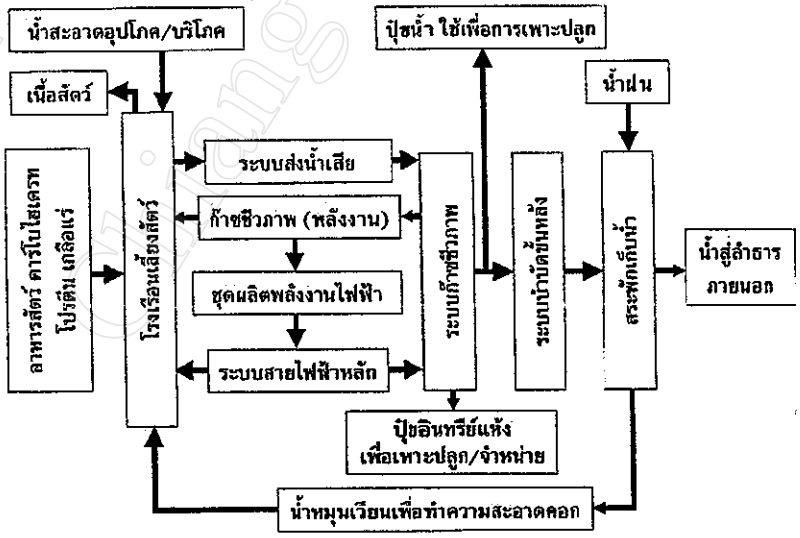
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

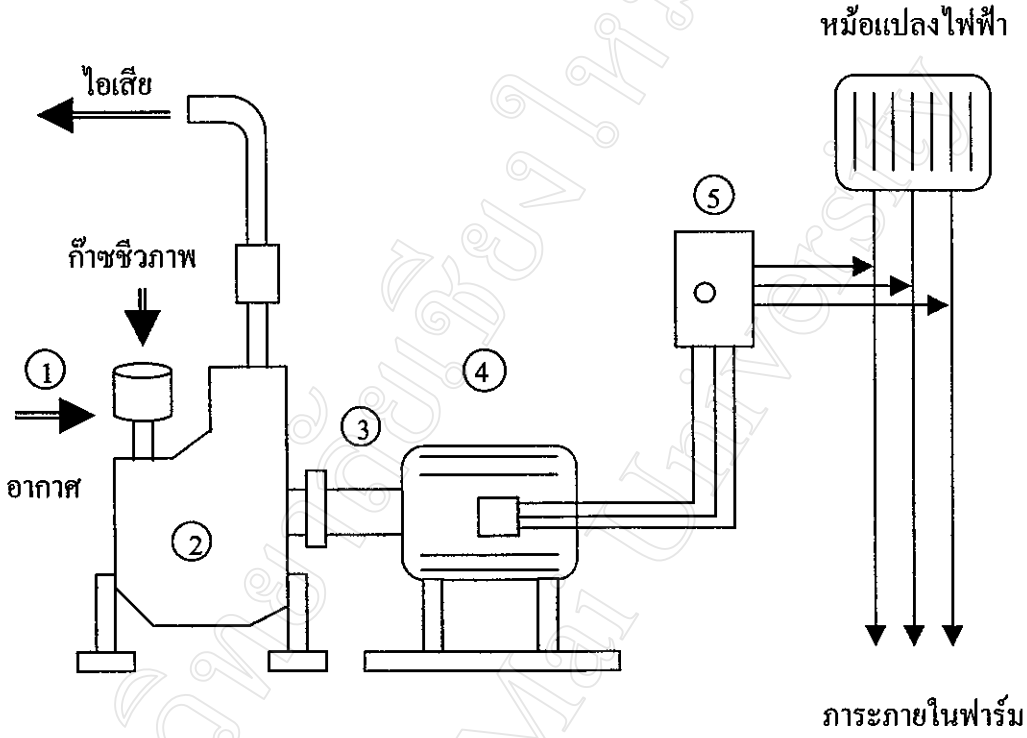
ก๊าซชีวภาพเกิดจากผลของการหมักย่อยสลายอินทรีย์สารโดยเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่ง (Methanogen) ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ในการผลิตก๊าซชีวภาพมักใช้อินทรีย์สารหลายชนิด เช่น วัสดุเหลือใช้ทางเกษตร มูลสัตว์ อุจาระคน อินทรีย์สารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในวัฏจักรคาร์บอน เชื้อจุลินทรีย์ Methanogen เป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายของห่วงโซ่อาหารซึ่งจะย่อยอินทรีย์สารให้แปลสภาพเป็นกากเน่าเปื่อยคืนสู่สิ่งแวดล้อม ก๊าซที่ได้จากการหมักจะเป็นก๊าซผสมของก๊าซ CH_4 และ CO_2 ซึ่งก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติในการติดไฟได้ (หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ, 2538)

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มสุกรจะมีหลักการทำงานแสดงไว้ในรูป 2.1 โดยจะเริ่มจากน้ำทิ้งและมูลสัตว์จากคอกไหลตามรางลงสู่บ่อเติมแล้วเข้าสู่บ่อหมักช้าของเสียที่ผ่านการหมักจะล้นและถูกดึงออกที่บ่อระบายผ่านเข้าชุดกรอง ซึ่งน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะส่งเข้าบ่อหมักเร็วเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะปล่อยลงสระพักเพื่อหมุนเวียนนำกลับมาใช้อีกครั้ง ส่วนก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อหมักช้าและบ่อหมักเร็วจะถูกส่งเข้าระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อนำไปจ่ายให้กับภาระในฟาร์ม ดังแสดงในรูป 2.1



รูป 2.1 วงจรการจัดการน้ำเสียและทรัพยากรในฟาร์มที่มีระบบก๊าซชีวภาพ
(เอกสารที่ออกโดยหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ)

ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วย (1) ห้องผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศ (2) เครื่องยนต์ดัดแปลง (อาจเป็นเบนซินหรือดีเซลก็ได้) (3) เพลาส่งถ่ายกำลัง (4) มอเตอร์ไฟฟ้า และ (5) ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ดังรูป 2.2



รูป 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพและการต่อ grid

วัสดุที่ใช้หมัก

โดยหลักการแล้วอินทรีย์สารทุกชนิดสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมักใช้อินทรีย์สารที่มีลักษณะเป็นของเหลวและเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น มูลสัตว์ น้ำปัสสาวะจากการทำปศุสัตว์ น้ำทิ้งจากบ่อเกรอะ หากใช้อุจจาระควรทำการเจือจางด้วยของเหลวเสียก่อน เช่น อาจใช้ปัสสาวะเป็นตัวเจือจาง ของเสียและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตอาหารที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

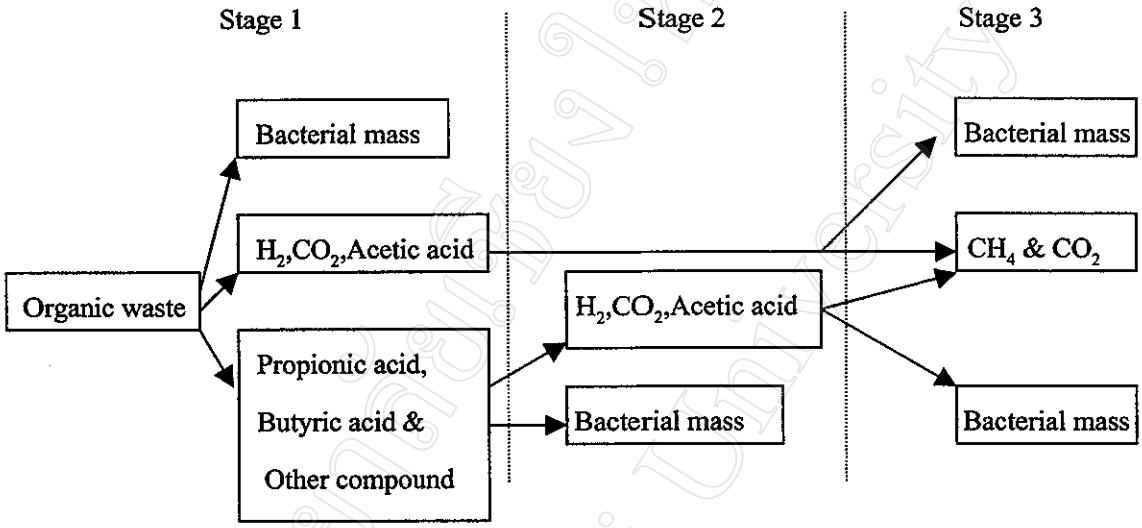
ส่วนประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ส่วนผสมในก๊าซชีวภาพประกอบด้วย (เสาวลักษณ์ ภูมิวสนะ, 2535)

- ก๊าซมีเทน (CH_4)	40 – 70% โดยปริมาตร
- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30 – 60% โดยปริมาตร
- ก๊าซอื่นๆ	1 – 5% โดยปริมาตร

กระบวนการพื้นฐานของก๊าซชีวภาพ (หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ, 2538)

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพสามารถแยกเป็น 3 ขั้นตอนคือ Hydrolysis Acidification และ Methane formation ซึ่งมีจุลชีพ 3 ชนิดเป็นตัวทำให้เกิดกระบวนการดังรูป 2.3



รูป 2.3 ขบวนการเกิดก๊าซชีวภาพทั้ง 3 ขั้นตอน (หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ, 2538)

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกระบวนการมีดังนี้

1. Hydrolysis

ในขั้นแรกอินทรีย์สารขนาดใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซด์ (Cellulose, amylase, protease และ lipase) ของจุลชีพ หลังจากนั้น Fermentative bacteria จะย่อยอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีโมเลกุลขนาดเล็กเช่น Polysaccharides จะถูกย่อยให้เป็น monosaccharides โปรตีน จะถูกย่อยให้เป็น peptides และกรดอะมิโน ขั้นตอนนี้มักเกิดขั้นตอนกลางวันและอุณหภูมิที่เหมาะสมกับกระบวนการนี้คือ 25 °C

2. Acidification

Acetogenic bacteria จะเปลี่ยนอินทรีย์สารที่ถูกย่อยมาจากขั้นแรกให้เป็นกรด acetic (CH_3COOH) , ไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แบคทีเรียชนิดนี้ไม่ต้องการอากาศหายใจและสามารถอาศัยอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกรด ในกระบวนการผลิตกรดแบคทีเรียจะอาศัยออกซิเจนและคาร์บอนโดยนำออกซิเจนที่ละลายในสารละลายหรือได้จากออกซิเจนที่ถูกเผาไหม้ ทำให้ออกซิเจนถูกใช้จนหมดซึ่งเป็นสภาวะที่จำเป็นสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จะย่อยอินทรีย์สารที่มีมวลโมเลกุลต่ำให้เป็นแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ กรด

อะมิโน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทนอีกเล็กน้อย ในขั้นตอนนี้เป็นลักษณะของปฏิกิริยาคายความร้อน

3. Methane formation

ในขั้นตอนนี้ Methanogenic bacteria จะทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทนจากอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก แบคทีเรียจะสร้างก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอะซิติกเป็นวัตถุดิบ การผลิตก๊าซมีเทนตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน เช่น ใต้แม่น้ำลำคลอง หนอง บึง และในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนจะทำงานภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนและมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมรอบตัวมาก

แบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มจะมีความสัมพันธ์กันโดย Acetogenic bacteria จะสร้างสภาวะที่เหมาะสม (สภาวะไร้ออกซิเจน,สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก) สำหรับผลิตก๊าซมีเทนและ Methanogenic bacteria จะนำผลผลิตที่ได้ในขั้นที่ 2 มาใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นหากสารอินทรีย์มีมากเกินไปแบคทีเรียกลุ่มที่ 1 และ 2 จะผลิตกรดออกมามากจนกระทั่งแบคทีเรียกลุ่มที่ 3 หยุดทำงานทำให้ก๊าซไม่เกิด ในทางตรงกันข้ามหากสารอาหารมีน้อยเกินไปแบคทีเรียจะเจริญเติบโตช้าผลิตก๊าซได้น้อย

2.1.1 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ (Werner *et al.*, 1989)

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน (G) สูงสุด จะขึ้นกับปริมาณสารที่เป็นตัวการในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (VS-Volatile Solid) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และอัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ (specific Gy) จะขึ้นกับค่าอัตราการเกิดก๊าซ (Gy) และค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) ดังสมการ

$$G = (\text{kg VS} \times \text{Specific Gy}) / 1000 \quad (2.1)$$

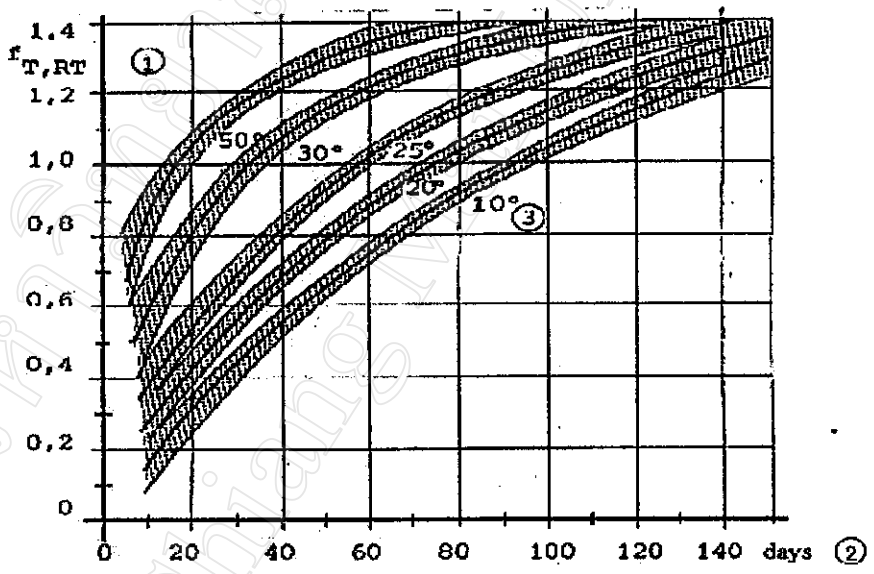
$$\text{Specific Gy} = \text{Gy} \times f_{T,RT} \quad (2.2)$$

$$\text{VS input} = \text{total dung per day} \times (\%\ \text{VS in dung}) \quad (2.3)$$

ตาราง 2.1 ค่า yield ของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ (Werner *et al.*,1989)

Species	Max. gas – yield (l / kg VS)	Daily dung yield (% of liveweight)	Fresh manure solid (% VS in dung)
Cow manure	350	5	13
Swine manure	550	2	12
Sheep manure	310	3	20

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) จะขึ้นกับค่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักซึ่งจะหาได้จากรูป 2.4



รูป 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ , อุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก (Werner *et al.*,1989)

โดยที่ ① คือค่าสัมประสิทธิ์ ② คือระยะเวลาในการหมักก๊าซ ③ คืออุณหภูมิในการหมักก๊าซ

2.1.2 การคำนวณค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อน (Hu) ซึ่งจะขึ้นกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ความดันรวมและอุณหภูมิในถังหมัก โดยค่าความดันของก๊าซชีวภาพ (P_{act})จะเท่ากับความดันสิ่งแวดล้อม (P_a) บวกด้วยความดันในบ่อหมัก (P_d) แล้วหักด้วยค่าแฟคเตอร์แก้ไข ดังสมการ (Mitzlaff, 1988)

$$\% CH_4 = 100\% - \%CO_2 \tag{2.4}$$

$$P_{act} = P_a + P_d - P' \tag{2.5}$$

โดยที่ค่า P' เป็นค่าแฟคเตอร์แก้ไขความดันก๊าซชีวภาพหากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าประมาณ 75% และอุณหภูมิก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 35-40°C จะมีค่าเท่ากับ 50 m bar และค่าความหนาแน่นของก๊าซมีเทน ($\rho_{CH_4,act}$) จะหาได้จากสมการ

$$\rho_{CH_4,act} = \frac{\rho_{CH_4,std} \times P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \tag{2.6}$$

โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้งาน (Hu_{act}) จะสัมพันธ์กับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (V_{CH4}/V_{tot}) ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่ใช้งาน ($\rho_{CH_4,act}$) และค่าความร้อนต่ำของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน (Hu_{std}= 50,000 kJ/kg) ดังสมการ

$$Hu_{act} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times \rho_{CH_4} \times Hu_{std} \tag{2.7}$$

2.1.3 การคำนวณน้ำหนักก๊าซ CO_2 ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ CH_4 ที่สมบูรณ์แบบในกรณีที่ใช้อากาศส่วนเกิน (Excess air) ปฏิกิริยาทางเคมีคือ

$$CH_4 + (a)(2)(O_2+3.76N_2) \text{ ---------> } CO_2 + 2H_2O + bO_2 + (a)7.52N_2 \tag{2.8}$$

เมื่อ a = ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excees air)

b = ปริมาณ O_2 ส่วนเกิน (Excess oxygen)

ก๊าซ CO_2 ในไอเสีย = [จำนวนโมล CH_4 ที่ทำปฏิกริยาในสมการ (2.8) + จำนวนโมล CO_2 ในก๊าซชีวภาพ] × 44 kg/mole (2.9)

2.1.4 การคำนวณความหนาแน่นก๊าซชีวภาพ

งานวิจัยนี้จะสมมุติให้ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซอุดมคติ ดังนั้น

$$\text{ความหนาแน่นก๊าซ} = \frac{P \times MW}{R \times T} \quad (2.10)$$

โดยที่ P = ความดันก๊าซชีวภาพ (atm)

R = ค่าคงที่ของก๊าซต่อโมลของก๊าซซึ่ง = 0.08206 litre.atm / K.mol

T = อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ (K)

MW = น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพ

และค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพสามารถหาได้จาก

MW = ผลรวมของผลคูณเศษส่วนโมลกับน้ำหนักโมเลกุลขององค์ประกอบก๊าซ

$$= \sum_i X_i MW_i$$

$$= X_{CO2} MW_{CO2} + X_{CH4} MW_{CH4} \quad (2.11)$$

โดยที่ X = สัดส่วนโดยปริมาตรในก๊าซชีวภาพ

2.1.5 การคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน = kW × ชั่วโมงทำงานต่อวัน (2.12)

2.1.6 การหาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพตามกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังสมการ

$$\eta = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ } (\dot{W})}{\text{ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ } (Q_{bg})} \quad (2.13)$$

และ $$Q_{bg} = \dot{m}_{bg} \times Hu_{act} \quad (2.14)$$

โดยที่ η คือประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1(%)

$\dot{m}_{bg}$ คืออัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ (m^3/s)

2.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากก๊าซ CO_2 และ CH_4 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเพียง 2 อย่างเท่านั้น การประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะใช้วิธี Externality Cost ร่วมกับวิธี [NETS] (Numerical Environmental Total Standards) เพื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของก๊าซแต่ละชนิด ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้จะถูกประเมินออกมาเป็นมูลค่าเงินโดยใช้ค่าใช้จ่ายในการกำจัดก๊าซ SO_2 เป็นฐานในการคำนวณ เนื่องจากปัจจุบันนี้ในประเทศไทยมีเครื่องมือกำจัดสารมลพิษที่รู้จักกันดี คือ เครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือ Flue Gas Desulphurization (FGD) ที่ถูกติดตั้งในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังนั้นการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมูลค่าเงินจึงสามารถทำได้เนื่องจากมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่แน่นอนและทราบถึงที่มาของข้อมูลได้อย่างชัดเจน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 Externality Cost (Koomey *et al.*, 1997)

วิธีการประเมินความเสียหายของสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารมลพิษต่างๆที่ถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในรูปแบบของ Externality Cost จะมีหน่วยมาตรฐานเป็นUS$ / kWh เพื่อที่จะสามารถแสดงเป็นรูปมูลค่าของเงินได้ และค่า Externality Cost จะแปรผันตามอัตราการปล่อยสารมลพิษ (Emission Factor - EF) อัตราความร้อนต่อพลังงาน (Heat Rate - HR) และมูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม (Value of Environmental Damage - VED) โดยค่า VED จะเท่ากับค่าใช้จ่ายหรือราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำจัดสารมลพิษต่อปริมาณสารมลพิษที่ถูกกำจัด ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Externality Cost (EC)} = EF \times HR \times VED \quad (2.15)$$

$$VED = \text{Cost} / kg_{pollutant} \quad (2.16)$$

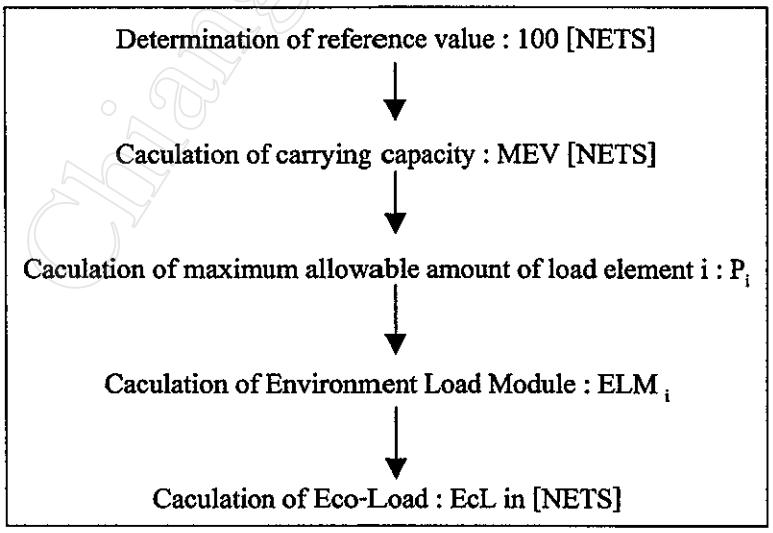
$$EF = kg_{pollutant} / MJ_{fuel} \quad (2.17)$$

$$HR = MJ_{fuel} / kWh_{electric} \quad (2.18)$$

Koomey และคณะได้รวบรวมค่า VED ของสารมลพิษต่างๆ ไว้ดังแสดงในตารางที่ 1.5 แต่ค่า VED ของก๊าซ CO_2 และ CH_4 ในงานวิจัยนี้จะเทียบจากฐานราคาจากค่า VED ของก๊าซ SO_2 เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.2 Numerical Environmental Total Standards [NETS] (Kato,1999)

ดัชนีที่ใช้ในการประเมินความรุนแรงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างก๊าซ SO_2 CO_2 และ CH_4 ที่ถูกนำมาใช้งานในโครงการวิจัยนี้คือ Numerical Environmental Total Standard [NETS] ซึ่งได้มีการพัฒนาโดย Seizo Kato แห่งมหาวิทยาลัยมิเอะ ประเทศญี่ปุ่น เป็นวิธีที่ใช้อธิบายผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตได้ซึ่งค่าที่คำนวณได้จะแปรตามความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับ หรืออาจแปลความหมายได้ว่า NETS เป็นหน่วยที่ใช้บอกหรือตีค่าของภาระสิ่งแวดล้อมให้ออกมาเป็นตัวเลขได้ แบ่งเป็นผลกระทบที่มีต่อทั้งโลก และผลกระทบที่มีเฉพาะชุมชน ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่จัดว่ากระทบต่อโลกจะประกอบไปด้วย การหมดสิ้นของทรัพยากร (Resources Depletion) ภาวะโลกร้อนขึ้น (Global Warming) การลดลงของโอโซน (Ozone Depletion) ปัญหาน้ำและอากาศเป็นพิษ (Water and Air Pollution) ส่วนผลกระทบต่อชุมชนประกอบด้วย ฝนกรด (Acid Rain) และปัญหาขยะ (Waste Problems) ขั้นตอนในการศึกษา [NETS] ดังแสดงในรูป 2.5



รูป 2.5 แบบแผนการทำมาตรฐานในการหาค่าภาระสิ่งแวดล้อม (Kato, 1999)

รูป 2.5 อธิบายได้ว่าเริ่มจากการกำหนดค่าปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหน่วยของ [NETS] ในแผนผังกำหนดไว้ว่า 100 [NETS] คือค่าผลกระทบสูงสุดที่มนุษย์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ จากนั้นจะมีการคำนวณ MEV (Maximum Eco-Load Valve) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท กรณีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีต่อโลก $MEV_G = 5.8 \times 10^{11}$ [NETS] คำนวณมาจาก 100 [NETS/คน] คูณกับประชากรโลกคือ 5.8 พันล้านคน (ปี ค.ศ. 1998) เช่นเดียวกับในกรณีของผลกระทบต่อชุมชนค่าของ MEV_R จะเชื่อมโยงกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดกับประชากรบริเวณเขตนั้นๆ เช่น ฝนกรด (Acid Rain) ค่า MEV_R จะสมมติให้เกิดเป็นบริเวณรัศมี 1,000 กิโลเมตร ซึ่งคำนวณจำนวนประชากรได้เท่ากับ 1.7×10^8 [คน] จากจุดที่เกิดการปล่อยก๊าซ ดังนั้นค่า MEV_R จะเท่ากับ 1.7×10^8 [คน] $\times 100$ [NETS/คน] จะเท่ากับ 1.7×10^{10} [NETS] ดังตัวอย่างในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่กำหนดให้เกิดได้สูงสุด (Maximum Eco-Load Valve) (Kato, 1999)

Type	ประเภทของผลกระทบ	MEV_i [NETS]
ผลกระทบต่อโลก	การลดลงของทรัพยากร	$MEV_G^{RD} = 5.8 \times 10^{11}$
	Global Warming	$MEV_G^{GW} = 5.8 \times 10^{11}$
	การลดลงของโอโซน	$MEV_G^{OD} = 5.8 \times 10^{11}$
	ปัญหาน้ำและอากาศเสีย	$MEV_G^{WP} = 5.8 \times 10^{11}$
ผลกระทบต่อชุมชน	ฝนกรด	$MEV_R^{AR} = 1.7 \times 10^{10}$
	ขยะ	$MEV_R^{WP} = 1.3 \times 10^{10}$

จากนั้นจะกำหนดค่าสูงสุดของจำนวนภาระสิ่งแวดล้อมที่ยอมรับได้ในแต่ละประเภท P_i [ton, kWh, m^3,...etc.] ดังแสดงในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของภาระสิ่งแวดล้อม P_i (Kato, 1999)

Type	ประเภทของผลกระทบ	MEV_i [NETS]
ผลกระทบต่อโลก	การลดลงของทรัพยากร	P_G^{RD} = ปริมาณสำรองทรัพยากร
	Global Warming	P_G^{GW} = ปริมาณก๊าซ Greenhouse
	การลดลงของโอโซน	P_G^{OD} = ปริมาณ Freon gases
	ปัญหาน้ำและอากาศเสีย	P_G^{WP} , P_G^{AP} = ข้อกำหนดของ WHO
ผลกระทบต่อชุมชน	ฝนกรด	P_R^{AR} = ความเข้มข้นของ H^+ ในฝน
	ขยะ	P_R^{WP} = ปริมาณของขยะ

จากนั้นนำมาคำนวณค่าเงื่อนไขภาระสิ่งแวดล้อม (ELM: Environmental Load Module) โดยสมการ

$$ELM_i = MEV_i / P_i \text{ [NETS/ton, kWh, } m^3\text{,...etc.]} \qquad (2.19)$$

สมการ (2.19) แสดงถึงทรัพยากรที่ใช้หรือสารอันตรายที่ถูกปลดปล่อยออกมาใน 1 หน่วย [Ton, kWh, m^3,...etc.] ในขั้นตอนสุดท้ายจะได้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (EcL: Eco-Load Valve) ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตที่เกิดจากกิจกรรมจากอุตสาหกรรมใดอุตสาหกรรมหนึ่งซึ่งคำนวณได้ดังสมการ 2.20

$$EcL = \sum (ELM_i \times x_i) \text{ [NETS]} \qquad (2.20)$$

ซึ่ง x_i คือจำนวนทรัพยากรที่ถูกนำมาใช้หรือสารที่ถูกปลดปล่อยออกมาแต่ละชนิดของกิจกรรมมีหน่วยเป็น [ton, kWh, m^3,...etc.] ตัวอย่างค่า P_i และ ELM_i ของวัฏจักรชีวิตแสดงดังตาราง 2.4 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้จำนวนประชากรโลกปี ค.ศ. 1998 เป็นฐานการคำนวณ

ตาราง 2.4 ค่า P_i และ ELM_i ของวัฏจักรชีวิต (Kato, 1999)

ประเภท	สาร	P_i [ton]	ELM_i [NETS/ton]
การลดลงของเชื้อเพลิง	น้ำมันดิบ	1.41×10^{11}	4.11×10^{0}
	ก๊าซธรรมชาติ	1.01×10^{11}	5.72×10^{0}
	ถ่านหิน	1.02×10^{12}	5.68×10^{-1}
ภาวะโลกร้อนขึ้น	CO_2	2.05×10^{12}	2.83×10^{-1}
	CH_4	1.06×10^{11}	5.46×10^{0}
	N_2O	7.20×10^{9}	8.06×10^{1}
	CFC-11	9.95×10^{7}	5.83×10^{3}
การลดลงของโอโซน	CFC-11	7.22×10^{7}	8.03×10^{3}
	CFC-12	7.22×10^{7}	8.03×10^{3}
	HCFC-22	1.32×10^{9}	4.41×10^{2}
ฝนกรด	NO_2	5.64×10^{6}	2.98×10^{3}
	N_2O	5.40×10^{6}	3.11×10^{3}
	SO_2	3.93×10^{6}	4.27×10^{3}

การประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารมลพิษต่างๆในประเทศไทยยังไม่มีความชัดเจนแน่นอนดังเช่น อัตราภาษีคาร์บอน (Carbon Tax) เนื่องจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมยังไม่ได้รับความสนใจจากคนทั่วไปและวิธีการประเมินยังไม่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดก๊าซ SO_2 เป็นตัวเทียบเนื่องจากทราบที่มาของข้อมูลที่ชัดเจนและเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวิธี NETS จะสามารถประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารมลพิษอื่นได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.2.1 การประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของก๊าซ SO_2

เครื่อง Flue Gas Desulfurization (FGD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดก๊าซ SO_2 อีกชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงและรู้จักกันแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งเครื่อง FGD นี้ได้ถูกติดตั้งที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปางดังรูป 2.6

รูป 2.6 เครื่องกำจัดก๊าซ SO_2 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่อง Flue Gas Desulfurization ด้านราคาค่าใช้จ่ายและความสามารถในการกำจัดก๊าซ SO_2 แสดงดังตาราง 2.5 และ 2.6 ดังต่อไปนี้

ตาราง 2.5 ราคาเครื่อง Flue Gas Desulfurization โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
(เอกสารที่ออกโดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

Item	Unit	FGD UNIT 8,9,10,11	FGD UNIT 12,13
Contractor	-	IDRECO/NOELL, ITALY	MITSUBISHI, JAPAN
Cost per unit	Baht	638.000×10^6	329.300×10^6
Start year	-	1994	1993
Working time	day/year	335	335
Life time	Year	25	25

ตาราง 2.6 Mae-Moh Flue Gas Desulfurization Designed Performance at guarantee point (เอกสารที่ออกโดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

Item	Unit	FGD UNIT 8-11	FGD UNIT 12-13
Dry flue gas inlet	Nm^3/hour	1,226,000	1,125,000
SO_2 to FGD	mg/Nm^3	9,000	7,200
	ppm.v.	3,150	2,520
	Ton/hour	11.03	8.10
	k-mol/hour	172	127
SO_2 at FGD outlet	mg/Nm^3	450	576
	ppm.v.	158	202
	Ton/hour	0.55	0.65
	k-mol/hour	8.62	10.13
FGD efficiency	%	92	95

เนื่องจากงานวิจัยนี้คิดต้นทุนราคาอุปกรณ์ทุกอย่างบนฐานปีพ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) โดยใช้อัตราส่วนลดเท่ากับ 12% และกำหนดค่าดำเนินการและบำรุงรักษาของเครื่อง FGD เท่ากับ 7% ของเงินลงทุนเบื้องต้น ดังนั้นการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือค่าใช้จ่ายในการกำจัดก๊าซ SO_2ในรูปเงิน สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

กรณีของ UNIT 8-11

$$\text{VED } SO_2 = \frac{[638.000\times10^6\times1.12^6][\frac{0.12(1+0.12)^{25}}{(1+0.12)^{25}-1}][638.000\times10^6\times1.12^6\times0.07]}{[(11.03-0.55)\times335\times24]} \quad (2.21)$$

กรณีของ UNIT 12-13

$$\text{VED } SO_2 = \frac{[329.300\times10^6\times1.12^7][\frac{0.12(1+0.12)^{25}}{(1+0.12)^{25}-1}][329.300\times10^6\times1.12^7\times0.07]}{[(8.10-0.65)\times335\times24]} \quad (2.22)$$

และการหาค่า ELM ของก๊าซ SO_2 จะกำหนดเป็นความเสียหายเฉพาะชุมชนอันเกิดจากปัญหาด้าน Acid Rain เท่านั้น โดยผลกระทบนี้กำหนดให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งจังหวัดลำปางซึ่งมีพื้นที่และจำนวนประชากรดังตาราง 2.7 ดังนี้

ตาราง 2.7 พื้นที่และจำนวนประชากรในจังหวัดลำปาง พ.ศ. 2543 (www.nso.go.th)

อำเภอ	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	ความหนาแน่นประชากร (คนต่อ 1 ตร.กม.)
เมืองลำปาง	1,156.6	238,872	206.5
แม่เมาะ	959.2	37,717	39.3
เกาะคา	551.2	64,763	117.5
เสริมงาม	631.7	33,030	52.3
งาว	1,815.3	59,241	32.6
แจ้ห่ม	1,349.1	42,848	31.8
วังเหนือ	1,034.3	46,869	45.3
เถิน	1,634.8	62,112	38.0
แม่พริก	538.9	16,993	31.5
แม่ทะ	810.5	63,482	78.3
สบปราบ	502.5	27,945	55.6
ห้างฉัตร	684.8	51,400	75.1
เมืองปาน	865.1	33,943	39.2
ยอดรวม	12,534.0	779,215	62.2

จากข้อมูลในตาราง 2.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซ SO_2 (ELM SO_2) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ELM } SO_2 = \frac{779{,}215 \times 100}{3.93 \times 10^6} \quad [\text{NETS/ton } SO_2] \tag{2.23}$$

2.2.2.2 การประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของก๊าซ CO_2 และก๊าซ CH_4

ในกรณีฟาร์มสุกรที่ไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มูลสัตว์และน้ำทิ้งจะถูกปล่อยสู่แหล่งธรรมชาติและเมื่อมีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงถือว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการกักเก็บก๊าซ CH_4 ไว้ใช้งานแทนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นการลดปัญหาการสร้างภาวะเรือนกระจกจากก๊าซ CH_4 นอกจากนี้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังเป็นการสร้างเชื้อเพลิง (ก๊าซ CH_4) ขึ้นมาซึ่งเสมือนเป็นการลดปัญหาการหมดสิ้นของก๊าซธรรมชาติ แต่ในทางกลับกันเมื่อมีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ผลิตไฟฟ้าก็ทำให้เกิดก๊าซ CO_2 ขึ้น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตไฟฟ้าจึงมีทั้งข้อดีคือ การช่วยลดปริมาณการแพร่กระจายก๊าซ CH_4 จากฟาร์มสุกรและช่วยลดการหมดสิ้นของก๊าซธรรมชาติ และข้อเสียคือ การปล่อยก๊าซ CO_2 สู่สิ่งแวดล้อม

จากการใช้วิธี NETS สามารถนำมาใช้คำนวณหาค่า VED ของก๊าซ CO_2 โดยการเปรียบเทียบกับก๊าซ SO_2 ได้ดังนี้

กรณีก๊าซ CO_2

$$\text{VED } CO_2 = \left[\frac{\text{ELM } CO_2 \times \text{VED } SO_2}{\text{ELM } SO_2}\right] \tag{2.24}$$

โดย

$$\text{ELM } CO_2 = \frac{6.0 \times 10^9 \times 100}{2.05 \times 10^{12}} \quad [\text{NETS/ton } CO_2] \tag{2.25}$$

กรณีก๊าซ CH_4

$$\text{VED } CH_4 = \left[\frac{\text{total ELM } CH_4 \times \text{VED } SO_2}{\text{ELM } SO_2}\right] \tag{2.26}$$

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเป็นการช่วยลดการหมดสิ้นของก๊าซธรรมชาติของโลกและช่วยลดปริมาณการแพร่กระจายก๊าซ CH_4 จากฟาร์มสุกรดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเสมือนเป็นการช่วยลดปัญหาไม่ได้สร้างปัญหาเหมือนกับก๊าซ CO_2 ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อน

ในกรณีที่ช่วยลดปัญหาการหมดสิ้นของก๊าซธรรมชาติ

$$\text{ELM } CH_4 = \frac{6.0\times10^{9}\times100}{1.01\times10^{11}} \quad [\text{NETS/ton } CH_4] \tag{2.27}$$

และในกรณีช่วยลดปัญหาการแพร่กระจายก๊าซ CH_4

จำนวนก๊าซ CH_4 ที่แพร่กระจายจากฟาร์มสุกรมีค่าเท่ากับ 0.3 kg/ปี/สุกรขนาด 75 kg (Tammiga, 1992) เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในสมการที่ (25) โดยใช้สุกรน้ำหนัก 75 kg เป็นเกณฑ์จะมีค่าเท่ากับ 25 kg เทียบเป็นน้ำหนักก๊าซ CH_4 เท่ากับ 17.5 kg คิดเป็น 1.7 % ของก๊าซ CH_4 ที่ผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ ดังนั้น

$$\text{ELM } CH_4 = \frac{6.0\times10^{9}\times100\times0.017}{1.06\times10^{11}} \quad [\text{NETS/ton } CH_4] \tag{2.28}$$

และค่าเงื่อนไขภาระสิ่งแวดล้อมรวมของก๊าซ CH_4 จะมีค่าเท่ากับ

$$\text{total ELM } CH_4 = \left[\frac{6.0\times10^{9}\times100}{1.06\times10^{11}}\right] + \left[\frac{6.0\times10^{9}\times100\times0.017}{1.01\times10^{11}}\right] \quad [\text{NETS/ton } CH_4] \tag{2.29}$$

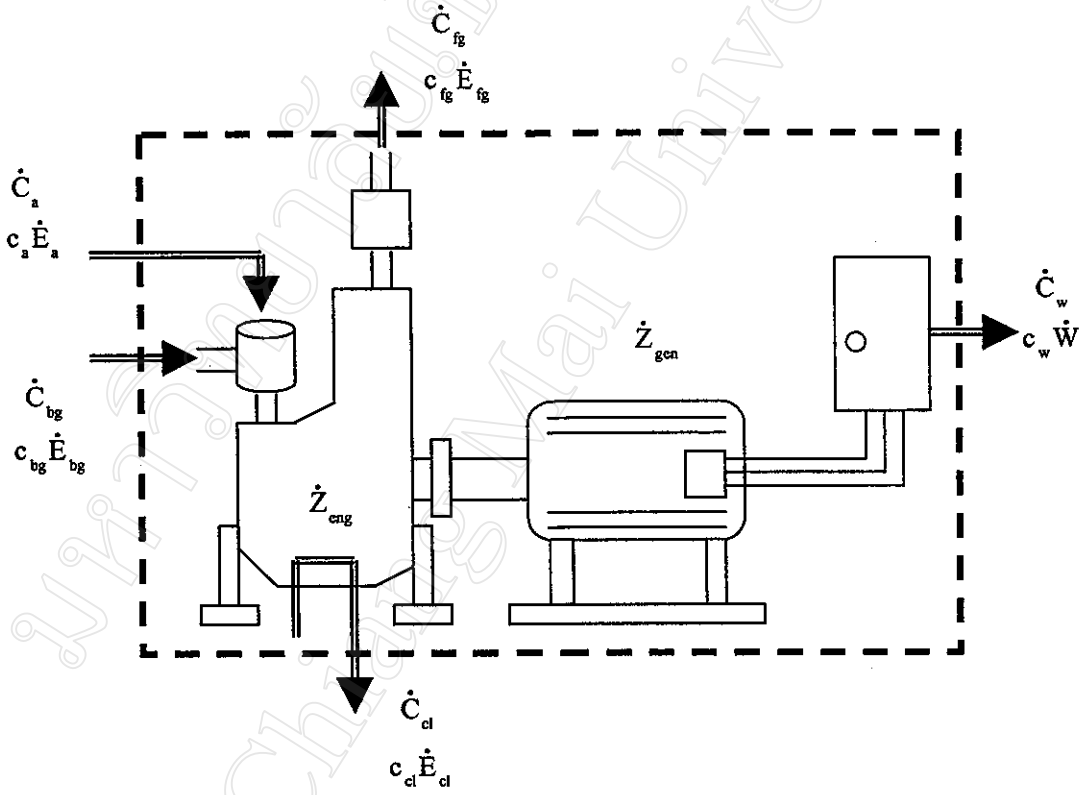
2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนแบบ Exergy Costing

พลังงานชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้าหรือไอน้ำในทางวิศวกรรมถือว่าพลังงานแต่ละชนิดมีคุณภาพต่างกัน การเปรียบเทียบพลังงานชนิดต่างๆจะต้องอยู่บนมาตรฐานเดียวกันและมาตรฐานนั้นคือ ค่า Exergy ที่บอกถึงศักยภาพในการสร้างงานของพลังงานแต่ละชนิดดังเช่น ความร้อน 1 MJ กับไฟฟ้า 1 MJ สามารถสร้างงานได้ในปริมาณที่ต่างกัน การหาต้นทุนไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซชีวภาพโดยวิธี Exergy Costing เป็นวิธีที่คิดราคาไฟฟ้าซึ่งเป็นงานสุทธิที่ได้จากระบบ ดังนั้นการคิดราคางานที่ได้จากระบบบนพื้นฐานค่า Exergy จะเป็นค่าที่ถูกต้องอย่างแท้จริง วิธี Exergy Costing จะใช้วิธีการสมดุลต้นทุนระหว่างอัตราต้นทุนผลผลิตของระบบ $\dot{C}_{P,tot}$ กับอัตราต้นทุนค่าใช้จ่ายในการ

ผลิตทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยอัตราต้นทุนเชื้อเพลิง $\dot{C}_{F,tot}$ รวมกับเงินลงทุนเบื้องต้น $\dot{Z}_{tott}^{CI}$ ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา $\dot{Z}_{tott}^{OM}$ ดังสมการ (Bejan *et al.*, 1996)

$$\dot{C}_{P,tot} = \dot{C}_{F,tot} + \dot{Z}_{tot}^{CI} + \dot{Z}_{tot}^{OM} \tag{2.30}$$

โดยเงินลงทุนเบื้องต้น ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาเป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเวลาทำงานใน 1 ปีของระบบผลิตไฟฟ้า และขอบเขตงานวิจัยนี้แสดงดังรูป 2.7



รูป 2.7 ขอบเขตการวิเคราะห์ค่า Exergy Costing ของงานวิจัย

จากรูป 2.7 มีกระแส Exergy ที่ผ่านขอบเขตของระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพประกอบด้วยกระแส Exergy เข้าของก๊าซชีวภาพ $\dot{E}_{bg}$ และของอากาศ $\dot{E}_a$ ส่วนกระแส Exergy ที่ออกประกอบด้วยงาน $\dot{W}$ ความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ $\dot{E}_{cl}$ และไอเสีย $\dot{E}_{fg}$ แต่ละกระแสจะมีราคาเฉลี่ยต่อหน่วย Exergy ($c_{bg}, c_a, c_w, c_{cl}, c_{fg}$) ดังสมการ (Bejan *et al.*, 1996)

$$\dot{C}_{bg} = c_{bg}\dot{E}_{bg} = c_{bg}(\dot{m}_{bg}e_{bg}) \quad (2.31)$$

$$\dot{C}_{a} = c_{a}\dot{E}_{a} = c_{a}(\dot{m}_{a}e_{a}) \quad (2.32)$$

$$\dot{C}_{w} = c_{w}\dot{W} \quad (2.33)$$

$$\dot{C}_{fg} = c_{fg}\dot{E}_{fg} \quad (2.34)$$

$$\dot{C}_{cl} = c_{cl}\dot{E}_{cl} \quad (2.35)$$

ดังนั้นสมการ (2.30) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\dot{C}_{fg} + \dot{C}_{w} + \dot{C}_{cl} = \dot{C}_{bg} + \dot{C}_{a} + \dot{Z}_{eng} + \dot{Z}_{gen} + \dot{Z}_{O\&M} \quad (2.36)$$

$$c_{fg}\dot{E}_{fg} + c_{w}\dot{W} + c_{cl}\dot{E}_{cl} = c_{bg}\dot{E}_{bg} + c_{a}\dot{E}_{a} + \dot{Z}_{eng} + \dot{Z}_{gen} + \dot{Z}_{O\&M} \quad (2.37)$$

แต่ในการใช้งานจริงอากาศที่ป้อนเข้าระบบ $\dot{C}_{a}$ ไม่ได้มีค่าใช้จ่ายและไม่มีการนำความร้อนจากไอเสีย $\dot{E}_{fg}$ และความร้อนจากการระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ $\dot{E}_{cl}$ ไปใช้งาน จึงไม่มีการนำ 3 ส่วนนี้มาคิดรวมในสมการ ดังนั้นสมการ (2.37) จึงเปลี่ยนเป็น

$$c_{w}\dot{W} = c_{bg}\dot{E}_{bg} + \dot{Z}_{eng} + \dot{Z}_{gen} + \dot{Z}_{O\&M} \quad (2.38)$$

2.3.1 กรณีไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ค่าต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย Exergy ของงานที่ได้จากระบบ (c_{w}) จะเท่ากับ

$$c_{w} = [c_{bg}\dot{E}_{bg} + \dot{Z}_{eng} + \dot{Z}_{gen} + \dot{Z}_{O\&M}]/\dot{W} \quad (2.39)$$

2.3.2 กรณีรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

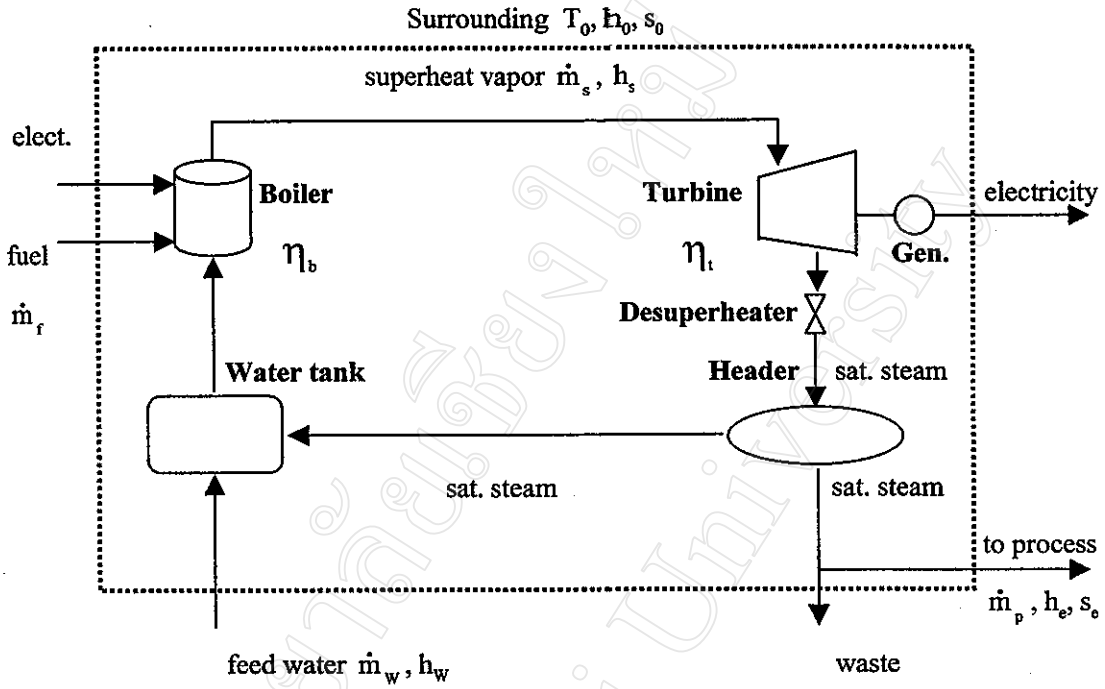
ค่าต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย Exergy ของงานที่ได้จากระบบ (c_{w}) จะเท่ากับ

$$c_{w} = [c_{bg}\dot{E}_{bg} + \dot{Z}_{eng} + \dot{Z}_{gen} + \dot{Z}_{O\&M} + \dot{Z}_{EC}]/\dot{W} \quad (2.40)$$

เมื่อ $\dot{Z}_{EC}$ = Externality cost × (kWh / ปี) / วินาทีทำงานใน 1 ปี (2.41)

2.4 การวิเคราะห์โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยใช้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ไทยอุตสาหกรรมและสวนปาล์มจำกัด เป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งมีผังระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนตลอดจนปริมาตรควบคุมดังรูป 2.8



รูป 2.8 ระบบผลิตพลังงานของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ไทยอุตสาหกรรมและสวนปาล์ม จำกัด (วชิระ ตันเต็ก, 2541)

จากรูป 2.8 ระบบจะมีไฟฟ้าและความร้อนเป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบโดยใช้เส้นใยและกะลาของปาล์มเป็นเชื้อเพลิงผสมจากแหล่งเดียวกัน การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีดังต่อไปนี้

ความร้อนเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ (Q_f) มีค่าเท่ากับ

$$Q_f = \dot{m}_f HHV_f \tag{2.42}$$

และอัตราความร้อนที่ได้จากหม้อน้ำ (Q_b) มีค่าเท่ากับ

$$Q_b = \eta_b Q_f \tag{2.43}$$

สำหรับอัตราการผลิตไอน้ำ ($\dot{m}_s$) จะมีค่าเท่ากับ

$$\dot{m}_s = \frac{Q_b}{h_s - h_w} \tag{2.44}$$

งานที่ได้จากกังหันไอน้ำ (W_t) มีค่าเท่ากับ

$$W_t = \eta_t \dot{m}_s (h_s - h_e) \tag{2.45}$$

และค่า Exergy ของไอน้ำที่ถูกส่งเข้า Process (EX_p) จะมีค่าเท่ากับ

$$EX_P = \dot{m}_p [(h_e - h_0) - T_0(s_e - s_0)] \tag{2.46}$$

เมื่อ $\dot{m}_f$ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง

HHV_f คือ ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงผสม

η_b คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

h_s คือ เอนทาลปีของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ

h_w คือ เอนทาลปีของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

η_t คือ ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ

h_e คือ เอนทาลปีของไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำ

$\dot{m}_p$ คือ อัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวที่เข้ากระบวนการผลิตในโรงงาน

h_0 คือ เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัวที่สภาวะแวดล้อม

T_0 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สภาวะแวดล้อม

s_e คือ เอนโทรปีของไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำ

s_0 คือ เอนโทรปีของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่สภาวะแวดล้อม

2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (วารุณี เตีย, 2540)

2.5.1 อัตราผลตอบแทนการลงทุน

เป็นการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนอีกวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการตัดสินใจว่าสมควรลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรหรือไม่ โดยดูจากอัตราผลตอบแทนในการลงทุนถ้าหากมีค่ามากกว่าอัตราที่ยอมรับได้ (ในที่นี้จะใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร 12% เป็นตัวเทียบ) ก็สมควรลงทุน เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพได้รับเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (ส.พ.ช.) 1.128 ล้านบาทต่อความจุบ่อหมักก๊าซ 1,000 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการวิเคราะห์จะแยกเป็น 2 กรณีคือ คิดต่อเงินลงทุนทั้งหมด (IRR) และ คิดต่อเงินที่เจ้าของฟาร์มลงทุนเองเท่านั้น (ROE)

2.5.1.1 กรณีคิดต่อเงินลงทุนทั้งหมด (IRR)

หมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุน

$$\sum_{n=1}^{N}\frac{(NCF_n)}{(1+i^*)^n}=TIC \qquad (2.47)$$

โดย i* คืออัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR, %)

2.5.1.2 กรณีคิดต่อเงินที่เจ้าของฟาร์มลงทุนเองเท่านั้น (ROE)

หมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุนเฉพาะที่เจ้าของฟาร์มลงทุนเองเท่านั้น

$$\sum_{n=1}^{N}\frac{(NCF_n)}{(1+i^*)^n}=TIC-\left(\frac{\text{ขนาดบ่อหมักก๊าซ}\times 1{,}128{,}000}{1{,}000}\right) \qquad (2.48)$$

โดย i* คืออัตราผลตอบแทนการลงทุน (ROE, %)

2.5.2 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

คือระยะเวลาที่รายได้รวมจากการลงทุนเท่ากับเงินที่ได้ลงทุนไป เป็นวิธีที่ใช้คำนวณจำนวนปีที่คุ้มทุน (break even) ว่าฟาร์มที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วมากเท่าใดก็ยิ่งสมควรลงทุนติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากเท่านั้น

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (TIC)}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี (NCF)}} \qquad (2.49)$$

$$NCF = \text{กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี} - \text{กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี} \qquad (2.50)$$

โดยที่ $\text{เงินลงทุนทั้งหมด} = \text{ราคาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ} + \text{ระบบผลิตไฟฟ้า}$ (2.51)

$\text{รายรับต่อปี} = \text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้} + \text{ปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายได้}$ (2.52)

$\text{รายจ่ายต่อปี} = \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าดำเนินการ}$ (2.53)

สำหรับรายรับและรายจ่ายต่อปีจะใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้คือ ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 2.50 บาท/kWh ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลสุกร) ที่ขายได้เท่ากับ 1 บาท/kg ค่าบำรุงรักษาในส่วนระบบผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับค่าเปลี่ยนพลาสติกคลุมบ่อหมักก๊าซในราคา 99,000 บาทต่อบ่อหมักก๊าซขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตร ค่าบำรุงรักษาในส่วนระบบผลิตไฟฟ้าเท่ากับค่าเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องในอัตรา 320 บาทต่อ 100 ชั่วโมงทำงานและ ค่าดำเนินการเท่ากับ 72,000 บาทต่อปี (ข้อมูลจากหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University