บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นกระบวนการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยปกติแล้วเชื้อเพลิงจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยธาตุหลักคือไฮโดรเจน และคาร์บอน

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นจะต้องมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ เมื่อเผาไหม้แล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมาเท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ผลผลิตที่ได้จากการเผาไหม้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และไนโตรเจน

สมการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ประกอบด้วยน้ำมันเบนซิน 90% และเอทานอล 10% สัดส่วนโดยปริมาตร ทำปฏิกิริยาเผาไหม้ที่พอดีกับอากาศ เขียนสมดุลสมการเผาไหม้ตามทฤษฎีดังสมการ (2.1)

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 + อากาศ ⟶ ผลผลิต(ความร้อน)

$$[\,0.9C_8H_{18} + 0.1\,C_2H_5OH\,] + 11.55[\,O_2 + 3.76N_2\,] \longrightarrow 7.4CO_2 + 8.4H_2O + 43.43N_2 \qquad \text{สมการ(2.1)}$$

การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์คือการทำปฏิกิริยาเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สารตั้งต้นหรือเชื้อเพลิงถูกเผาไม่หมด สาเหตุที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เช่น ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนไม่ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air - Fuel Ratio)

อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงคือ อัตราส่วนของมวลอากาศที่ใช้ ต่อมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ สำหรับการเผาไหม้ทางทฤษฎี

$$\mathbf{A/F} = \frac{\mathbf{m_{air}}}{\mathbf{m_{fuel}}} \qquad \text{สมการ(2.2)}$$

2.3 อัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิง (Fuel equivalence ratio, ϕ_{fuel})

เป็นปริมาณไร้หน่วย ใช้สำหรับบ่งชี้ว่าในการเผาไหม้มีส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียง มากหรือน้อยกว่าค่าทางทฤษฎี

$$f_{fuel} = \frac{m_{fuel} / m_{Air}}{\left(m_{fuel} / m_{Air}\right)_{stoi}} = \frac{n_{fuel} / n_{Air}}{\left(n_{fuel} / n_{Air}\right)_{stoi}} \qquad \text{สมการ (2.3)}$$

ถ้า $\phi_{fuel} = 1$ หมายความว่า ไอดีเป็นไปตาม Stoichiometric

$\phi_{fuel} < 1$ หมายความว่า ไอดีบาง (fuel-lean mixture)

$\phi_{fuel} > 1$ หมายความว่า ไอดีหนา (fuel-rich mixture)

2.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent excess air)

ในกระบวนการเผาไหม้จริง อากาศที่ต้องใช้จากการเผาไหม้ทางทฤษฎีไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ นอกจากนั้นจะทำให้สารตั้งต้นที่เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด ทำให้พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงได้ออกมาน้อยกว่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มาก

ดังนั้นการแก้ปัญหาโดยการให้อากาศในการเผาไหม้ ที่มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี ซึ่งเรียกว่าอากาศส่วนเกิน สามารถหาได้จากการวัดปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงในการเผาไหม้จริง ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ดังสมการ

$$\%EXCESS\ AIR = \frac{A/F_{actual} - A/F_{theory}}{A/F_{theory}} \times 100 \qquad \text{สมการ (2.4)}$$

หรือหาได้จากการเทียบอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน} = \frac{100}{\phi_{\text{fuel}}} - 100 \qquad \text{สมการ (2.5)}$$

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้เผาไหม้สมบูรณ์

-เชื้อเพลิงก๊าซ มีสถานะเดียวกับอากาศจึงผสมเข้ากันกับอากาศโดยง่าย สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซจะใช้อากาศส่วนเกินน้อยโดยประมาณ 5 - 10 %

-เชื้อเพลิงเหลว ติดไฟยากกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ ดังนั้นต้องใช้ความร้อนเพื่อทำให้เชื้อเพลิงเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอก่อน จากนั้นจึงจะผสมเข้ากับอากาศ การเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้จึงเกิดช้ากว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อเพลิงก๊าซ เชื้อเพลิงเหลวจึงใช้อากาศส่วนเกินมากกว่า อากาศส่วนเกินที่ต้องใช้สำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยประมาณ 10 - 20 %

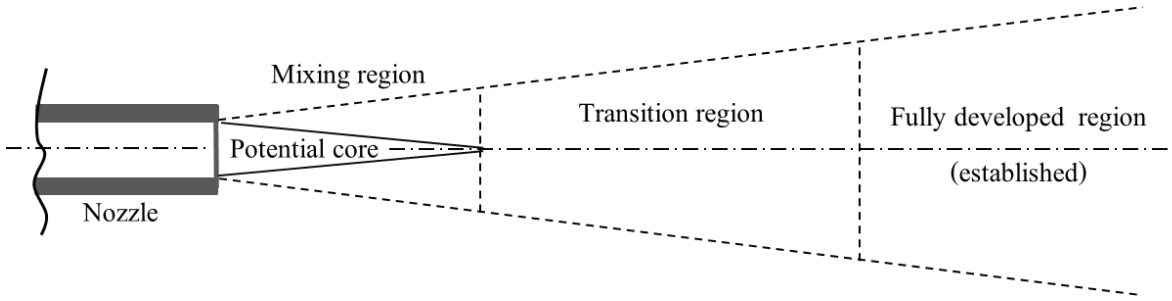
-เชื้อเพลิงแข็ง เป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟยากที่สุด จำเป็นต้องใช้ความร้อนเข้ามาทำให้สารระเหยในก้อนเชื้อเพลิงกลายเป็นไอก่อนและต้องมีอุณหภูมิสูง จึงจะทำให้เชื้อเพลิงแข็งติดไฟได้ ดังนั้นเชื้อเพลิงแข็งจะใช้อากาศส่วนเกินมากที่สุดสำหรับการเผาไหม้ โดยประมาณ 20 - 100 %

2.5 พลศาสตร์การฉีดละออง

การฉีดละอองเชื้อเพลิงที่มีการไหลคงที่มี 2 รูปแบบคือ (1) การทำให้ของไหลแตกตัวเป็นละอองโดยใช้ความดันสูง และ (2) การทำให้ของไหลแตกตัวเป็นละอองโดยใช้ความดันกับของเหลวที่สูง การฉีดละอองน้ำมันในเครื่องยนต์ที่มีการฉีดละอองเชื้อเพลิงโดยตรงในกระบอกสูบนั้นจะไม่มีความคงที่ เนื่องจากช่วงความยาวของระยะกระบอกมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา แม้ว่าการฉีดละอองที่จากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน มีความดันและความเร็วที่น้อยกว่าการฉีดละอองจากเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งการฉีดละอองให้กระบอกสูบในเครื่องยนต์อากาศเป็นปัจจัยสำคัญต่อการฉีดละออง ขนาดของหยดละอองและความเร็วในการกระจายบริเวณที่ใกล้กับหัวฉีดละออง มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของหยด, การระเหย, และการรวมตัวกันของละออง สามารถที่จะจำลองรูปแบบขึ้นมาได้ แต่สำหรับละอองบางชนิดเช่น การใช้อากาศทำให้ของไหลแตกตัวเป็นละออง และละอองของดีเซลที่ใช้แรงดันสูงในการฉีด จะมีขนาดหยดที่เล็กมากเนื่องจากมีโมเมนตัมสูง สำหรับละอองที่มีการระเหยเร็วหรือประมาณได้ว่ามีลักษณะการฉีดแบบเจ็ต จะทำงานได้ดีเมื่อกระแสการไหลของอากาศและเจ็ตไหลไปทิศทางเดียวกัน ส่วนการไหลแบบทิศทางสวนทางกัน การประมาณต้องใช้สมการแบบจำลองเอมไพริคอล

รูปแบบอย่างง่ายในการพิจารณากระแสเจ็ต ที่ฉีดออกสู่ภาวะบรรยากาศที่อยู่นิ่ง เจ็ตที่ออกจากหัวฉีดจะมีชั้นขอบเขตของเจ็ตที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางเคลื่อนที่ของกระแสเจ็ต การฉีดละอองแบบเจ็ตสามารถพิจารณาได้ตามรูป ที่ 5.1 แสดงขอบเขตแบบคงที่ของเจ็ต ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ระยะ คือ ระยะแรกเป็นช่วงการผสม ซึ่งในระยะนี้มีแกนโพเทนเชียลรูปทรงกรวยแบบสามเหลี่ยม มีช่วงความยาว 4 ถึง 5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ระยะที่ 2 คือ ช่วงที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงการไหลที่ระยะนี้มีขนาดเป็น 10 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ส่วนระยะที่ 3 นี้จะเข้าสู่การไหลแบบพัฒนาสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



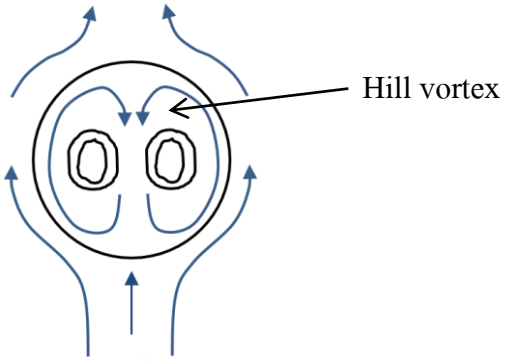
รูปที่ 2.1 รูปร่างพื้นที่ของแก๊สเจ็ต (ที่มา: Gary L. และ Kenneth W., 1998,312)

2.6 การระเหยที่พิจารณาหนึ่งหยดละออง

การวิเคราะห์พฤติกรรมของละออง จำเป็นจะต้องทราบหลักการหาการระเหยของหยดละออง ซึ่งหลักการจะต้องพิจารณากลุ่มละอองทั้งหมดเพียงหนึ่งหยดเท่านั้น ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศและการรวมตัวกันของละอองเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะได้ขอบเขตในการหาขนาดของหยดนั้น กรณีอย่างง่ายสำหรับละอองที่มีความเจือจางในอากาศ โดยตั้งสมมุติฐานในอากาศมี อุณหภูมิ,ความดัน และส่วนประกอบอากาศคงที่ ซึ่งมีการศึกษาอย่างมากในห้องทดลอง เช่นการศึกษาโดยใช้หยดที่มีการพาแบบอิสระ หรือการลอยตัวของหยดในอากาศเป็นต้น

การละเหยของหยดละออง จะมีลักษณะการระเหยผ่านผิวของหยด สำหรับกรณีหยดของแข็งทรงกลมอยู่ในสภาวะบรรยากาศล้อมรอบที่มีความร้อน ไร้แรงโน้มถ่วงและภาวะอากาศที่นิ่ง ในทางอุดมคติจะให้รูปทรงเป็นแบบสมมาตร ถ้าในสภาวะคงที่นี้การถ่ายเทอุณหภูมิที่ผิวหยดละอองจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการระเหย ในกระบวนการระเหยของหยดละอองนั้นจะมีทั้งการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน การผสมละอองที่ถูกกระทำโดยแรงผลักที่ผิว โดยเกิดการผลักจากทางด้านหลังของหยด ภายในหยดจะเกิดการไหลแบบหมุนวน แสดงดังรูปที่ 2.2 ในกรณีที่มีการระเหยเร็ว และเกิดการผสมภายในเล็กน้อย การนำพาความร้อนสู่ของเหลวอาจจะเกิดในช่วงสั้นๆ และอุณหภูมิแกนกลางของการหมุนวนจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งอุณหภูมิแกนกลางของการหมุนวนจะต่ำและคงที่ และความร้อนในของเหลวจะถูกถ่ายเทออกไปรูปแบบผิวบาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

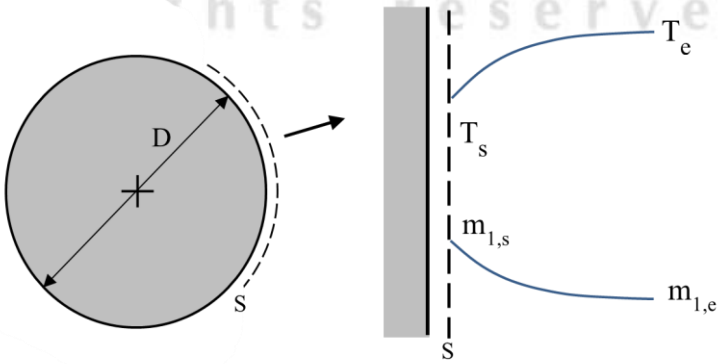


รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลวนภายในหยดละออง (ที่มา: Gary L. และ Kenneth W., 1998,322)

2.7 เวลาการระเหยของละอองน้ำมัน

การคำนวณหาเวลาที่ละอองเชื้อเพลิงขนาดเล็ก หลังจากที่ฉีดเข้าสู่อากาศและระเหยหมดอย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่าเวลาการระเหย การพิจารณาค่าเวลาการระเหยเชื้อเพลิงเป็นสิ่งสำคัญและมีความจำเป็นมากสำหรับการนำไปใช้ออกแบบระบบเผาไหม้ต่างๆ ไม่ว่าจะใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เตาเผาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงที่สุด เวลาในการระเหยจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วในการฉีดละอองเชื้อเพลิง ความเร็วของอากาศที่ฉีดเข้าผสม ระยะทางหลังจากการฉีดละอองก่อนการเผาไหม้เป็นต้น

การคำนวณเวลาการระเหยของละอองเชื้อเพลิง จะนิยามว่าละอองเชื้อเพลิงอยู่ในสภาวะกึ่งคงที่ เนื่องจากขนาดของหยดละอองเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา จากสมดุลมวลที่ผิวของหยดละอองเชื้อเพลิงได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลละออง ณ เวลาใดๆ เท่ากับอัตราการระเหยจากผิวละอองเชื้อเพลิงที่เวลานั้น พิจารณาจากรูป 2.3 แสดงการสมดุลมวลของหยดละอองเชื้อเพลิงที่มีการระเหยที่ผิว S และสภาวะแวดล้อมภายนอกหยดละอองแทนด้วย e



รูปที่ 2.3 สมดุลมวลของหยดละอองเชื้อเพลิง (ที่มา: Anthony F.Mill, 2001,61)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการเวลาการระเหยของละอองเชื้อเพลิง

$$t = \frac{\rho_l D_0^2}{8\rho \mathcal{D}_{12}(m_{1,s} - m_{1,e})} \qquad \text{สมการ (2.6)}$$

2.8 หลักการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว

การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวนั้นจำเป็นต้องทำให้เชื้อเพลิงกระจายตัวเป็นละอองขนาดเล็ก ซึ่งการทำให้เชื้อเพลิงเหลวกระจายตัวนั้นมีหลักการที่สำคัญสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนการทำให้เชื้อเพลิงเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ จากนั้นตามด้วยการฉีกขาดของฟิล์ม ที่เกิดจากความไม่เสถียรของฟิล์มเชื้อเพลิงเหลว เกิดจากแรงประทะและแรงเสียดทานของอากาศ ทั้งสองขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดละออง สำหรับการทำให้เกิดละอองในงานวิจัยนี้จะใช้หัวฉีดที่อาศัยการไหลของอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงแล้วไหลเข้าประทะกับเชื้อเพลิงที่มีความเร็วต่ำ ทำให้เกิดแรงเฉือนที่กระทำต่อเชื้อเพลิงเหลวและทำให้แตกตัวเป็นละออง ระหว่างขั้นตอนการฉีดละอองนี้จะเกิดการระเหยของละออง เนื่องจากความร้อนจากสภาวะโดยรอบหรือความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ก่อนหน้าและเข้าผสมกับตัวออกซิไดเซอร์ที่เป็นอากาศ จนของผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการจุดติดไฟเมื่อองค์ประกอบการเผาไหม้ครบสมบูรณ์ ประกอบด้วยสามส่วนคือ เชื้อเพลิง ออกซิไดเซอร์(อากาศ) และแหล่งความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved