริมให้
นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้เกิด
ปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะ
อย่างยิ่ง กลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ
ทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว
พบว่ามีความไม่บริสุทธิ์สูงและไม่คุ้มค่าต่อการทำ
ให้บริสุทธิ์หรือนำกลับมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการ
ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นจึงพบว่ามีการทิ้งกลีเซอรอลใน
ที่ดินสาธารณะจำนวนมากและก่อให้เกิด
ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งกลิ่นไม่พึงประสงค์
และการตกค้างของสารเคมี ดังนั้นการที่มีการ
ส่งเสริมให้ผลิตไบโอดีเซลชุมชนจากน้ำมันพืชใช้
แล้ว และได้ให้ความรู้แก่ชุมชนในการบริหาร
จัดการ รวมถึงไม่มีการจัดการของเสียที่ย่อยทำ
ให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

ด้วยเหตุที่กลีเซอรอลเป็นโมเลกุล
ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเมื่อได้รับความร้อน

อย่างรวดเร็วในระดับหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยารวมตัว
ของพอลิเมอร์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งหากได้รับ
ความร้อนต่อไปภายใต้สภาวะที่เหมาะสมก็จะเกิด
การแตกตัวและจัดโครงสร้างเป็นโมเลกุล
ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่มีสมบัติใกล้เคียงกับ
น้ำมันเชื้อเพลิง ในงานวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาการ
แตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว

นิศา (2549) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของ
กระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน
และน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์ต่อเนื่องโดย
ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดการแตก
ตัวของสารตั้งต้นไปเป็นแก๊สลิ้น ประกอบด้วย
อัตราส่วนระหว่างพอลิสไตรีนและน้ำมันพืช ใช้
แล้ว, อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารตั้งต้น
พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความ
ร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์
แบบต่อเนื่อง คือ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของสารตั้งต้น 9.04 กรัมต่อนาที เมื่อ
นำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊ส
โครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น
เพื่อหาองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดพบว่าให้
แก๊สลิ้นสูงสุดร้อยละ 41.15 โดยน้ำหนัก และ
สภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการแตกตัว
ด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพืชใช้
แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง คือ อัตราส่วน
ของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อพอลิสไตรีน 0.6 ต่อ 0.4
โดยน้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
และอัตราการไหลของสารป้อนเข้า 9.04 กรัมต่อ
นาที เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปวิเคราะห์หา
องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดพบว่ามีแก๊สลิ้นสูง
ถึงร้อยละ 70.38 โดยน้ำหนัก และเมื่อวิเคราะห์หา
หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR พบว่า ผลิตภัณฑ์

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ของเพลิงเบนซิน (benzene) เพื่อผลิตเพลิงเบนซินคาร์บอน
จำพวกอะโรมาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มี
คาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงความเป็นเอโร
มาติก (aromatic compound) ในตำแหน่งเดียวกับ
น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินด้วย

วิชาการ (2548) ศึกษาการแปรรูปน้ำมัน
พืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยปฏิกิริยาแตก
ตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทำการทดลองในเครื่อง
ปฏิกรณ์แบบแบตช์บนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5
ซัลเฟตเซอร์โคเนีย และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ
ผสม HZSM-5 และซัลเฟตเซอร์โคเนียใน
สัดส่วนต่าง ๆ กัน เพื่อหาค่าร้อยละผลได้ของแก๊ส
โซลีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยของเหลว แก๊ส
และของแข็งเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ของเหลวนำไป
วิเคราะห์หาการแจกแจงผลิตภัณฑ์ตามคาบจุด
เดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อม
ซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นให้ผลการทดลองของ
การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสมที่สัดส่วนของ
HZSM-5 และซัลเฟตเซอร์โคเนีย 0.3 ต่อ 0.7 ให้
ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนสูงที่สุดที่ร้อยละ
26.57 โดยน้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 430 องศา
เซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์
เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 90 นาที และมีองค์ประกอบ
เป็นอีโรซีน 10.65%, แก๊สไฮโดรคาร์บอน
29.07 % และ
กาน้ำมัน 12.88 % โดยมีแก๊สไฮโดรคาร์บอน
20.20 % และของแข็ง 0.63 % โดยน้ำหนัก

วิชาการ (2550) ศึกษา การแปรรูปน้ำมัน
พืช น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และพลาสติกใช้แล้วให้
เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยปฏิกิริยาการแตกตัวด้วย
ความร้อน และด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลอง
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาอิทธิพล

ของตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็น
น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการ
ไหลของแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการไหลของสาร
ป้อนเข้าได้แก่น้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น และพอลิ
พรอพิลีน อัตราส่วน 0.7 ต่อ 0.1 ต่อ 0.2 โดย
น้ำหนัก เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ค่า
การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโคร
มาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นพบว่า
ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของ
ความดันแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการ
ไหลของสารป้อนเข้า 1.23 กรัมต่อนาที บนตัวเร่ง
ปฏิกิริยา 5% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้ร้อยละของ
แก๊สโซลีนสูงที่สุดร้อยละ 50.95 เกลียวร้อยละ
10.38 แก๊สไฮโดรคาร์บอน ร้อยละ 21.68 และกาน้ำมันร้อยละ
16.99 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำกลีเซอรอล
เหลือทิ้งจากปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันของ
น้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการแตกตัวด้วย
ความร้อนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งนอกจากจะเป็น
การเปลี่ยนรูปของเสียให้เป็นพลังงานใหม่แล้ว ยัง
เป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสียพร้อมกับการบริหาร
จัดการของเสียที่ดีไปควบคู่กันด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่
เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอล
เหลือทิ้งจากกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน
ของน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่
ให้องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดในช่วงของน้ำมัน
ดีเซล ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง
เพื่อเป็นแนวทางในการขยายขนาดเครื่องปฏิกรณ์
สำหรับผลิตเชื้อเพลิงเหลวในภาคอุตสาหกรรม
รวมถึงเป็นแนวทางในการนำ กลีเซอรอลที่ไม่ได้ใช้
ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์อื่นและ

ให้เป็นข้อเสนอแนะการปรับปรุงการทดลองของเสียอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือ อุณหภูมิ อัตราการป้อนเข้าของกลีเซอรอล และอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่มีผลต่อเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (simulated distillation gas chromatograph)

2. ขั้นตอนทำการทดลอง

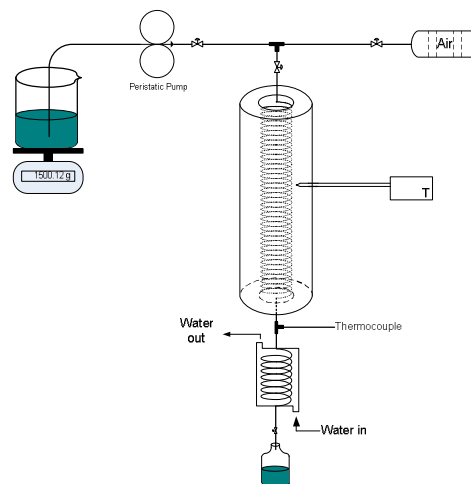
สารตั้งต้น

ใช้กลีเซอรอลที่แยกได้จากกระบวนการทรานส์-เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว (ประมาณ 1 เดือน) จากบริษัท ไทยไบโอเคมิคอล จำกัด (เก็บตัวอย่างเมื่อเดือนธันวาคม 2550) นำมากรองแยกตะกอนไขมันที่เจือปนรวมถึงสิ่งเจือปนออกแล้วเก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทและทึบแสง โดยใส่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อป้องกันการออกซิไดซ์ด้วยแสงและอากาศ

เครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์

ระบบของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่อง (continuous tubular reactor) แสดงในรูปที่ 1 โดยมีปั๊ม peristaltic เป็นตัวปั๊มกลีเซอรอลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ทำจากท่อสเตนเลส SS 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3/8 นิ้ว (0.953 เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.936 เซนติเมตร ความยาว 12 เมตร ขดเป็นวงความสูงประมาณ 95 เซนติเมตร มีเตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) ที่มีชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ความร้อนที่สามารถปรับตั้งอุณหภูมิของเตาได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบเค เป็นตัวตรวจจับ

อุณหภูมิที่ผิวภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ไปยังชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์มีชุดแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ (cooling water) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ในการทดลองนี้เป็นระบบที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนร่วมด้วยจึงต่อท่อนำแก๊สไฮโดรเจนที่ปรับอัตราการไหลผ่านเครื่องควบคุมการไหลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ และมีท่อนำอากาศสำหรับใช้ไล่กากของแข็งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 1 Schematic diagram ของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

วิธีทำการทดลอง

ชั่งน้ำหนักของกลีเซอรอลด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึง 200 องศาเซลเซียส จึงเปิดปั๊ม peristaltic เพื่อป้อนสารตั้งต้นสู่เครื่องปฏิกรณ์ เมื่อเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่จะทดลอง จึงเริ่มจับเวลา แล้วรอจนน้ำมันหยดแรกออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์แล้ว จึงหยุดจับเวลาเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของสารตั้งต้นและบันทึกน้ำหนักสารตั้งต้น เก็บตัวอย่างและบันทึกน้ำหนัก

อุณหภูมิ

ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้นำมาเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนที่เจือปนออกแล้วละลายด้วย CS₂ ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 100 โดยปริมาตร เพื่อวิเคราะห์หองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D-2887 (วิชาการ, 2550) โดยให้หองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดดังนี้

IBP – 200 °C ให้หองค์ประกอบในช่วงของเนฟธา หรือ แกโซลีน

200 °C – 250 °C ให้หองค์ประกอบในช่วงของเคโรซีน หรือน้ำมันก๊าด

250 °C – 350 °C ให้หองค์ประกอบในช่วงของแก๊สออยล์ชนิดเบา

350 °C – 370 °C ให้หองค์ประกอบในช่วงของแก๊สออยล์ชนิดหนัก โดยถือว่าในช่วงอุณหภูมิ 250 °C – 370 °C ให้หองค์ประกอบเป็น น้ำมันดีเซล

370 °C – FBP ให้หองค์ประกอบในช่วงของกากน้ำมัน หรือน้ำมันเตา

การคำนวณร้อยละการเปลี่ยนเป็นร้อยละผลได้น้ำมัน

$$\text{ร้อยละผลได้น้ำมัน (\% Oil yield)} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้น} \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นสารตั้งต้น}} \quad (1)$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็งและแก๊ส (\% Solid \& Gas yield)} = 100 - \text{ร้อยละผลได้น้ำมัน} \quad (2)$$

3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

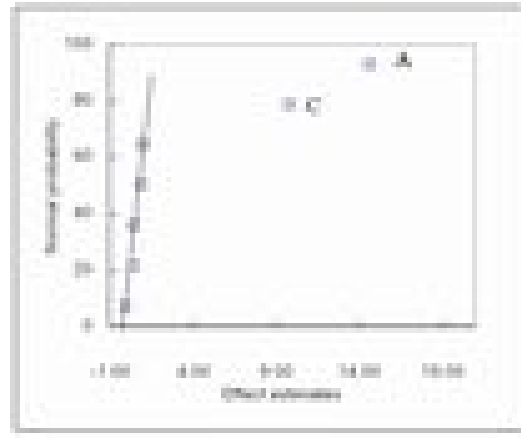
ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงของน้ำมันดีเซลจึงออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ ภายใต้สมมติฐานว่าตัวแปรและค่าการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 380 – 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 1 ถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาที และ อัตราการป้อนของกลีเซอรอล 3 – 12 กรัมต่อนาที ในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์หองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (วิชาการและคณะ, 2551) พบว่าให้ร้อยละของแกโซลีน (gasoline) และเคโรซีน (kerosene) อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 7 – 16 โดยน้ำหนัก ร้อยละของดีเซลซึ่งประกอบด้วยช่วงของแก๊สออยล์เบา (light gas oil) และแก๊สออยล์ (gas oil) อยู่ที่ 34 – 60 และกากน้ำมันหนักร้อยละ 28 โดยมีของแข็งหรือโค้ก (coke) เกิดขึ้นในระบบเล็กน้อย ดังนั้นการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลในงานวิจัยนี้จึงมีการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ (selectivity) ที่มีองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดอยู่ในช่วงของน้ำมันดีเซล แล้วทำการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบดีเซลที่เกิดขึ้น โดยการนำผลการทดลองที่ได้มาสร้าง normal probability plot แสดงในรูปที่ 2 พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงคือ อุณหภูมิ และอัตราการป้อนของกลีเซอรอล ซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อร้อยละการเลือกเกิด (% of selectivity) เป็นน้ำมันดีเซล และเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์

การที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (A) และอัตรา การป้อนของกลีเซอรอล (C) มีค่าจากการคำนวณ เป็น 1359.62 และ 606.848 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า มากกว่า $F_{0.025,1,14}$ ที่ได้จากตารางคือ 6.30 จึงเป็น การยืนยันว่าอุณหภูมิ และอัตราการป้อนของกลี เซอรอล มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการแตกตัวด้วย ความร้อนของ กลีเซอรอลให้มีร้อยละการ เลือกเกิดเป็นน้ำมันดีเซล

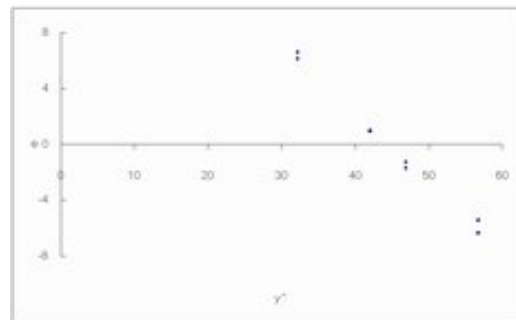
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองแบบ 2^K

Source of Variation	Sum of Square	df	Mean Square	F_0
A	432.327	1	432.327	1359.62
C	192.963	1	192.963	606.84
Error	4.452	13	0.318	
Total	629.742	16		

เมื่อตรวจสอบส่วนตกค้างของความแปรปรวนจากการออกแบบการทดลองแบบ 2^K โดยตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอยซึ่งสามารถทำได้โดยวิเคราะห์ส่วนตกค้างที่เหลือจากข้อมูลที่สมการทำนาย รูปที่ 3 แสดงผลของส่วนตกค้างนี้เป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error) โดยมีข้อตกลงคือ มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) จะไม่มีแนวโน้มหรือโครงสร้าง (structureless) มีความแปรปรวนคงที่ (constant variation) และไม่ขึ้นกับลำดับการเก็บข้อมูลซึ่งข้อตกลงทั้งหมดสามารถวิเคราะห์ได้จากการพล็อตส่วนตกค้างกับ % normal probability ค่าที่ได้จากสมการถดถอย (fitted value) และลำดับการทดลอง (Run Order) ตามลำดับ



รูปที่ 2 Normal probability plot ของการทดลองแบบ 2^K แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการทดลอง เบี่ยงเบนไปจากเส้นตรง คือ อุณหภูมิ (A) และ อัตราการป้อนของกลีเซอรอล (C)

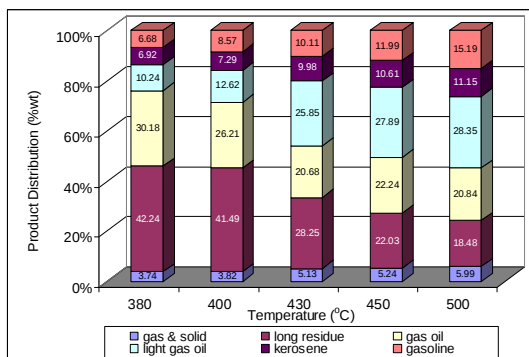


รูปที่ 3 ส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการประมาณจากแบบจำลองพบว่าไม่มีแนวโน้มหรือโครงสร้างที่แน่นอนในทิศทางเดียวกัน

ใน การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่า อุณหภูมิ และอัตราการป้อนของกลีเซอรอล มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงองค์ประกอบที่ ให้ดีเซล ในการศึกษาปัจจัยที่ เกี่ยวข้องต่อการแตกตัวด้วยความร้อนภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน จึงมุ่งเน้นที่จะหาภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วย

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

แต่จาก
การกลั่นของหม้อต้มผลิตหอยแห้งด้วย
ความร้อนในการออกแบบการทดลองแบบสอง
ปัจจัย พบว่าอุณหภูมิและอัตราการป้อนของกลีเซ
อรอลมีผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อน ดังนั้นใน
การทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมจึงให้อัตรา
การไหลของแก๊สไฮโดรเจนคงที่ 5 มิลลิเมตรต่อ
นาที่

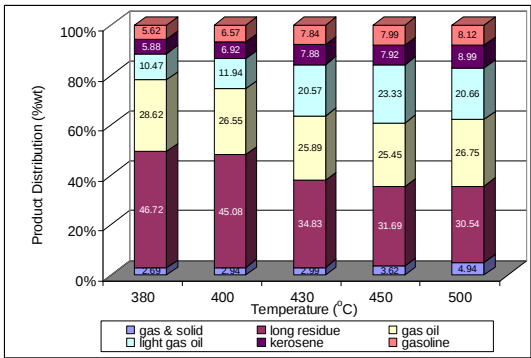


รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของ
ผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง
simulated distillation gas chromatograph ที่
อุณหภูมิ 380 ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการ
ป้อนของสารตั้งต้น 3 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออก
ซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 5
มิลลิเมตรต่อนาที

รูปที่ 4 แสดงผลการทดลองอิทธิพลของ
อุณหภูมิ 380 – 400 องศาเซลเซียส ให้ค่าการ
กระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดของ
ผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงของน้ำมันแก๊โซลีนและ
น้ำมันก๊าดน้อยมาก ขณะที่ร้อยละของค่าการ
กระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดของ
น้ำมันในช่วงที่เป็นกาน้ำมันยังมีปริมาณสูงมาก
ซึ่งพอจะอธิบายได้จากอิทธิพลของความร้อนที่
สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจะทำให้

เกิดปฏิกิริยารวมตัวของพอลิเมอร์ (Polymerization)
ทำให้โมเลกุลของกลีเซอรอลที่มีขนาดเล็กเกิดการ
รวมตัวเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (ชนาธิป, 2546)
ประกอบกับที่ภาวะดังกล่าวภายใต้อัตราการป้อน
ของกลีเซอรอลในระดับต่ำทำให้สารตั้งต้นได้รับ
อิทธิพลจากความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนมาจากผิว
เครื่องปฏิกรณ์ในเวลานาน จึงทำให้สารตั้งต้นมี
โอกาสได้รับอิทธิพลจากความร้อนแม้อุณหภูมิจะ
ยังไม่สูงมาก แต่ก็ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความ
ร้อนและเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดขึ้นใน
บางส่วน จึงเห็นว่า ปริมาณขององค์ประกอบที่เป็น
กาน้ำมันลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
จาก 380 องศาเซลเซียสเป็น 400 องศาเซลเซียส
และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะทำให้สารตั้ง
ต้นได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิที่เกิดจาก การ
แลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ด้วย
เวลานานขึ้นพร้อมกับได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิ
สูงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปเป็น 430 ถึง 500 องศา
เซลเซียส ทำให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อน
เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุล
ขนาดใหญ่นั้นแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดกลาง
จำพวกแก๊สออยล์หรือองค์ประกอบในคาบจุดเดือด
ของน้ำมันดีเซลได้ดีขึ้น นอกจากนี้จะสังเกตว่าที่
อุณหภูมิสูงขึ้นก็จะให้ปริมาณของแนฟทาและเคโร
ซีนเพิ่มขึ้นจากสาเหตุของการที่โมเลกุลที่
เกิดปฏิกิริยารวมตัวและแตกตัวของพอลิเมอร์
ไปเป็นโมเลกุลขนาดกลางจำพวกแก๊สออยล์แตก
ตัวต่อไปเป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้อย่าง
รวดเร็ว (วิชากร, 2550) ในขณะที่อิทธิพลของ
อุณหภูมิและสารตั้งต้นที่ยังอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์
มีโอกาสได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องทำให้มีการ
แตกตัวด้วยความร้อนต่อไป ดังจะพบว่าปริมาณ

ปริมาณของเนฟทาสูงขึ้น พร้อมกับมวลรวมของเนฟทาที่เกิดขึ้นแตกตัวด้วยความร้อนต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กและของแข็งจำพวกโค้กได้มากขึ้นเช่นกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ เมื่อให้อัตราการป้อนของกลีเซอรอลคงที่ 3 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้องค์ประกอบของแก๊สออกไซด์เบาและแก๊สออกไซด์หนักซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่คาดหวังในช่วงของการเลือกเกิดไปเป็นองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ในช่วงคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซลได้ถึงร้อยละ 50.15 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ให้เนฟทา เกลโรซีน กากน้ำมัน ร้อยละ 11.99 11.61 และ 22.03 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยมีปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนและของแข็งที่เกิดขึ้นจากการประมาณโดยผลต่าง (by difference) ร้อยละ 5.24 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 380 ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสารตั้งต้น 6 กรัมต่อนาที ในภาวะไร

ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองอิทธิพลของอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 380 – 400 องศาเซลเซียส ให้ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงของน้ำมัน แกโซลีนและน้ำมันก๊าดประมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก โดยให้ร้อยละของค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดของน้ำมันในช่วงที่เป็นกาน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 45–46 โดยน้ำหนัก

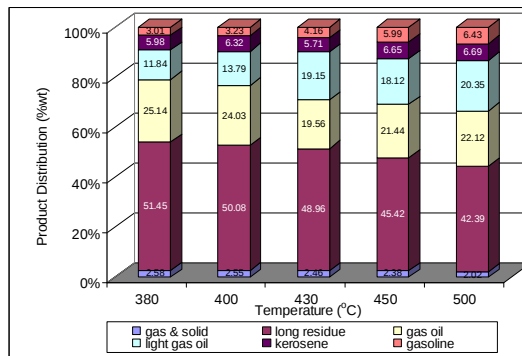
ซึ่งจะเห็นว่ายังมีโมเลกุลที่เกิดจากปฏิกิริยารวมตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกดังที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยเมื่อได้รับความร้อนต่อไปจนถึง 400 องศาเซลเซียสภายใต้อัตราการป้อนของกลีเซอรอล 6 กรัมต่อนาที ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีการรวมตัวแล้วเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิเมอร์ แต่อิทธิพลของอุณหภูมียังไม่มากพอที่จะเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลขนาดกลาง ดังเห็นได้ว่ามีร้อยละของกาน้ำมันลดลงเพียง 1.5 % โดยน้ำหนัก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้สารตั้งต้นได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิจากการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวของเครื่องปฏิกรณ์ด้วยเวลาที่นานขึ้นพร้อมกับได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิสูงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปเป็น 430 ถึง 500 องศาเซลเซียส เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกกาน้ำมันนั้นแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดกลางที่มีองค์ประกอบในคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซล ซึ่งพอสังเกตได้จากปริมาณของกาน้ำมันที่ลดลงจากร้อยละ 45 เหลือประมาณร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก อย่างชัดเจน นอกจากนี้จะสังเกตว่าที่

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ัลแบบ

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการหมักกลูโคสไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องและเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนต่อไปเป็นแก๊สออกไซด์แบบเบาได้มากขึ้น

ขณะที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ทำให้อิทธิพลของอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้สารตั้งต้นที่ยังอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์มีโอกาสได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องทำให้มีการแตกตัวด้วยความร้อนต่อไปดังพบว่าปริมาณของกากน้ำมัน แก๊สออกไซด์ลดลง โดยมีปริมาณของเนฟทาสูงขึ้น พร้อมกับปริมาณของเนฟทาที่เกิดขึ้นแตกตัวด้วยความร้อนต่อไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กและของแข็งจำพวกโค้กได้มากขึ้นด้วย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ เมื่อให้อัตราการป้อนของกลีเซอรอลคงที่ 6 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ห้องรีดิวซ์ในช่วงคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซล ได้ถึงร้อยละ 48.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งลดลงเล็กน้อยจากสภาวะที่ให้อัตราการป้อนของกลีเซอรอล 3 กรัมต่อนาที ดังที่พอจะอธิบายได้จากการที่อัตราการป้อนสูงทำให้สารตั้งต้นได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนมาจากผิวเครื่องปฏิกรณ์ได้น้อยกว่าที่อัตราการป้อนต่ำ จึงมีโอกาสได้รับอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนน้อยกว่า

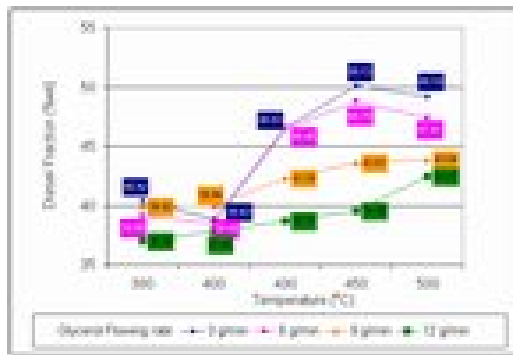


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 380 ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสารตั้งต้น 12 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

รูปที่ 6 แสดงผลการทดลองอิทธิพลของอุณหภูมิ 380 – 450 องศาเซลเซียส ให้ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงของกากน้ำมันยังมีปริมาณสูงมากประมาณร้อยละ 48 – 51 โดยน้ำหนัก ซึ่งพอจะอธิบายได้จากอิทธิพลของความร้อนที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจะทำให้เกิดปฏิกิริยารวมตัวของพอลิเมอร์ (Polymerization) ทำให้โมเลกุลของกลีเซอรอลที่มีขนาดเล็กเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ และที่ภาวะดังกล่าวภายใต้อัตราการป้อนของกลีเซอรอลในระดับสูงทำให้สารตั้งต้นได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนมาจากผิวเครื่องปฏิกรณ์ในเวลาสั้นๆ จึงทำให้สารตั้งต้นมีโอกาสได้รับอิทธิพลจากความร้อนน้อยในภาวะอุณหภูมิจะยังไม่สูงมากจึงไม่เพียงพอที่จะเกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญได้ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 450 – 500 องศาเซลเซียสอิทธิพลของความร้อนก็มีผล

ปเป็น

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น น้ำมันที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจนจำพวกแก๊สออกไซด์หรือองค์ประกอบในคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซลได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการป้อนสูง อิทธิพลของความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาก ก็ยังไม่สามารถจะมีบทบาทต่อการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางและได้รับอิทธิพลของความร้อนเพื่อเกิดปฏิกิริยาแตกตัวด้วยความร้อนต่อไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กหรือแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบาได้อย่างชัดเจน ดังจะเห็นได้จากแม้จะเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นมากแต่องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ในคาบจุดเดือดที่ให้องค์ประกอบต่าง ๆ ก็ไม่ค่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อให้อัตราการป้อนของกลีเซอรอลคงที่ที่ 12 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตร ต่อนาที จะให้องค์ประกอบของแก๊สออกไซด์เบาและแก๊สออกไซด์หนักซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่คาดหวังในช่วงของการเลือกเกิดไปเป็นองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ในช่วงคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซลสูงสุดเพียงร้อยละ 42.47 โดยน้ำหนักเมื่อต้องใช้ภาวะที่อุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส ในขณะที่ให้เนฟทาไมแตกต่างกันมาก ประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนและของแข็งที่เกิดขึ้นจากการประมาณโดยผลต่างก็มีน้อยมากประมาณ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ตามคาบจุดเดือดในช่วงของน้ำมันดีเซล โดยใช้เครื่อง simulated distillation gas chromatograph ที่อุณหภูมิ 380 ถึง 500 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อนของสารตั้งต้น 3 -12 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที

5. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวด้วยความร้อนมีลักษณะเป็นของเหลวสามารถนำไปวิเคราะห์ในเชิงปริมาณเพื่อหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว และทำการวิเคราะห์ของเหลวในเชิงคุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีให้สถานะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนได้ดีโดยปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของในช่วงองค์ประกอบตามคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิ และอัตราการป้อนของกลีเซอรอล ในขณะที่บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของกลีเซอรอลอย่างมี

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features

ตกตัว

หรือการมีอุณหภูมิของกระบวนการแยกแ้วจุดเดือดของน้ำมันดีเซล คือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของกลีเซอรอลคงที่ 3 กรัมต่อนาที ในภาวะไร้ออกซิเจนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่อัตราการไหล 5 มิลลิเมตรต่อนาที ให้องค์ประกอบของแก๊สออกไซด์เบาและแก๊สออกไซด์หนักซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่คาดหวังในช่วงของการเลือกเกิดไปเป็นองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ในช่วงคาบจุดเดือดของน้ำมันดีเซลได้ถึงร้อยละ 50.15 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ให้แวนฟา, เคโรซีน, กากน้ำมัน ร้อยละ 11.99, 11.61 และ 22.03 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยมีปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนและของแข็งที่เกิดขึ้นจากการประมาณโดยผลต่าง (by difference) ร้อยละ 5.24 โดยน้ำหนัก

6. เอกสารอ้างอิง

ชนาธิป สามารถ. (2546). กระบวนการเปลี่ยนพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลโมลิบดีนัมบนซิลิกาอะลูมินาและตัวเร่งปฏิกิริยากรด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นินา วิสุทธิรังษิอุไร, ธราพงษ์ วิทิตสานต์, และ วิชากร จารุศิริ. (2550). การแตกตัวด้วยความร้อนของ พอลิสไตรีนและน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง. วารสารวิจัยพลังงาน 4 : 42 -51.

วิชากร จารุศิริ. (2548). การเปลี่ยนน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 และ ซัลเฟตเตตระเออร์โคเนียม.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชากร จารุศิริ. (2550). การแตกตัวด้วยของน้ำมันพืชน้ำมันหล่อลื่น และพอลิพรอพิลีนใช้แล้วด้วยความร้อนเป็นแก๊สโซลีนบนเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง. รายงานวิจัยทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชากร จารุศิริ, จินตนา อุบลวัฒน์, ชชาติ วัฒนศิลป์ และ กฤตภาส สิงคบุตร. (2551). การเปลี่ยนกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน. รายงานวิจัยทุนสถาบันวิจัยพลังงาน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Dantas, T. N. C. ; Silva, A. C.; and Neto, A. A. D.

(2001).New microemulsion system using Diesel and vegetable oils. Fuel 80: 75 - 81.

Demirbas,A.(2003). Biodiesel fuels from Vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. Energy Conversion and Management 44: 2093 - 2109.

Fukada, H. Kondo, A and Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering 92: 405 - 416.

Ulf, S. Sercheli, R. and Vargas, R. M. (1998) Transesterification of Vegetable Oils: A review. Journal of Brazilian Chemical Society 9: 199 - 210.