

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ไขมันและน้ำมันพืช

ไขมันและน้ำมัน เรียกรวมกันว่า ลิพิด (Lipid) เป็นเอสเทอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เกิดจากการรวมระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน ไขมันและน้ำมันแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ถ้าลิพิดนี้เป็นของแข็งจะเรียกว่า ไขมัน และถ้าเป็นของเหลวจะเรียกว่า น้ำมัน (พิสมัย, 2544)

ส่วนไขมันจากสัตว์จะมีกรดไขมันที่อิ่มตัวอยู่มากและมักเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันหมู ไขวัว เป็นต้น ส่วนน้ำมันพืชจะมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่มากและมักเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก น้ำมันดอกคำฝอย ยกเว้นน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันและน้ำมันเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ

2.1.1 น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined palm oil: RPO) คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกลั่นและทำการฟอกสีแล้ว แต่ยังมีโอเลอินและสเตอรินผสมอยู่บ้าง

2.1.2 น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โอเลอิน (Olein palm oil) คือ การนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่มีโอเลอินผสมสเตอรินสกัดไขมันออกด้วยเครื่องบีบอัด (Filter press)

2.1.3 ไขมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined palm oil stearin) คือ การนำไขมันปาล์มออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยการลดอุณหภูมิลงจนถึงจุดแข็งตัวของไขมัน จากนั้นนำไปแยกไขมันด้วยเครื่องบีบอัด

2.1.4 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

1. ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 20°C มีค่า 0.88
2. ค่าความร้อน 37,000 kJ/kg
3. ค่าความหนืดจลน์มีค่า 49.27 cSt
4. จุดวาบไฟ 268°C

2.2 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมัน คือ กรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน จำนวน C อะตอม เป็นเลขคู่ กรดไขมันส่วนมากมีจำนวน C อะตอม $C_{12} - C_{18}$ ชนิดที่มีจำนวน C อะตอมน้อยกว่า 12 ได้แก่ กรดบิวทาโนอิก C_4H_7COOH ที่พบในเนย กรดไขมันไม่ละลายน้ำ กรดไขมันจะมีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูงขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เพิ่มขึ้น และกรดไขมันอิ่มตัวมีจุดเดือดสูงกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกันองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืช แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 สำหรับไขมันปาล์มบริสุทธิ์จะพบกรดไขมันอิ่มตัวชนิดสเตียริก (Stearic) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังนี้ $CH_3(C_2H_4)_{16}COOH$ (พิสมัย, 2544)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืช

ชนิดน้ำมันพืช	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14.1-21.0	0-0.5	0.5-2.0	39.3-47.5	3.5-6.0	36.0-44.0	9.0-12.0	0-0.5
น้ำมันปาล์มโกลีน	≥ 56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	0-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียรีน	≤ 48	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0-55.0	45.0-55.0	14.0-18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0-19.0	1.0-3.5	0-0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1-53.2	16.8-21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	0
น้ำมันถั่วลิสง	86-107	0-0.1	0-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0-67.0	13.0-43.0	0-0.3
น้ำมันเมล็ดสบูดำ	101	0	0	14.9	6.0	41.2	37.4	0
น้ำมันเมล็ดเรพ	94-120	0	0-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0-23.0	5.0-13.05
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	0-0.1	0-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	0	49.8-59.0	5.0-11.0

2.3 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ มีช่วงจุดเดือดสูง 180 - 385°C จึงระเหยช้า เหมาะกับเครื่องยนต์ที่อาศัยกำลังอัดในการจุดระเบิด (Compression ignition)

2.3.1 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล (พิพัฒน์พงศ์, 2547)

1. ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 20°C มีค่า 0.825
2. ค่าความร้อน 45,330 kJ/kg
3. ค่าความหนืดจลน์มีค่า 4.2 cSt
4. จุดวาบไฟ 76.7°C

2.4 แก๊สปิโตรเลียมเหลว

แก๊สปิโตรเลียมเหลว หมายถึง แก๊สไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โพรเพน (propane) โพรพิลีน (propylene) นอร์มัลบิวเทน (n-butane) ไอโซบิวเทน (isobutene) หรือบิวทิลีน (butylene) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างผสมกันเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปเรามักเรียกแก๊สปิโตรเลียมเหลวนี้ว่า แก๊สเหลว หรือแก๊สหุงต้ม ส่วนในวงการค้าและอุตสาหกรรม ชื่อที่เรารู้จักกันดี คือ แอล พี แก๊ส (LP GAS) หรือ แอล พี จี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อ มาจาก Liquefied Petroleum Gas แก๊สปิโตรเลียมเหลวมีสภาพเป็นแก๊สที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1.5-2 เท่าของอากาศ

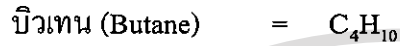
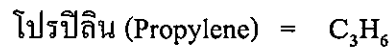
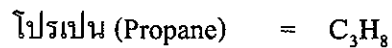
การที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวเนื่องจากแก๊สจะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันเพื่อสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง เมื่อลดความดันแก๊สเหลวนี้อะกลายเป็นไอ สามารถนำไปใช้งานได้

แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในปัจจุบัน ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม และในรถยนต์ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ขนส่งสะดวก ไม่เปลืองที่เก็บ และที่สำคัญคือเผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

2.4.1 คุณสมบัติของแก๊สปิโตรเลียมเหลว

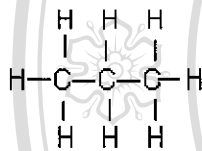
1. คุณสมบัติทางเคมี

แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม ใน 1 โมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

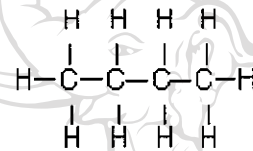


สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon)

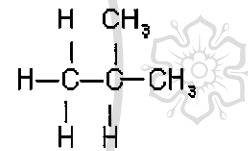
กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) ได้แก่ โพรเพน (propane) นอร์มัลบิวเทน (n-butane) ไอโซบิวเทน (iso-butane)



Propane



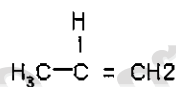
n-butane



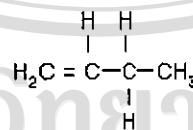
iso-butane

รูปที่ 2.1 โครงสร้างเคมีของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon)

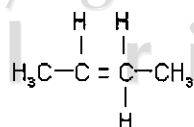
กลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) ได้แก่ โพรปีลีน (propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene) ไอโซบิวทิลีน (iso-butylene)



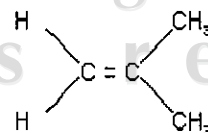
Propylene



n-butylene (butene-1)



Butylene-2 (mixture of cis and trans isomers)



iso-butylene (2 methylpropane) (iso-butene)

รูปที่ 2.2 โครงสร้างเคมีของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbon)

2. คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่ออยู่ในสถานะเป็นก๊าซ

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้กันอยู่มี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ แต่ในที่นี้เราจะกล่าวอ้างถึงก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซ เพราะในการทดลองนั้นจะใช้ที่สถานะก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

(ก) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นตัวเลขที่ชี้ให้เห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่อเป็นก๊าซจะหนักเป็นกี่เท่าของอากาศ (เมื่อความหนาแน่นของอากาศ = 1)

ที่อุณหภูมิ 15.50 °C (60 °F) ณ ความดันบรรยากาศ โปรเปนมีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 1.5 ส่วนบิวเทน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 2.0

ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นก๊าซจะหนักกว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้นก๊าซจะไปรวมตัวอยู่ในที่ต่ำ และถ้าบริเวณที่ต่ำนั้นเป็นรางระบายน้ำหรือคูคลอง ก๊าซอาจจะไหลตามน้ำไป ทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ ณ จุดซึ่งห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซรั่วได้

(ข) ความหนืด

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะของก๊าซจะมีความหนืดสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

(ค) ความสามารถในการอัดตัวของก๊าซแอลพีจี (Compressibility factor)

สำหรับก๊าซอุดมคติ (Ideal gas) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร สามารถแสดงโดยสมการสถานะ (Equation of state) คือ $PV = nRT$ (P = ความดัน , V = ปริมาตร , n = จำนวนโมล, R = gas constant T = อุณหภูมิ) แต่สำหรับก๊าซแอลพีจีจะมีลักษณะเบี่ยงเบนไปจากก๊าซอุดมคติ ดังนั้น เพื่อให้สามารถใช้สมการสถานะได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ (Compressibility factor, Z) เข้าไปในสมการคือ $PV = ZRT$ สำหรับก๊าซไม่อุดมคติ โดยที่ Z จะมีค่าน้อยกว่า 1 คือที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศ โปรเปน นอร์มัลบิวเทน และไอโซบิวเทน มีค่า $Z = 0.984$, 0.969 และ 0.971 ตามลำดับ

(ง) ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air)

ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้ เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้

เรียกว่า ค่าขอบบน ส่วนทางด้านต่ำเรียกว่า ค่าขอบล่าง ก๊าซแอลพีจีจะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% คือถ้ามีก๊าซแอลพีจีต่ำกว่า 2 ส่วนหรือมากกว่า 9 ส่วน ในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็เลยจะไม่ติดไฟ

(จ) อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature)

เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เอง แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่า อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟของโปรเปน คือ 460-580 องศาเซลเซียส และของบิวเทนคือ 410-550°C ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงติดไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280-430 องศาเซลเซียส และน้ำมันดีเซล 250-340°C ดังนั้นเกี่ยวกับเรื่องนี้จึงกล่าวได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีความปลอดภัยสูงกว่า

(ฉ) อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame temperature)

อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของแอลพีจีสูงมากพอที่จะหลอมโลหะต่างๆ ได้ เช่น หลอมเหล็ก ทองเหลือง อลูมิเนียม และแก้ว เป็นต้น โดยโปรเปน มีอุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930°C และบิวเทน 1,900°C ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการอบเครื่องเคลือบดินเผา อบสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(ช) ค่าออกเทน (Octane Number)

ก๊าซแอลพีจีมีค่าออกเทนสูง ประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน จึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มาก

(ซ) อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid /Vapor Volume Ratio)

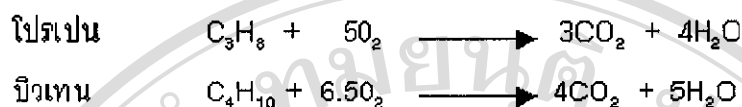
แอลพีจีเหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซ ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก กล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5°C โปรเปนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วย ส่วนบิวเทนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย

ดังนั้น แอลพีจีในสถานะที่เป็นของเหลว ถ้ารั่วออกมาจะมีอันตรายมากกว่าที่เป็นก๊าซ เพราะจำนวนที่ออกมาเป็นของเหลว เมื่อกลายเป็นก๊าซปริมาตรจะมากขึ้น ปริมาณก๊าซมาก อันตราย และความรุนแรงก็ย่อมมีมาก

(ณ) ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศ 21% โดยปริมาตร และเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้

จะต้องมีปริมาณที่แน่นอน ในกรณีที่ก๊าซแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้



ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโพรเพน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว แอลพีจีต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

(ญ) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี หมายถึง ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซแอลพีจีหนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิปกติ (25°C) มีค่าประมาณ 47,313 kJ/kg ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

(ฎ) สี กลิ่น และการละลาย

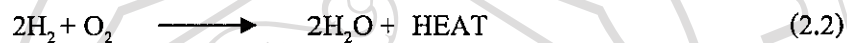
แอลพีจีบริสุทธิ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตก๊าซแอลพีจีจึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซแอลพีจีเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้ก๊าซแอลพีจีมีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคปแทน (mercaptan)

นอกจากนี้ก๊าซแอลพีจี มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (Solvent) เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหย จึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็น หรือซีลต่างๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซแอลพีจี ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

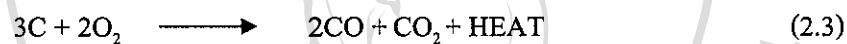
2.5 การสันดาปเชื้อเพลิง

การสันดาปหรือการเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับการสลายไหม้ได้ (Combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งๆ และให้พลังงานความร้อนออกมา โดยทั่วไปเชื้อเพลิงประกอบโดยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน

สำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจนนั้น เขียนเป็นสมการพื้นฐานได้ดังนี้



แต่ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาด้วย ดังสมการ



การสันดาปของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยสำคัญ 3 ประการคือ

1. เวลาต้องนานเพียงพอเพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้หมด โดยไม่ถูกอากาศส่วนเกินนำออกทางปล่องควันก่อนถูกเผาไหม้
2. อุณหภูมิในการเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องได้
3. การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ต้องอยู่ในลักษณะของการไหลผสมแบบปั่นป่วน

ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงโดยมวลจะถูกจำแนกในลักษณะของธาตุต่างๆ ดังนี้

C	คาร์บอน
H	ไฮโดรเจน
O	ออกซิเจน
N	ไนโตรเจน
S	ซัลเฟอร์หรือกำมะถัน
Ash	ส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ หรือเศษขี้เถ้า
H ₂ O	น้ำ หรือความชื้น

เชื้อเพลิงไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซควรถูกจำแนกเป็นส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ข้างต้นก่อนการคำนวณกระบวนการสันดาป

ลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิงที่ดี คือ

1. เชื้อเพลิงที่ทำให้เผาไหม้ได้อย่างง่าย และควบคุมการเผาไหม้ได้
2. มีค่าความร้อนสูง
3. ราคาไม่แพง
4. เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วให้สารมลพิษในระดับต่ำ
5. มีความปลอดภัยทั้งเวลาใช้และการเก็บรักษา ที่สามารถควบคุมได้

การสันดาปของเชื้อเพลิงส่วนมากใช้ออกซิเจนจากอากาศ โดยในอากาศประกอบด้วยออกซิเจน 23.15% โดยมวล ที่เหลือคือไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ มีก๊าซอื่นๆ อีกเล็กน้อย ได้แก่ อาร์กอน 1.28% และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.05% นอกจากออกซิเจนส่วนที่เหลือในที่นี้เรียกรวมกันว่า Atmospheric Nitrogen ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจาก N_2 ออกไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของอากาศแห้ง

Component		% w/w (by mass)		% v/v (by volume)	
O_2		23.15		20.95	
N_2	Atmospheric	75.52		78.09	
Ar	Nitrogen	1.28	76.85	0.93	79.05
CO_2	(AN)	0.05		0.03	

Atmospheric Nitrogen (AN) คือ องค์ประกอบของอากาศที่ไม่รวมออกซิเจน เป็นการรวมก๊าซเฉื่อย N_2 Ar CO_2

* น้ำหนักโมเลกุลอากาศแห้ง, $m_{air} = 28.965$

ปริมาณ AN หาได้จากปริมาณ Stoichiometric oxygen ดังนี้ Spalding (1979).

$$AN = \frac{76.85O_2}{23.15} \quad (2.4)$$

หรือจากกฎอวกาโดร (Avogadro's Law) สามารถเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์โดยโมลได้เลย

$$AN : O_2 = \frac{79.05}{20.95} = 3.773 \quad (2.5)$$

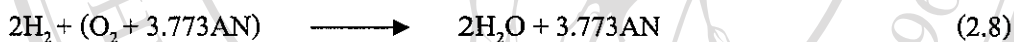
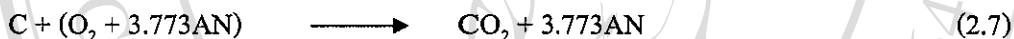
นั่นคือทุกๆ โมลของออกซิเจนจะมี AN อยู่ด้วย 3.773 โมล

ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air) ที่จะใช้ต้องมีมากกว่าปริมาณอากาศที่ต้องการในการสันดาปที่สมบูรณ์เมื่อในกรณีที่มีการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ไม่สมบูรณ์

Excess air = ψ % ของอากาศที่ต้องการ นั่นคือ

$$Excess\ air = \frac{100}{23.15} \times \frac{\psi}{100} O_2 \quad (2.6)$$

สมการในการเผาไหม้ในอากาศ โดยเป็นการสมมุติว่า AN ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ เขียนได้ว่า



2.6 การออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย (Air Assisted Fuel Atomizer)

หน้าที่และหลักการทำงานของหัวฉีดมีหน้าที่ที่สำคัญดังนี้ (จักราช, 2542)

1. ฉีดน้ำมันให้เป็นละอองหรืออนุเล็ๆ (fine atomization)
2. ต้องฉีดให้ได้รูปทรงของลำละออง (Spray pattern) ที่สอดคล้องกับการใช้งาน
3. ระยะเคลื่อนที่ของละออง (Penetration) ต้องพอเหมาะ เพราะถ้าไกลเกินไปจะกระทบกับผนังของห้องสันดาปจะกลายเป็นหยดน้ำมันทำให้เครื่องติดยาก หรือการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

4. ต้องเริ่มฉีดและหยุดฉีดได้อย่างฉับพลัน โดยไม่มีการหยด (No dropping)

หัวฉีดเชื้อเพลิง (Fuel injector) สำหรับการฉีดเชื้อเพลิงเหลวซึ่งมีใช้มากในห้องเผาไหม้ ได้แก่ น้ำมันก๊าด (Kerosene) และน้ำมันดีเซล หัวฉีดที่เหมาะสมและที่ใช้กันอยู่จะเป็นชนิดความดันไหลวน (Pressure-swirl) หรือชนิดอากาศช่วยเป่า (Air-blast) เพื่อให้การแตกตัวของละอองเชื้อเพลิงและการผสมกับอากาศเร็วขึ้น มีผลดีต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยขนาดหยดละอองเชื้อเพลิงที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยประมาณ 30-60 ไมครอน ซึ่งขึ้นกับความหนืดของเชื้อเพลิงและความดัน

ในการฉีดเชื้อเพลิง ถ้าหัวฉีดเชื้อเพลิงทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพก็จะทำให้ระบบการเผาไหม้ทำงานได้ไม่เต็มที่ เมื่อใช้งานกับห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องให้ความสำคัญในการออกแบบและพัฒนาอย่างเป็นพิเศษสำหรับหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย (Air Assisted Fuel Atomizer)

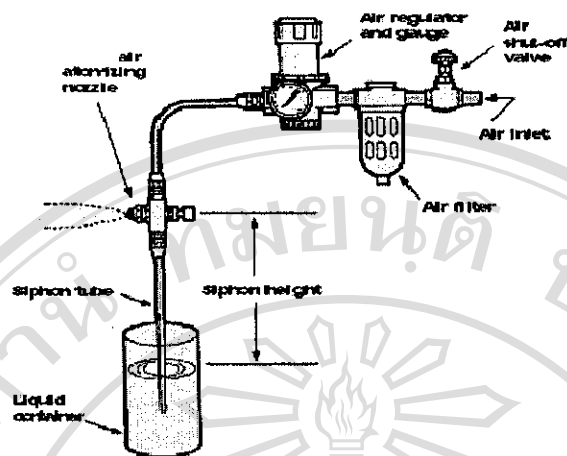
การเกิดเป็นฝอยละอองจากการฉีดน้ำมันแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (ขจร, 2537)

ก. การฉีดน้ำมันที่ความดันสูง (High Pressure Atomization) จะใช้กับหัวฉีดความดันสูง หรือที่เรียกว่าหัวฉีดแบบของไหลเดี่ยว (Single Fluid Atomizer) โดยน้ำมันที่ออกจากปั๊มความดันมากกว่า 690 kPa ความดันที่แตกต่างกันมากของน้ำมันก่อนและหลังออกจากหัวฉีดจะทำให้น้ำมันออกจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูงเกิดการแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ แล้วรวมตัวกับอากาศที่ส่งเข้ามายังห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมในการเผาไหม้

ข. การฉีดน้ำมันที่ความดันต่ำ (Low Pressure Atomization) จะใช้กับหัวฉีดความดันต่ำ หรือที่เรียกว่าหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two Fluid Atomizer) โดยน้ำมันและอากาศจะถูกส่งผ่านหัวฉีดที่มีความดันระหว่าง 6.9 – 103.4 kPa อากาศจะถูกผสมกันก่อนที่จะออกจากหัวฉีด โดยอากาศจะเป็นตัวทำให้น้ำมันมีอนุภาคที่ละเอียด อากาศที่ผสมกับน้ำมันก่อนออกจากหัวฉีดนี้เรียกว่า อากาศปฐมภูมิ (Primary air) เนื่องจากหัวฉีดชนิดนี้สร้างง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มความดันสูง ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะสร้างหัวฉีดความดันต่ำแบบใช้อากาศช่วย สำหรับห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่องที่จะดำเนินการสร้างในขั้นต่อไป

2.6.1 หลักการทำงานของหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย (Air Assisted Fuel Atomizer)

จากรูปที่ 1.3 แสดงหลักการทำงานของหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วยเป็นหัวฉีดชนิดใช้ความดันต่ำ ซึ่งประกอบด้วยหัวฉีด 2 ชุดร่วมศูนย์กลางซ้อนกัน หัวฉีดชุดแรกจะอยู่ภายในทำหน้าที่บังคับทิศทางของไหลของอากาศ และเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับอากาศ ส่วนหัวฉีดชุดที่สองจะอยู่ภายนอกทำหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงจะไหลเข้ามาเป็นฟิล์มบางๆ ขวางการไหลของอากาศ และอากาศที่มีความเร็วสูงนี้เองจะไหลปะทะฟิล์มเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเหนียวนำให้น้ำมันเป็นฝอยละออง การแตกตัวของละอองจะขึ้นอยู่กับค่าความตึงผิว (Surface tension) ของเชื้อเพลิง และถ้าออกแบบให้เกิดการเหนียวนำที่ดีจะสามารถดูดเชื้อเพลิงจากระดับที่ต่ำมายังระดับที่สูงกว่าหรือที่เรียกว่า กาลักน้ำ (Syphon) ทำให้ไม่ต้องใช้ปั๊มส่งแรงดันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย (พิพัฒน์พงศ์, 2547)



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย

(ที่มา : www.spraysystem.com/airblaster)

การออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย (จักรราช, 2542) จะพิจารณาสมการพลังงาน สมการสถานะ และสมการเบอร์นูลลี มาหาความเร็วและมวลของอากาศช่วยที่ผ่านออกจากรูหัวฉีด โดยการอนุมานว่า อากาศไหลผ่าน Venturi เป็นแบบอัดตัวไม่ได้ จะได้ว่า

$$V_a = \sqrt{2c_p T \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (2.9)$$

และจาก :

$$\dot{m}_a = \rho A v \quad (2.10)$$

เมื่อทราบความหนาแน่นอากาศที่สามารถหาได้จาก สมการสถานะ โดยต้องกำหนดสถานะที่จะออกแบบใช้งานด้วย อันได้แก่ ความดันขาเข้า อุณหภูมิ ความดันขาออก

สำหรับมวลอากาศก็จะทำการกำหนดก่อนว่าจะใช้ปริมาณเท่าใด ในการช่วยแตกตัว โดยจะยึดว่าเป็นปริมาณ 1% ของอากาศที่ต้องการเพียงพอต่อการเผาไหม้สมบูรณ์ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาขนาดของรูหัวฉีดได้ ดังนั้นจึงสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อัตราการผลิตความร้อนของหัวฉีด (Nozzle Heat : N_H)

$$N_H = L.H.V \times \dot{m}_f \quad (2.11)$$

เมื่อ

$$\dot{m}_f = \frac{N_H}{L.H.V}$$

จะได้

$$A:f = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{\dot{m}_a}{\frac{N_H}{L.H.V.}} = \frac{\dot{m}_a}{N_H} \times L.H.V. \quad (2.12)$$

$$\therefore \dot{m}_a = \frac{(A:f) \times N_H}{L.H.V.} \quad (2.13)$$

ให้ 1% ของ $A:f$ เป็น $\dot{m}_a$ (2.14)

จะได้

$$\dot{m}_a = \frac{(A:f) \times N_H}{L.H.V.} \times 0.01 \quad (2.15)$$

คิด P_{air} เริ่มต้น จาก

$$\dot{m}_a = \rho_a V_a \quad (2.16)$$

และ

$$V_a = \sqrt{2\varepsilon_p T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k+1/k} \right]} \quad (2.17)$$

แทน สมการ (2.17) ลงใน (2.16) จะได้

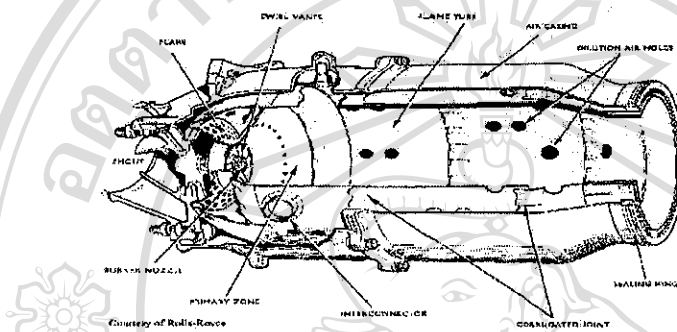
$$\dot{m}_a = \rho_a \sqrt{2\varepsilon_p T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k+1/k} \right]} \quad (2.18)$$

ดังนั้นนำสมการ (2.15) มาเท่ากับ (2.18) จะได้

$$N_H = \frac{\rho_a \sqrt{2\varepsilon_p T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k+1/k} \right]}}{(A:f) \times 0.01} \times L.H.V. \quad (2.19)$$

2.7 พื้นฐานการออกแบบห้องเผาไหม้

พื้นฐานการออกแบบห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่องนั้น ควรจะง่ายต่อการสร้าง ในขั้นเริ่มต้น ห้องเผาไหม้ควรมีลักษณะเป็นรูปท่อทรงกระบอก (Straight – wall duct) แต่เมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นจะเกิดความดันสูญเสียเป็นอย่างมากที่บริเวณการเผาไหม้ จึงทำการขยายขนาดของท่อบริเวณห้องเผาไหม้ให้โตกว่าทางเข้าอากาศ เพื่อลดความเร็วอากาศ (Lefeburve, 1983)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่อง (Lefeburve, 1983)

จากรูปที่ 2.4 ห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่องจะประกอบด้วย

2.7.1 ส่วนแพร่กระจาย (Inlet diffuser section)

เป็นบริเวณของการเปลี่ยนแปลงระหว่างขาออกเครื่องอัดอากาศสู่ขาเข้าห้องเผาไหม้ เพื่อลดความเร็วของกระแสอากาศและแยกการไหลออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะถูกบังคับให้ผ่านครีบบีเยงอากาศหน้าผนังกันเข้าสู่ส่วนกำเนิดไฟในปริมาณ 15-20% ของอากาศขาเข้า และส่วนที่เหลือ 80-85% จะถูกแบ่งออกสู่ส่วนด้านข้างระหว่างผนังกันและผนังห้องเผาไหม้ ความเร็วที่ลดลงในช่วงการเกิดไฟจะลดความดันสูญเสีย เนื่องจากการเพิ่มความร้อนและยังลดโอกาสที่เปลวไฟพุ่งออกมาจากห้องเผาไหม้

2.7.2 หัวฉีดเชื้อเพลิง (Fuel injector)

สำหรับการฉีดเชื้อเพลิงเหลวซึ่งมีใช้มากในห้องเผาไหม้ ได้แก่ น้ำมันก๊าด (Kerosene) และน้ำมันดีเซล หัวฉีดที่เหมาะสมและที่ใช้กันอยู่จะเป็นชนิดความดันไหลวน (Pressure-swirl) หรือชนิดอากาศช่วยเป่า (Air-blast) เพื่อให้การแตกตัวของละอองเชื้อเพลิงและการผสมกับอากาศเร็วขึ้น มีผลดีต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยขนาดหยดละอองเชื้อเพลิงที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยประมาณ 30-60 ไมครอน ซึ่งขึ้นกับความหนืดของเชื้อเพลิงและความดันในการฉีดเชื้อเพลิง

2.7.3 ครีบบี้อย่างอากาศ (Air swirler)

มีลักษณะเป็นใบโค้งบังคับทิศทางลมและเข้าสู่ส่วนกำเนิดไฟ โดยจะนำกระแสลมให้ทำมุมๆ หนึ่งกับกระแสเข้าเพื่อเปลี่ยนความเร็วอากาศตามแนวแกนห้องเผาไหม้ ให้กลายเป็นความเร็วสัมผัส (Tangential velocity) จึงเกิดการหมุนวนของอากาศขึ้นในทิศทางตามแนวรัศมี ซึ่งช่วยให้เกิดการผสมกันระหว่างละอองเชื้อเพลิงกับอากาศได้ดี อีกทั้งเป็นการเพิ่มระยะทางให้แก่ละอองเชื้อเพลิงให้ระเหยได้ทันกับการลุกไหม้ของเปลวไฟในส่วนกำเนิดไฟ จึงเป็นอุปกรณ์สำคัญตัวหนึ่งที่จะช่วยให้ไฟเลี้ยงตัวอยู่ได้ โดยทั่วไปตัวสร้างการหมุนวนแก่อากาศนี้จะติดตั้งที่บริเวณรอบหัวฉีดเชื้อเพลิงคอยรับอากาศส่วนแรก (Primary air)

2.7.4 ผนังกัน (Liner)

ผนังกันจะมีรูเจาะโดยรอบมีหน้าที่คอยจ่ายอากาศส่วนที่เหลือ (Secondary air) ผสมในส่วนกลาง 20-30% และส่วนลดอุณหภูมิ 50-60% เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์และลดอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ใช้งานได้ แต่จะมีอากาศบางส่วนจ่ายผ่านช่องบนผนังกันใกล้ๆ กับช่วงเกิดไฟ เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุนวนตามแนวแกนของส่วนผสมในช่วงเกิดไฟ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการผสมย้อนกลับ (Back mixing) กับก๊าซร้อนหลังการเผาไหม้เป็นการช่วยเร่งอัตราการระเหยของหยดละอองเชื้อเพลิงให้เร็วยิ่งขึ้น และหน่วงเวลาการผสมกันให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้เปลวไฟมีความเสถียรมากยิ่งขึ้นไปอีก ขนาดและจำนวนรูบนผนังกันขึ้นอยู่กับกรออกแบบและการกำหนดช่วงการทำงานภายในห้องเผาไหม้จะยึดหลักว่า

- ขนาดรูเล็กจำนวนมาก เพื่อที่จะให้สัดส่วนการผสมที่พอเหมาะพอดี
- ขนาดรูใหญ่จำนวนน้อย เพื่อการพุ่งผ่านทะลุทะลวงได้ดีของอากาศลดอุณหภูมิ

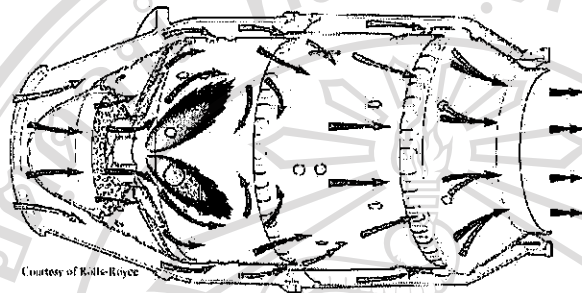
ก๊าซให้ทั่วถึง แม้กระทั่งบริเวณแกนกลางก่อนที่จะปล่อยก๊าซออกจากห้องเผาไหม้

ขนาดรูและจำนวนรูจะสัมพันธ์กับบริเวณการเผาไหม้ภายในผนังกัน ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนกำเนิดไฟ ส่วนกลาง และส่วนลดอุณหภูมิ

2.7.5 ส่วนกำเนิดไฟ (Primary combustion zone)

หน้าที่หลักคือ ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟและใช้ในการรักษาอุณหภูมิ เวลา ความปั่นป่วน (Turbulence) ส่วนผสมเชื้อเพลิงจะถูกฉีดและลุกไหม้ขึ้นที่บริเวณนี้ โดยเชื้อเพลิงจะถูกฉีดในลักษณะที่ให้ส่วนผสมในบริเวณนี้ประมาณได้ว่า มีส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศพอดีกัน (Stoichiometric) ตามทฤษฎี และการกระจายทั่วอาณาบริเวณส่วนกำเนิดไฟอย่างทั่วถึง ไม่ว่าห้องเผาไหม้จะดำเนินการในช่วงไหนก็ตาม โดยอาศัยกระแสสวนกลับทิศทาง ซึ่งเป็นผลจากกระแสอากาศที่ผ่านครีบบี้อย่างอากาศ และบางส่วนจากอากาศส่วนที่สองผ่านช่องผนังกัน สถานะนี้จะมีผลอย่างยิ่ง

ต่อการช่วยให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องที่จะทำให้เปลวไฟสามารถเลี้ยงตัวเองได้ และเกิดเสถียรภาพในการออกแบบและพัฒนาห้องเผาไหม้ให้สามารถทำงานอย่างเสถียรภาพและไว้วางใจได้ จึงมุ่งเน้นในส่วนนี้เพื่อให้ได้สภาวะดังกล่าว ลักษณะผลการไหลวนของกระแสอากาศในส่วนกำเนิดไฟสามารถแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ส่วนกำเนิดไฟ (Lefeburve, 1983)

2.7.6 ส่วนกลาง (Intermediate combustion zone)

เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากส่วนกำเนิดไฟ จะช่วยเพิ่มเวลาในการเผาไหม้ (Residence time) ให้สามารถเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นได้ โดยปริมาณอากาศถูกไหลผ่านรูบนผนังกันในอัตราที่เหมาะสม แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปหรือขนาดรูโตเกินไปจะทำให้เปลวไฟดับก่อนที่การสันดาปของเชื้อเพลิงกับอากาศจะสมบูรณ์ ซึ่งจะเหลือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สันดาปไม่หมดจากการเผาไหม้ และความดันในการเผาไหม้สูงจะป้องกันการแตกตัวของ CO_2 ไปเป็น $\text{CO} + \text{O}$ และ H_2O (Vapor) ไปเป็น H_2 และ O การออกแบบในส่วนนี้จึงมุ่งเน้นในทางการลดปริมาณสารพิษที่เหลือจากการเผาไหม้

2.7.7 ส่วนลดอุณหภูมิ (Dilution zone)

หน้าที่ของห้องเผาไหม้ส่วนนี้คือ การปล่อยอากาศที่เหลือในส่วนสุดท้ายจากผนังกันเข้าผสมกับก๊าซร้อนหลังการเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิขาลงและจะกระจายกันอย่างทั่วถึงก่อนปล่อยออกจากห้องเผาไหม้ ขนาดของรูบนผนังกันในส่วนนี้จะมีขนาดโตพอเหมาะเพื่อสามารถส่งลำอากาศเย็น (Air jet) ให้ทะลุทะลวงถึงแกนกลางก๊าซร้อนได้ในอัตราเร็วสูง

2.7.8 ความยาวเปลวไฟแบบปั่นป่วน (Turbulent flame)

ในการจะหาความยาวเปลวไฟแบบแพร่กระจายจะอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะได้ผลค่าประมาณเท่านั้น โดยจะอาศัยสมมุติฐานว่า

1. เป็นเปลวไฟใน 2 มิติ โดยสมมาตรตามแนวแกน
2. เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ
3. อัตราไหลคงที่และไม่มีผลจากแรงลอยตัว
4. สภาพอากาศภายนอกไม่มีผลต่อลำเปลวไฟ

ในการทำเปลวเพลิงให้เสถียรพึงระลึกไว้เสมอว่า เปลวไฟจะสามารถเลี้ยงตัวอยู่ได้ ต่อเมื่อความเร็วกระแสของส่วนผสมเชื้อเพลิง-อากาศ ต้องไม่มากกว่าความเร็วการลุกลามของหน้าเปลวไฟที่ทุกๆ จุดตลอดเปลวไฟในห้องเผาไหม้ แนวทางที่จะทำให้ความเสถียรมากขึ้นก็คือ

1. ลดความเร็วกระแสหลักตามแนวแกนห้องเผาไหม้
2. เพิ่มอุณหภูมิ ความดัน การหมุนวนของอากาศเข้า
3. รักษาส่วนกำเนิดไฟให้มีส่วนผสมใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีทางทฤษฎีให้

มากที่สุด

4. ใช้เชื้อเพลิงที่มีความสามารถในการระเหยสูง
 5. ลดขนาดหยดละอองเชื้อเพลิงเหลวโดยการปรับปรุงหัวฉีด
- ในทางปฏิบัติมีวิธีการที่จะช่วยรักษาให้เปลวไฟเสถียรจะกระทำได้โดย

1. เอาเปลวไฟจากส่วนอื่นมาเลี้ยงตลอดเวลา
2. ใช้หัวเทียนจุดประกายไฟอย่างต่อเนื่อง
3. ฉีดก๊าซร้อนเข้ามาผสม
4. เคลือบผิวอุปกรณ์สารเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้
5. ติดตั้งตัวขวางกั้นกระแสไหล (Baffle) ให้เกิดกระแสวนกลับ (Vortex)
6. ติดตัวครีบบี้งอากาศ (Air swirler) เบี่ยงเบนทิศทางการไหลเพื่อลด

ความเร็วในแกนหลัก

2.8 การจุดติดไฟ (Ignition)

การลุกไหม้จะเกิดขึ้นได้เมื่อส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศต้องได้รับความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิถึงจุดติดไฟอัตโนมัติ (Auto ignition temperature) สภาพที่จะจุดติดไฟได้นั้น เปลวไฟต้องกระจายทั่วห้องเผาไหม้ทั้งบริเวณที่ติดไฟอยู่ไปยังบริเวณที่ไม่ได้รับการจุดติดไฟด้วย เงื่อนไขของสภาพที่จะจุดติดไฟได้ง่ายก็คล้ายคลึงกับการทำเปลวไฟให้เสถียรดังนี้

2.8.1 ลดความเร็วในช่วงกำเนิดไฟ เพราะถ้าความเร็วมากจะเกิดความร้อนสูญเสียขณะทำการจุดติดไฟมาก ไฟจะติดยาก

2.8.2 เพิ่มความดันและเพิ่มอุณหภูมิ

2.8.3 รักษาส่วนผสมให้ใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีทางทฤษฎี เพราะใช้พลังงานในการจุดไฟน้อยที่สุด

2.8.4 บังคับให้เกิดการสูญเสียความร้อนระหว่างเปลวไฟกับผนังกันให้น้อยที่สุด

2.9 คุณสมบัติที่จุดสแตกเนชันตามขบวนการเอนโทรปีคงที่ (Local Isentropic Stagnation Properties)

ในการที่จะบอกสถานะของของไหลที่จุดใดๆ นั้น จำเป็นจะต้องทราบคุณสมบัติสองอย่าง คือ ความดัน (P) และอุณหภูมิ (T) เสมอ ซึ่งในขณะที่ของไหลกำลังเคลื่อนที่ไปในคุณสมบัติต่างๆ นั้นย่อมมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่จุดอ้างอิงไว้ เพื่อใช้ประโยชน์ในการอ้างอิง ซึ่งสำหรับการไหลแบบขুবตัวตามความดันนั้น นิยมที่จะเอาคุณสมบัติที่จุดสแตกเนชันเป็นคุณสมบัติอ้างอิง

จุดสแตกเนชัน คือ จุดที่ของไหลมีความเร็วเท่ากับศูนย์ ซึ่งสำหรับการไหลแบบขুবตัวตามความดันนั้น ขบวนการที่ของไหลจะถูกลดความเร็วลงจนเท่ากับศูนย์ จะเป็นขบวนการที่ถือว่าไม่เกิดแรงเสียดทาน และถือว่าไม่มีการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีผลทำให้ขบวนการดังกล่าวเป็นขบวนการที่มีค่าเอนโทรปีคงที่ ดังนั้นคุณสมบัติที่จุดสแตกเนชันตามขบวนการเอนโทรปีคงที่นั้นก็คือ คุณสมบัติของไหลที่ได้มาจากการทำให้ของไหลช้าลงจนเท่ากับศูนย์ ตามขบวนการที่ไม่มีแรงเสียดทาน และไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ถ้าการไหลเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยอาศัยสมการต่อเนื่องจะได้ว่า

$$\int_{CS} \rho(V \cdot dA) = 0 \quad (2.20)$$

หรือ $\rho(V_x A) = (\rho + d\rho)(V_x + dV_x)(A + dA) \quad (2.21)$

และจากสมการโมเมนตัม จะได้ว่า

$$F_{Sx} = d_{Rx} + PA - (P + dP)A = \int_{CS} (V_x r V_{xyz}) dA \quad (2.22)$$

$$\left(P + d\frac{P}{2}\right)((dA + PA) - (P + dP)(A + dA)) = V_x - |\rho V_x A| + (V_x + dV_x)(\rho + d\rho)(V_x + dV_x)(A + dA)$$

$$dP = (-\rho V_x) dV_x = -\rho d\left[\frac{V_x^2}{2}\right]$$

$$dP + d\left[\frac{V_x^2}{2}\right] = 0 \quad (2.23)$$

ถ้าเรากล่าวว่าความเร็วของการไหลอยู่ตามแนวแกน X อย่างเดียว ดังนั้น จึงสามารถแทน V_x ด้วย V หรือ

$$dP + d\left[\frac{V^2}{2}\right] = 0 \quad (2.24)$$

โดยอาศัยนิยามของขบวนการที่มีต่อค่าเอนโทรปี ซึ่งขบวนการดังกล่าวเป็นขบวนการสำหรับก๊าซในอุดมคติ จะได้ว่า

$$P = C \text{ หรือ } \frac{P}{\rho^k} = \left[P^{\frac{1}{k}} C\right]^{-\frac{1}{k}}$$

$$-d\left[\frac{V^2}{2}\right] = \frac{dP}{\rho} = \left(P^{\frac{1}{k}}\right) \left(C^{\frac{1}{k}}\right) dP \quad (2.25)$$

ถ้าอินทิเกรตจากจุดที่ของไหลมีความเร็วเท่ากับ V และความดันเท่ากับ P ไปยังจุดสแตกเนชั่น ซึ่งมีความเร็วเท่ากับศูนย์ และความดันเท่ากับ P_0 ดังนั้น

$$-\int d\left[\frac{V^2}{2}\right] = C^{\frac{1}{k}} - \int_0^{P_0} \left(P^{\frac{1}{k}}\right) dP \quad (2.26)$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$V^2 = C^{1-k} \left[\frac{k}{k-1}\right] \left[P^{\frac{(k-1)}{k}}\right]_P^{P_0}$$

$$= C^{1-k} \left[\frac{k}{k-1}\right] \left[P_0^{\frac{(k-1)}{k}} - P^{\frac{(k-1)}{k}}\right]$$

$$V^2 = \left[C^{1-k} \frac{k}{k-1} P^{\frac{(k-1)}{k}}\right] \left[\frac{P_0}{P}\right]^{\frac{(k-1)}{k}} - 1$$

และเนื่องจาก $C^{1-k} = \frac{P^{1-k}}{\rho}$

ดังนั้น

$$V^2 = \left[\frac{k}{2} \right] \left[\frac{P^{\frac{1}{k}}}{k-1} \right] \left[\frac{P^{\frac{(k-1)}{k}}}{\rho} \left[\left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right] \right] = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[\frac{P}{\rho} \right] \left[\left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right]$$

เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของความดันที่สแตกเนชั่น จะเขียนสมการใหม่ ได้ดังนี้

$$\left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{(k-1)}{k}} = 1 + \left[\frac{k-1}{k} \right] \left[\frac{P}{\rho} \right] \left[\frac{V^2}{2} \right] \quad (2.27)$$

และ $\frac{P_0}{P} = \left[1 + \left[\frac{k-1}{k} \right] \left[\frac{\rho V^2}{2P} \right] \right]^{\frac{(k-1)}{k}} \quad (2.28)$

สำหรับขบวนการที่มีค่าเอนโทรปีคงที่ หรือ $\frac{P}{\rho} = \text{CONSTANT}$ จะได้ว่า

หรือ $\frac{\rho_0}{\rho} = \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{1}{k}} \quad (2.29)$

และจากสมการสถานะของก๊าซในอุดมคติ $P = \rho RT$ จะได้ว่า

$$\frac{T_0}{T} = \left[\frac{P_0}{P} \right] \left[\frac{\rho}{\rho_0} \right] = \frac{P_0}{P} \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{1}{k}} = \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{(k-1)}{k}} \quad (2.30)$$

เมื่อให้ M เป็นค่ามัคนัมเบอร์

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \left[\frac{k-1}{2} \right] M^2 \right]^{\frac{k}{(k-1)}} \quad (2.31)$$

$$\frac{T_0}{T} = \left[1 + \left[\frac{k-1}{2} \right] M^2 \right] \quad (2.32)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left[1 + \left[\frac{k-1}{2} \right] M^2 \right]^{\frac{1}{(k-1)}} \quad (2.33)$$

จากสมการ (2.28) (2.29) และ (2.30) จะเห็นว่าถ้าเราทราบค่ามัคนัมเบอร์ของก๊าซในอุดมคติที่กำลังไหลอยู่ที่จุดนั้นๆ สามารถนำไปคำนวณหาอัตราส่วนของคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซที่จุดสแตกเนชั่นกับจุดใดๆ ก็ได้ จะเป็นส่วนกลับของค่าต่างๆ ของสมการ (2.31) (2.32) และ (2.33) คือเป็นอัตราส่วนของคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซที่จุดใดๆ กับค่าที่จุดสแตกเนชั่น

2.10 จลนศาสตร์ของของไหล

2.10.1 ประเภทของของไหล

การไหลของของไหล อาจจะแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ

ก. การไหลแบบคงที่ (Steady Flow) เป็นการไหลซึ่งความเร็วและอัตราการไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) เป็นการไหลซึ่งความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

ข. การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) เป็นการไหลซึ่งความเร็วและอัตราการไหลคงที่สม่ำเสมอ เท่ากันทุกหน้าตัดของการไหล

ค. การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform Flow) ความเร็ว และอัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของการไหล

ง. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เป็นการไหลซึ่งอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ การไหลเช่นนี้มักเกิดในกรณีที่มีความเร็วของการไหลต่ำ และของไหลมีค่าความหนืดสูง

จ. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) อนุภาคของของไหลจะมีทิศทางและความเร็วไม่แน่นอนในขณะที่เคลื่อนที่ไป

2.10.2 ความเร็วและอัตราการไหล

ความเร็วเฉลี่ยของการไหลคือ อัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการไหล (Flow Rate) กับพื้นที่หน้าตัด (Cross Section) ของการไหล ดังสมการที่ 2.34

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.34)$$

เมื่อ v คือ อัตราการไหล (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)

2.10.3 พลังงานของการไหล

พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหล ประกอบด้วย พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ และพลังงานความดัน ดังนี้คือ

1. **พลังงานศักย์ (Potential Energy)** อนุภาคของของไหล น้ำหนัก W อยู่เหนือระดับอ้างอิงเป็นระยะ z จะมีพลังงานศักย์, PE ดังสมการที่ 2.35

$$PE = Wz \quad (2.35)$$

2. **พลังงานจลน์ (Kinetic Energy)** ของไหลมวล m กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย V จะมีพลังงานจลน์, KE ดังสมการที่ 2.36

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{W}{g}\right)v^2 \quad (2.36)$$

2.10.4 พลังงานความดัน (Pressure Energy)

พลังงานความดัน คือ งานที่ผลักดันให้ของไหลผ่านความดัน จนสามารถไหลไปได้ พิจารณากรณีที่ของไหลเคลื่อนที่ไปเป็นระยะ d

$$\text{พลังงานความดัน} = (PA)d = PV = \frac{PW}{\gamma} \quad (2.37)$$

เมื่อ P คือ ความดัน (N/m^2)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)

d คือ ระยะทางที่ของไหลเคลื่อนที่ไปได้ (m)

V คือ ปริมาตร ($V=Ad$) (m^3)

W คือ น้ำหนักของของไหล (N)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m^3)

เมื่อพิจารณาพลังงานรวมทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (Head), H จากสมการจะได้

$$H = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} \quad (2.38)$$

2.11 สมการพลังงาน (Energy Equation)

จากกฎการทรงพลังงาน (Conservation of Energy) ซึ่งพลังงานจะไม่สูญหายหรือเกิดขึ้นมาได้เอง สำหรับกรณีที่เป็นการไหลแบบคงที่ในของไหลที่อัดตัวไม่ได้ พลังงานรวมที่ตำแหน่งต่างๆ ของของไหลจะมีค่าคงที่ดังสมการ (2.39) มีชื่อเรียกว่า สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{ค่าคงที่} \quad (2.39)$$

2.12 การไหลแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนต์ (Laminar and Turbulent Flows)

การไหลแบบลามินาร์ หรือการไหลแบบราบเรียบ เป็นการไหลซึ่งอนุภาคของของไหลมีการเคลื่อนตัวอย่างเป็นระเบียบ ความเร็วของแต่ละอนุภาคไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ หรือการไหลแบบปั่นป่วนนั้น ความเร็วของแต่ละอนุภาคจะมีขนาดและทิศทางไม่แน่นอน สิ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการไหลที่จะนำไปสู่การไหลแบบลามินาร์ หรือแบบเทอร์บิวเลนต์ ได้แก่ ความเร็ว และความหนืดของของไหล ตลอดจนขนาดของท่อตามความสัมพันธ์ของเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynold Number) ดังนี้สมการที่ 2.40

$$N_R = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{D v}{\nu} \quad (2.40)$$

เมื่อ	N_R	คือ	เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
	D	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)
	v	คือ	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อ (m/s)
	μ	คือ	ความหนืดพลวัต (N.s/m^2)
	ν	คือ	ความหนืด คินมาติก (m^2/s)

โดยทั่วไป จะจำแนกชนิดของการไหลตามค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ดังนี้คือ

$N_R < 2000$	การไหลในท่อจะเป็นแบบลามินาร์
$2000 < N_R < 4000$	การไหลจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลง (Transition) จาก การไหลแบบลามินาร์ไปเป็นแบบเทอร์บิวเลนต์
$N_R > 4000$	การไหลในท่อจะเป็นแบบเทอร์บิวเลนต์



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved