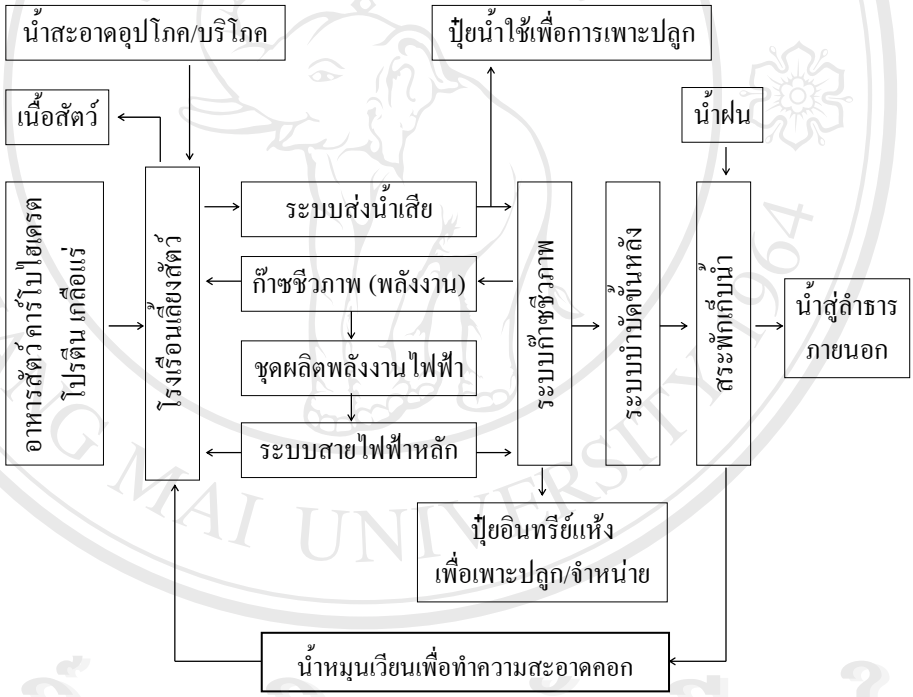
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ระบบการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

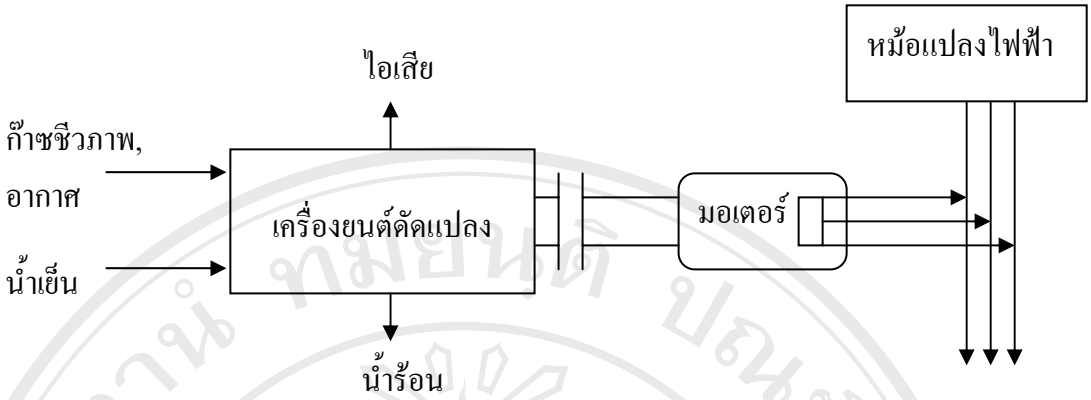
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มสุกรจะเริ่มจาก น้ำทิ้งและมูลสุกรจากคอกจะไหลตามรางลงสู่บ่อเติมแล้วเข้าสู่บ่อหมักช้า ของเสียที่ผ่านการหมักจะล้นและถูกดึงออกที่บ่อระบายผ่านเข้าชุดกรอง ซึ่งน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะส่งเข้าบ่อหมักเร็ว เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะปล่อยลงสระพักเพื่อหมุนเวียนนำกลับมาใช้อีกครั้ง ส่วนก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อหมักช้าและบ่อหมักเร็วจะถูกส่งเข้าระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อนำไปจ่ายให้กับภาระในฟาร์มหรือส่งขายให้กับการไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 วงจรการจัดการน้ำเสียและทรัพยากรในฟาร์มที่มีระบบก๊าซชีวภาพ [หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : 2546]

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าในฟาร์มจะใช้เครื่องยนต์ดัดแปลง(อาจใช้เครื่องเบนซินหรือดีเซลก็ได้) เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง แล้วส่งผ่านกำลังสู่มอเตอร์เพื่อผลิตไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ [ปรีชา ศิริชาญ : 2544]

2.1.1 การคำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน

สำหรับการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน (G) สูงสุด (ปรีชา ศิริชาญ : 2544) จะขึ้นกับปริมาณสารหรือของแข็งที่เป็นตัวการในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (Volatile Solid, VS) และอัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ จะขึ้นกับค่าอัตราการเกิดก๊าซ และค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) ดังสมการ

$G = (VS \times \text{อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ}) / 1000$ [m^3/day] (1)

$VS = \text{น้ำหนักสุกรยืนคอก} \times (VS_A)$ [kg/day] (2)

$\text{อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ} = \text{อัตราการเกิดก๊าซ} \times f_{T,RT}$ [litre/kg-VS] (3)

โดย - น้ำหนักสุกรยืนคอก คือ สุกรยืนคอกทั้งหมดที่เป็นตัวการปล่อยปริมาณสารหรือของแข็งที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ, [kg/day]

- VS_A คือค่าเฉลี่ยของปริมาณของของแข็งที่ระเหยได้ของสุกรแสดงดังตาราง 2.1

- อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และระยะเวลาในการย่อยสลาย

- อัตราการเกิดก๊าซ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้, litre/kg VS (แสดงในตาราง 2.2)

- $f_{T,RT}$ คือ ตัวคูณเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิในการย่อยสลาย และระยะเวลาในการย่อยสลาย (ดังแสดงในรูปที่ 2.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของของแข็งที่ระเหยได้ของสัตว์แต่ละชนิด [ปรีชา ศิริชาญ : 2544]

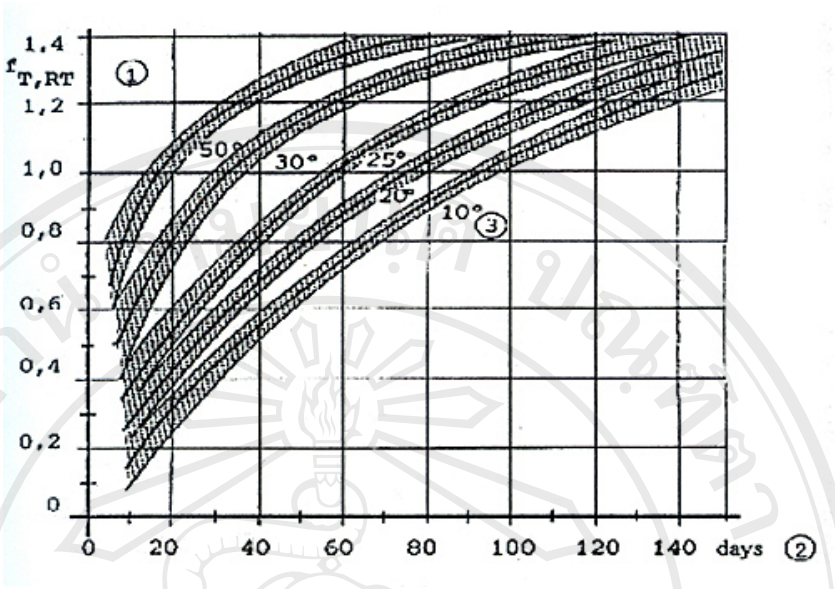
ชนิดของสัตว์	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้	
	%ของแข็งทั้งหมด	%น้ำหนักตัวต่อวัน
หมู	82.4	0.57
ไก่	72.8	1.22
แกะ	84.7	0.91
วัวเนื้อ	82.8	0.65
วัวนม	80.3	0.72

ตาราง 2.2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ [ปรีชา ศิริชาญ : 2544]

Substrate	Gas-yield range (l/kg VS[1])	Average Gas-yield (l/kg VS[1])
Pig manure	340 - 550	450
Cow manure	150 - 350	250
Poultry manure	310 - 620	460
Hourse manure	200 - 350	250
Sheep manure	100 - 310	200
Stable manure	175 - 320	225
Grain straw	180 - 320	250
Corn straw	350 - 480	410
Rice straw	170 - 280	220
Grass	280 - 550	410
Elephant grass	330 - 560	445
Bagasse	140 - 190	160
Vegetable residue	300 - 400	350
Water hyacinth	300 - 350	325
Algae	380 - 550	460
Sewage sludge	310 - 640	450

[1] Fed volatile-solid

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 ค่า $f_{T,RT}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อยสลาย
[ปรีชา ศิริชาญ : 2544]

2.1.2 การคำนวณค่าพลังความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพ

ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ความดันรวม และอุณหภูมิในถังหมัก โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพสามารถหาได้จากสมการ

$$Hu_{biogas} = \%CH_4 \text{ in biogas} \times Q_{biogas} \rho_{CH_4} \times Hu_{CH_4} \quad (4)$$

เมื่อ Hu_{biogas} คือ ค่าพลังความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพ, [kJ/kg]

Hu_{CH4} คือ ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน, [kJ/kg]

$\%CH_4$ in biogas คือ สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ หาได้จากสมการที่ (5)

Q_{biogas} คือ อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ, [m^3/hr] หาได้จากสมการที่ (6)

ρ_{CH4} คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน, [kg/m^3] หาได้จากสมการที่ (7)

$$\%CH_4 \text{ in biogas} = 100\% - \%CO_2 \text{ in biogas} \quad (5)$$

เมื่อ $\%CO_2$ in biogas คือ สัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ

$$Q_{biogas} = 3600\,VA \quad (6)$$

$$\rho_{CH_4} = \frac{\rho_{CH_4,std} \times P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \quad (7)$$

$$P_{act} = P_t - P' \quad (8)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ V คือ ความเร็วการไหลของก๊าซชีวภาพ, [m/s]

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งก๊าซชีวภาพ, [m^2]

ρ_{biogas} คือ ความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพ, [kg/m^3]

$\rho_{CH_4,std}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนในภาวะมาตรฐาน, [kg/m^3]

$\rho_{CO_2,std}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาวะมาตรฐาน, [kg/m^3]

T_{act} คือ ค่าอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพที่แท้จริง, [^OC]

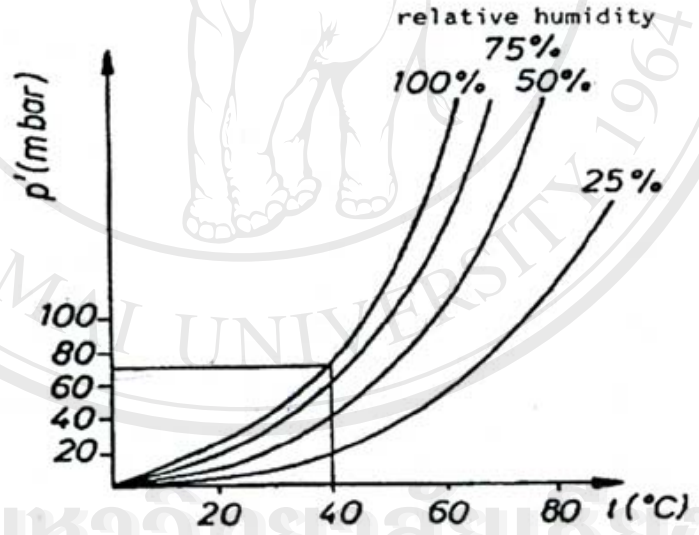
T_{std} คือ ค่าอุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน, [^OC]

P_{act} คือ ค่าความดันของก๊าซชีวภาพที่แท้จริง, [mbar] หาได้จากสมการที่ (8)

P_{std} คือ ค่าความดันที่สภาวะมาตรฐาน, [mbar]

P_t คือ ค่าความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักก๊าซ, [mbar]

P' คือ ค่าแก้ดังแสดงในรูปที่ 2.4, [mbar]



รูปที่ 2.4 ค่าแก้สำหรับความดัน (P') เพื่อใช้ในสมการที่ (8) [ปรีชา ศิริชาญ : 2544]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 การคำนวณหาประสิทธิภาพระบบผลิตกระแสไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่ทำให้เราทราบถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพให้ออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยถ้าประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้ายิ่งสูงก็จะหมายถึงระบบมีการสูญเสีย

พลังงานน้อยลง หรือมีการใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพอย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น โดยประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพหาได้ดังนี้

$$\eta_{bg} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้}}{\text{ความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพ}} \quad (9)$$

เมื่อ η_{bg} คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

2.2 การหาค่าความจุความร้อนของไอเสีย

ความร้อนทิ้งจากไอเสียจะสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากหรือน้อยจะทราบได้จากการคำนวณความร้อนทั้งหมดของไอเสียที่ปล่อยออกจากชุดเครื่องยนต์ โดยตัวแปรที่จะพิจารณาคืออุณหภูมิ อัตราการไหลโดยมวล และค่าความจุความร้อนของไอเสีย (C_P) ซึ่งค่าความจุความร้อนนี้ไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถใช้วัดค่าได้ ดังนั้นจึงมีวิธีในการคำนวณดังนี้

การคำนวณน้ำหนักก๊าซ CO_2 ที่ปล่อยออกจากระบบ (ปรีชา ศิริชาญ, 2544) จะใช้หลักการทางเคมี โดยถือว่าเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งในการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซมีเทน (CH_4) ในก๊าซชีวภาพจะเกิดปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ดังปฏิกิริยา

$$CH_4 + 2a(O_2 + 3.76N_2) \text{ -----> } CO_2 + 2H_2O + bO_2 + 7.52aN_2$$

เมื่อ a คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air) = 1.55 (55%)

b คือ ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen)

หลักจากทราบเศษส่วนโดยโมลของก๊าซแต่ละชนิดในไอเสียจากสมการเคมีแล้วนำมาหาเปอร์เซ็นต์โดยมวลของก๊าซแต่ละชนิดและคิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของก๊าซแต่ละชนิดต่อน้ำหนักของก๊าซชีวภาพหรือน้ำหนักของไอเสีย 1 กิโลกรัม ซึ่งทั้งหมดนี้นำไปสู่การคำนวณหาค่าความจุความร้อนของไอเสียและอัตราการไหลของไอเสียได้ โดยความจุความร้อนของไอเสียหาได้จากสมการ

$$C_{P\,mix} = \Sigma(Y_i M_i C_{P,i}) / M_{mix} \quad (10)$$

เมื่อ Y_i คือ เศษส่วนโดยโมลของก๊าซแต่ละชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

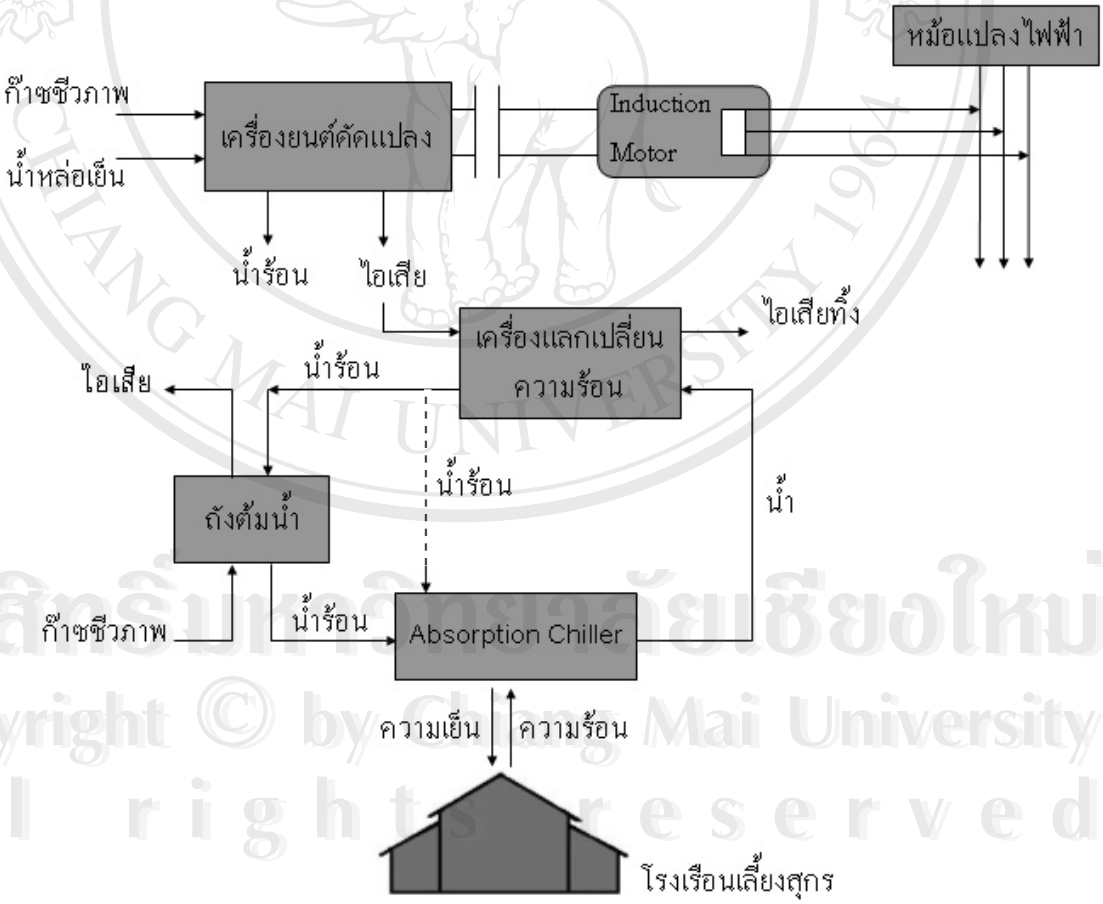
M_i คือ มวลโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิด

M_{mix} คือ น้ำหนักรวมของก๊าซต่างๆ ในไอเสีย [kg]

$C_{P,I}$ คือ ค่าความจุความร้อนของก๊าซแต่ละชนิดที่สภาวะอุณหภูมินั้นๆ, [kJ/kg°C]

2.3 การพิจารณาเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

การพิจารณาเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมเป็นหนึ่งในขั้นตอนของการพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยอุปกรณ์หลักๆ ที่จะนำมาพิจารณาคือเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจำเป็นต้องใช้ เพื่อผลิตน้ำร้อนจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำกับความร้อนทิ้งจากไอเสียก่อนป้อนเข้าสู่ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

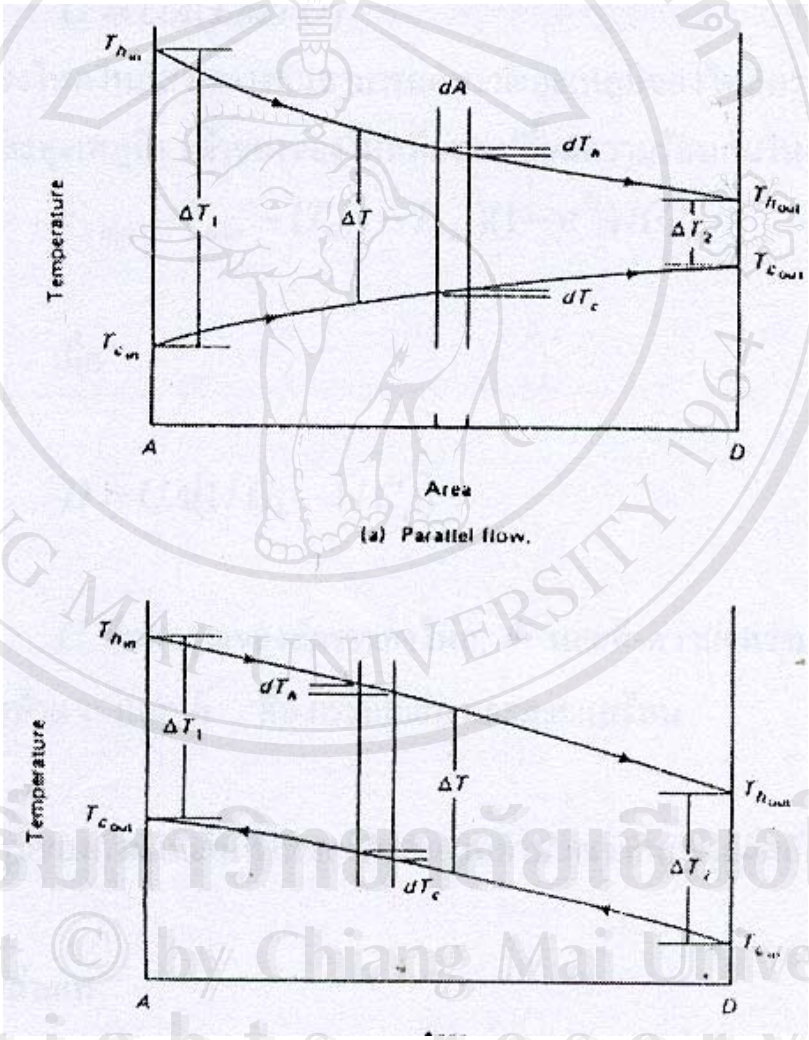


รูปที่ 2.5 ภาพรวมระบบทำความเย็นแก่โรงเรือนเลี้ยงสุกรแบบดูดซึม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 ปริมาณการถ่ายเทความร้อนและการเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีค่าความแตกต่างอุณหภูมิแบบล็อกมีน (Logarithmic Mean Temperature Difference, LMTD) ซึ่งใช้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีของไหลหนึ่งจะไหลในท่อในและมีของไหลอีกชนิดหนึ่งไหลในท่อรอบนอก สำหรับการไหลของกระแสร้อนและเย็นนี้อาจเป็นการไหลแบบขนาน (Parallel Flow) หรืออาจเป็นการไหลสวนทาง (Counter Flow) กันก็ได้ และในกรณีที่ของไหลทั้งสองไม่มีการเปลี่ยนสถานะ การกระจายของอุณหภูมิในแต่ละกระแสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การกระจายอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การหาค่าอุณหภูมิแตกต่างแบบล็อกมีนได้กำหนดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิดังสมการ

$$LMTD = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \quad (11)$$

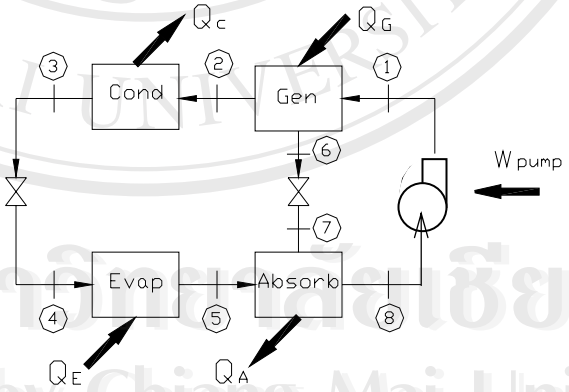
และสามารถหาความร้อนที่แลกเปลี่ยนได้จาก

$$Q = UA(LMTD) \quad (12)$$

สำหรับการเลือกลักษณะที่เหมาะสมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน(U) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Hewitt, Guy and Marsland : 1982) และราคาของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังตาราง ข14. และรูป ข.1 ในภาคผนวก ข.

2.3.2 การทำความเย็นระบบดูดซึม (Absorption Cooling System)

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม คือระบบที่มีการใช้สารดูดซึมและสารทำความเย็นร่วมกัน โดยบางขณะสารทำความเย็นจะถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึม บางขณะสารทำความเย็นจะแยกตัวออกจากสารดูดซึม ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะมีการดูดซึมความร้อนเข้าสู่สารทำความเย็น และถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นด้วย



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม [ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์ : 2535]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ ไอของสารทำความเย็นที่มาจากส่วนระเหย(Evaporator) จะเข้าสู่ส่วนดูดซึม(Absorber) ภายในส่วนดูดซึมบรรจุด้วยสารดูดซึม ดังนั้นเมื่อไอของสารทำความเย็นเข้าสู่ส่วนดูดซึมแล้ว จะถูกดูดซึมกลายเป็นสารละลาย ขณะที่ไอของสารทำความเย็นถูกดูดซึม ภายในส่วนดูดซึมนี้จะมีความร้อนเกิดขึ้น

ดังนั้นเพื่อที่จะไม่ทำให้สารละลายของสารทำความเย็นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงต้องมีการหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็น ซึ่งมาจากภายนอกระบบ สารละลายที่เกิดขึ้นซึ่งมีความเข้มข้นสูงจะถูกปั๊มส่งไปยังเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งภายในเจนเนอเรเตอร์ มีขบวนการแยกสารทำความเย็นออกจากสารละลาย โดยการใช้ความร้อน ซึ่งได้มาจากต้นกำเนิดภายนอกระบบ สารทำความเย็นซึ่งปนอยู่ในสารละลาย ปกติจะมีจุดเดือดต่ำกว่าสารดูดซึม ดังนั้นเมื่อรับความร้อนจึงจะกลายเป็นไอ ขณะเดียวกันภายในเจนเนอเรเตอร์ ออกแบบไว้สำหรับให้ไอของสารทำความเย็นแยกออกไปได้ และสารดูดซึมที่เหลือตกค้างอยู่จะอยู่ในรูปของสารละลายเจือจางและจะไหลกับเข้าสู่ส่วนดูดซึม โดยผ่านคอคอด เพื่อลดความดันของสารละลายลงให้เท่ากับความดันในส่วนดูดซึม เมื่อสารละลายจำนวนนี้เข้าสู่ส่วนดูดซึม จะถูกดูดซึมเอาไอของสารทำความเย็นจำนวนใหม่ที่มาจากส่วนระเหยอีกครั้งไอของสารทำความเย็นที่แยกตัวออกจากสารละลายภายในเจนเนอเรเตอร์จะผ่านเข้าสู่ส่วนควบแน่น(Condenser) เพื่อคายความร้อนและกลายเป็นของเหลว ผ่านเข้าสู่วาล์วลดความดัน และเข้าสู่ส่วนระเหย เพื่อรับความร้อนและเข้าสู่ส่วนดูดซึม ครบหนึ่งรอบวัฏจักรของการทำงาน

2.3.3 การวัดการใช้ประโยชน์พลังงาน

1) ประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน

$$\eta = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้}}{\text{พลังงานป้อนเข้า}} \times 100\% \qquad (13)$$

2) การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น

เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศต่างจากเครื่องยนต์ คือ แทนที่จะผลิตกำลังงาน แต่กลับใช้กำลังงาน ฉะนั้นจึงไม่สามาถนำนิยามประสิทธิภาพในสมการ (13) มาใช้กับเครื่องทำความเย็นได้ ปกติจะวัดและเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศด้วยสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP)

$$\text{COP} = \frac{\text{ภาระทำความเย็นที่ใช้ประโยชน์ได้}}{\text{กำลังงานสมมูลป้อนเข้า}} \qquad (14)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การวิเคราะห์ภาระทำความเย็น (Analysis Cooling Load)

ภาระของการทำความเย็น หมายถึง ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นทั้งจากภายในห้องทำความเย็นและความร้อนจากภายนอกห้องที่ผ่านเข้ามาในห้องทำความเย็น ซึ่งเป็นภาระที่ระบบทำความเย็นจะต้องนำออกไปเพื่อลดและรักษาระดับอุณหภูมิในห้องให้ได้ตามที่ต้องการ

2.4.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV)

สามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกได้จากสมการ

$$OTTV = (U_w)(A_w)(TD_w) + (U_g)(A_g)(\Delta T) + (SC_g)(A_g)(SF_g) \quad (15)$$

เมื่อ OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก [kW]

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังส่วนทึบ $\left[\frac{kW}{K\,m^2}\right]$ (หาได้จากตาราง ข1. และ ข2. ในภาคผนวก)

A_w คือ พื้นที่รวมของผนังส่วนทึบ [m^2]

TD_w คือ ความแตกต่างอุณหภูมิของผนังระหว่างภายนอกและภายในอาคาร [K] (หาได้จากตาราง ข5.- ข8. ในภาคผนวก)

U_g คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหน้าต่างโปร่งแสง /ผนังโปร่งแสง $\left[\frac{kW}{K\,m^2}\right]$ (หาได้จากตาราง ข3. ในภาคผนวก)

A_g คือ พื้นที่รวมของหน้าต่างโปร่งแสงและ/หรือผนังโปร่งแสง [m^2]

ΔT คือ ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร [K]

SC_g คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่างโปร่งแสงและ/หรือผนังโปร่งแสง (หาได้จากตาราง ข11. ในภาคผนวก)

SF_g คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์(Solar Factor) ที่ผ่านหน้าต่างโปร่งแสงและ/หรือผนังโปร่งแสง $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$ (หาได้จากตาราง ข10. ในภาคผนวก)

2.4.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

สามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกได้จากสมการ

$$RTTV = (U_r)(A_r)(TD_r) + (U_{rf})(A_{rf})(\Delta T) + (SC_{rf})(A_{rf})(SF_{rf}) \quad (16)$$

เมื่อ RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก [kW]

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนทึบ $\left[\frac{kW}{K\,m^2}\right]$ (หาได้จากตาราง ข4. ในภาคผนวก)

A_r คือ พื้นที่รวมของหลังคาส่วนทึบ [m^2]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

TD_r คือ ความแตกต่างอุณหภูมิของหลังคาระหว่างภายนอกและภายในอาคาร [K] (หาได้จากตาราง ข9. ในภาคผนวก)

U_{rf} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา $\left[\frac{kW}{K\,m^2}\right]$ (หาได้จากตาราง ข3. ในภาคผนวก)

A_{rf} คือ พื้นที่รวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา [m^2]

ΔT คือ ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร [K]

SC_{rf} คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา (หาได้จากตาราง ข11. ในภาคผนวก)

SF_{rf} คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์(Solar Factor) ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$ (หาได้จากตาราง ข10. ในภาคผนวก)

2.4.3 ภาระจากอากาศร้อนเข้ามาในห้อง (Air Change Load)

ภาระจากอากาศร้อนเข้ามาในห้อง คือความร้อนที่เกิดขึ้นจากอากาศร้อนภายนอกที่เข้ามาในห้องเนื่องจากการเปิดประตู การรั่วเข้ามาตาม รอยรั่วต่างๆ(Infiltration Load) รวมทั้งจากที่ตั้งใจนำอากาศเข้ามาในห้องเพื่อช่วยในการระบายอากาศ (Ventilating Load) และปรับคุณภาพของอากาศในห้องให้ดีขึ้น สามารถหาค่าภาระที่เกิดจากอากาศภายนอกเข้ามาในห้องได้โดยทราบปริมาณอากาศ (cfm : ft^3/min) แล้วเทียบกับค่าความร้อนที่แสดงดังตาราง ข13. ในภาคผนวก

2.4.4 ความร้อนจากผู้อยู่อาศัย(Resident Load)

คือความร้อนที่ออกจากร่างกายของสุกร เนื่องจากอุณหภูมิของร่างกายปกติจะสูงกว่าอุณหภูมิในบริเวณปรับอากาศ ดังนั้นจึงมีการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายให้แก่อากาศในบริเวณปรับอากาศ ความร้อนดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ ความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดจากอุณหภูมิแตกต่างของร่างกายหรืออุณหภูมิของความชื้นที่ได้จากร่างกายกับอุณหภูมิของห้องปรับอากาศ ความร้อนอีกประเภทหนึ่งคือความร้อนแฝง ซึ่งเกิดจากไอน้ำ (ความชื้น) จากลมหายใจกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะต้องมีการคายความร้อนออกจำนวนหนึ่ง สมการที่ใช้คำนวณคือ

$$Q = \text{Heat Load} \times \text{น้ำหนักสุกร 1 ตัว} \times \text{จำนวนสุกรในโรงเรือน, [kW]} \qquad (17)$$

เมื่อ Heat Load คือ อัตราความร้อนที่ออกจากตัวสุกร, [kW/kg](ตาราง ข12. ในภาคผนวก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.5 ภาระเบ็ดเตล็ดต่างๆ (Miscellaneous Load)

คือความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ภายในห้อง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ไฟแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ภาระเหล่านี้มีหลักในการพิจารณาหาค่าโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

ภาระจากหลอดไฟแสงสว่าง = $(F_B)(W)$(จำนวนหลอด) , [kW] (18)

เมื่อ F_B คือ แฟคเตอร์บัลลาสท์

(หลอดฟลูออเรสเซ็นต์มีค่า 1.25 และหลอดไฟธรรมดามีค่า 1.0)

W คือ ขนาดของอุปกรณ์ [kW]

2.5 ทฤษฎีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และทฤษฎีการวิเคราะห์ต้นทุนแบบ LCC

LCC (Life Cycle Cost) เป็นการพิจารณาต้นทุนของทรัพย์สินทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ใช้งานทรัพย์สินนั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนการจัดซื้อหรือติดตั้งอุปกรณ์ การดำเนินงาน การบำรุงรักษา รวมตลอดทั้งต้นทุนการปลดทิ้ง ซึ่งในการคำนวณ LCC จะถูกใช้พิจารณาร่วมกับการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการลงทุนสำหรับแนวทางการจัดการพลังงานโดยใช้

2.5.1 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน

เป็นการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่นิยมใช้ ซึ่งจะพิจารณาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR: Internal Rate of Return) คืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบัน(Net Present Value : NPV) ของผลตอบแทนทั้งหมดมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

IRR สามารถหาได้จากค่า i ในสมการ(21) โดยคิดที่ NPV = 0

$$NPV = a\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} + \frac{sv}{(1+i)^N} - \sum_{n-j}^{N}\frac{f_n}{(1+i)^n} - p \qquad (19)$$

เมื่อ p = มูลค่าการลงทุน

f_n = ค่าใช้จ่ายประจำปีที่ n

a = รายได้สุทธิรายปี

sv = มูลค่าซาก

i = IRR

j = 5, 10, 15, 20 และ 25 (ปีที่)

n = ปีพิจารณา

N = อายุการใช้งาน

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวทางการลงทุนโครงการใดที่ให้ค่าผลตอบแทนภายใน(IRR)สูง จะเป็นโครงการที่เหมาะสมกับการพิจารณาเลือกไปดำเนินการในแง่ของค่าใช้จ่าย

2.5.2 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด เนื่องจากเงินที่คืนทุนสามารถนำไปลงทุนในกิจการอื่นๆ ได้ ดังนั้นการจัดการพลังงานแนวทางใดที่มีระยะเวลาลงทุนสั้นที่สุดก็จะเป็นแนวทางที่เหมาะสมกับการนำไปดำเนินการมากที่สุดในแง่ของค่าใช้จ่ายสำหรับการหาระยะเวลาคืนทุนมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุนรวม(p)}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิรวมรายปี}}$$

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิรวมรายปี} = \text{รายได้สุทธิรายปี(a)} - \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิรายปี}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายสุทธิรายปี} = \sum_{n=j}^{N} \frac{f_n}{(1+i)^n} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

ดังนั้น

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{p}{a - \left(\sum_{n=j}^{N} \frac{f_n}{(1+i)^n} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)} \qquad (20)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved