

การทำนายอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพและน้ำมันดีเซล

The Prediction Combustion Rate of Biofuel and Diesel Oil

สุรัชย์ จิระชาคริต

ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กทม.10160

E-mail: s_chirachakrit@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการทำนายอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพและน้ำมันดีเซล โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวล เปรียบเทียบกับการทดสอบแบบจำลองหยดน้ำมันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm. และ 10 cm. ภายใต้การพาแบบธรรมชาติ เพื่อยืนยันความแม่นยำของทฤษฎี

Abstract

Rate of combustion of biofuel and diesel oil are presented by using the mass transfer theory. Comparison between theory experimental data of 5 cm. and 10 cm. diameter droplets evaporating in natural convection are proven.

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล มีอยู่จำกัดและมีแนวโน้มว่าจะหมดลง โดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียม ประเทศไทยใช้น้ำมันดีเซลส่วนใหญ่ในการคมนาคมขนส่งและเกษตรกรรม ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การแก้ไขปัญหาทำได้โดยการประหยัดการใช้น้ำมันดีเซลลง แล้วนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่สามารถผลิตได้นำมาผสมหรือทดแทนน้ำมัน

ดีเซล ตัวอย่างใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจำพวกน้ำมันพืช เช่นน้ำมันปาล์ม, น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น ที่สามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลได้หมดทุกอัตราส่วน และมีแนวโน้มจะนำมาใช้ในเครื่องดีเซลได้ดี แต่คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำมันพืชแตกต่างจากน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชประกอบด้วยกรดไขมันร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 9-10 เท่า และมีความสามารถในการระเหยต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนน้ำมันดีเซลประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนมีคุณสมบัติในการจุดระเบิดที่ดี ดังนั้นการศึกษาประเมินพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เพื่อเป็นแนวทางในการทำนายคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งการประเมินอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะสามารถทำนายสภาพการเผาไหม้จริงได้ดี ด้วยการประเมินจากทฤษฎีการถ่ายเทมวลแบบการไหลเรย์โนลด์ส์

2. หลักการและเหตุผล

การเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิงเครื่องยนต์และโรงผลิตกำลังส่วนใหญ่ได้รับความร้อนมาจากปฏิกิริยาทางเคมีของอากาศกับเชื้อเพลิงที่มีสารประกอบทางเคมีหลายชนิด ซึ่งประกอบกันเป็น

ตัวทำปฏิกิริยา และขณะเกิดการเผาไหม้จะมีปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์และทางเคมี การเผาไหม้จริงๆ สถานการณ์ที่เกิดขึ้นพอเพียงสำหรับการศึกษาในทางทฤษฎีและปฏิบัติ ดังนั้นแบบจำลองการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิงเดี่ยวจะทราบถึงกลไกในการควบคุมการเผาไหม้ที่มีมากกว่า 2 สถานะ แต่อย่างไรก็ตามในที่นี้จะพิจารณาการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิงเดี่ยว ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองของขบวนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความใกล้เคียงกับสภาพการเผาไหม้จริง ๆ

2.1 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว [1]

2.1.1 การกลายเป็นไอ

การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงมีความสำคัญมากต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิง มีผลต่อการควบคุมอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่ออัตราการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงดังต่อไปนี้

ประการที่หนึ่ง การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวทำให้ อัตราการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นโดยการแพร่กระจาย ทำให้เกิดอัตราการเผาไหม้ที่มากขึ้นปกติทำได้โดยให้เชื้อเพลิงเป็นละออง

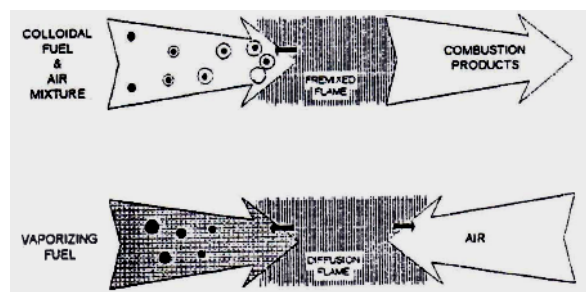
ประการที่สอง เชื้อเพลิงเหลวจะกลายเป็นไอได้โดยต้องใส่พลังงานเข้าไปเพื่อเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงเหลวให้เป็นไอ พลังงานนี้คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในกระบวนการเผาไหม้ การเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงเหลวให้เป็นไอนั้น ต้องอาศัยพลังงานที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งพลังงานที่แพร่กระจายมาจากเปลวไฟจะส่งมายังไอเชื้อเพลิง

และเชื้อเพลิงเหลวจะรับต่ออีกทอดหนึ่ง ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด

ประการที่สาม ความดันขณะที่เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอนี้มีความสำคัญกล่าวคือขณะที่ความดันเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอก็มากขึ้นตามไปด้วย เชื้อเพลิงเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัว การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลว เกิดจากการให้ความดันสถิตแก่เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านหัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละออง หยดเชื้อเพลิงเหลวที่ออกจากหัวฉีดจะมีความดันไม่คงที่ขณะที่อุณหภูมิคงที่ส่วนที่ระเหยง่ายจะลุกติดไฟ ผลจากไอเชื้อเพลิงผสมกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้

2.1.2 การผสมของไอเชื้อเพลิงเหลวกับอากาศ

หลังจากเชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอและผสมกับอากาศก่อนเกิดการเผาไหม้ ลักษณะของกระบวนการผสมของไอเชื้อเพลิงและอากาศมีความสำคัญ คือการเผาไหม้จะแตกต่างกันระหว่างเชื้อเพลิงเหลวเป็นไอหมดก่อนการเผาไหม้ และเชื้อเพลิงเหลวถูกล้อมรอบด้วยเปลวไฟและเกิดการเผาไหม้



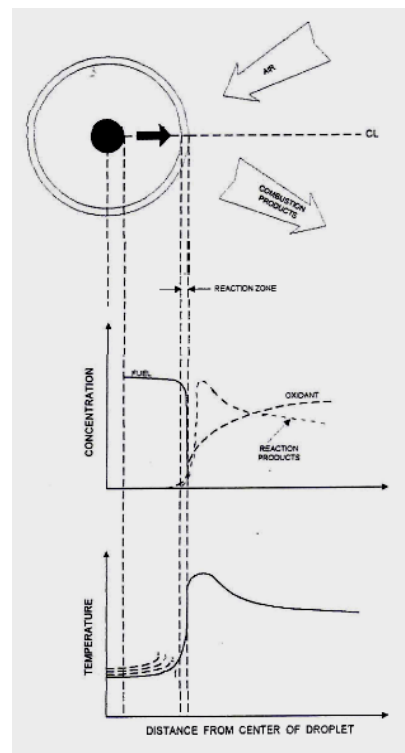
รูปที่ 1 แสดงโมเดลการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิง

รูปที่ 1 แสดงกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวเป็นไอก่อนการเผาไหม้ซึ่งมี 2 แบบคือแบบ Premixed Flame แสดงในรูปบน โดยเชื้อเพลิงจะระเหยผสมกับอากาศไหลผ่านจากด้านซ้ายไปด้านขวา และเชื้อเพลิงจะระเหยเป็นไอหมดก่อนเข้าโซนการเผาไหม้เปลวไฟ ความร้อนจะแผ่รังสีจากโซนการเผาไหม้ เพื่อเร่งการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงขณะที่เข้าใกล้เปลวไฟ เช่นกับเชื้อเพลิงก๊าซใน Burner รูปล่างเชื้อเพลิงจะระเหยเป็นไอหมดก่อนแล้วจึงผสมกับอากาศ ที่โซนการเผาไหม้ เปลวไฟที่ได้เรียกว่า Diffusion Flame มักใช้กับเชื้อเพลิงเหลวเช่นในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

รูปที่ 2 เป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว ที่ถูกล้อมรอบโซนการเผาไหม้ โดยแสดงการเผาไหม้ของหยดน้ำมันเดี่ยว รูปบนแสดงหยดน้ำมันที่ถูกล้อมรอบด้วยโซนการเผาไหม้ ซึ่งเป็นทรงกลมมีจุดศูนย์กลางร่วมกับหยดน้ำมัน การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟที่อยู่รอบๆ ปริมาตรระหว่างผิวของน้ำมันและโซนการเผาไหม้ประกอบด้วยไอน้ำมันซึ่งเกิดการเผาไหม้ล่วงหน้าแบบ Pyrolysis โดยไอน้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าไปยังโซนการเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้จะเกิดเป็นโซนบางๆ โดยที่ผลิตผลจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ออกไปในลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน

รูปที่ 2 ภาพกลางแสดงมวลจำเพาะของเชื้อเพลิง ออกซิเจนและผลิตผลจากการเผาไหม้ขึ้นอยู่กักระยะทางในแนวรัศมีจากหยดน้ำมัน มวลจำเพาะของน้ำมันระหว่างผิวของเชื้อเพลิงและโซนการเผาไหม้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ และมวลจำเพาะของน้ำมันจะมีค่าลดลงเล็กน้อยขณะที่เข้าใกล้โซนการเผา

ไหม้ ผลเนื่องจากการเผาไหม้ล่วงหน้าและการที่มีอากาศจำนวนเล็กน้อยไหลแบบปั่นป่วนในโซนของเปลวไฟ ส่วนมวลจำเพาะของออกซิเจนจะลดลงเนื่องจากถูกเจือจางลงด้วยผลิตผลจากการเผาไหม้เมื่อเข้าสู่โซนการเผาไหม้ ผลิตผลจากการเผาไหม้จะมีค่าสูงสุดบริเวณใกล้โซนการเผาไหม้ และจะมีค่าลดลงเมื่อเคลื่อนที่ออกไปจากโซนการเผาไหม้เพราะถูกเจือจางด้วยอากาศที่อยู่รอบๆ



รูปที่ 2 แสดงโมเดลการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิงเดี่ยว

รูปที่ 2 ภาพล่างแสดงอุณหภูมิของหยดเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ที่ขณะใดขณะหนึ่งโปรไฟล์ของอุณหภูมิแสดงได้โดยเส้นเต็ม (หมายเลข 1) โดยที่อุณหภูมิภาพในหยดน้ำมันคงที่ขณะที่การกลายเป็นไอเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟถูกดูดซึมโดยผลิตผลจากการเผาไหม้บางส่วนของปฏิกิริยาก่อน

เกิดการเผาไหม้ (Pyrolytic Precombustion Reaction) และเนื่องจากการนำความร้อนจากเปลวไฟ ขณะที่การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงดำเนินต่อไป หยดน้ำมันจะมีขนาดเล็กลงและจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ขนาดที่เล็กลงแสดงด้วยหัวลูกศรและการเพิ่มของอุณหภูมิแสดงโดยเส้นประ 2, 3 และ 4 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจุดเดือดของเชื้อเพลิง

อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงเหลวส่วนที่มีไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลสูงรวมอยู่ด้วย ปฏิกริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากที่ได้อธิบายไปแล้วกล่าวคือ ขณะที่เชื้อเพลิงส่วนที่ระเหยง่ายได้รับความร้อน ไอของเชื้อเพลิงก็พยายามแทรกขึ้นมาอยู่ตามผิวของเชื้อเพลิง ทำให้หยดน้ำมันเกิดการขยายตัวขึ้น ถ้าการกลายเป็นไอเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าที่จะแยกตัวออกมา น้ำมันส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ และถ้าการกลายเป็นไอยังคงดำเนินต่อไป อุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เกิดปฏิกิริยาแบบ Pyrolysis ซึ่งปฏิกิริยาอันนี้รวมถึงการแตกตัว การแยกตัวของไฮโดรเจน Polymerization และอาจจะทำให้เกิดคราบยางเหนียวขึ้น (Resinous Material) ซึ่งคราบยางเหนียวนี้จะทำให้การกลายเป็นไอลดลง ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3. ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ทฤษฎีการถ่ายเทมวลแบบการไหลเรย์โนลด์ส์ โดยใช้สมการที่เสนอโดย D.B.Spalding [2]

$$m'' = g \times B \quad (1)$$

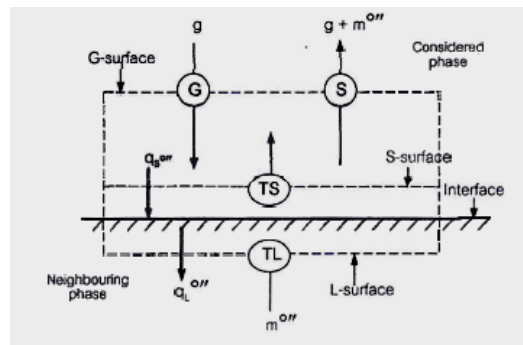
เมื่อ

m'' = ฟลักซ์ถ่ายเทมวล, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$

g = ความนำการถ่ายเทมวล, kg/m^2

B = เลขถ่ายเทสปอลดิง

เรย์โนลด์ส์ได้เสนอแบบจำลองสำหรับการไหลใกล้บริเวณผิวรวมระหว่างเฟสสองเฟสดังนี้ กำหนดให้ผิว G เป็นผิวที่ขนานกับผิว S แต่อยู่ไกลออกไปจนสถานะของไหลมีลักษณะเป็นสถานะ G ซึ่งเป็นเฟสที่พิจารณาฟลักซ์ถ่ายเทมวลผิว S และผิว L จะขนานกับผิวรวมแต่จะแยกออกจากกันโดยมีระยะห่างกันประมาณ 2-3 เท่าของระยะวิถีเสรีเฉื่อยของโมเลกุลผิว F เป็นผิวบนเฟสข้างเคียง, q_s'' และ q_L'' เป็นฟลักซ์ถ่ายเทความร้อนที่ผ่านเข้าและออกจากผิวรวมตามรูปที่ 3 ฟลักซ์ g ของของไหลที่สถานะ G เคลื่อนที่ผ่านผิว G มายังผิว S และฟลักซ์ $g + m''$ ของของไหลจากสถานะ S เคลื่อนที่ผ่านผิว G ออกไป



รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองการถ่ายเทมวลของการไหลเรย์โนลด์ส์

3.1 เลขถ่ายเทสปอลดิง

เลขถ่ายเทสปอลดิงอาจหาค่าได้สะดวกโดยพิจารณาจากกฎการทรงสมบัติของของไหลที่เหมาะสมที่เข้าและออกจากปริมาตรควบคุม

$$B = \frac{(P_G - P_S)}{(P_S - P_{TS})} \quad (2)$$

เมื่อ

P_G = สมบัติที่เหมาะสมของของไหลที่สภาวะส่วนใหญ่ในเฟสที่พิจารณา

P_S = สมบัติที่เหมาะสมของของไหลที่บนผิวของปริมาตรควบคุมที่ชิดกับผิวรวมด้านเฟส

P_{TS} = สมบัติที่เหมาะสมของของไหลที่สภาวะถ่ายเท

สำหรับการเผาไหม้ที่สภาวะสม่ำเสมอ หาค่าเลขถ่ายเทสเปคติงจากค่าเอนทัลปีของของไหลได้ดังสมการ [3]

$$B = \frac{T_S = T_{b,p} \cdot T_G - T_\infty}{[C_{P,g}(T_\infty - T_{b,p}) + (m_{OX,G} \times \frac{HHV}{R})]} \quad (3)$$

เมื่อ

$C_{P,g}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ,
1.2975 kJ/kg K

$C_{P,l}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง,
kJ/kg K

T_∞ = อุณหภูมิอากาศ, °C

$T_{b,p}$ = อุณหภูมิผิวน้ำมันหรืออุณหภูมิ, °C

T_{int} = อุณหภูมิน้ำมันในถังเก็บ, °C

$m_{OX,G}$ = เปอร์เซนต์ออกซิเจนโดยมวล,
(23.2 %)

HHV = ค่าความร้อนทางสูงของเชื้อเพลิง,
kJ/kg

R = อัตราส่วนออกซิแดนซ์ต่อเชื้อเพลิง

L = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg

การหาค่าความร้อนแฝงของน้ำมันโดยประมาณจากสมการซึ่งมีค่าคาดเคลื่อนอยู่ $\pm 10\%$ [4]

$$I = (110.9 - 0.09 T) \frac{2.928}{Spgr} \quad (4)$$

เมื่อ

$Spgr$ = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน

T = อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมัน, °F

การหาอัตราส่วนออกซิแดนซ์ต่อเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล

$$R = \frac{(m + \frac{n}{4}) 31.9988}{12.011m + 1.0079n} \quad (5)$$

การหาอัตราส่วนออกซิแดนซ์ต่อเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช

$$R = \frac{(m + \frac{n}{4} - \frac{y}{8}) 31.9988}{12.011m + 1.0079n + 31.9988y} \quad (6)$$

เมื่อ

m = จำนวนโมลของคาร์บอน

n = จำนวนโมลของไฮโดรเจน

y = จำนวนโมลของออกซิเจน

3.2 แบบจำลองของการกลายเป็นไอ

จากการวิเคราะห์การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงสามารถกำหนดสมมติฐานได้คือ หยดน้ำมันอยู่ในออกซิแดนซ์ที่กำลังเคลื่อนที่ ความดันในการเผาไหม้เป็นความดันบรรยากาศ ความร้อนถ่ายเทจากเปลวไฟมายังหยดน้ำมันโดยการพาความร้อน ซึ่งอยู่ในรูปของการกลายเป็นไอ และการ

แผ่รังสีความร้อนจากก๊าซที่เผาไหม้มีขนาดน้อยมาก เปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้มีขนาดบางมาก เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วกว่าอัตราการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากน้ำมันพืชสามารถผสมกับน้ำมันดีเซลได้

3.3 อัตราการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิง

จากสมการ 1 ที่เสนอโดย D.B.Spalding นั้นเมื่อได้ทำการทดลองการเผาไหม้ของไอเชื้อเพลิง ที่ระเหยจากผิวทรงกลมสเปคตริงสรุปได้ว่าแบบจำลองการไหลเรย์โนลด์ส์ที่ถือว่า ฟลักซ์เรย์โนลด์ส์ หรือความนำการถ่ายเทมวล, g มีค่าคงตัวนั้นมีความคลาดเคลื่อน เมื่ออัตราการถ่ายเทมวลสูงขึ้น จึงได้ปรับปรุงสมการในการหาอัตราการถ่ายเทมวลดังนี้

$$m'' = g^* \ln(1 + B) \quad (7)$$

สัมพันธ์กับค่า g ดังนี้

$$g = g^* \frac{\ln(1 + B)}{B}$$

เมื่อ

g^* = ความนำการถ่ายเทมวลที่มีการปรับปรุง, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$

การเผาไหม้ที่เกิดขึ้น กรณีที่เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบบบิอิสระ จะใช้สมการการ

ถ่ายเทความร้อนสำหรับทรงกลมที่เสนอโดย Ranz และ Marshall [5]

$$Nu = 2 + 0.6Gr^{\frac{1}{4}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

เมื่อ

$$Gr^{\frac{1}{4}} Pr^{\frac{1}{3}} < 200$$

จากแนวทางการแก้ไขปรับปรุงสมการการถ่ายเทความร้อนเป็นสมการการถ่ายเทมวลของไดสเซิลเลอร์ [6] ได้นำแนวทางนี้มาปรับปรุงสมการการถ่ายเทความร้อนด้วยข้อมูลด้านการแพร่กระจายของสารต่างๆ ที่อยู่ในรูป Sc_j เนื่องจาก

$$Pr = \frac{\mu}{k/c_p} ; Sc_j = \frac{\mu}{\rho \mathcal{D}_j}$$

เมื่อแทนค่า k/c_p ด้วยค่าการแพร่กระจาย $\rho \mathcal{D}_j$ ดังนั้นจะได้สมการการถ่ายเทมวลโดยแทนที่ค่า Pr ด้วย Sc_j ดังสมการ

$$Nu = 2 + 0.6Gr^{\frac{1}{4}} Sc_j^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

เมื่อ

$$Gr^{\frac{1}{4}} Sc_j^{\frac{1}{3}} < 200$$

Nu = เลขนัสเซลท์

Gr = เลขกราฟฮอฟ

Sc_j = เลขชมิตท์

k = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ

\mathcal{D}_j = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสาร j

โดย

$$Gr = \frac{g a^3 \beta \Delta T}{\nu^2} \quad (10)$$

แต่

$$g^* = \frac{Nu \mu}{d Sc_j} \quad (11)$$

เนื่องจากไม่มีค่า Sc_j ของไอน้ำมันในอากาศที่วัดจากการทดลองจริง อาจคำนวณโดยประมาณจากสมการ ซึ่งมีค่าคาดเคลื่อน $\pm 20\%$

$$Sc_j = 0.145 M^{0.556} \quad (12)$$

เมื่อ

G = อัตราแรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, m/s^2

β = สัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยปริมาตรของของไหล, K^{-1}

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวถ่ายเทมวลกับอุณหภูมิของของไหลส่วนใหญ่, K

γ = ความหนืดจลนศาสตร์, $Pa \cdot s$

μ = ความหนืดสัมบูรณ์, $N \cdot s/m^2$

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดเชื้อเพลิง, m

M = น้ำหนักโมเลกุลของเชื้อเพลิง

ดังนั้นอัตราการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิง (m°), kg/s คือ

$$m = \pi d^2 \dot{m} \quad (13)$$

การเปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพกับน้ำมันดีเซล เมื่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำมันเท่ากันสามารถจัดในรูป [7]

$$\frac{m_V}{m_d} = \frac{Nu_V \mu_V Sc_d \ln(1-B_V)}{Nu_d \mu_d Sc_V \ln(1-B_d)} \quad (14)$$

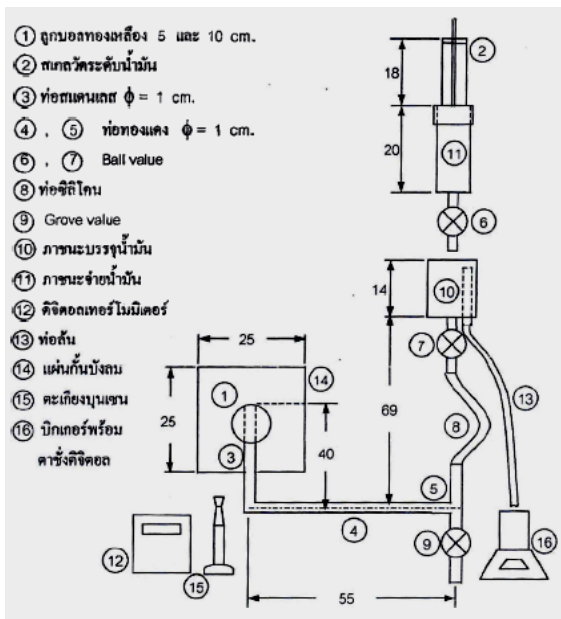
4. วิธีและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลองการเผาไหม้ของหยดน้ำมัน

รูปที่ 4 และ 5 ประกอบด้วยทรงกลมทำจากทองเหลือง (1) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 cm. และ 10 cm. ตามลำดับ ภาชนะบรรจุน้ำมัน (10) ซึ่งมีท่อสำหรับให้น้ำมันขึ้นเพื่อรักษาระดับน้ำมันให้คงที่ซึ่งจะทำให้ความดันของน้ำมันคงที่ด้วย ภาชนะบรรจุน้ำมัน (11) แผ่นกั้น (14) ตะเกียงบุนเซน (15) และดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์พร้อมกับเทอร์โมคัปเปิล (12) การติดตั้งทรงกลมทองเหลืองจะยึดติดกับท่อสแตนเลส (3) โดยการขันเกลียวและท่อสแตนเลสต่อกับท่อทองแดง (4) และ (5) ท่อซิลิโคนและภาชนะบรรจุน้ำมัน ปริมาณการไหลของน้ำมันสามารถควบคุมได้โดยตัวปรับซึ่งเป็นแคลมป์ที่ท่อซิลิโคน

น้ำมันที่นำมาทดสอบในการทดลองนี้คือน้ำมันดีเซล, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลือง ในการทดสอบหาอัตราการเผาไหม้ของน้ำมัน ต้องปรับปริมาณน้ำมันที่ทดสอบให้เคลือบผิวของทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 cm. และ 10 cm. ด้วยชั้นน้ำมันบางๆ ทำการวัดอุณหภูมิผิวของทรงกลมและอุณหภูมิน้ำมันที่ช่องจ่ายน้ำมันบนทรงกลม จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยใช้ตะเกียงบุนเซนซึ่งใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง จนน้ำมันที่ผิวของทรงกลมถึงจุดวาบไฟและติดไฟ ปรับปริมาณน้ำมันอีกครั้งจนกระทั่งการเผาไหม้อยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 6 เมื่อการเผาไหม้ของน้ำมันอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอก็เริ่มบันทึกเวลา และตำแหน่งของระดับน้ำมันที่ภาชนะหลังจากนั้นก็ทำให้เปลวไฟดับลง จนไม่มีควันสีขาว

ปรากฏที่ผิวทรงกลม จึงหยุดบันทึกเวลาและบันทึก
ระดับน้ำมันอีกครั้งจะได้ปริมาณน้ำมันที่เผาไหม้ และ
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ ก่อนที่จะทดสอบครั้งต่อไป
จะต้องล้างทำความสะอาดภายในระบบของอุปกรณ์
ทดสอบด้วยอะซิโตนหรือปิโตรเลียมอีเทอร์ [8]



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์แบบจำลอง
หยदन้ำมัน



รูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์แบบจำลองหยदन้ำมัน



(a) (b) (c)

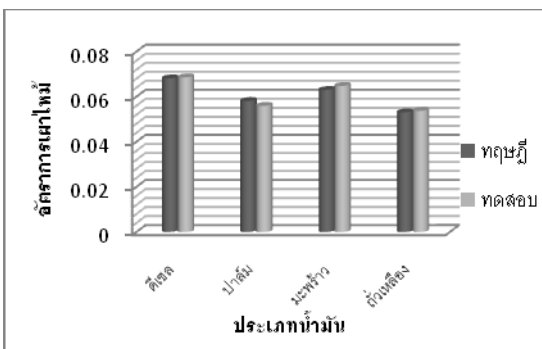
รูปที่ 6 แสดงเปลวไฟของลูกบอลทดสอบการ
เผาไหม้แบบการพาโดยธรรมชาติ

4.2 ผลการทดลอง

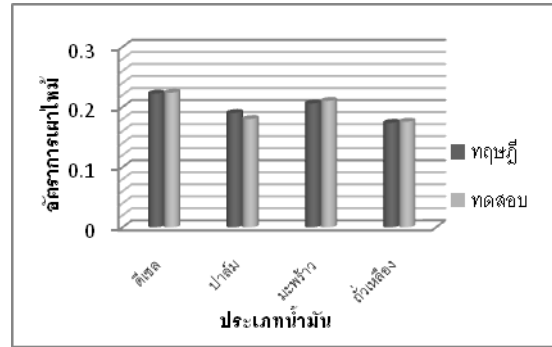
จากการทดลองการเผาไหม้ของหยदन้ำมัน
ดีเซล น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่ว
เหลือง โดยทดลองกับแบบจำลองหยदन้ำมันขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 cm. และ 10 cm. ดังรูปที่

6 และนำอัตราการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จากการทดลอง มาเปรียบเทียบกับอัตราการเผาไหม้ที่ได้จากการ ทำนายโดยทฤษฎีการถ่ายเทมวลได้ผลดังรูปที่ 7, 8 แสดงค่าอัตราการเผาไหม้ของน้ำมันบนผิวทรงกลมทั้งสองขนาดข้างต้น จากการทดลองได้ผลความคาด เคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ -3.7 ถึง 2.8 สำหรับผิวลูกบอล ขนาด 5 cm. และร้อยละ -5.28 ถึง 2.1 สำหรับผิวลูกบอลขนาด 10 cm.

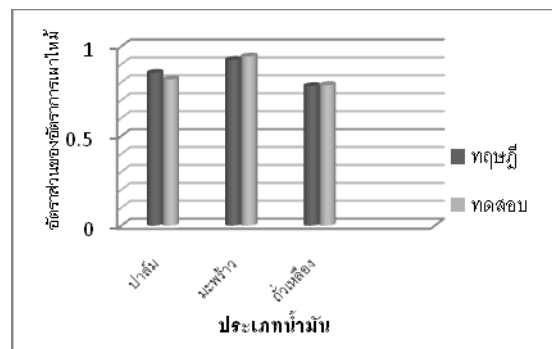
รูปที่ 9, 10 แสดงผลการเปรียบเทียบ อัตราส่วนของอัตราการเผาไหม้หยดน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล พิจารณาค่าจากการทำนายโดยทฤษฎี การถ่ายเทมวลกับค่าจากการทดสอบหยดน้ำมันผลที่ได้มีค่าคาดเคลื่อนที่ร้อยละ -4.34 ถึง 2.05 สำหรับผิว ลูกบอลขนาด 5 cm. และร้อยละ -5.96 ถึง 1.4 สำหรับผิวลูกบอลขนาด 10 cm.



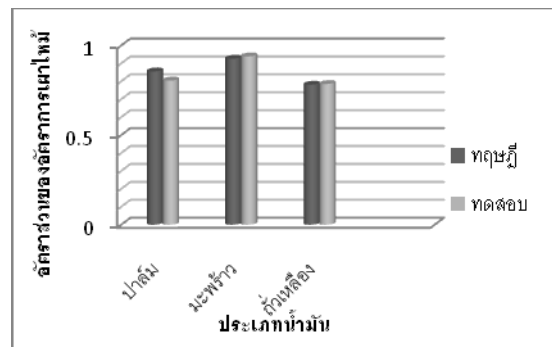
รูปที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้ระหว่าง ค่าที่ทำนายโดยทฤษฎีการถ่ายเทมวลกับค่า ที่ได้จากการทดสอบ ของแบบจำลองหยดน้ำมัน 5 cm.



รูปที่ 8 เปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้ระหว่าง ค่าที่ทำนายโดยทฤษฎีการถ่ายเทมวลกับค่า ที่ได้จากการทดสอบ ของแบบจำลองหยดน้ำมัน 10 cm.



รูปที่ 9 เปรียบเทียบอัตราส่วนของอัตราการเผาไหม้ หยดน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล ของแบบจำลอง หยดน้ำมัน 5 cm.



รูปที่ 10 เปรียบเทียบอัตราส่วนของอัตราการเผาไหม้ หยดน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล ของแบบจำลอง หยดน้ำมัน 10 cm.

5. สรุป

ทฤษฎีการถ่ายเทมวล ด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติสามารถใช้ทำนายอัตราการเผาไหม้ของหยดน้ำมันของเชื้อเพลิงชีวภาพกับน้ำมันดีเซลได้แม่นยำพอสมควร และสาเหตุของความคาดเคลื่อนก็เนื่องจากการที่ไม่ทราบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่แน่นอนของเลข ชมิตท์ของไอน้ำมันในอากาศ และเกิดจากการทดลองที่คาดเคลื่อน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ประพัฒน์ ศรีพุทธ์เกียรติ ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์กับบทความ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Edwards, J.B., 1977, "Combustion Formation and Emission of Trace Species," 2nd ed., Michigan, Ann Arbor Science Publisher Inc., pp. 129-149.
- [2] Spalding, D.B., 1979, "Combustion and Mass Transfer," Oxford Pergamon Press., PP. 46-234.
- [3] Wibulswas, P. and Jung, O., 1989, "Combustion of Biomass Liquid Fuels," ASEAN Journal on Science and Technology, Vol. 6 , No.1, pp. 67-80.
- [4] Baumeister, T., 1978, "Marks Standard Handbook of Mechanical Engineering," New York, Mc Graw-Hill, pp. 174-720.
- [5] Ranz, W. and Marshall, W., 1952,

"Evaporation from drops," Chemical Engineering Program, Vol.48, Part I & II, PP, 141-180.

- [6] ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์, 2529, "การถ่ายเทมวลและการเผาไหม้," ราชบัณฑิตยสถาน, หน้า 27-35.
- [7] ก่อเกียรติ ศุภพิมล, 2532, "การสันดาปของหยดน้ำมันพืช," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 108 หน้า.
- [8] สุรัชย์ จิรชาคริต, 2539 "การเผาไหม้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันพืช", วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี