สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงการวิจัย

เรื่อง

เครื่องแฟลชดรัมแบบต่อเนื่องเพื่อใช้ในการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ

โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปี (2549)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ กิจไชยา
นางสาวธรชญาน์ สาธิตพิฐกุล
นางสาวนารีรัตน์ พลายละหาร
นายพิสันต์ ผลโพธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TP
359
.B46
ค753
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....84549
วัน,เดือน,ปี..13 ต.ค. 2551
11 ค.ค.4782

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบรวมถึงสร้างเครื่องแฟลชดรัมสำหรับแยกน้ำและเมทานอลออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพมีปริมาณน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2709 โดยมีค่าไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอาจนำเมทานอลกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นใหม่ การออกแบบทำโดยการคำนวณการดุลมวล และพลังงาน โดยการใช้การแยกน้ำเป็นเกณฑ์ได้ออกแบบแฟลชดรัมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร และมีความสูง 1 เมตร และทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องแฟลชดรัมโดยศึกษาผลของการปรับค่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ป้อนเข้าสู่แฟลชดรัม อัตราการป้อนของน้ำมันดีเซลชีวภาพ พบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนของน้ำมันดีเซลชีวภาพ 450 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถแยกน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ ได้คุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันราคาน้ำมันยังมีแนวโน้มที่จะปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดการเก็งกำไรและมีผลทำให้น้ำมันมีราคาสูงขึ้น รัฐบาลไทยมีแนวทางแก้ไขปัญหาเรื่องน้ำมันในประเทศโดยได้มีนโยบายที่จะหาพลังงานทดแทนโดยเฉพาะทดแทนน้ำมันดีเซลที่มีราคาสูงขึ้นซึ่งมีส่วนสำคัญในการชะลอการเจริญเติบโตของประเทศ เนื่องจากผลกระทบของราคาน้ำมันจะส่งผลกระทบเป็นวงกว้างไปยังส่วนต่างๆ

น้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนที่มีส่วนสำคัญอย่างมากในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชต้องใช้เมทานอลที่มากเกินพอสำหรับการทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากการทำปฏิกิริยาจะมีเมทานอลที่มากเกินพอเหลืออยู่และมีน้ำเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตที่จะต้องกำจัดออกไป และหากกำจัดเมทานอลด้วยการทิ้งไปพร้อมกับการล้างด้วยน้ำจะก่อให้เกิดการสูญเสียและเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างเครื่องแฟลชดรัม (Flash drum) เพื่อทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการนำไปใช้งานจริง สามารถนำเมทานอลกลับไปใช้ใหม่และยังเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบเครื่องแฟลชดรัมสำหรับการแยกเมทานอลและน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกเมทานอลและน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ

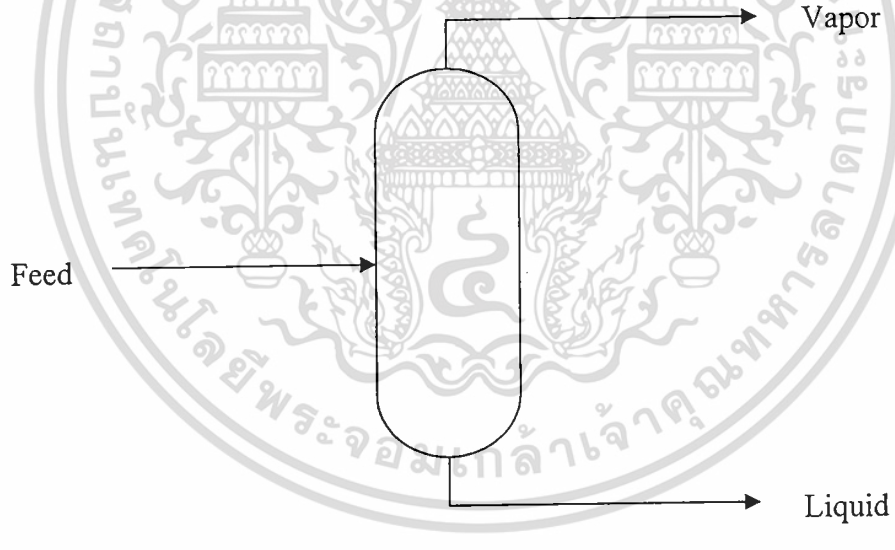
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบแฟลชดรัม

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของแฟลชดรัม ทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัยและการออกแบบแฟลชดรัมเพื่อใช้ในการกำจัดน้ำและเมทานอลออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ปนเปื้อนมาจากกระบวนการผลิตและที่หลงเหลือจากกระบวนการล้าง ทฤษฎีการทำดุลมวลสารและดุลพลังงาน

หลักการทำงานของแฟลชดรัม [1]

แฟลชดรัมเป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ในการแยกสารละลาย โดยส่วนที่ระเหยง่ายหรือมีจุดเดือดต่ำกว่าจะถูกทำให้ระเหยกลายเป็นไอแยกออกมาจากส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งระเหยได้ยาก



รูปที่ 2.1 แฟลชดรัม

กระบวนการแฟลชเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ง่าย เมื่อของเหลวไหลผ่านท่อที่ทำการลดความดันในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนที่ระเหยง่ายหรือมีจุดเดือดต่ำจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ เนื่องจากความดันที่ต่ำลงนั้นจะมีผลทำให้จุดเดือดของสารต่ำลงด้วย ส่วนผสมของวัฏภาค 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคของเหลวและวัฏภาคไอจะไหลผ่านเข้าสู่ตัวถังของแฟลชดรัม วัฏภาคทั้งสองจะเกิดการแยกออกจากกัน ของเหลวจะไหลออกสู่ภายนอกทางด้านล่างของถัง ส่วนไอจะไหลผ่าน

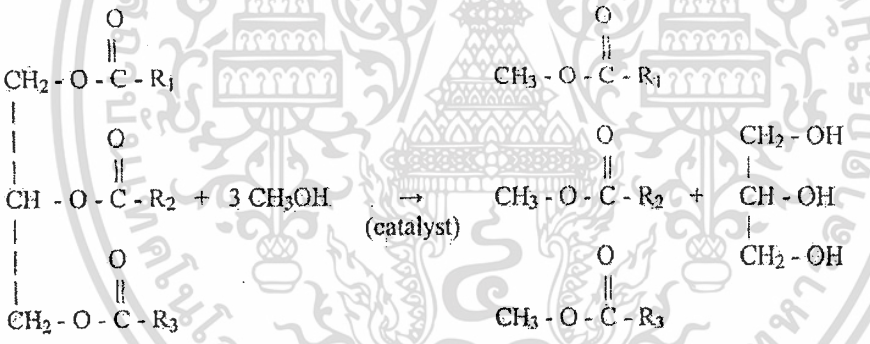
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไปที่ส่วนบนของถัง หรือในอีกกรณีอาจทำการลดความดันภายในตัวถัง สารละลายจะไหลมาตามท่อแล้วเข้าสู่ตัวถังของแฟลชดรัมที่ทำการลดความดัน สารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอในทันทีที่สารละลายไหลเข้าสู่ตัวถัง ของเหลวจะไหลออกที่ส่วนล่างและไอจะไหลออกที่ส่วนบนของตัวถัง ในการดำเนินการอาจทำได้ทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์นำแฟลชดรัมมาใช้ในการกำจัดน้ำในน้ำมันดีเซลชีวภาพ เนื่องจากในมาตรฐานของ ASTM ได้กำหนดไว้ว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพที่สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์จะมีปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพได้ไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร [2] โดยน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพเกิดขึ้นเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ปัจจัยใหญ่ๆ คือ

- เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [2]

ในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจะทำการผลิตโดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์มา ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล โดยใช้เบสแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา คือ กลีเซอรีน และเมทิลเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น (tranesterification)

แต่ถ้าน้ำมันที่จะนำมาทำการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เมื่อนำมา ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นกับแอลกอฮอล์ กรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่และน้ำขึ้นมา ดังสมการ

ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมาผลิตเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพจะต้องทำการกำจัดกรดไขมันอิสระก่อน โดยนำน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา คือ เมทิลเอสเทอร์และน้ำ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$HO-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R \quad + \quad CH_3OH \quad \xrightarrow{(H_2SO_4)} \quad CH_3-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R \quad + \quad H_2O$$

จากสมการจะเห็นได้ว่ามีน้ำเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา น้ำที่เกิดขึ้นนั้นส่วนหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำมันและอีกส่วนจะแยกชั้นออกมา

- กระบวนการล้างน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจะมีด่างและเกลือเกิดขึ้นมา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ สบู่โซเดียม (Sodium soap) เป็นต้น ทำให้ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้นั้นมีไอออนเหล่านี้ละลายอยู่ การกำจัดไอออนสามารถทำได้โดยการใช้น้ำล้าง ซึ่งในกระบวนการล้างจะมีผลทำให้มีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

การใช้แฟลชดรัมในการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ จะเป็นการกำจัดเมทานอลที่หลงเหลือในน้ำมันดีเซลชีวภาพจากกระบวนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากสภาวะการทำงานที่ออกแบบมานั้นจะคิดจากสภาวะที่ใช้สำหรับการระเหยน้ำ แต่เมทานอลมีจุดเดือดที่ต่ำกว่าน้ำ ดังนั้นเมื่อทำการดำเนินการแฟลชดรัมตามสภาวะที่ทำการออกแบบมา จึงสามารถกำจัดเมทานอลที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพได้

ทฤษฎีการคำนวณ [3,4,5]

การทำดุลมวลสาร (mass balance)

สมการดุลมวลสารรวม (total mass balance) คือ

$$F = V + L \qquad (2.1)$$

เมื่อ F : อัตราการไหลเชิงมวลของสารป้อน (kg/hr)

V: อัตราการไหลเชิงมวลของวัฏภาคไอ (kg/hr)

L : อัตราการไหลเชิงมวลของวัฏภาคของเหลว (kg/hr)

และสมการดุลมวลสารขององค์ประกอบ i (component balance)

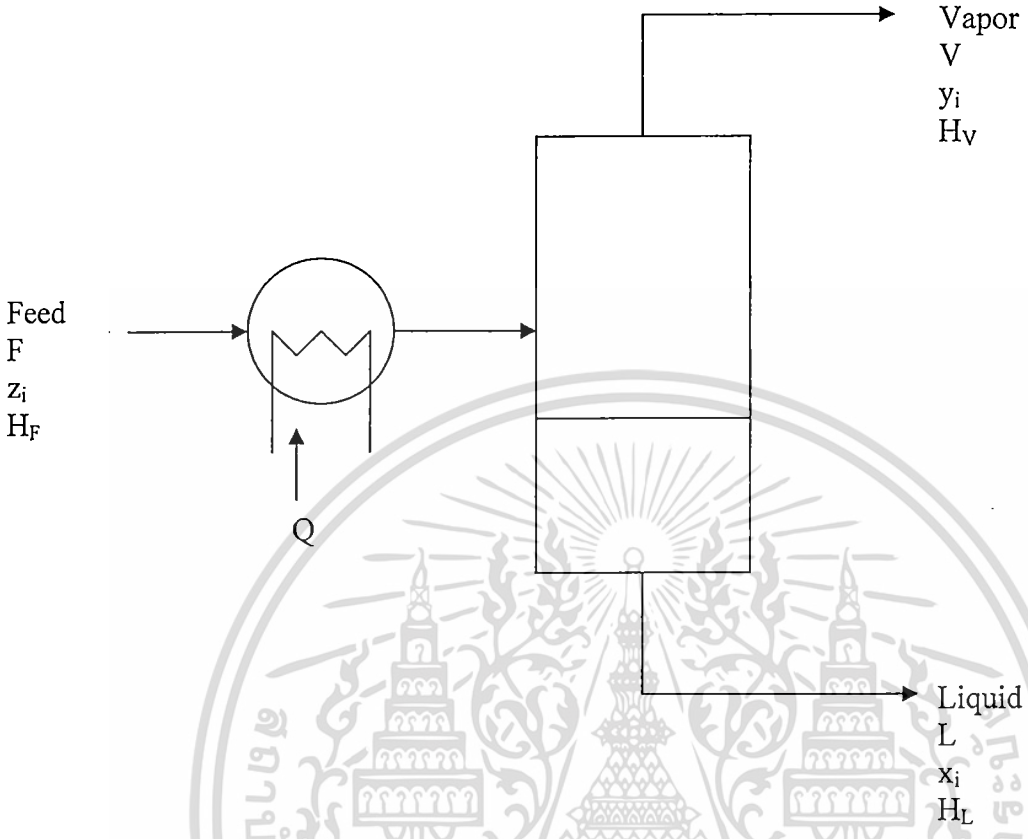
$$z_iF = y_iV + x_iL \qquad (2.2)$$

เมื่อ z_i : อัตราส่วนเชิงมวล(mass fraction)ขององค์ประกอบ i ในสายป้อน

y_i : อัตราส่วนเชิงมวล(mass fraction)ขององค์ประกอบ i ในวัฏภาคไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_i : อัตราส่วนเชิงมวล(mass fraction)ขององค์ประกอบ i ในวัฏภาคของเหลว



รูปที่ 2.2 กระบวนการแฟลช

การทำดุลพลังงาน

ในการคำนวณดุลพลังงานนี้จะทำให้ทราบว่าต้องทำการให้ความร้อนแก่สายป้อนด้วยอัตราเท่าใด สมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$FH_F + Q = VH_V + LH_L \qquad (2.3)$$

เมื่อ H_F : เอนทาลปีของสายป้อน (kJ/kg)

H_V: เอนทาลปีของวัฏภาคไอ (kJ/kg)

H_L : เอนทาลปีของวัฏภาคของเหลว (kJ/kg)

Q : อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบแฟลชดรัม

ในการออกแบบแฟลชดรัมนั้น จะต้องทำการคำนวณหา superficial velocity ของวัฏภาคไอ เพื่อทำการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหา superficial velocity ของวัฏภาคไอจะใช้สมการของ Souders – Brown [1] ในการคำนวณ คือ

$$u_g = 0.064\ [(\rho_l - \rho_g)/\rho_g]^{1/2} \qquad (2.4)$$

เมื่อ u_g : superficial velocity ของวัฏภาคไอ (m/s)

ρ_l : ความหนาแน่นของวัฏภาคของเหลว (g/cm^3)

ρ_g : ความหนาแน่นของวัฏภาคไอ (g/cm^3)

โดยจะใช้ ideal gas law ในการคำนวณหาความหนาแน่นของวัฏภาคไอ เนื่องจากสภาวะในการดำเนินการของแฟลชดรัมทั่วๆ ไป เป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิปานกลางและความดันต่ำ จึงสามารถทำการสมมติว่าก๊าซในวัฏภาคไอประพฤติตัวคล้ายก๊าซอุดมคติ โดย

$$\rho_g = PM/RT \qquad (2.5)$$

เมื่อ P : ความดันภายในถังแฟลชดรัม

M : มวลโมเลกุลของก๊าซ

R : ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ

T : อุณหภูมิภายในถังแฟลชดรัม

สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของถังแฟลชดรัมได้จากสมการ

$$A = \dot{V}_V / u_g \qquad (2.6)$$

เมื่อ A : พื้นที่หน้าตัดของถัง (m^2)

V_V : อัตราการไหลเชิงปริมาตรในวัฏภาคไอ (m^3/hr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เนื่องจากถังเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังแฟลชดรัมจะหาได้จากสมการ

$$A = \pi D^2/4 \qquad (2.7)$$

เมื่อ D : เส้นผ่านศูนย์กลางของถังแฟลชดรัม

การกำหนด residence time จะทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรของของเหลวที่อยู่ภายในถังได้

Geal D. Ulrich [1] ได้เสนอแนะแนวทางในการออกแบบแฟลชดรัมไว้ว่า อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของถังควรมีค่าประมาณ 3 – 5 และระดับความสูงของถังในส่วนที่อยู่เหนือระดับของเหลวควรมีค่าอยู่ที่ 1 เมตร หรือมีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อทำการออกแบบ แฟลชดรัมเพื่อใช้ในการกำจัดน้ำและเมทานอลออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงนำแนวทางที่ได้เสนอไว้นี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

เมื่อทราบระดับความสูงของส่วนที่อยู่เหนือระดับของเหลวและทราบระดับของเหลวที่อยู่ภายในถัง ณ residence time ที่กำหนด ก็จะทำให้ทราบความสูงรวมทั้งหมดของถังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84549

บทที่ 3
การคำนวณการออกแบบแฟลชดรัม

การคำนวณขนาดของแฟลชดรัม

ในการออกแบบครั้งนี้ได้คำนึงถึงอัตราการผลิตเป็นสำคัญ โดยกำหนดอัตราการการป้อนน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยประมาณคือ 150 ลิตรต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส และทำการควบคุมความดันภายในแฟลชดรัมที่ความดัน 0.3 บรรยากาศ จึงได้กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางถังเป็น 0.35 เมตรจะได้ความสูงของถังเป็น1 เมตร ปริมาตรถังทั้งหมดคือ 96 ลิตร

ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำคำแนะนำในการออกแบบแฟลชดรัมของ Geal D. Ulrich [1] มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ โดยคำแนะนำในการออกแบบได้กล่าวไว้ว่า ถ้าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของถังมีค่าระหว่าง 0.3-4 เมตร ความสูงของถังทั้งหมดมีค่าระหว่าง 1-20 เมตร และอัตราส่วนของความสูงทั้งหมดต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าระหว่าง 3-5 เมตร ระยะจากวัฏภาคของเหลวถึงส่วนบนสุดของถังจะมีค่าประมาณ 1 เมตร หรือมีค่าประมาณเส้น ผ่านศูนย์กลางของถัง

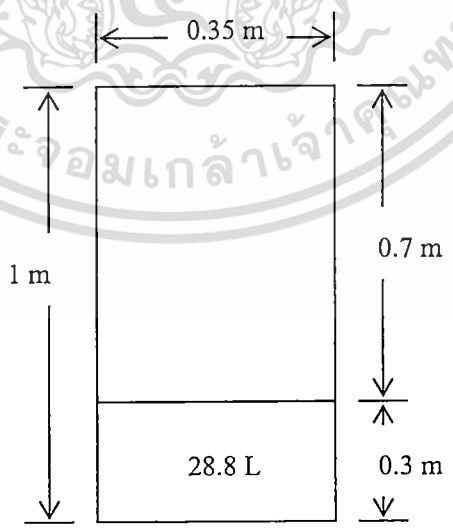
ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ระดับของของเหลวสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.3 เมตร ซึ่งมีระยะเหนือวัฏภาคของเหลวถึงส่วนบนสุดของถังมีค่าเท่ากับ 0.7 เมตร คิดเป็นปริมาตร liquid holdup เท่ากับ

$$V = \pi r^2 h \tag{3.1}$$

$$V = \pi(0.175m)^2\, 0.30m$$

$$V = 0.0288m^3$$

$$V = 28.80L$$



รูปที่ 3.1 ขนาดของแฟลชดรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดปริมาตรของเหลวภายในถังเท่ากับ 25 ลิตร ซึ่งมี residence time 10 นาที และความหนาแน่นของสายป้อนมีค่าประมาณ 0.9 g/cm^3 ดังนั้นจะสามารถคิดอัตราการไหลเชิงปริมาตรและอัตราการไหลเชิงมวลของสารป้อนได้ดังนี้

$$\dot{V}_F = \frac{25l}{10\min}\frac{60\min}{hr} = \frac{150L}{hr}$$

$$\dot{m}_F = \frac{150L}{hr}\frac{0.9g}{cm^3}\frac{1000cm^3}{1L}\frac{1kg}{1000g} = 135\frac{kg}{hr}$$

กำหนดสายป้อนมีน้ำอยู่ประมาณ 0.5 % โดยน้ำหนัก และกำหนดอุณหภูมิห้องเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส กำหนดอุณหภูมิภายใน แฟลชดรัมเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส คิดเป็น 348 เคลวิน จากนั้นคิดอัตราการไหลเชิงโมลของปริมาณน้ำที่อยู่ในสารป้อนได้ดังนี้

$$\dot{n}_{W,F} = \frac{0.5}{100} * 135\frac{kg}{hr} * \frac{1}{0.018\frac{kg}{gmol}}$$

$$\dot{n}_{W,F} = 37.5\frac{gmol}{hr}$$

และสามารถคำนวณอัตราการไหลของไอน้ำเชิงปริมาตรได้ดังนี้

$$P\dot{V}_{W,F} = \dot{n}RT$$

$$\dot{V}_{W,F} = \frac{\dot{n}_{W,F}RT}{P} = \frac{37.5\frac{gmol}{hr} * \left(0.082\frac{atm * dm^3}{mol * K}\right) * 348K}{0.30atm}$$

$$\dot{V}_{W,F} = 3567\frac{dm^3}{hr}$$

$$\dot{V}_{W,F} = 3567\frac{dm^3}{hr} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{1hr}{60\min}$$

$$\dot{V}_{W,F} = 0.05745\frac{m^3}{\min}$$

จากสมการ

$$u_g = 0.064\ [(\rho_l - \rho_g)/\rho_g]^{1/4}\ \text{m/s} \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ความหนาแน่นน้ำมันดีเซลชีวภาพมีค่าประมาณ 0.9 g/cm^3 ดังนั้นความหนาแน่นของไอน้ำที่ความดัน 0.3 atm และอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสสามารถคำนวณได้จาก

$$\rho_g = \frac{PM}{RT} = \frac{0.30atm * 18g/mol}{\frac{0.082atm * dm^3}{mol * K} * 348K}$$

$$\rho_g = 0.189\frac{g}{L}\frac{1}{1000cm^3} = 1.89 * 10^{-4}\frac{g}{cm^3}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณ superficial velocity ได้ดังนี้

$$\mu_g = 0.064m/s\left(\frac{0.9g/cm^3 - (1.89*10^{-4})g/cm^3}{1.89*10^{-4}g/cm^3}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\mu_g = 4.413m/s$$

$$\mu_g = 4.413\frac{m}{s} * 60\frac{s}{\min} = 264.793\frac{m}{\min}$$

สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของถังได้ดังนี้

$$Area = \frac{\dot{V}_{W,F}}{\mu_g} = \frac{0.05945m^3/\min}{264.793m/\min} = 2.2 * 10^{-4}m^2 \quad (3.3)$$

$$A = \pi r^2$$

$$r = 0.845cm$$

ค่ารัศมีที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยแสดงว่าในการออกแบบถังนั้นไม่ได้ถูกจำกัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง

การดุลพลังงาน (heat balance) [3,5]

จากสมการดุลพลังงาน

$$H_{in} = H_{out} \quad (3.4)$$

$$H'_F = H_L + H_v \quad (3.5)$$

กำหนดแฟลชดรัมมีสภาวะการทำงานเป็น perfect mixing tank และระบบเป็น Adiabatic

- การหาค่าเอนทาลปีของสารป้อน (enthalpy of feed)

$$H = mc_p\Delta T$$

$$\therefore H'_F = \dot{m}_F c_{P,F}(T_F - T_0) \quad (3.6)$$

กำหนดปริมาณน้ำและเมทานอลในสารป้อนมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมารณน้ำมัน ดังนั้น

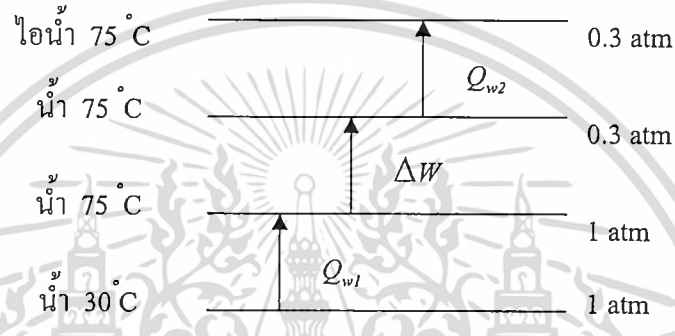
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c_{p,F} \cong c_{p,oil}$$

ซึ่ง $C_{p,oil}$ มีค่าประมาณ 2 kJ/kg.K [6]

- การหาเอนทาลปีของวัฏภาคไอ (enthalpy of vapor)

วัฏภาคไอที่ได้จากกระบวนการแฟลช สามารถสมมติได้ว่ามีเฉพาะไอน้ำเพียงอย่างเดียว และเนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันเป็น state function ดังรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความร้อนของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำได้ดังนี้

- น้ำที่ 30 องศาเซลเซียส กลายเป็นน้ำที่ 75 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

$$Q_{w1} = \dot{m}_{w,v} c_{p,w,v} (T - T_0) \tag{3.7}$$

- น้ำที่ 75 องศาเซลเซียสที่ความดัน 1 บรรยากาศกลายเป็นน้ำที่ 75 องศาเซลเซียสที่ความดัน

0.3 บรรยากาศ

$$\Delta W = \Delta PV = V\Delta P + P\Delta V \tag{3.8}$$

เนื่องจากในการเปลี่ยนความดันจาก 1 atm ไปเป็น 0.3 atm จะเกิดการขยายตัวของของเหลวเป็นการให้งานออกมา แต่เนื่องจากของเหลวเป็น incompressible fluid คือปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสมการ (3.8) จะได้เป็น

$$\Delta W = \Delta PV = V\Delta P \tag{3.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำที่ 75 องศาเซลเซียสที่ความดัน 0.3 บรรยากาศ กลายเป็นไอน้ำที่ 75 องศาเซลเซียสที่ความดัน 0.3 บรรยากาศ

$$Q_{w2} = \dot{m}_{w,v}\Delta H_v \tag{3.10}$$

เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำจากน้ำที่ 75 องศาเซลเซียสที่ความดัน 1 บรรยากาศ กลายเป็นน้ำที่ 75 องศาเซลเซียสที่ความดัน 0.3 บรรยากาศ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ Q_{w1} และ Q_{w2} ดังนั้น

$$\begin{aligned} H_V &= Q_{w1} + Q_{w2} \\ H_v &= \dot{m}_{w,v}c_{p,w,v}(T - T_0) + \dot{m}_{w,v}\Delta H_v \end{aligned} \tag{3.11}$$

- การหาเอนทาลปีของของเหลว (enthalpy of liquid)

เนื่องจากในเฟสของเหลวที่ได้จากกระบวนการ แฟลช คือน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีปริมาณมากถึง 99.50 %โดยปริมาตรดังนั้น

$$H_L = \dot{m}_L c_{p,oil}(T - T_0) \tag{3.12}$$

เมื่อนำสมการ 3.6 3.11 และ 3.12 แทนค่าลงในสมการ 3.5 จะได้

$$\dot{m}_F C_{p,F}(T_F - T_0) = \dot{m}_{W,V}C_{p,W,V}(T - T_0) + (\Delta \mathrm{H}_v \dot{m}_{w,v}) + \dot{m}_L C_{p,oil}(T - T_0) \tag{3.13}$$

เมื่อพลังงานที่ใช้สำหรับการ flash ทั้งหมด (Q) คือ

$$\dot{m}_F C_{p,F}(T_F - T_0) = Q$$

แต่ในระบบสารป้อนเกือบทั้งหมด(99.5%โดยปริมาตร) เป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพดังนั้น อาจประมาณค่า Q ได้โดย

$$Q = \dot{m}_F c_{p,F}(T_F - T_0) = \dot{m}_F c_{p,oil}(T_F - T_0) \tag{3.14}$$

ผลการคำนวณการดุลพลังงานตามสมการด้านบนได้ผลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้

$$Feed(\dot{m}_F) = 135\frac{kg}{hr}$$

$$Vapor(\dot{m}_{W,V}) = 0.675\frac{kg}{hr}$$

$$Liquid(\dot{m}_L) = 134.325\frac{kg}{hr}$$

$$P = 0.3atm$$

$$C_{P,oil} = 2\frac{kJ}{kg.K}$$

$$\Delta H_V = 2{,}300\frac{kJ}{kg}$$

$$T_0 = 30^\circ C = 303K$$

$$T = 75^\circ C = 348K$$

$$C_{p,w,v}30^\circ C = \left[3.470 + 1.45x10^{-3}(303)\right]\left[8.314\frac{kJ}{kmol.K}\right]\left[\frac{1kmol}{18kg}\right] = 1.8056\frac{kJ}{kg.K}$$

$$C_{p,w,v}75^\circ C = \left[3.470 + 1.45x10^{-3}(348)\right]\left[8.314\frac{kJ}{kmol.K}\right]\left[\frac{1kmol}{18kg}\right] = 1.7960\frac{kJ}{kg.K}$$

ดังนั้นค่าความความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 75 องศาเซลเซียส คือ

$$C_{p,w,v}average = 1.800\frac{kJ}{kg.K}$$

เมื่อแทนค่าดังกล่าวข้างต้นลงในสมการที่ 3.2.10 จะได้ว่า

$$\left(135\ \frac{kJ}{hr}\right)\left(2\ \frac{kJ}{kg.K}\right)\Delta T =$$

$$\left[\left(0.675\ \frac{kg}{hr} * 1.8\ \frac{kJ}{kg.K} * 45\,K\right) + \left(2300\ \frac{kJ}{kg} * 0.675\ \frac{kg}{hr}\right)\right] + \left(134.325\ \frac{kg}{hr}\right)\left(2\ \frac{kJ}{kg.K}\right)(45\,K)$$

สามารถคำนวณหาค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่าอุณหภูมิของสารป้อนและอุณหภูมิห้อง (ΔT) ได้คือ

$$\Delta T = 50.7$$

ดังนั้นเมื่อกำหนดให้อุณหภูมิห้องเป็น 303 เควิน จะสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของสารป้อนได้เป็น

$$T_F = 303 + 52. = 353.7K$$

$$T_F = 80.7^\circ C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นอุณหภูมิของสารป้อนก่อนเข้าสู่แฟลชดรัมจะมีค่าเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิแก่สารป้อน โดยทำให้สารป้อนมีอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็น80 องศาเซลเซียส ได้ดังนี้

$$Q = \dot{m}_F C_{p,oil} \Delta T$$

$$Q = (135\frac{kg}{hr})(2\frac{kJ}{kg.K})(353.7-303K)(\frac{1hr}{3600s})$$

$$Q = 3.80Kw$$

ดังนั้นถ้าใช้ความดัน 0.3 atm และใช้อุณหภูมิของสารป้อนเป็น 30 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการป้อนเชิงมวลของของผสมน้ำมันชีวภาพที่มีน้ำอยู่ในของผสม 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเท่ากับ $135\frac{kg}{hr}$ และต้องการให้อุณหภูมิภายในแฟลชดรัมเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส จะต้องทำให้สายป้อนมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส และใช้พลังงานความร้อนเท่ากับ 3.8 kW

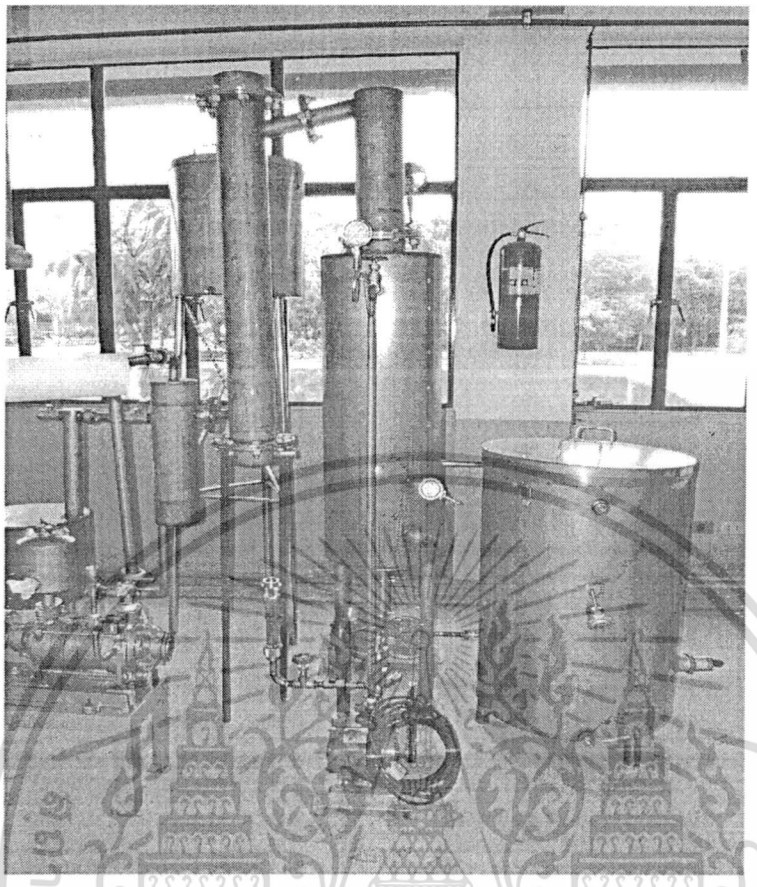
ผลที่ได้จากการออกแบบ

แฟลชดรัมที่ได้ทำการออกแบบมีโครงสร้างดังนี้

- วัสดุที่ใช้ทำเป็นโครงสร้างโลหะสแตนเลส
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.35 เมตร
- ความสูง = 1 เมตร
- ปริมาตรรวม = 96 ลิตร
- ความสูงของระดับของเหลว = 0.35 เมตร
- อัตราการป้อนสารสูงสุด = 450 ลิตรต่อชั่วโมง
- อัตราการให้ความร้อนแก่สารป้อน = 4 กิโลวัตต์

แฟลชดรัมที่ได้ดำเนินการสร้างในงานวิจัยนี้ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แฟลชดรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองหลายๆ ปัจจัยในการกำหนดสภาวะของการทดลองนั้น จะมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากกระบวนการแฟลช 4 ปัจจัย คือ ความดัน ปริมาณน้ำในสารป้อน อุณหภูมิ อัตราการไหล โดยจะพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่จะใช้ในการกำหนดสภาวะการทดลอง ดังนี้

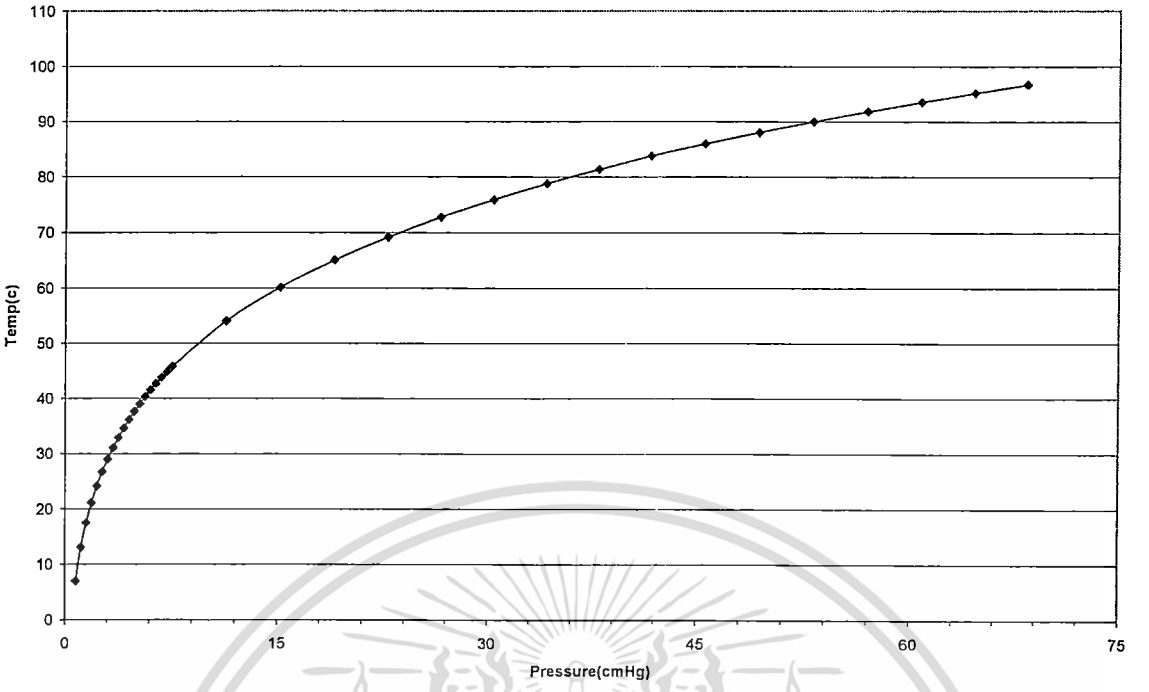
1. ความดัน เนื่องจากข้อจัดกัดจากการออกแบบ ทำให้ไม่สามารถปรับความดันภายในแฟลชดรัมให้เป็นค่าต่างๆ ได้ โดยความดันต่ำสุดภายในแฟลชดรัมจะมีค่าเท่ากับ 40 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองที่สภาวะความดันคงที่ตลอดการทดลอง คือ ที่ความดัน 40 มิลลิเมตรปรอท

2. อุณหภูมิ การหาอุณหภูมิที่จะใช้ในการทดลองนั้นจะสามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันที่กำหนด

ตาราง 4.1 คุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภมิต่างๆ [6]

Temp©	Pressure(mmHg)	Pressure(cmHg)	Pressure(atm)	Pressure(kPa)
28.98	30.4	3.04	0.04	4
31.03	34.2	3.42	0.045	4.5
32.9	38	3.8	0.05	5
34.61	41.8	4.18	0.055	5.5
36.18	45.6	4.56	0.06	6
37.65	49.4	4.94	0.065	6.5
39.02	53.2	5.32	0.07	7
40.32	57	5.7	0.075	7.5
41.53	60.8	6.08	0.08	8
42.69	64.6	6.46	0.085	8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (cmHg) และอุณหภูมิ (°C) ของไอน้ำอิ่มตัว

จากตาราง 4.1 และรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าที่ความดัน 40 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวจะมีค่าประมาณ 34 องศาเซลเซียส จึงได้เลือกทำการทดลองที่อุณหภูมิในการทดลองต่ำสุดเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อสารป้อนเข้าสู่แฟลชดรัม น้ำในสารป้อนจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ณ สภาวะความดันที่กำหนด ดังนั้นจึงได้เลือกทำการทดลองที่อุณหภูมิของสารป้อนและอุณหภูมิภายในแฟลชดรัมเท่ากับ 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส

3. อัตราการไหล อัตราการไหลของสารป้อนสูงสุดที่แฟลชดรัมสามารถทำได้ คือ 450 ลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้น จึงได้เลือกทำการทดลองที่สภาวะอัตราการไหลของสารป้อนมีค่าเท่ากับ 100 180 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง

4 ปริมาณน้ำในสารป้อน ในการออกแบบการทดลองว่าปริมาณน้ำในสารป้อนควรจะเป็นเท่าใดนั้น จะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 5

จากการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ทำให้สามารถออกแบบการทดลองได้ คือ ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของสารป้อนและอุณหภูมิภายในแฟลชดรัมเท่ากับ 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 100 180 และ 450 ลิตรต่อชั่วโมง โดยทำการทดลองที่สภาวะความดันคงที่ตลอดการทดลอง คือ ที่ความดันเท่ากับ 40 มิลลิเมตรปรอท การทดลองที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบปริมาณน้ำสุทธิในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เป็นสารป้อน

ปริมาณน้ำสุทธิในน้ำมันดีเซลชีวภาพจะประกอบไปด้วยน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันและน้ำอิสระที่ไม่ละลายในน้ำมัน การทดสอบจะทำโดยการเติมน้ำลงไปในสารป้อนในปริมาณที่ทราบค่าแน่นอน ณ อุณหภูมิห้อง คือที่ 0.1 0.5 และ 1 % โดยมวลของน้ำในสารป้อน ทำการกวนจนน้ำและน้ำมันเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น น้ำชั้นน้ำมันมาทำการทดสอบหาปริมาณน้ำ ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำแสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ปริมาณน้ำอิสระและน้ำที่ละลายอยู่ในสารป้อน เมื่อทำการเติมน้ำลงไปในสารป้อนที่อุณหภูมิห้องในปริมาณต่างๆ

ปริมาณของน้ำที่เติมในสารป้อน(% โดยมวล)	การทดสอบการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน	ปริมาณน้ำอิสระ (% โดยมวล)	ปริมาณน้ำที่ละลายในน้ำมัน (% โดยมวล)
0.1	X	0	0.19
0.5	√	0	0.49
1	√	0	0.49

หมายเหตุ

X : ไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน

√ : เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน

เมื่อเติมน้ำลงไปในสารป้อนเป็นปริมาณ 0.1% โดยมวล จะพบว่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่เติมลงไปจะละลายอยู่ในสารป้อน เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในชั้นน้ำมันจะพบว่าไม่มีปริมาณน้ำอิสระ แต่ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะมีค่าเท่ากับ 0.1924 % โดยมวล ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในสารป้อนหลังจากผ่านกระบวนการล้างมาแล้วได้เท่ากับ 0.0924 หรือประมาณ 0.1% โดยมวล

และเมื่อทำการเติมน้ำลงไปในสารป้อนที่ 0.5 และ 1 % โดยมวล จะพบว่ามีปริมาณน้ำบางส่วนที่ไม่ละลายและแยกชั้นอยู่ เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในชั้นน้ำมันจะพบว่าไม่มีปริมาณน้ำอิสระ แต่ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะมีค่าเท่ากับ 0.4934 และ 0.4879 % โดยมวล ที่ปริมาณการเติมน้ำสารป้อนเท่ากับ 0.5 และ 1 % โดยมวล ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ละลายอยู่นี้เป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันมาก คือที่ประมาณ 0.5 % โดยมวล แสดงว่าปริมาณน้ำอิ่มตัวที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพจะมีค่าประมาณ 0.5 % โดยมวล

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองที่สภาวะของสารป้อนมีปริมาณน้ำละลายอยู่เท่ากับ 0.2 และ 0.5 % โดยมวล ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่สภาวะสารป้อนมีปริมาณน้ำละลายอยู่ 0.2 %

จากการทำการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารป้อน และอัตราการไหลของสารป้อนที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากกระบวนการแฟลช ที่สภาวะสารป้อนมีปริมาณน้ำเท่ากับ 0.2 % โดยมวล โดยได้ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของสารป้อนและอุณหภูมิภายในแฟลชดรัมเท่ากับ 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 100 และ 180 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากผ่านกระบวนการแฟลชแสดงดังตาราง 4.3

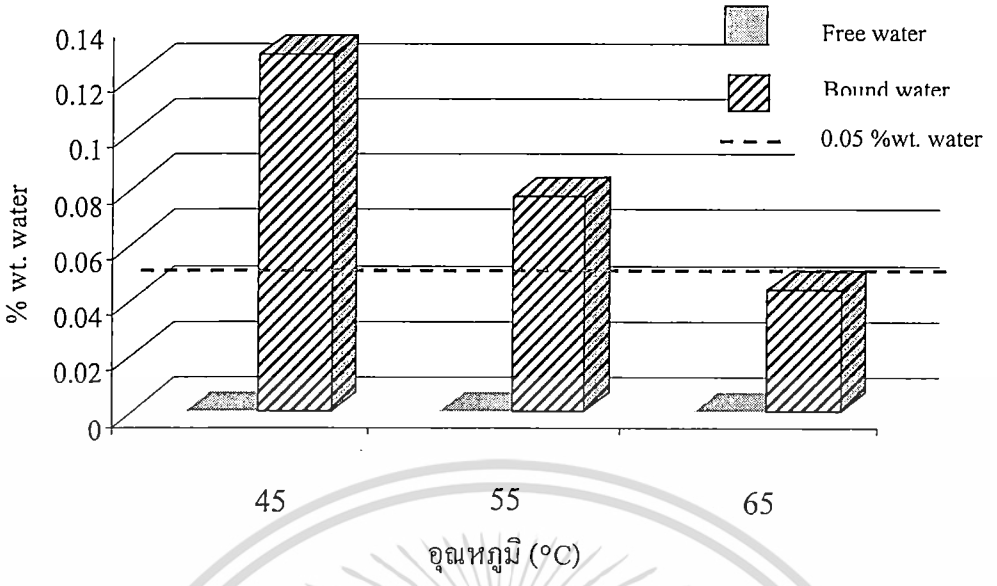
ตาราง 4.3 ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากผ่านกระบวนการแฟลช

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (% โดยมวล)	
	อัตราการไหลของสารป้อน = 100 L/h	อัตราการไหลของสารป้อน = 180 L/h
45	0.1283	0.1404
55	0.0771	0.1088
65	0.0435	0.0958

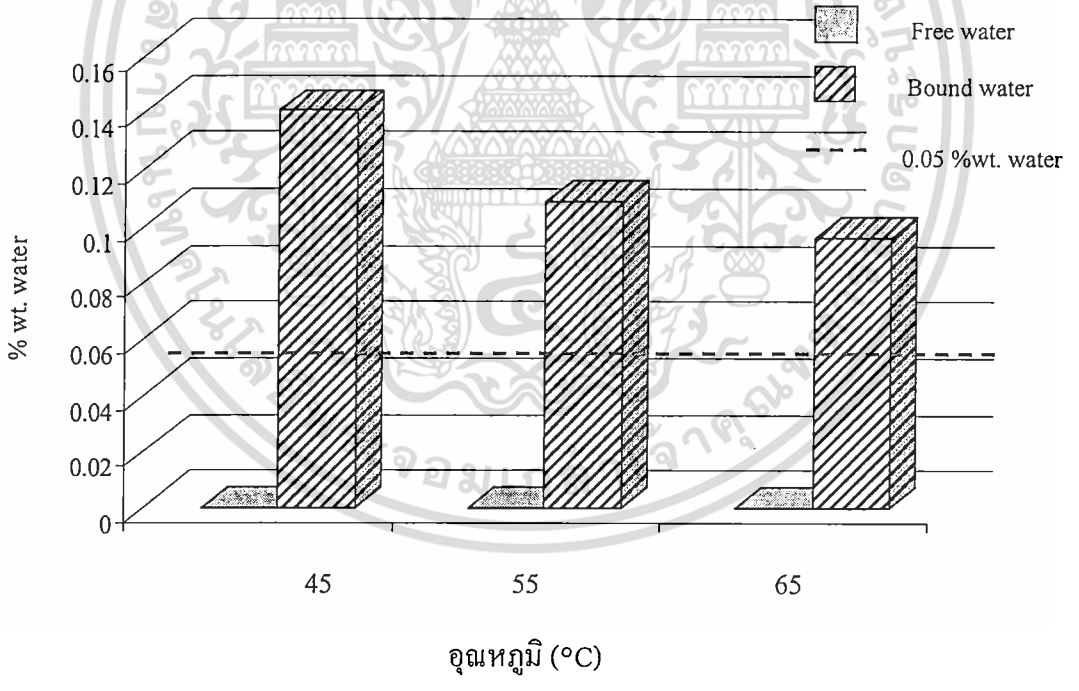
และไม่พบปริมาณน้ำอิสระในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผ่านกระบวนการแฟลชแล้ว

จากผลการทดลองในตาราง 4.3 เมื่อนำมาทำการพลอตกราฟเป็นกราฟแท่ง จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

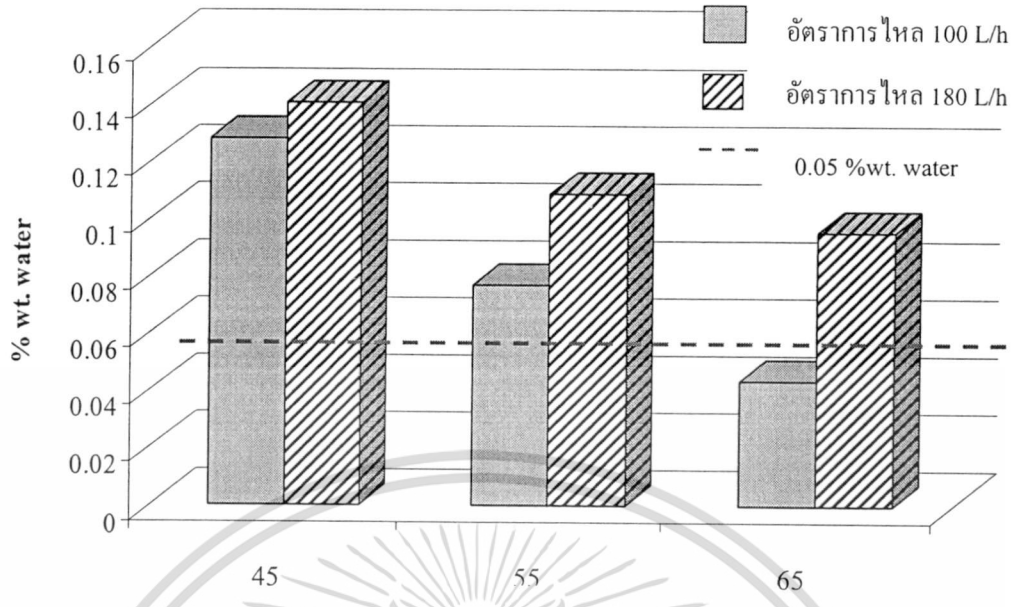


รูปที่ 4.2 ปริมาณน้ำอิสระและน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ (% โดยมวล) ณ อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำอิสระและน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ (% โดยมวล) ณ อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากผ่านกระบวนการแฟลช ที่อัตราการไหล และอุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารป้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่หลงเหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการแฟลชลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะที่ความดันคงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลให้น้ำระเหยกลายเป็นไอได้ดีขึ้น

จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 180 ลิตรต่อชั่วโมง จะมีปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่หลงเหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการแฟลชมากกว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราการไหลของสารป้อนต่ำๆ อนุภาคเล็กๆ ของน้ำมันภายในถังแฟลชจะมีเวลาในการทำให้น้ำระเหยได้มากขึ้น ก่อนที่อนุภาคของน้ำมันจะตกลงสู่ก้นถัง เป็นผลให้สามารถลดปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ดีกว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนสูงๆ

ผลการทดลองที่สภาวะสารป้อนมีปริมาณน้ำละลายอยู่ 0.5 %

จากการทำการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารป้อน และอัตราการไหลของสารป้อนที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากกระบวนการแฟลช ที่สภาวะสารป้อนมีปริมาณน้ำเท่ากับ 0.5 % โดยมวล โดยได้ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของสารป้อนและอุณหภูมิภายในแฟลชดรัมเท่ากับ 45 และ 65 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

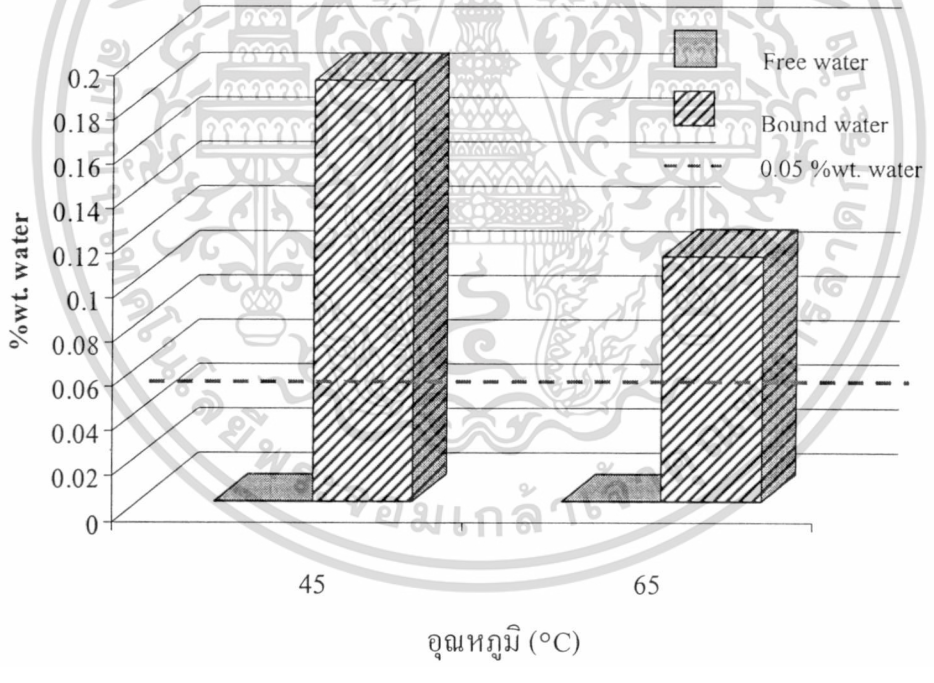
ป้อนเท่ากับ 180 และ 450 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากผ่านกระบวนการแฟลชแสดงดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากผ่านกระบวนการแฟลช

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (% โดยมวล)	
	อัตราการไหลของสารป้อน = 100 L/h	อัตราการไหลของสารป้อน = 180 L/h
45	0.1887	0.3430
65	0.1099	0.1323

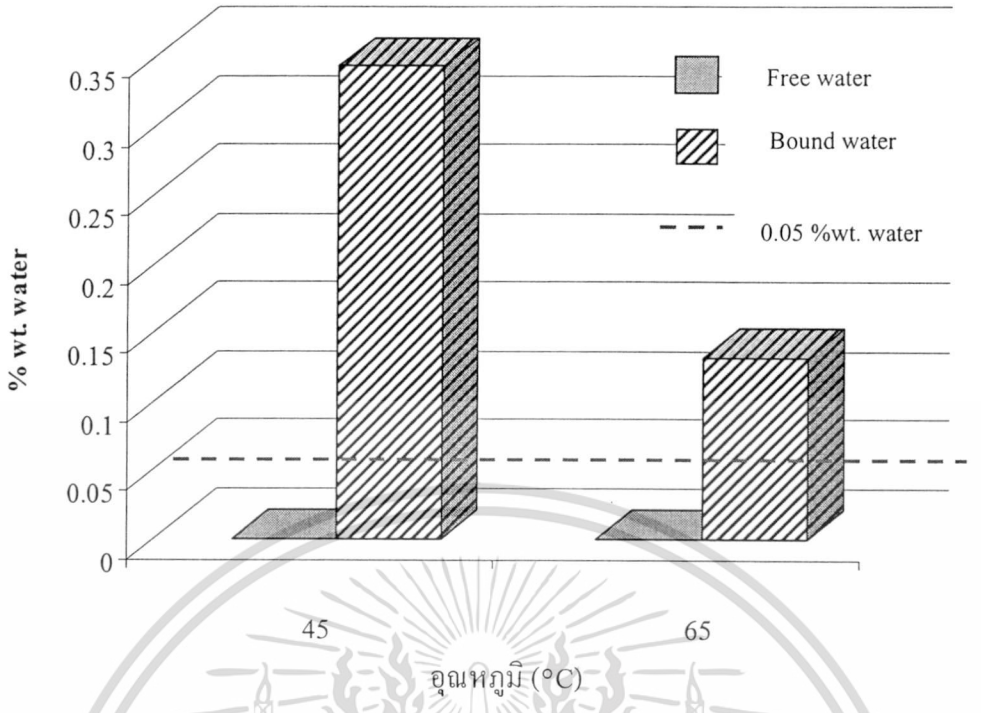
และไม่พบปริมาณน้ำอิสระในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผ่านกระบวนการแฟลชแล้ว

จากผลการทดลองในตาราง 4.3 เมื่อนำมาทำการพลอตกราฟเป็นกราฟแท่ง จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7

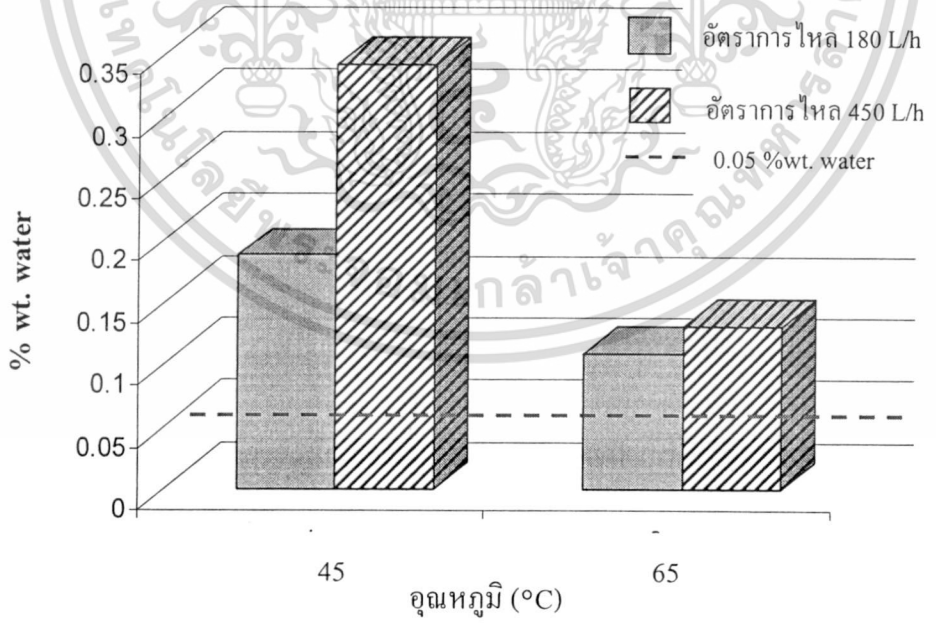


รูปที่ 4.5 ปริมาณน้ำอิสระและน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ (% โดยมวล) ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ปริมาณน้ำอิสระและน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ (% โดยมวล) ณ อัตราการไหล 450 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.7 ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังจากผ่านกระบวนการแฟลช ที่อัตราการไหล และอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารป้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่หลงเหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการแฟลชลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะที่ความดันคงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลให้น้ำระเหยกลายเป็นไอได้ดีขึ้น

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 450 ลิตรต่อชั่วโมง จะมีปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่หลงเหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการแฟลชมากกว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 180 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราการไหลของสารป้อนต่ำๆ อนุภาคเล็กๆ ของน้ำมันภายในถังแฟลชจะมีเวลาในการทำให้น้ำระเหยได้มากขึ้น ก่อนที่อนุภาคของน้ำมันจะตกลงสู่ก้นถัง เป็นผลให้สามารถลดปริมาณน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ดีกว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาและออกแบบรวมถึงสร้างเครื่องแฟลชดรัมสำหรับแยกน้ำและเมทานอลออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพมีปริมาณน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2709 โดยมีค่าไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอาจนำเมทานอลกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นใหม่ การออกแบบทำโดยการคำนวณการดุลมวล และพลังงาน โดยการใช้การแยกน้ำเป็นเกณฑ์ได้ออกแบบแฟลชดรัมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร และมีความสูง 1 เมตร และทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องแฟลชดรัมโดยศึกษาผลของการปรับค่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ป้อนเข้าสู่แฟลชดรัม อัตราการป้อนของน้ำมันดีเซลชีวภาพ จากผลการทดลองพบว่าแฟลชดรัมที่ได้ทำการออกแบบและสร้างมานั้นสามารถนำมาใช้ในการแยกน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนของน้ำมันดีเซลชีวภาพ 450 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถแยกน้ำออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพได้คุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน โดยสามารถลดปริมาณน้ำในน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ในปริมาณสูงสุดถึง 78.25 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Gael D. Ulrich. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1984

[2] Martin Mittelbanch & Claudia Remschmidt. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Austria: Martin Mittelbanch (Publisher). 2004.

[3] Holman J.P. *Heat Transfer*. 9th ED. New York: McGraw-Hill. 2002.

[4] A.F. Mills. *Basic heat & mass transfer*. New Jersey: Prentice-hell. 1999

[5] Frank P. Incropera, David P. Dewitt. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 3rd ED. Singapor: John Wiley & sons. 1990

[6] J.M. Smith, H.C. Van Ness and M.M. Abbott. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. International Edition. 6th ED. Singapore: McGraw-Hill. 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้