บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ คือก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ในสภาพที่ขาดแคลนออกซิเจน โดยปฏิกิริยาการย่อยสลาย กระทำโดยบักเตรีกลุ่ม Anaerobic bacteria เรียกกระบวนการนี้ว่า "การย่อยสลายไร้อากาศ"

สารอินทรีย์ + Anaerobic bacteria $\Rightarrow$ ก๊าซชีวภาพ + กาก + ความร้อน

ตามธรรมชาติโดยทั่วไปกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในที่ลุ่มชื้นแฉะ ก้นทะเลสาบ และในที่ลึกลงไปใต้ดิน หรืออาจเกิดขึ้นจากน้ำมือมนุษย์ เช่นในบ่อน้ำเสีย ปศุสัตว์ และในหลุมขยะฝังกลบ

สารอินทรีย์ หมายถึง สิ่งที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีมากมายอันได้แก่ มูลสัตว์ เช่น มูลกระบือ มูลสุกร มูลไก่ ฯลฯ, พืชต่างๆ เช่น หญ้า ฟางข้าว เปลือกถั่วลิสง ผักตบชวา หรือ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่นน้ำทิ้งจากโรงงานทำสุรา โรงงานผลิตอาหารกระป๋องเป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตามหากทิ้งมูลสัตว์ตามพื้นที่นา ก็จะเกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้ก๊าซ CO_2 และน้ำ แต่เมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซมีเทน(CH_4) ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhourse Effect) ได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) เนื่องจากก๊าซมีเทนมีความคงทนในบรรยากาศได้นานกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4-5 เท่า และก๊าซมีเทนมีอัตราเพิ่มมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2-5 เท่า ดังนั้นการนำมูลสัตว์มาหมักในระบบไร้ออกซิเจน จะได้มีการเก็บกักก๊าซมีเทนไว้และนำมาเป็นแหล่งพลังงานใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงและลดปริมาณก๊าซมีเทนในบรรยากาศ [2]

การหมักมูลสัตว์แบบไร้ออกซิเจนทำให้สารอินทรีย์ในมูลสัตว์ประมาณ 80% ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน จากการสำรวจหลายแหล่งพบว่าค่าก๊าซชีวภาพ (ซึ่งมีก๊าซมีเทน 60-80%) ที่ผลิตได้จากมูลสัตว์แต่ละชนิดมีดังตารางที่ 2.1 [13]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อมูลสัตว์แต่ละชนิดใน 1 กิโลกรัม [13]

ชนิดมูลสัตว์	ค่าเฉลี่ยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อมูลสัตว์ 1 กิโลกรัม
สุกร	360 ลิตร
วัว	200 ลิตร
ไก่	370 ลิตร
ม้า	200 ลิตร
แกะ	160 ลิตร

2.1.1 การย่อยสลายไร้อากาศ

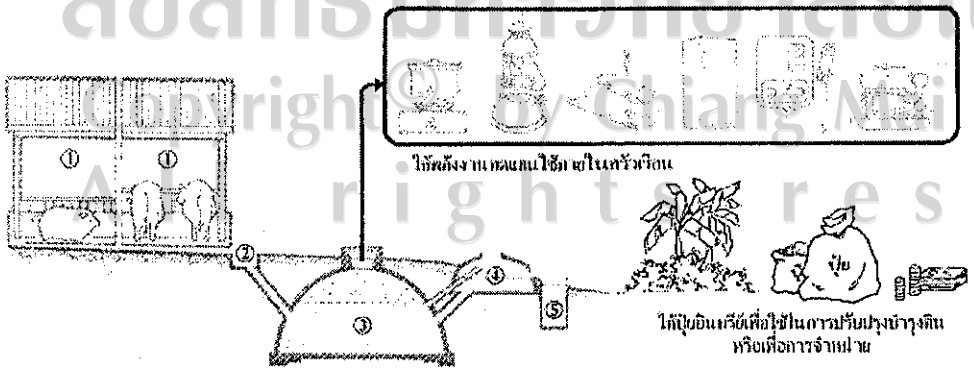
การย่อยสลายไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เป็นกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ โดยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาพขาดแคลนออกซิเจน มี 3 ขั้นตอนสำคัญๆ ดังนี้

2.1.1.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) เป็นขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ให้มีโมเลกุลเล็กลง เพื่อที่ว่าสารอาหารสามารถซึมผ่านเซลเมนเบรนของแบคทีเรียได้ และทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น

2.1.1.2 การแปรสภาพเป็นกรด (Acidification) จุลินทรีย์กลุ่มที่ 1 (ใช้กำเนิดกรด) ทำห้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อน เปลี่ยนให้เป็นกรดไขมัน จากนั้นจุลินทรีย์กลุ่มที่ 2 (ผลิตอะซีโตน) จะทำหน้าที่เปลี่ยนจากกรดไขมันเป็นกรดอะซีติค โพรไพโนอิค และ แลคติค ในช่วงนี้จะมีการปลดปล่อยไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

2.1.1.3 กระบวนการผลิตมีเทน (Methanation) เกิดขึ้นโดยกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มที่ 3 ที่เรียกว่า Methanogens ใช้กรดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกเป็นอาหาร ดำรงชีพแล้วถ่ายออกมาเป็นก๊าซมีเทน ส่วนจุลินทรีย์กลุ่มที่ 4 ใช้ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นมา [14]

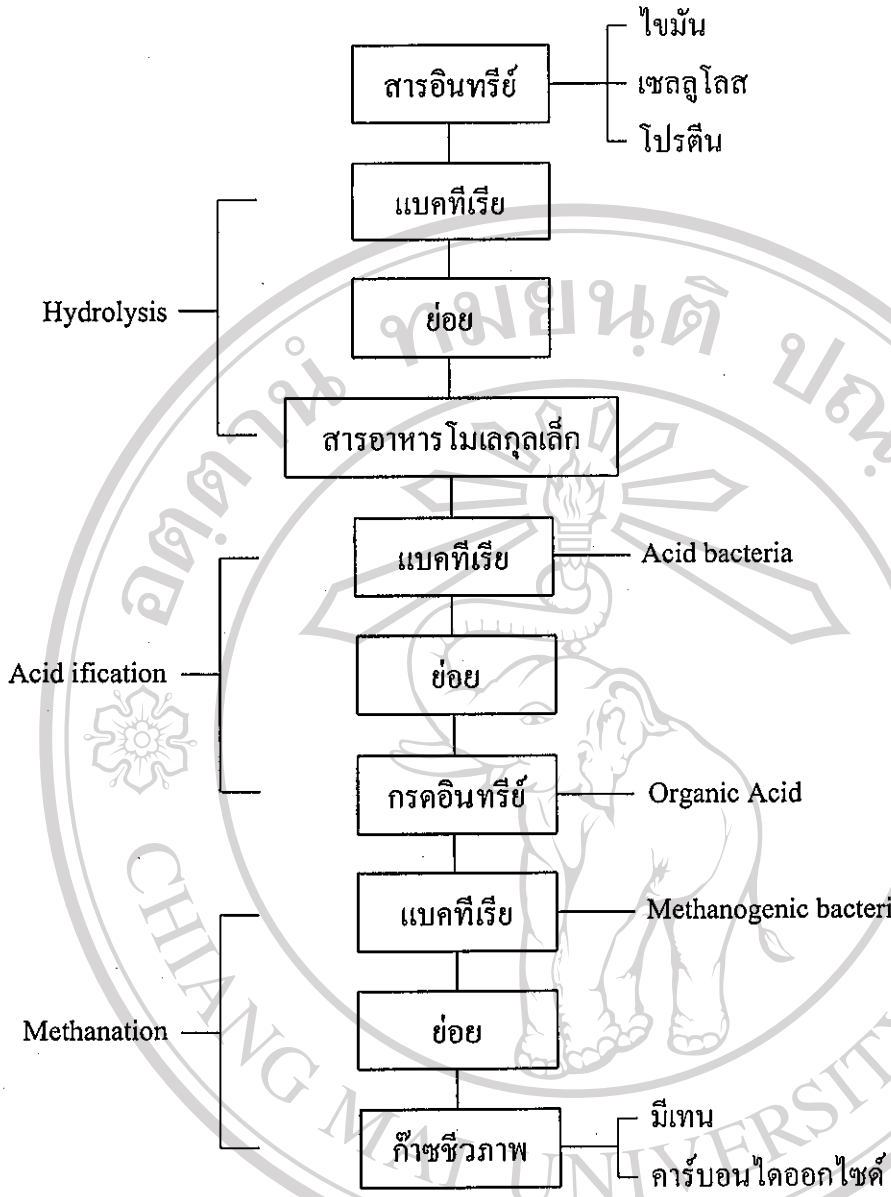
ขบวนการเกิดก๊าซชีวภาพที่กล่าวมาจะแสดงขั้นตอนในรูปที่ 2.1 และ 2.2



วงจรของระบบก๊าซชีวภาพ น้ำและมูลสัตว์จากออก ① ไหลตามรางลงบ่อเติม ② เข้าสู่บ่อหมัก ③ ของเสียที่ผ่านการหมักแล้วจะล้นออกที่บ่อล้น ④ และเข้าบ่อเก็บจากจากบ่อล้น ⑤ เพื่อระบายหรือตักไปใช้ประโยชน์กับพืช สวน ไร่ นา หรือตากแห้งเพื่อการจำหน่าย

รูปที่ 2.1 วงจรระบบก๊าซชีวภาพ [2]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนขบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ [14]

กลุ่มแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลาย กลุ่มนี้มีด้วยกัน 3 ชนิดได้แก่

ก. Psychrophilic แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซได้ในช่วงอุณหภูมิ 0-10°C แต่จะผลิตก๊าซได้ปริมาณที่น้อย และเมื่ออุณหภูมิต่างจากนี้ แบคทีเรียชนิดนี้จะหยุดการย่อยอินทรีย์สารทำให้ไม่เกิดก๊าซ และแบคทีเรียชนิดนี้จะตายลงได้

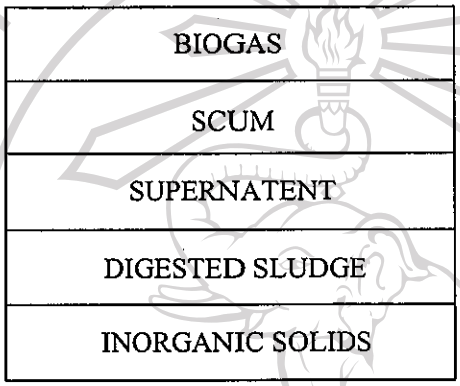
ข. Mesophilic แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซได้ในช่วงอุณหภูมิ 30-40°C ผลิตได้ในปริมาณปานกลางแต่จะทนต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ถึงแม้อุณหภูมิจะแตกต่างไปกว่านี้เล็กน้อย แบคทีเรียชนิดนี้ก็ยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้ ในประเทศไทยจะมีแบคทีเรียชนิดนี้อยู่มาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค.Thermophilic แบคทีเรียชนิดนี้จะผลิตก๊าซได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-58°C ผลิตก๊าซได้ปริมาณมากที่สุดในบรรดาแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด แต่แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่อ่อนแอที่สุด ไม่สามารถทนกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เช่น มีฝนตกซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในบ่อลดลงประมาณ 2°C แบคทีเรียชนิดนี้ก็ตายทันที ดังนั้นถ้าหากจะต้องการใช้แบคทีเรียชนิดนี้ย่อยอินทรีย์สารที่มีปริมาณมากๆ ให้หมดเร็วๆ จะต้องมีระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมของบ่อด้วย [14]

2.1.2 ลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพในถังหมัก

เมื่อหมักสารหมักในถังหมัก สารหมักจะถูกย่อยสลายและจะเกิดการเรียงตัวของส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.3 [3]



รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพในถังหมัก [3]

Biogas คือ ส่วนของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและนำไปใช้ประโยชน์ได้

Scum คือ ส่วนของกากสารอินทรีย์ที่ลอยขึ้น ส่วนนี้อาจจะไปปิดกั้นการผุดขึ้นของก๊าซได้

Supernatent คือ ส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย

Digested Sludge Spent Slurry คือ ส่วนของกากที่เกิดการย่อยสลายและนำไปใช้เป็นปุ๋ยต่อไป

Inorganic Solids คือ ส่วนที่เป็นของแข็งที่ตกตะกอนอยู่ก้นถัง

2.1.3 รูปแบบบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digester)

รูปแบบบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digester) สามารถแยกตามลักษณะอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

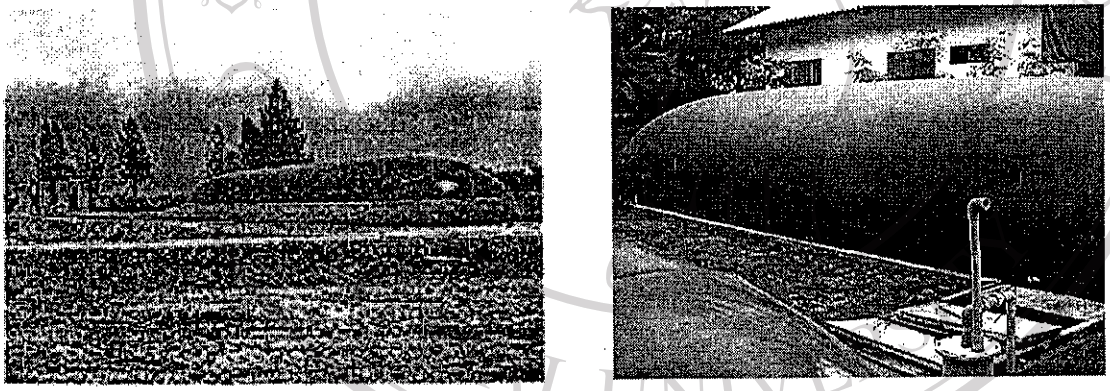
2.1.3.1 บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic digester) เป็นบ่อหมักที่ออกแบบเพื่อที่อาศัยกลุ่มของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพที่มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน 65-70% ก๊าซที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีส่วนของบ่อหมักที่ใช้เก็บก๊าซชีวภาพและจะต้องมีการนำก๊าซไปใช้อย่างสม่ำเสมอ บ่อหมักแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก. บ่อหมักช้าแบบถังลอย (Floating drum digester) เป็นรูปแบบจากประเทศอินเดีย เป็นรูปทรงกระบอกที่เป็นคอนกรีตหรือโลหะ อาจติดตั้งบนดินหรือฝังดินโดยที่ปลายท่อเติมมูลจะจมอยู่ด้านบนและปลายท่อล้นจะจมอยู่ด้านล่างของบ่อหมักซึ่งเป็นของเหลว สำหรับส่วนที่เก็บก๊าซจะเป็นฝาครอบซึ่งลอยอยู่ในน้ำมีน้ำหนักกดทับฝาเพื่อสร้างความดันให้ก๊าซชีวภาพ

ข. บ่อหมักช้าแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) เป็นรูปแบบจากประเทศจีน ที่เก็บก๊าซจะเป็นรูปครึ่งทรงกลมที่ฝังอยู่ในดิน การก่อสร้างจะใช้วิธีเทคอนกรีตหรือก่ออิฐโบกปูน นิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กที่ต้องการความจุของบ่อหมักตั้งแต่ 12-100 m^3

ค. บ่อหมักช้าแบบราง (Channel digester) มีลักษณะยาวคล้ายราง โดยความยาวจะมากกว่าความกว้างไม่น้อยกว่า 4-5 เท่า ท่อเติมมูลและท่อล้นจะอยู่ทางส่วนหัวและส่วนท้ายตามลำดับ โดยปลายท่อทั้งสองจะจมอยู่ในของเหลว ส่วนบนของบ่อจะมีพลาสติกคลุมอยู่เพื่อให้เป็นที่สำหรับเก็บก๊าซชีวภาพ โดยปลายพลาสติกจะจมอยู่ในของเหลวเพื่อกันไม่ให้ก๊าซหลุดออกไป บ่อแบบนี้นิยมใช้กับฟาร์มขนาดใหญ่ที่ต้องการความจุของบ่อมากกว่า 100 m^3 ก๊าซชีวภาพที่เก็บอยู่ภายใต้พลาสติกที่คลุมบ่อนั้นจะมีความดันน้อยมาก โดยความดันไม่เกิน 5 เซนติเมตรของน้ำ



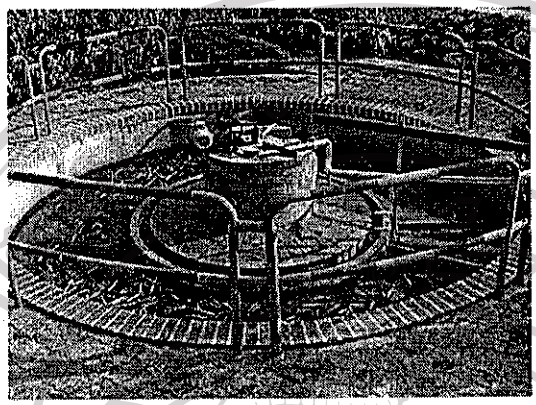
รูปที่ 2.4 บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบรางขนาด 1,000 m^3 ที่เล่งเค็งฟาร์ม จ. นครปฐม และขนาด 100m^3 ที่สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต. แม่เหียะ จ. เชียงใหม่

2.1.3.2 บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว (High rate anaerobic digester) เป็นบ่อหมักที่ออกแบบเพื่อที่อาศัยกลุ่มของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และมีระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นมาก (ใช้เวลาในการย่อยสลายประมาณ 0.5-3 วัน) บ่อหมักแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ

ก. บ่อหมักเร็วแบบมีตัวกรอง (Anaerobic filter digester) เป็นบ่อหมักที่ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกระหว่างของแข็ง-น้ำ-ก๊าซ เนื่องจากแบคทีเรียยึดเกาะอยู่กับตัวกลางที่หมักอยู่แล้ว การนำของเสียเข้าสู่บ่อหมักจะปล่อยให้ไหลขึ้น โดยเติมเข้าทางด้านล่างและให้ล้นออกทางด้านบน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. บ่อหมักแบบ UASB (Up-flow anaerobic sludge blanket digester) เป็นบ่อหมักที่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกระหว่างของแข็ง-น้ำ-ก๊าซ ในส่วนบนของถังหมัก เพื่อทำหน้าที่แยกก๊าซออกจากกลุ่มของแบคทีเรียซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับก๊าซและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มิฉะนั้นจะทำให้กลุ่มแบคทีเรียนั้นหลุดออกไปกับน้ำที่ออกจากบ่อหมัก [15]



รูปที่ 2.5 บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบ UASB ที่สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต. แม่เหียะ จ. เชียงใหม่

2.1.4 ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ประการหลักดังนี้

2.1.4.1 องค์ประกอบทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความเป็นกรด–ด่าง(pH 6.8–7.4), Alkalinity (ความต้านทาน pH), Volatile acid concentration, อุณหภูมิ 35 ^{o}C, อาหารเสริมสร้าง C,N_2,P,K ฯลฯ, สารพิษและ การกวน

2.1.4.2 องค์ประกอบด้านการทำงาน ได้แก่ วัตถุดิบ (C:N = 20 – 30 : 1), สถานะภาพทางกายภาพของสารอินทรีย์, ปริมาณ น้ำ : มูลสัตว์ = 2 – 1 : 1, ระยะเวลาการเกิดก๊าซ [14]

2.1.5 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วย ก๊าซมีเทน(CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) เป็นหลัก โดยมี CH_4 ประมาณ 60-80%, CO_2 ประมาณ 20-40% และ H_2S 1% เนื่องจาก CO_2 เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ ฉะนั้นในการติดไฟจึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน(CH_4) ก๊าซชีวภาพมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ(Air) และมีความดันต่ำ อีกทั้งยังเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้ยาก โดยความดันที่ทำให้ก๊าซชีวภาพกลายเป็นของเหลวหรือเปลี่ยนสถานะได้จะอยู่ที่ 200-300 bar และอุณหภูมิกลั่นตัวเป็นของเหลวจะอยู่ที่ –161°C [16] นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ดังนี้

2.1.5.1 ค่าความร้อน ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อน 23,400 kJ/m^3 ที่สภาวะปกติ (Normal temperature and pressure; NTP) คือ ที่สภาวะ 0 ^{o}C และ 1.013 bar ตามลำดับ โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับ ปริมาณมีเทนและความหนาแน่นของก๊าซ ฉะนั้นก๊าซชีวภาพให้ค่าความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Carorific value) เฉลี่ยประมาณ 23 MJ/m^3 จะให้อุณหภูมิของเปลวไฟ (Temperature of the flame) 870^oC เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพกับก๊าซเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ จะแสดงในตารางที่ 2.2-2.3 [16]

ตารางที่ 2.2 ชนิดและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง [16]

fuel	density	calorific value (kJ/kg)	ignitability (Vol % gas in air)	ignition temperature in air (°C)	stoichiometric air/fuel ratio (kg/kg)	methane no.
methane	0.72 kg/m³ n	50 000	5.0 . . . 15.0	650	17.2	100
LPG	0.54 kg/l	46 000	2.0 . . . 9.0	400	15.5	30
propane	2.02 kg/m³ n	46 300	2.0 . . . 9.5	470	15.6	35
butane	2.70 kg/m³ n	45 600	1.5 . . . 8.5	365	15.6	10
petrol	0.75 kg/l	43 000	0.6 . . . 8.0	220	14.8	–
diesel	0.85 kg/l	42 500	0.6 . . . 8.5	220	14.5	–
natural gas	0.83 kg/m³ n	57 500	5.0 . . . 17.0	600	17.0	80
biogas[1] (60% CH_4)	1.2 kg/m³ n	18 000	5.0 . . . 15.0	650	10.2	130

[1] H_2S content should be at 0.15 Vol % (1500 ppm), but never more than 0.5 Vol % (5000 ppm).

Other useful correlations

– Calorific value of biogas by methane content
100% CH_4: H_u = 36 000 kJ/m³ n = 10 kWh/m³ n
each 10% of CH_4 content in biogas: H_u = 3600 kJ/m³ n = 1 kWh/m³ n

Example:
65% CH_4: H_u = 23 400 kJ/m³ n = 6.5 kWh/m³ n

– Energy equivalents of biogas

1 kWh biogas ≙ 0.1 l diesel fuel ≙ 0.11 l petrol
1 m³ n biogas ≙ 0.6 l diesel fuel ≙ 0.67 l petrol
1 m³ n biogas ≙ 1.5 kWh mechanical energy
≙ 1.3 kWh electrical energy

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าความร้อนเทียบเท่ากับก๊าซชีวภาพ (60%CH_4) ปริมาตร 1m^3 [2]

1. ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.47 kg
2. น้ำมันเบนซิน	0.67 lite
3. น้ำมันดีเซล	0.60 lite
4. ฟืนไม้	1.50 kg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.5.2 ความหนาแน่น ก๊าซชีวภาพมีความหนาแน่นประมาณ 1.2 kg/m^3 (มีเทน 60%) ที่สภาวะมาตรฐานโดยค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับ ความดันและอุณหภูมิ [16,17]

2.1.5.3 การลุกไหม้ ก๊าซชีวภาพลุกไหม้ที่อุณหภูมิ 650-750°C เมื่อปริมาตรของก๊าซชีวภาพผสมในอากาศ 9-23% (โดยเฉลี่ย 15%) ที่สภาวะปกติ [17]

2.1.5.4 ความต้านทานการน๊อค (Research octane number; RON) ก๊าซชีวภาพมีค่าความต้านทานการน๊อคสูงมากถึงประมาณ 130 จึงเหมาะแก่การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีค่าความต้านทานการน๊อคสูงจะเป็นการป้องกันการจุดระเบิดก่อนเวลาอันเหมาะสมหรือเรียกว่า "การชิงจุด" ในขณะเครื่องยนต์ทำงานได้เป็นอย่างดี [16]

2.1.6 การวัดหาเปอร์เซนต์ของก๊าซมีเทน

การวัดหาเปอร์เซนต์ของก๊าซมีเทน ทำได้ 2 วิธีคือ

2.1.6.1 การทำออร์สัท (Orsat Analysis) การวิเคราะห์แบบนี้เป็นการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี คือ วิเคระห์ปริมาณก๊าซทุกตัว และผลสุดท้ายที่เหลือจากการหักเปอร์เซ็นต์ของก๊าซต่างๆ ออกแล้วจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน การวิเคราะห์แบบนี้ค่อนข้างยุ่งยากและสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงมักจะใช้ในการวิเคราะห์ละเอียด หรือ นานๆ ครั้งเท่านั้น

2.1.6.2 การวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide Analysis) การวิเคราะห์แบบนี้จะเป็นการวิเคราะห์ในทางปฏิบัติ ซึ่งจะหาเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนได้จากสมการที่ 2.1

$$\%CH_4 = 100 - (\%CO_2 + 1) \qquad (2.1)$$

จากสมการนี้เป็นสมการทั่วไปในการหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนสำหรับก๊าซชีวภาพโดย $\%CO_2$ เป็นค่าที่วัดได้โดยตรงโดยเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนเลข "1" นั้นเป็นค่าประมาณของก๊าซชนิดอื่นๆที่ผสมอยู่ในก๊าซชีวภาพ การวิเคราะห์แบบนี้มักใช้กับการวิเคราะห์หา $\%CH_4$ ที่ต้องทำซ้ำบ่อยๆ และต้องการความเร็ว [2]

2.1.7 การคำนวณหาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อน (H_v) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ, ความดัน และอุณหภูมิ ตลอดจนความชื้นสัมพัทธ์ โดยสามารถคำนวณได้โดยมีวิธีการดังนี้ [16]

2.1.7.1 หาความดันรวมของก๊าซชีวภาพ ณ จุดที่นำไปใช้งานได้จากสมการที่ 2.2

$$P_{t,act} = P_{std} + P_{bg} - P' \qquad (2.2)$$

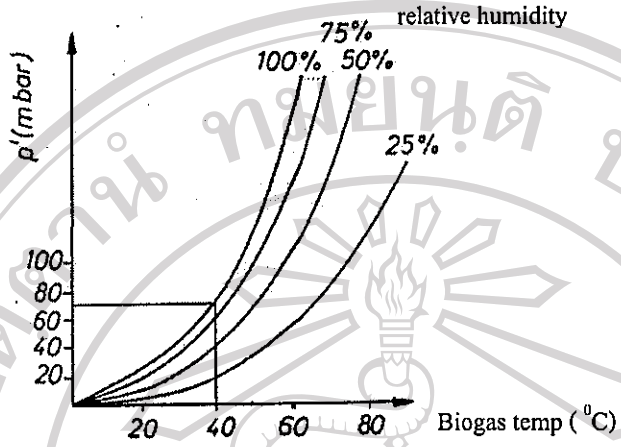
โดยที่ $P_{t,act}$ คือ ความดันรวมของก๊าซชีวภาพที่มีอยู่จริง , (mbar)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

P_{std} คือ ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน , (mbar)

P_{bg} คือ ความดันก๊าซชีวภาพ ณ จุดนำไปใช้งาน , (mbar)

P' คือ ความดันไอน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นสัมพัทธ์ , (mbar) (หาได้จากรูป 2.6)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของไอน้ำ, ความชื้นสัมพัทธ์ กับอุณหภูมิก๊าซชีวภาพ [16]

2.1.7.2 หาความหนาแน่นของก๊าซมีเทน ($\rho_{CH_4,act}$)ในก๊าซชีวภาพหาได้จากสมการที่ 2.3

$$\rho_{CH_4,act} = \rho_{CH_4,std} \times \left(\frac{P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \right) \quad (2.3)$$

โดยที่ $\rho_{CH_4,act}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่มีอยู่จริง , (kg/m^3)

$\rho_{CH_4,std}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน = 0.72 kg/m^3

P_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ , (mbar)

P_{std} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพที่สภาวะมาตรฐาน = 1013 mbar

T_{act} คือ อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ , (^0K)

T_{std} คือ อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพที่สภาวะมาตรฐาน , (^0K)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.7.3 หาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้งาน ($H_{u,act}$) โดยค่าความร้อนนี้จะสัมพันธ์กับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ($\rho_{CH_4,act}$) และค่าความร้อนของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน ดังสมการที่ 2.4

$$H_{u,act} = \left(\frac{V_{CH_4}}{V_{tot}} \right) \times \rho_{CH_4,act} \times H_{u,std} \quad (2.4)$$

โดยที่ $H_{u,act}$ คือ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ, (kJ/m^3)

$\frac{V_{CH_4}}{V_{tot}}$ คือ $\%CH_4$ ในก๊าซชีวภาพ

$H_{u,std}$ คือ ค่าความร้อนของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน = 50,000 kJ/kg

2.1.8 การคำนวณความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพ

งานวิจัยนี้สมมุติให้ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซอุดมคติ โดยมีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คำนวณได้จากสมการที่ 2.5 [18]

$$\rho_{bg} = \frac{P_t \times M_w}{R_u \times T} \qquad (2.5)$$

โดยที่ ρ_{bg} คือ ความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพ , (kg/m^3)

P_t คือ ความดันรวมของก๊าซชีวภาพ = $P_{std} + P_{bg}$, (N/m^2)

R_u คือ ค่าคงที่ของก๊าซสากล มีค่า = 8314.3 N.m/kmol.^{0}K

T_{bg} คือ อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ , (^{0}K)

M_w คือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพ , (kg/kmol) สามารถหาได้จาก

M_w = ผลรวมของผลคูณเศษส่วนกับน้ำหนักโมเลกุลขององค์ประกอบก๊าซ

$$= \sum_i X_i M_{wi}$$

$$= X_{CO_2} M_{CO_2} + X_{CH_4} M_{CH_4}$$

โดย X คือสัดส่วนโดยปริมาตรในก๊าซชีวภาพ

2.1.9 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบต่างๆนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ เนื่องด้วยก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มของแบคทีเรียนั้น จะต้องผ่านชั้นน้ำก่อนที่จะเข้าสู่ชั้นของก๊าซ ดังนั้นจึงควรทำการลดปริมาณของไอน้ำในก๊าซก่อนนำไปใช้งาน โดยการส่งก๊าซไปตามท่อก๊าซมักฝังอยู่ในดินซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำ ก๊าซชีวภาพจึงมีปริมาณไอน้ำลดลง ในบางระบบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ปนเปื้อนอยู่มาก ซึ่งอาจจำเป็นต้องให้ก๊าซชีวภาพผ่านระบบลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (desulfurization system) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เหล็กออกไซด์(FeO) เป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) เป็นผลให้เกิดเหล็กซัลไฟด์และน้ำ ดังสมการ $FeO+H_2S \Rightarrow FeS+H_2O$ เหล็กซัลไฟด์ FeS ที่เกิดขึ้นหลังจากใช้งานแล้วสามารถนำไปทำปฏิกิริยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กับออกซิเจนในอากาศเพื่อปลดปล่อยซัลเฟอร์เพื่อให้กลับเป็นเหล็กออกไซด์ได้อีก ดังปฏิกิริยา $2FeS+O_2 \Rightarrow FeO$ ซึ่ง FeO ที่ได้นั้นสามารถนำกลับไปใช้เป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S)ได้อีก ก๊าซชีวภาพที่มีความสะอาดเพียงพอสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซหุงต้ม(LPG) น้ำมันก๊าซโซลีน (เบนซิน) และน้ำมันดีเซลกับอุปกรณ์ต่างๆเช่น เตาหุงต้ม, ตะเกียงแสงสว่าง, เครื่องกกลูกสุกร/ไก่, เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเครื่องยนต์แบบอิสระเปิด [4] และจากการประเมินผลเป็นระยะๆ ของโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งทำการผลิตก๊าซชีวภาพ และสร้างระบบก๊าซชีวภาพสาธิต พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับปริมาณมูลสุกรตามจำนวนที่เลี้ยงในแต่ละวัน โดยในระยะที่เลี้ยงสุกร 250 ตัว ได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้จากบ่อหมักรางขนาด 100 m^3 ได้ก๊าซชีวภาพ 14 ลบ.ม./วัน และจากบ่อหมักย่อยเร็วขนาด 50 m^3 ได้ก๊าซชีวภาพ 12 ลบ.ม./วัน รวมได้ก๊าซชีวภาพ 26 ลบ.ม./วัน ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพที่ได้มีก๊าซมีเทนประมาณ 70% ให้พลังงานได้ 180 kWh/วัน(7.5 kW) [3]

-

2.2 เครื่องยนต์สันดาปภายใน

2.2.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องยนต์ที่มีลักษณะการทำงานโดยใช้เชื้อเพลิงและออกซิเจนจากอากาศเกิดการเผาไหม้หรือเรียกว่าการสันดาปภายในกระบอกสูบ ได้แก่ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนใช้ส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศผสมกันก่อนแล้วจึงจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลต้องอัดอากาศให้ร้อนแล้วจึงฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปและเกิดการเผาไหม้ขึ้นในกระบอกสูบ [19]

ศัพท์เทคนิคที่สำคัญสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่จำเป็นต้องรู้ดังนี้คือ

- ความโตกระบอกสูบ (bore), d คือความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ
- ระยะชัก (stroke), L คือระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลงภายในกระบอกสูบ
- จุดสูงสุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไปถึง (top dead center), TDC ในกรณีวางลูกสูบในแนวนอนจุดนี้เรียกว่า (inner dead center)
- จุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาต่ำสุด (bottom dead center), BDC ในกรณีวางลูกสูบในแนวนอนจุดนี้เรียกว่า (outer dead center)
- ปริมาตรอากาศ (Air Volume), V_a คือ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เครื่องยนต์ต้องการในแต่ละวัฏจักร
- ปริมาตรเชื้อเพลิง (Fuel Volume), V_f คือ ปริมาตรเชื้อเพลิงทั้งหมดที่เครื่องยนต์ต้องการในแต่ละวัฏจักร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ปริมาตรห้องเผาไหม้ (clearance volume), V_c คือ ปริมาตรภายในกระบอกสูบในขณะที่ลูกสูบอยู่จุดสูงสุด

- ปริมาตรระยะชัก (swept volume หรือ piston displacement), V_{dc} คือ ปริมาตรที่อยู่ระหว่างจุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลง หาได้จากสมการที่ 2.6

$$V_{dc} = \frac{\pi d^2}{4} L \qquad (2.6)$$

- ปริมาตรรวม (total cylinder volume), V_{tot} หาได้จากสมการที่ 2.7

$$V_{tot} = V_d + V_C \qquad (2.7)$$

- อัตราส่วนการอัด (compression ratio ; ε) คือ อัตราส่วนของปริมาตรรวมต่อปริมาตรเมื่อลูกสูบอยู่ที่จุดสูงสุดหาได้จากสมการที่ 2.8

$$\varepsilon = \frac{V_{tot}}{V_c} = \frac{V_d + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_d}{V_c} \qquad (2.8)$$

- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air-fuel ratio), AFR คือ มวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิงหาได้จากสมการที่ 2.9

$$AFR = \frac{V_a}{V_f} \qquad (2.9)$$

- อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (excess air ratio; λ) คือ อัตราส่วนระหว่าง AFR ที่ใช้จริงต่อ AFR ในทางทฤษฎีหาได้จากสมการที่ 2.10

$$\lambda = \frac{AFR_{จริง}}{AFR_{ทฤษฎี}} \qquad (2.10)$$

โดยที่ $\lambda = 1$ scoichiometric air/fuel ratio

$\lambda > 1$ air excess (mixture lean)

$\lambda < 1$ air shortage (mixture rich) [16]

2.2.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (Biogas Engine)

การใช้ก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นจะต้องปรับปรุงลักษณะบางประการของเครื่องยนต์เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์นั้นๆ เหมาะสมแก่การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงและสามารถทำงานได้ดีใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน โดยการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง มีลักษณะการประยุกต์อยู่ 3 ลักษณะดังนี้

2.2.2.1 นำเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลมาใช้ร่วมกับก๊าซชีวภาพหรือเรียกว่า ใช้เชื้อเพลิงคู่ (Gas-Diesel Engine or Dual fuel) โดยใช้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศเป็นไอดีเข้าห้องเผาไหม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าห้องเผาไหม้ วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องการใช้น้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในการจุดระเบิดประมาณ 10-20% ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปรกติ ดังนั้นจึงประหยัดน้ำมันได้ 80-90% และไม่ต้องดัดแปลงลักษณะการทำงานเครื่องยนต์ดีเซลแต่อย่างใด

2.2.2.2 นำเครื่องยนต์ดีเซลมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแล้วจึงใช้กับก๊าซชีวภาพ (Modification of a Diesel Engine into a Gas Otto Engine) จากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัดอากาศให้มีความดันและอุณหภูมิสูงจากนั้นฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปให้เกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงจากนั้นจึงจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องได้รับการดัดแปลงโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression ratio)ให้ได้ 10-12 , เปลี่ยนลักษณะการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน ตลอดจนเพิ่มอุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (Carburetor) วิธีการแบบนี้จึงยุ่งยากมาก

2.2.2.3 นำเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงมาใช้ก๊าซชีวภาพแทน (The Gas Otto Engine) วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องได้รับการดัดแปลงโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression ratio)ให้ได้ 10-12 เช่นกัน และต้องปรับปรุงคาร์บูเรเตอร์จากเดิมที่ผสมน้ำมันเบนซินกับอากาศมาเป็นผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพเป็นไอดีแทน [16]

อย่างไรก็ตามในการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลหรือก๊าซโซลีนมาเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องปรับปรุงลักษณะบางประการของเครื่องยนต์นั้นๆ เพื่อให้ทำงานได้ดีกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆที่ควรจะเป็นจากตารางที่ 2.4 [16]

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของเครื่องยนต์ดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ [16]

Design data	Gas diesel	Gas Otto
Compresion ratio (ε)	15 18	10 12
Excess air ratio; λ	1.3 .....4.0	0.9 ..... 1.3
Specific fuel consumption	0.55 .... 0.75 m^3/kWh (+ pilot fuel)	0.65 ....1.0 m^3/kWh
Exhaust gas temperature	500 .... 700^{0}C	500 .... 900^{0}C
Ignition type	Self-ignition of pilot injected into a hot compressed mixture of and gas which is ignited by the pilot fuel subsequently	as in other engines

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยปกติเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงต้องการอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (AFR) 9-11:1 และอัตราส่วนการอัด(ε) ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 10-12:1 เพื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ และเมื่อต้องปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด สำหรับกรณีที่ต้องเพิ่มอัตราส่วนการอัดมักจะเลือกใช้ประเก็นฝาสูบที่หนาขึ้น และสำหรับกรณีที่ต้องลดอัตราส่วนการอัดมักจะเลือกใช้ประเก็นฝาสูบที่บางลงและบางทีอาจจะต้องทำการเจียรไนฝาสูบให้บางลงแทนการเลือกใช้ประเก็น เนื่องจากไม่สามารถหาประเก็นฝาสูบที่บางเท่าที่ต้องการได้ ทั้งนี้สามารถคำนวณหาระยะการเพิ่มหรือลดอัตราส่วนการอัด (ความหนาของประเก็นฝาสูบ) ได้จากสมการที่ 2.11 [16]

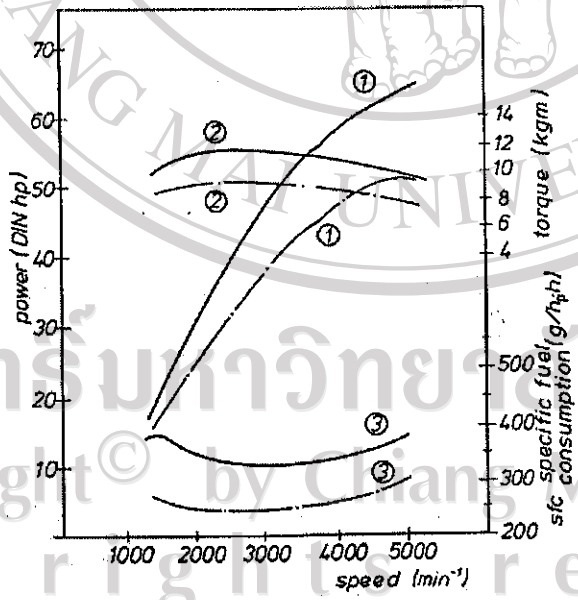
$$\Delta h = \frac{4\Delta V}{\pi d^2} \qquad (2.11)$$

โดยที่ Δh คือ ระยะการเพิ่มหรือลดอัตราส่วนการอัด(ความหนาของประเก็นฝาสูบ) , (mm)

ΔV คือ ความแตกต่างของปริมาตรห้องเผาไหม้ขณะลูกสูบอยู่ตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด(ε) , (mm^3)

d คือ ความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ , (mm)

จากรูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบโดยการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(sfe), กำลังงานจากเครื่องยนต์(power) และแรงบิด(torque) ของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้น้ำมันเบนซินและใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ตัวเดียวกัน [16]



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ① กำลังงานจากเครื่องยนต์ (power) ② แรงบิด (torque) และ ③ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) ของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ (———) น้ำมันเบนซินและ (—. —)ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง [16]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซินและ/หรือใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะมีลักษณะการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(sfc), กำลังที่ได้(Power) และแรงบิดที่ได้(Torque) จะมีลักษณะที่คล้ายกันมาก ถ้าพิจารณาที่ความเร็ว 1,500 rpm เครื่องยนต์จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(sfc) สูง และจะลดลงเมื่อความเร็วสูงขึ้นและจะสูงขึ้นอีกที่ความเร็ว 5,000 rpm และจะพบว่าการทำงานที่ความเร็วประมาณ 3,000 rpm จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(sfc) ที่ต่ำมาก ในขณะที่กำลังที่ได้(Power) และแรงบิดที่ได้(Torque) ค่อนข้างสูง [16]

2.2.3 การใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

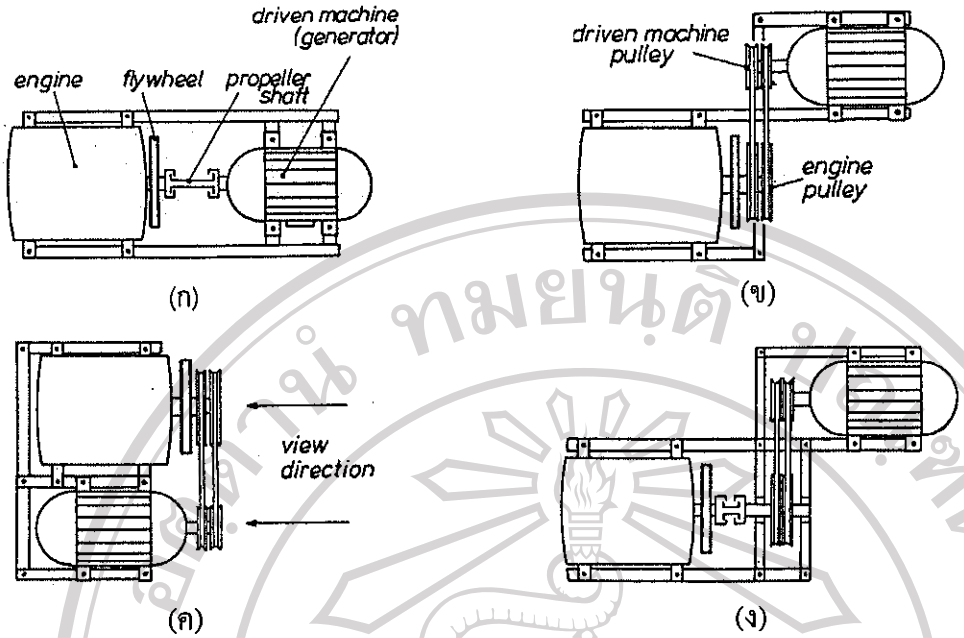
การนำเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมาต่อกำลังเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังขับหมุนสามารถทำได้ 2 รูปแบบ ซึ่งมีความแตกต่างกันดังนี้

2.2.3.1 ใช้ไดนาโม (Generator) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้า วิธีนี้จะต้องมีอุปกรณ์หรือวงจรควบคุมความเร็วรอบในการทำงานให้คงที่ ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันและความถี่ทางไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีความคงที่ด้วยนั่นเอง ซึ่งถ้าหากแรงดันและความถี่ไม่มีความคงที่ หากนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์มาต่อใช้งานจะไม่ทำให้ระบบเสียหายได้

2.2.3.2 ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้า วิธีนี้จะใช้หลักการที่ว่า เมื่อเครื่องยนต์หมุนทำงานชนะความเร็วซิงโคนัสของมอเตอร์ มอเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นไดนาโม วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถผลิตไฟฟ้าร่วมกับไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯได้ทันที เพราะระบบนี้จะต้องมีไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯต่อร่วมด้วยเสมอ โดยระบบจะผลิตเฉพาะในส่วนของกระแสส่วนแรงดันและความถี่จะใช้ของการไฟฟ้าฯ ทำให้ไม่เกิดผลเปลี่ยนแปลงต่อแรงดันและความถี่ซึ่งหากนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์มาต่อใช้งานจะไม่ทำให้ระบบเสียหายแต่อย่างใด

และรูปแบบการต่อไดนาโมหรือมอเตอร์เหนี่ยวนำเข้ากับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพกระทำได้หลายรูปแบบดังรูปที่ 2.8 [16] ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าการต่อแบบ(ก) เป็นการต่อกำลังเพลาตรงจากเครื่องยนต์เข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Direct coupling) โดยไม่มีอุปกรณ์ใดๆทำให้เกิดการ Slip เช่นสายพาน ดังนั้นจึงไม่สูญเสียกำลังส่วนหนึ่งไปกับการ Slip ของสายพาน และหากเป็นการต่อตรงโดยไม่ผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนมุมใดๆแล้ว ประสิทธิภาพการต่อกำลัง(Transmission efficiency) จะมีค่า = 1 หรือ 100% นั่นเอง วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ประหยัดชิ้นส่วน แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอัตราทดระหว่างเครื่องยนต์กับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าได้ และการต่อตรงแบบนี้จำเป็นจะต้องมีการตั้งศูนย์เพลาเป็นอย่างดี มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการสั่นและล้าในขณะใช้งานและอาจทำให้เพลาแตกเสียหายและเป็นอันตรายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 รูปแบบการต่อไดนาโมหรือมอเตอร์เหนี่ยวนำเข้ากับเครื่องยนต์ [16]

อย่างไรก็ตามการนำเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมาต่อกำลังเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อกำเนิดไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการเลือกขนาดเครื่องยนต์หรือเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่จะนำมาต่อกัน ทั้งนี้เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่และประหยัดต้นทุน โดยการพิจารณาจากแรงบิด (Torque) สูงสุดของเครื่องยนต์ จากนั้นจึงคำนวณกลับเพื่อหากำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สามารถทำงานที่ความเร็วรอบและให้แรงบิดที่ใกล้เคียงกับแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์

2.2.4 การวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพรวมของระบบและเครื่องยนต์

ในการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งใช้วิธีการต่อกำลังเพลาตรงจากเครื่องยนต์เข้ากับเพลามอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อเครื่องยนต์หมุนทำงานชนะความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ มอเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นไดนาโมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.9 สามารถคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพรวมและประสิทธิภาพเครื่องยนต์ ได้ดังนี้

2.2.4.1 หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จากสมการที่ 2.12 [16]

$$f_c = \frac{1}{\eta_{eng}} \times P_{match} \times \frac{1}{H_{u,act}} \times 3600 \qquad (2.12)$$

โดยที่ f_c คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง , (m^3/hr)

η_{eng} คือ ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่นำมาดัดแปลง , (ก๊าซโซลีน = 0.25)

P_{match} คือ ขนาดกำลังที่ต้องการหรือผลิตได้ , (kW)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$H_{u,act}$ คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง , (kJ/m^3)

2.2.4.2 หาประสิทธิภาพรวมของระบบ จากสมการที่ 2.13

$$\eta_{tot} = \left(\frac{P_{EL} \times 3600}{f_C \times H_{u,act}}\right) \times 100 \qquad (2.13)$$

โดยที่ η_{tot} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ , (%)

P_{EL} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ , (kW)

f_C คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง , (m^3/hr)

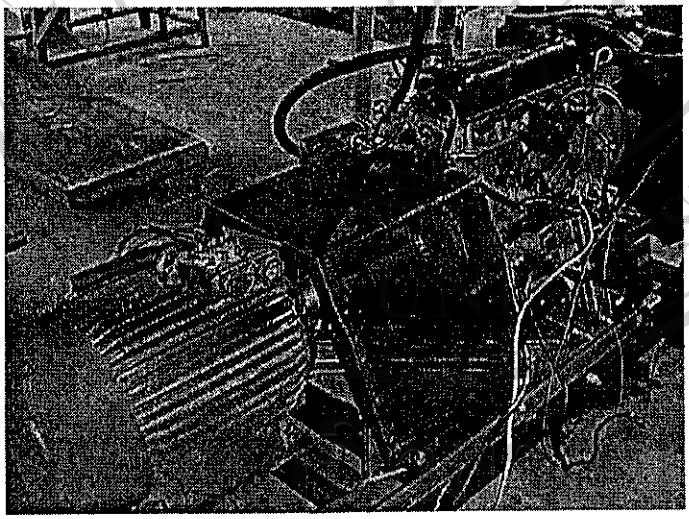
$H_{u,act}$ คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่มีอยู่จริง , (kJ/m^3)

2.2.4.3 หาประสิทธิภาพเครื่องยนต์ จากสมการที่ 2.14

$$\eta_{Eng} = \frac{\eta_{tot}}{\eta_{Motor}} = \frac{\text{Overall efficiency}}{\text{Mortor efficiency}} \qquad (2.14)$$

โดยที่ η_{Eng} คือ ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ , (%)

η_{Motor} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ /100 , (%)



รูปที่ 2.9 การต่อเพลามอเตอร์เข้ากับเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การสันดาป

เครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งทำงานตามวบวนการทางเทอร์โมไดนามิคส์ ได้พลังงานความร้อนจากการสันดาปเชื้อเพลิง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่อาจจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ เมื่อเกิดการสันดาปจะทำให้เกิดปฏิกริยาเคมีขึ้น ในการ

สันดาปของเครื่องยนต์สันดาปภายใน เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนซึ่งมีอยู่ในอากาศ และอากาศนอกจากจะมีออกซิเจนแล้วยังมีก๊าซอย่างอื่นอีก เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน ฮีเลียม นีออน คริปตอน ซีนอน คาร์บอนไดออกไซด์ และละอองไอน้ำ แต่ส่วนประกอบหลักที่มีจำนวนมากได้แก่ ไนโตรเจน และออกซิเจน ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงถือว่าอากาศประกอบด้วยก๊าซสองชนิดนี้เท่านั้น

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ทำให้การสันดาปเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย และเป็นตัวทำให้ปฏิกิริยาของการสันดาปของเชื้อเพลิงช้าลง และยังเป็นตัวดูดเอาพลังงานบางส่วนในขณะสันดาปออกไป ทำให้อุณหภูมิของการสันดาปต่ำลง ดังนั้นในอากาศที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องวิเคราะห์จากออกซิเจนและไนโตรเจน โดยน้ำหนักของอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของสารเชื้อเพลิง และปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ จะดูจากปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งปริมาณของออกซิเจนในอากาศโดยปริมาตรและน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 2.5 [20]

ตารางที่ 2.5 ปริมาณออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในอากาศสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ [20]

ส่วนประกอบ	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	ส่วนประกอบ	
			โดยปริมาตร	โดยน้ำหนัก
ออกซิเจน	O_2	32	21	23.2
ไนโตรเจน	N_2	28	79	76.8
อากาศ	-	28.95	100	100

2.3.1 สมการการสันดาป

สมการการสันดาป (Conbustion Equation) คือ ขบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการสันดาป โดยเขียนออกมาในรูปสมการ และหลังจากเขียนเป็นสมการแล้ว จะต้องพิจารณาว่าจำนวนอะตอมของส่วนประกอบต่างๆทางซ้ายมือเท่ากับทางขวามือหรือไม่ หากไม่จะต้องทำการสมดุลย์อะตอมของสมการเสียก่อน และสมการเคมีที่สมดุลย์นี้เรียกว่า "Complete Combustion Equation" หรือ "Stoichiometric Equation" เช่น การสันดาปของคาร์บอนนอกไซด์และออกซิเจน ซึ่งจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะได้ดังสมการที่ 2.15

$$CO + O_2 = CO_2 \quad (2.15)$$

และเมื่อสมดุลย์สมการจะได้ดังสมการที่ 2.16

$$2CO + O_2 = 2CO_2 \quad (2.16)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือการสันดาปสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซมีเทนกับออกซิเจน เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะได้ดังสมการที่ 2.17

$$CH_4 + O_2 = CO_2 + H_2O \quad (2.17)$$

และเมื่อสมดุลย์สมการจะได้ดังสมการที่ 2.18

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O \quad (2.18)$$

2.3.2 การวิเคราะห์การสันดาปโดยมวลและปริมาตร

การวิเคราะห์การสันดาปโดยมวลและปริมาตร (Combustion Analysis by Mass and by Volume)นั้น จุดประสงค์เพื่อต้องการทราบจำนวนอากาศที่ต้องการใช้สำหรับการสันดาปกับเชื้อเพลิง ซึ่งบางครั้งอาจวิเคราะห์โดยมวลหรือบางครั้งอาจวิเคราะห์โดยปริมาตร หรือวิเคราะห์ทั้ง 2 อย่าง แต่ในการวิเคราะห์ดังกล่าวจะต้องทราบน้ำหนักอะตอมและน้ำหนักโมเลกุล ดังตัวอย่างสารตามตารางที่ 2.6 [20]

ตารางที่ 2.6 น้ำหนักอะตอมและน้ำหนักโมเลกุลของสารบางชนิด [20]

สาร	สัญลักษณ์	น้ำหนักอะตอม	น้ำหนักโมเลกุล
ออกซิเจน	O_2	16	32
ไนโตรเจน	N_2	14	28
ไฮโดรเจน	H_2	1	2
คาร์บอน	C	12	12
ซัลเฟอร์	S	32	32

การวิเคราะห์โดยมวล (Analysis by Mass) จะต้องพิจารณาโดยอาศัยอะตอมหรือโมเลกุลของสารเป็นหลัก ส่วนการวิเคราะห์โดยปริมาตร (Analysis by Volume)นั้น จากทฤษฎีของอาโวกาโด (Avogadro Hypothesis) กล่าวว่า "ก๊าซต่างชนิดกันที่มีปริมาตร, ความดัน และอุณหภูมิเดียวกันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน" จากทฤษฎีดังกล่าวสัดส่วนของโมเลกุลก็คือสัดส่วนของปริมาตรนั่นเอง หรือจำนวนโมเลกุลก็คือจำนวนปริมาตร ซึ่งยกตัวอย่างการวิเคราะห์โดยมวลหรือโดยน้ำหนักและการวิเคราะห์โดยปริมาตรดังต่อไปนี้ [20]

2.3.2.1 การสันดาปคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion of Carbonmonoxide)

วิเคราะห์โดยมวล

สมการการสันดาป ; $2CO + O_2 = 2CO_2$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัดส่วนโดยมวล ; $2(12+16)+(2\times16) = 2(12+32)$

$56+32 = 88$

56 หารตลอดจะได้ $1 + \frac{4}{7} = 1\frac{4}{7}$

แทนค่าหน่วยมวลด้วย kg ลงในสมการจะได้

$$1\ kg\ CO + \frac{4}{7}\ kg\ O_2 = 1\frac{4}{7}\ kg\ CO_2$$

$\frac{4}{7}$ kg O_2 เป็น 23.20% ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศที่ใช้ $= \frac{4}{7}\times\frac{1}{0.232} = 2.46$ kg

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 2.46 - \frac{4}{7} = 1.89$ kg

ดังนั้นอากาศจำนวน 2.46 kg ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 1 kg โดยการสันดาปอย่างสมบูรณ์จะได้

$$1\ kg\ CO + 2.46\ kg\ Air = 1.57\ kg\ CO_2 + 1.89\ kg$$

วิเคราะห์โดยปริมาตร

จากสมการการสันดาป ; $2CO + O_2 = 2CO_2$

สัดส่วนโดยปริมาตร ; $2 + 1 = 2$

2 หารตลอดจะได้ $1 + 0.5 = 1$

แทนค่าหน่วยปริมาตรด้วย m^3 จะได้

$$1\ m^3CO + 0.5\ m^3O_2 = 1\ m^3CO_2$$

$0.5\ m^3O_2$ เป็น 21% ของอากาศที่ใช้

$\therefore$ จำนวนอากาศที่ใช้ $= \frac{0.5}{0.21} = 2.38\ m^3$

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 2.38 - 0.5 = 1.88\ m^3$

ดังนั้นสมการการสันดาปอย่างสมบูรณ์ที่วิเคราะห์โดยปริมาตรจะได้

$$1\ m^3\ CO + 2.38\ m^3\ Air = 1\ m^3\ CO_2 + 1.88\ m^3$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.2 การสันดาปไฮโดรคาร์บอน (Combustion of Hydrocarbon)

การสันดาปมีเทนอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion of Methane)

วิเคราะห์โดยมวล

สมการการสันดาป ; $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

สัดส่วนโดยมวล ; $(12+4)+(2\times32) = (12+32)+2(2+16)$

$16 + 64 = 44 + 36$

16 หารตลอดจะได้ $1 + 4 = 2.75 + 2.25$

แทนค่าหน่วยมวลด้วย kg ลงในสมการจะได้

$$1\ kg\ CH_4 + 4\ kg\ O_2 = 2.75\ kg\ CO_2 + 2.25\ kg\ H_2O$$

4 kg O_2 เป็นส่วนประกอบ 23.20% ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศ $= \frac{4}{0.232} = 17.24\ kg$

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 17.24 - 4 = 13.24\ kg$

ดังนั้นสมการการสันดาปมีเทนอย่างสมบูรณ์จะได้

$$1\ kg\ CH_4 + 4\ kg\ O_2 + 13.24\ kg\ N_2 = 2.75\ kg\ CO_2 + 2.25\ kg\ H_2O + 13.24\ kg\ N_2$$

หรือ $1\ kg\ CH_4 + 17.24\ kg\ Air = 2.76\ kg\ CO_2 + 2.25\ kg\ H_2O + 13.24\ kg\ N_2$

วิเคราะห์โดยปริมาตร

จากสมการการสันดาป ; $CH_4 + 2\,O_2 = CO_2 + 2\,H_2O$

สัดส่วนโดยปริมาตร ; $1 + 2 = 1 + 2$

แทนค่าหน่วยปริมาตร m^3 ลงในสมการจะได้

$$1\ m^3\ CH_4 + 2\,O_2 = 1\ m^3\ CO_2 + 2\ m^3\ H_2O$$

($2O_2$ เป็น Stoichiometric Volume of O_2)

พิจารณาจากสมการข้างบนจะเห็นว่า สมการซ้ายมือ = สมการทางขวามือ แสดงว่า H_2O อยู่ในสภาวะไอน้ำ

2 m^3 O_2 เป็นส่วนประกอบ 21% ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศ $= \frac{2}{0.21} = 9.52\ m^3$

$= $ Stoichiometric volume of Air

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 9.52 - 2 = 7.52\ m^3$

ดังนั้นสมการการสันดาปมีเทนอย่างสมบูรณ์โดยวิเคราะห์จากปริมาตรจะได้

$$1\ m^3\ CH_4 + 9.52\ m^3\ Air = 1\ m^3\ CO_2 + 2\ m^3\ H_2O + 7.52\ m^3\ N_2$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.3 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงหรือแก๊สจากการเผาไหม้โดยปริมาตร และโดยน้ำหนัก

ในกรณีที่การหาค่าเปอร์เซ็นต์ของสารเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักที่ประกอบอยู่ในเชื้อเพลิงนั้น ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก็สามารถกระทำได้โดยวิธีการนำส่วนประกอบของสารเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักมาหารด้วยน้ำหนักโมเลกุลของสารเชื้อเพลิงนั้นจะได้เป็นอัตราส่วนโดยปริมาตร แล้วนำมาเทียบเปอร์เซ็นต์จากส่วนประกอบทั้งหมดของสารเชื้อเพลิง จะได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของสารเชื้อเพลิงนั้นโดยปริมาตร

ในกรณีที่จะเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของแก๊สจากปริมาตรเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถกระทำได้โดยวิธีการนำส่วนประกอบของแก๊สหรือสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตรมาคูณด้วยน้ำหนักโมเลกุลของแก๊สหรือสารเชื้อเพลิงนั้น จะได้เป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก แล้วนำมาเทียบเปอร์เซ็นต์ของแก๊สหรือสารเชื้อเพลิงโดยน้ำหนัก [19] ดังตัวอย่างการคำนวณ (ภาคผนวก ก)

2.3.3 การผสมเชื้อเพลิง

การผสมเชื้อเพลิง หมายถึง การผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อป้อนเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์สันดาปภายในอย่างต่อเนื่อง โดยให้จำนวนส่วนผสมดังกล่าวเหมาะสมกับสภาพภาระความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตลอดจนอุณหภูมิขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมเชื้อเพลิงกับอากาศดังกล่าว เรียกว่า คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) โดยในการป้อนเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ

2.3.3.1 การใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งหมายความว่า เชื้อเพลิงที่เข้าไปยังห้องเผาไหม้จะต้องเป็นฝอยละอองละเอียดจนสามารถคลุกเคล้ากับอากาศ และทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างสมบูรณ์

2.3.3.2 เชื้อเพลิงที่ป้อนจะต้องมีคุณภาพที่จะทำให้เครื่องยนต์ได้กำลังสูงสุด

องค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้จะต้องขึ้นอยู่กับสิ่งสำคัญดังต่อไปนี้

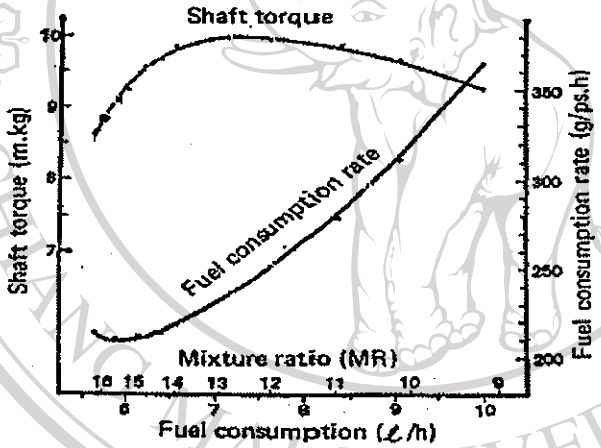
ก. อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิง กล่าวคือจำนวนน้ำหนักของอากาศที่ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง 1 หน่วยน้ำหนัก เรียกว่า "อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง(AFR)" โดยทางทฤษฎีแล้วอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงนี้ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดส่วนประกอบของเชื้อเพลิงนั้นๆ อัตราส่วนนี้หาได้จากส่วนประกอบของเชื้อเพลิงทางเคมี

ข. ส่วนผสมหนาและส่วนผสมบางของอากาศ กล่าวคือในกรณีที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงถ้าอากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันในอัตรา 12.5-13:1 ถือว่าเป็นอัตราส่วนผสมที่พอดี ถ้าจำนวนอากาศน้อยกว่านั้นจะทำให้ส่วนผสมหนา (rich mixture) ซึ่งทำให้เปลืองเชื้อเพลิงอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไรก็ตามส่วนผสมหนาก็อาจจะยอมให้ได้ ในกรณีที่เครื่องยนต์ต้องการกำลังเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ควรต่ำกว่า 6 : 1 (อากาศ 6 ส่วน : เชื้อเพลิง 1 ส่วนโดยน้ำหนัก) และในทำนองเดียวกันถ้าจำนวนอากาศมากกว่านั้นจะทำให้ส่วนผสมบาง (lean mixture) ไม่เปลืองเชื้อเพลิง แต่กำลังจะตกซึ่งส่วนผสมบางนี้ก็ไม่ควรเกิน 20:1 (อากาศ 20 ส่วน : เชื้อเพลิง 1 ส่วนโดยน้ำหนัก) เพราะถ้าส่วนผสมเจือจางมากจะทำให้ลุกติดไฟได้ยาก ในการที่จะกำหนดว่าอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสำหรับเชื้อเพลิงใดจะถูกต้องนั้น จะเป็นไปตามสมการทางเคมีของการสันดาป [21]

ในการทำงานของเครื่องยนต์จริงนั้น จะพบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง(AFR) ดังนั้นเพื่อควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่อัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง(AFR) จะเปลี่ยนไปเป็นผลทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซและ/หรือเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง, แรงบิด และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยพิจารณาได้จากผลการทดสอบเครื่องยนต์สันดาปภายในใช้เชื้อเพลิงก๊าซและ/หรือก๊าซโซลีน ดังรูปที่ 2.10 [22]



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง, แรงบิด และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซและ/หรือก๊าซโซลีนโดยทั่วไป [22]

จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ (Max Torque) จะได้รับเมื่ออัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง(AFR) คงที่แน่นอน ซึ่งโดยปกติอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะอยู่ที่ประมาณ 12.5 - 13:1 เมื่อส่วนผสมของเชื้อเพลิงหนากว่าขณะได้รับกำลังสูงสุด กำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลงอย่างช้าๆ และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามเมื่อส่วนผสมของเชื้อเพลิงบางลงกว่าขณะได้รับกำลังสูงสุด กำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว [22]

ในการทำงานจริงของเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นไม่สามารถที่จะเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์ 100% ได้ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะการณ์ต่างๆที่จะทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานอยู่ได้

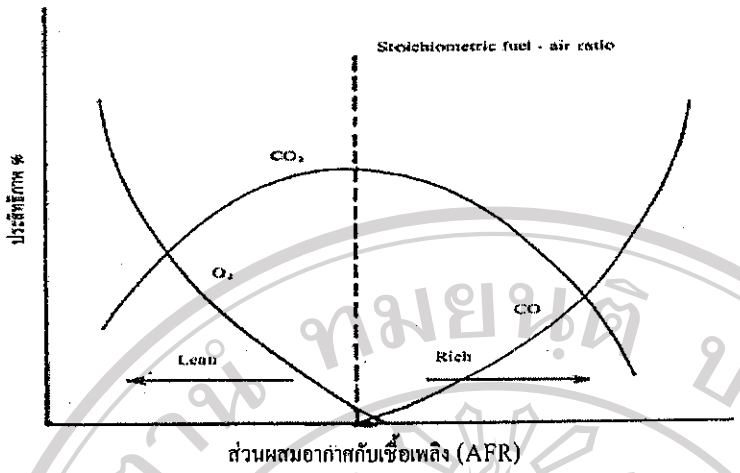
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาทิเช่น ความต้องการส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงที่หนาขึ้นในขณะเริ่มติดเครื่องหรือเดินเบา ขณะสภาพภาระ (Load) ของเครื่องยนต์ที่สูง หรือในขณะทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด อีกประการหนึ่งในอากาศซึ่งเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงในการสันดาปมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ซึ่งจะเป็นตัวจำกัดการทำปฏิกริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจน ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบห้องเผาไหม้ที่ดี ตลอดจนการทำให้อากาศมีการหมุนวนที่ดี หรือแม้กระทั่งการออกแบบให้เชื้อเพลิงมีการผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่พอเหมาะแก่การสันดาปที่สมบูรณ์แล้วก็ตาม ดังนั้นในการที่จะออกแบบหรือควบคุมการสันดาปเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในให้สมบูรณ์ที่สุดจึงจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ไอเสียควบคู่ไปด้วย [20]

ปัจจัยในการวิเคราะห์ไอเสียนั้นก็ขึ้นอยู่กับอากาศที่ใช้และชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสันดาป เช่น ถ้าอากาศมากไปก็จะทำให้ส่วนผสมบาง (Weak or lean mixture) ซึ่งหมายความว่าเชื้อเพลิงน้อยไป การสันดาปของไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะทำให้เกิดน้ำ และการสันดาปของคาร์บอนกับออกซิเจนก็จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) และจะเหลือออกซิเจนบางส่วนปรากฏในผลิตผลของการสันดาป ในทางตรงกันข้ามถ้าอากาศน้อยเกินไป ส่วนผสมจะหนา (Rich mixture) เมื่อส่วนผสมหนาจะทำให้ไฮโดรเจนส่วนมากจะสันดาปกับออกซิเจนทำให้เกิดน้ำ ส่วนการสันดาปของคาร์บอนกับออกซิเจนเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์เพราะออกซิเจนไม่พอเพียงจึงทำให้เหลือคาร์บอนบางส่วนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) และคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ซึ่งเป็นลักษณะของการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ในการสันดาปเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ยังอาจก่อให้เกิดสารพิษอื่นๆ เช่น NO_x และฝุ่นที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์, สภาพแวดล้อม และชั้นบรรยากาศโลก [21]

ในการหาประสิทธิภาพของการสันดาปของเชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะกำหนดเอาปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) เป็นสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ, ระบบประสาทมนุษย์ เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และชั้นบรรยากาศโลกอย่างร้ายแรง อีกทั้งยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งทำให้โลกร้อนขึ้น ถ้าปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) จากการวิเคราะห์ไอเสียมีมาก ก็แสดงว่าอากาศน้อยเกินไป และถ้าปริมาณของออกซิเจนปรากฏในผลิตผลของการสันดาปก็แสดงว่าอากาศมากเกินไป และเนื่องจากประสิทธิภาพของการสันดาปกำหนดโดยปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) และออกซิเจนในผลิตผลของการสันดาปโดยไม่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงเรียกการสันดาปนี้ว่า "Dry flue exhaust gas" ดังนั้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสันดาปจะเริ่มกระทำจากส่วนผสมที่บางมาก จนถึงส่วนผสมที่หนามาก ซึ่งผลจากการเคราะห์จะนำมาพล็อตลงในกราฟเปอร์เซ็นต์กับอัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 2.11 [20]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.11 ผลของการวิเคราะห์การสันดาปของเชื้อเพลิงแบบ Dry flue exhaust gas [20]

จากรูปที่ 2.11 แสดงผลของการวิเคราะห์การสันดาปของเชื้อเพลิงแบบ Dry flue exhaust gas จะพบว่า ถ้าส่วนผสมบาง เปอร์เซ็นต์ของ CO_2 จะลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ของ O_2 จะสูงขึ้น และ CO_2 จะสูงสุดที่จุด Stoichiometric air/fuel ratio ที่จุดนี้ O_2 จะมีค่าเป็นศูนย์และประสิทธิภาพการเผาไหม้จะสูงสุด ในทางตรงกันข้าม ถ้าส่วนผสมหนา CO_2 ก็จะลดลง ขณะที่ CO สูงขึ้นตามความหนาของส่วนผสมในทางปฏิบัติ จากการวิเคราะห์พบว่า เส้น O_2 และ CO จะเกยกันเล็กน้อย การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสันดาปแบบนี้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า "Orsat apparatus" [20]

2.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในงานที่ต้องการมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อน ปัจจุบันนิยมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพราะมอเตอร์มีความทนทาน ราคาถูก และไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก และสำหรับงานวิจัยนี้ก็ได้ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก มาเพื่อใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วย ดังนั้นจึงควรทราบถึงโครงสร้าง การใช้งาน รวมทั้งหลักการในการเดินเครื่อง การควบคุม และการหยุดเดินเครื่องมอเตอร์

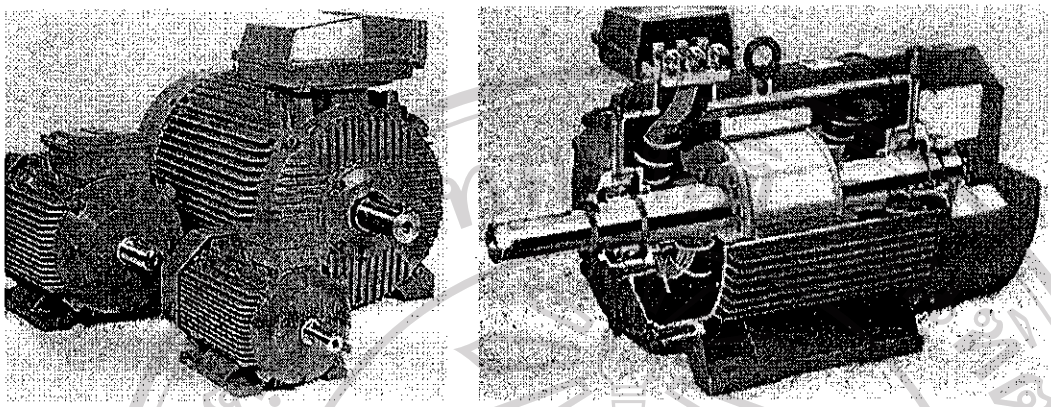
2.4.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ก. สเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ประกอบด้วยโครง (Frame) ซึ่งภายในจะมีร่อง (Slots) อยู่โดยรอบ เพื่อใช้ฝังขดลวด

ข. โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ของมอเตอร์ซึ่งจะฉุดโหลด ประกอบด้วยเหล็กกล้าประกบเป็นแผ่นบางๆ (Steel Laminations) เป็นรูปทรงกระบอก โดยในร่องด้านนอกของทรงกระบอกจะมีตัวนำฝังอยู่โดยรอบ และมีทิศทางขนานกับแกน โดยที่แต่ละปลายจะต่ออยู่กับวงแหวนโลหะ (Metal Ring) มอเตอร์แบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้น (Starting

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

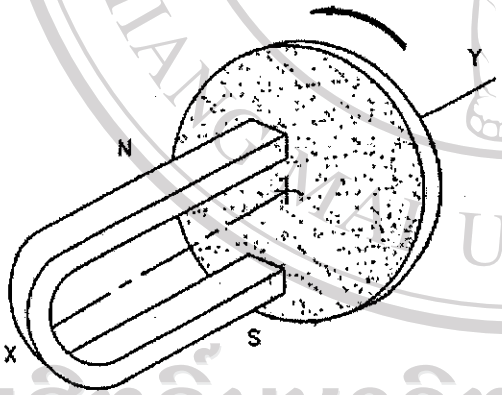
Torque) ต่ำ ส่วนกระแสเริ่มต้น (Starting Current) จะมีค่าสูงกว่ากระแสพิกัดมาก โดยแสดงมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกดังรูปที่ 2.12 [23]



รูปที่ 2.12 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก [23]

2.4.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกชนิด 3 สาย (Three Phase induction Motor) เป็นผลมาจากสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) ในสเตเตอร์ซึ่งทำให้โรเตอร์สามารถหมุนได้ หลักการทำงานสามารถพิจารณาจากตัวอย่างนี้คือ ใช้แม่เหล็กรูปตัว U แทนสนามหมุนในสเตเตอร์และจานทองแดง (Coppers Disc) แทนตัวนำที่โรเตอร์ ดังรูปที่ 2.13 [24]

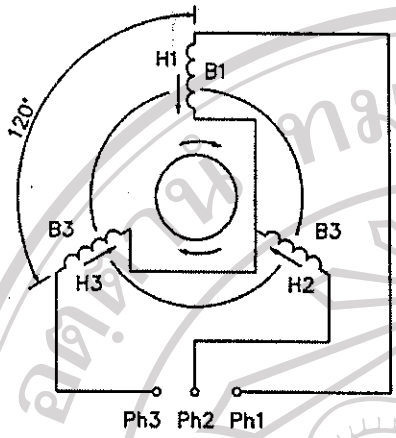


รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [24]

จากรูปที่ 2.13 ถ้าหมุนแม่เหล็กรอบแกน XY จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆ จานทองแดง จะเกิดการเหนี่ยวนำผ่านช่องอากาศ (Air Gap) ก่อให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้น กระแสนี้จะทำให้เกิดแรงบิด ทำให้จานทองแดงหมุนในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน โดยมีอัตราเร็วน้อยกว่าสนามแม่เหล็กหมุน ถ้าจานทองแดงหมุนด้วยอัตราเร็วเดียวกับอัตราเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน เรียกว่าอัตราเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed; N_s) ก็จะไม่เกิดกระแสเหนี่ยวนำ เป็นผลให้ไม่เกิดแรงบิด แต่ในความเป็นจริงจานทองแดงจะหมุนด้วยอัตราเร็วที่น้อยกว่าอัตราเร็วของสนามแม่เหล็กเสมอ เรียกว่าอัตราเร็วอะซิงโครนัส (Asynchronous Speed) หรือเรียกว่าความเร็วพิกัด (Rated

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Speed; N_n) เช่นเดียวกันกับโรเตอร์ซึ่งมีอัตราเร็วน้อยกว่าสนามแม่เหล็กหมุนในสเตเตอร์จึงเรียกชื่อของมอเตอร์ชนิดนี้ว่ามอเตอร์อะซิงโครนัส สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส จะเกิดจากขดลวด 3 ขด วางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.14 [23,24]



รูปที่ 2.14 สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส [24]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 3 เฟส เข้าไปยังขดลวดทั้งสามในสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นทั้ง 3 เฟส เมื่อรวมสนามแม่เหล็กหมุนเข้าด้วยกัน โดยวิธีเวคเตอร์จะได้สนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดคงที่หมุนไปรอบๆมอเตอร์ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์หรือเรียกว่าความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed; N_s) หาได้จากสมการที่ 2.19

$$N_s = \frac{120 \times f}{P_o} \tag{2.19}$$

โดยที่ N_s คือ ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนหรือความเร็วซิงโครนัส , (rpm)

f คือ ความถี่ของแรงดันป้อนเข้า , (Hz)

P_o คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เกิดจากรูปแบบการวางขดลวด

ความเร็วพิกัด (Rated Speed ; N_n) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะน้อยกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ ค่าความแตกต่างของความเร็วทั้งสองเรียกว่าสลิป (Slip) ทั้งนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำโดยทั่วไปจะวิ่งที่สลิปประมาณ 2-4% โดยหาค่าสลิปและความเร็วพิกัดได้จากสมการที่ 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ

$$S = \frac{N_s - N_n}{N_s} \tag{2.20}$$

และ $$N_n = (1 - S)\, N_s \tag{2.21}$$

โดยที่ S คือ ค่าความแตกต่างของความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วพิกัด หรือเรียกว่าสลิป

N_n คือ ค่าความเร็วพิกัด , (rpm) [23]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 การเลือกมอเตอร์เพื่อใช้งาน

ในการเลือกมอเตอร์เพื่อใช้งานจำเป็นที่จะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องจักรโหลด และในขณะเดียวกันต้องพยายามจัดใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วรอบให้เหมาะสมกับโหลดให้มากที่สุดด้วย โดยมีแนวทางในการเลือกโดยพิจารณาจากแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท และแรงบิดสูงสุดของเครื่องจักรโหลด ทั้งนี้ขนาดกำลังที่มีอยู่มีส่วนในการพิจารณาอย่างละเอียด เพื่อใช้ในการเลือกมอเตอร์ให้มีสมบัติแรงบิดที่เหมาะสม

ขนาดของแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท และแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์มักแสดงไว้ในรูปเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบให้ค่าแรงบิดเต็มพิกัดเป็น 100% ถ้าทราบพิกัดกำลัง (kW) และความเร็วพิกัด (rpm) ก็จะสามารถหาค่าแรงบิดเต็มพิกัด (T_{max}) ได้จากสมการที่ 2.22 [25]

$$T_{max} = \frac{\text{ค่าพิกัดกำลัง(kW)}}{\text{ค่าความเร็วรอบเต็มพิกัด(rpm)}} \times 974(\text{kg/m}) \qquad (2.22)$$

โดยที่ T_{max} คือ ค่าแรงบิดเต็มพิกัด , kg-m

2.4.4 การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบกรงกระรอกแบบต่อกับสายโดยตรง (Direct-on-line Starting; DOL)

การเริ่มเดินเครื่องแบบนี้ จะต่อสเตเตอร์โดยตรงกับแรงดันแหล่งจ่ายไฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เป็นผลให้มอเตอร์ต้องใช้กระแสเริ่มต้นสูง และจะให้แรงบิดเริ่มต้นประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดพิกัด แรงบิดนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราเร็วของมอเตอร์มีค่าประมาณ 80% ของอัตราเร็วพิกัด กระแสเริ่มต้นจะมีค่าประมาณ 4-8 เท่าของกระแสพิกัด แต่จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราเร็วเพิ่มขึ้น และกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายแต่ละเส้นสำหรับระบบ 3 เฟส (P_i) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.23

$$P_i = \sqrt{3}\, EI\cos\phi \qquad (2.23)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายแต่ละเส้น , (วัตต์; Watt)

E คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายแต่ละเส้น , ($V_{p\text{-}p}$; Volt)

I คือ กระแสไฟฟ้าในสายแต่ละเส้น , (แอมแปร์; Ampare)

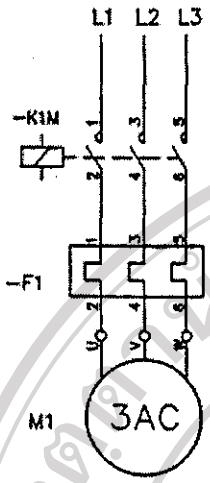
$\cos\phi$ คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์

และกำลังไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้น($P_{EL,ave}$) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.24

$$P_{EL,ave} = \sum\left(\frac{P_i}{3}\right) \qquad (2.24)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

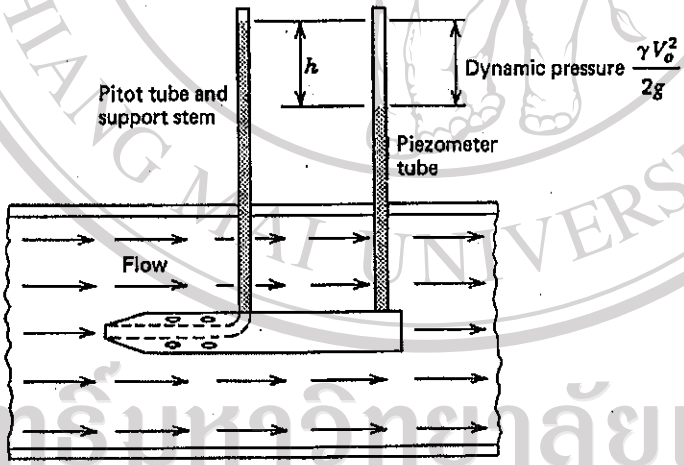
โดยที่ $P_{EL,ave}$ คือ กำลังไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นเฉลี่ย , (วัตต์; Watt) [24,26]



รูปที่ 2.15 วงจรการเริ่มเดินเครื่องแบบต่อกับสายโดยตรง (DOL) [24]

2.5 การวัดความเร็วและอัตราการไหลของของไหลโดยใช้ Pitot Tube

อุปกรณ์วัดความดันและความเร็วของของไหลในระยะแรก ทำการทดลอง Henri Pitot ใช้หลอดเล็กๆ ปลายเปิดโดยหันปลายเปิดต้านกับการไหลของของไหล ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ปรากฏว่าระดับน้ำในหลอดทดลอง (Pitot tube) สูงกว่าระดับน้ำภายนอก ซึ่งเป็นผลมาจากความดันไดนามิคส์ เนื่องจากความเร็วในการไหลของของไหล (Velocity pressure) [27,28]



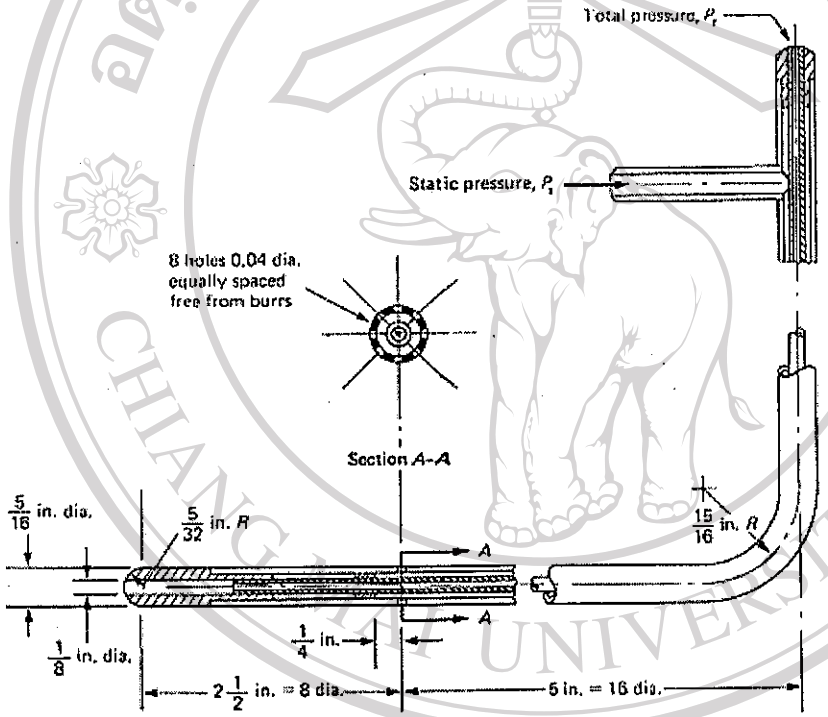
รูปที่ 2.16 Pitot tube และผลมาจากความดันไดนามิคส์ [28]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 การวัดความเร็วของของไหลโดยใช้ Pitot Tube

ในกรณีที่ของไหลหยุดนิ่ง ความเที่ยงตรงและความละเอียดในการวัดจะขึ้นอยู่กับ ความละเอียดของเครื่องมือวัดเท่านั้น แต่ในกรณีที่ของไหลกำลังไหล ความเที่ยงตรงและความละเอียดในการวัดนอกจากจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือวัดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการติดตั้งเครื่องมือวัด

และเครื่องบันทึกด้วย ซึ่งถ้าจะให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำที่สุดจะต้องทำการวัดให้เป็นไปในแนวเดียวกันกับกระแสของการไหลพอดี ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการไหลที่ปั่นป่วนขึ้น ในกรณีที่ทราบทิศทางการไหลของของไหลที่ค่อนข้างแน่นอน สามารถใช้อุปกรณ์ใช้วัดความเร็วในการไหลของของไหลได้ด้วยวิธีการวัดความเร็วโดยใช้ Pitot tube และเครื่องมือวัดความดันสแตติคส์ ซึ่งรวมอยู่ในตัวเดียวกันเรียกว่า "Pitot-Statictube แบบรวม" ซึ่งมีลักษณะของส่วนที่เป็น Statictube จะห่อหุ้ม Pitot tube อยู่อีกทีหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.17 อุปกรณ์แบบนี้จึงมีรูปร่างกระทัดรัด และมีประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่าการวางหลอดสแตติคส์จะคลาดเคลื่อนไปจากแนวของกระแสการไหลไปบ้างก็ตาม การอ่านค่าความดันสามารถใช้ดิฟเฟอเรนเชี่ยลมาโนมิเตอร์เพื่ออ่านค่าความดันแตกต่างในรูปความสูง (H) ได้โดยทันที [28,29]



รูปที่ 2.17 Pitot-Statictube แบบรวม [30]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

และความเร็วเนื่องจากการไหลของของไหล (Fluid Velocity; V) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.25 [30]

$$\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648\,H}{\rho_f} \qquad (2.25)$$

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

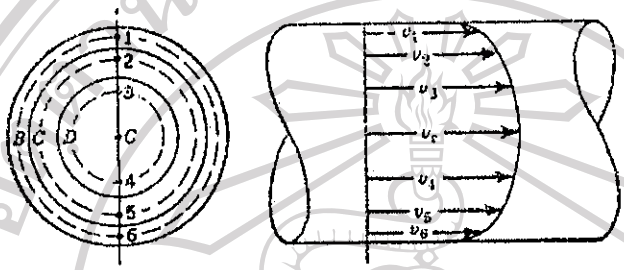
โดยที่ V คือ ความเร็วเนื่องจากการไหลของของไหล , (ft/min)

H คือ ความแตกต่างของระดับน้ำในหลอดมาโนมิเตอร์ , (in. WG)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของของไหลที่ทำการวัด , (lb/ft^3)

2.5.2 การวัดอัตราการไหลโดยใช้ Pitot Tube

การใช้ Pitot-Statictube วัดความเร็วในการไหลของของไหล แต่อัตราการไหลเป็นผลคูณของพื้นที่หน้าตัด(A) และความเร็วในการไหล(V) ดังนั้นกรณีของไหลไหลในท่อกลม อัตราการไหลสามารถจะหาได้โดยใช้ Pitot-Statictube โดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของท่อเป็นรูปวงแหวน และวัดความเร็วเฉลี่ยของการไหลในแต่ละวงแหวน ซึ่งอยู่ที่จุดที่เส้นแบ่งพื้นที่วงแหวนออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กันดังแสดงในรูปที่ 2.18 [31]



รูปที่ 2.18 การหาอัตราการไหล โดยใช้ Pitot-Statictube [30,31]

จากรูป 2.18 สมมุติว่าแบ่งพื้นที่หน้าตัดของท่อ (A) ออกเป็นสามส่วนเท่าๆ กัน คือ B, C และ D มีการวัดความเร็วในการไหล 6 จุด ดังนั้นอัตราการไหลของของไหล (Q) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.26 [31]

$$\because \quad Q = AV$$

$$Q = A\left(\frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6}{6}\right) \qquad (2.26)$$

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ความรู้ทางเศรษฐศาสตร์ได้ถูกนำมาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจซึ่งจะพิจารณาว่าระบบใดให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด หรือมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์วิธีที่ง่ายและนิยมใช้กันมากคือ

2.6.1 วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปีที่คุ้มทุนของ โครงการที่พิจารณา ซึ่งจะไม่มีการคิดภาษีและนำดอกเบี้ยมาร่วมวิเคราะห์ ทำให้ง่ายแก่การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPB) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.27 [32]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$SPB = \frac{\text{เงินลงทุนเบื้องต้น}}{\text{รายได้เฉลี่ยต่อปี} - \text{รายจ่ายเฉลี่ยต่อปี}} \quad (2.27)$$

โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดจะเป็นโครงการที่ถูกเลือกมาใช้งาน

2.6.2 วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal Rate of Return)

อัตราผลตอบแทนการลงทุนหมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนการลงทุนมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายการลงทุน หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนคืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ วิธีนี้มีการนำเอาค่าอัตราดอกเบี้ยมาร่วมคำนวณด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น

วิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนเป็นการหาโดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) ค่าอัตราส่วนลดที่หาได้คือค่า IRR นั่นคือค่า i ที่ทำให้ $NPV_{(i)} \approx 0$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.28 [32]

$$NPV = \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC\right) = 0 \quad (2.28)$$

เมื่อ $$TIC = \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{NCF_n}{(1+i)^n}\right)$$

โดยที่ TIC คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด

NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n

i คือ อัตราผลตอบแทนการคืนทุน

N คือ อายุการใช้งานของอุปกรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved