บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

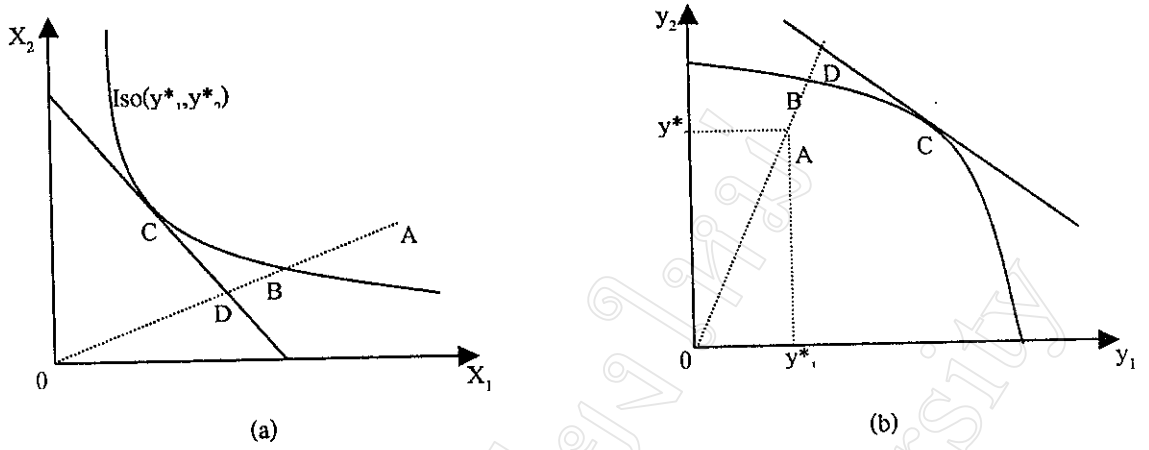
3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้มีแนวคิดและทฤษฎีที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดเศรษฐศาสตร์คลาสสิค เกี่ยวกับทฤษฎีการผลิต ในเรื่องของขอบเขตการผลิตที่เป็นไปได้ "Pareto–Efficiency Frontier of Production Possibility Sets" ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแนวความคิดประสิทธิภาพในการผลิต และการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (Data Envelopment Analysis : DEA) ดังต่อไปนี้

3.1.1 ประสิทธิภาพทางต้นทุน (Cost Efficiency : CE) ประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Efficiency: TE) และประสิทธิภาพโดยรวม (Allocative Efficiency : AE)

การที่ผู้ผลิตต้องการที่จะทำกำไรสูงสุด (profit maximization) แล้ว ผู้ผลิตจะต้องทำการผลิตผลผลิตให้มากที่สุด (output maximization) โดยใช้ระดับของปัจจัยการผลิตที่มีอยู่ (มีประสิทธิภาพทางเทคนิค) ใช้ส่วนผสมของปัจจัยการผลิตให้เสียต้นทุนต่ำสุด (least cost combination) ของปัจจัยการผลิต (มีประสิทธิภาพทางราคา) โดยผลิต ณ จุดที่ อัตราการทดแทนทางเทคนิคหน่วยสุดท้าย (marginal rate of technical substitution) เท่ากับอัตราส่วนกลับของราคาของปัจจัยการผลิตนั้น(มีประสิทธิภาพโดยรวม) แนวความคิดนี้เสนอโดย Farrell (1957) ซึ่งจากการอธิบายของ Farrell ได้แสดงถึงวิธีการที่เกี่ยวข้องกับเส้นพรหมแดนการผลิต (production frontier) หรือเส้นประสิทธิภาพ (efficient unit isoquant) ดังจะกล่าวต่อไปนี้

การมีประสิทธิภาพทางการผลิต สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การผลิตที่ใช้ปัจจัยการผลิตจำนวนน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ผลผลิตในระดับที่ต้องการ (input oriented) และการผลิตที่ต้องการผลผลิตที่สูงสุด โดยใช้ปัจจัยการผลิตจำนวนหนึ่ง (output oriented)



รูป 3.1 Input (a) and output (b) oriented efficiency measures

ในรูป 3.1 (a) ผู้ผลิตได้ทำการผลิต แสดงโดยเส้นระดับของผลผลิตเท่า (Iso (y^*_1,y^*_2)) ที่จุด A เป็นจุดที่ผลิตโดยใช้ปัจจัยการผลิตของผู้ผลิต ในระดับของผลผลิตเดียวกัน ผู้ผลิตสามารถผลิตที่จุด B บนเส้นผลผลิตเท่า (Iso (y^*_1,y^*_2)) ซึ่งแสดงระดับของปัจจัยการผลิตต่ำสุดที่ต้องการในการผลิต (y^*_1,y^*_2) ระดับประสิทธิภาพทางเทคนิค ในแบบ input oriented (TE_I (y,x)) เขียนได้เป็น OB/OA อย่างไรก็ตาม การใช้ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำสุดเพื่อที่จะผลิต (y^*_1,y^*_2) ก็คือ ที่จุด C (จุดที่อัตราการทดแทนทางเทคนิคหน่วยสุดท้าย (marginal rate of technical substitution)เท่ากับอัตราส่วนกลับของราคาของปัจจัยการผลิต w_2/w_1) ฉะนั้น ณ เทคนิคการผลิตของผู้ผลิตเดิม ระยะ BD เป็นตัววัดประสิทธิภาพของต้นทุน (CE (y,x,w)) เขียนได้ว่า OD/OA เมื่อผนวกดัชนีประสิทธิภาพทั้งสองเข้าด้วยกัน จะหมายถึงประสิทธิภาพรวม (AE) นั่นคือ

$$\begin{aligned} AE &= CE/TE \\ &= (OD/OA)/(OB/OA) \\ &= OD/OB \end{aligned}$$

เส้นความเป็นไปได้ในการผลิต (production possibility frontier) ในรูปที่ 3.1 (b) ซึ่งเป็นแบบ output oriented ถ้าปัจจัยการผลิตถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลผลิตที่ได้ของผู้ผลิต ที่กำลังผลิต ณ ที่จุด A ควรจะขยาย ไปที่จุด B นั่นคือ ประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE_O(y,x)) เขียนได้เป็น OA/OB ซึ่งจะเท่ากันกับ ประสิทธิภาพทางเทคนิค แบบ input oriented (TE_I(y,x)) ภายใต้เงื่อนไขของ Constant return to scale เท่านั้น ขณะที่จุด B คือจุดที่มีประสิทธิภาพทางเทคนิค บนเส้นความเป็นไปได้ในการผลิต การผลิตที่มีรายรับที่สูงกว่าคือ จุด C (จุดที่อัตราการทดแทนทางเทคนิค

หน่วยสุดท้าย (marginal rate of transformation) เท่ากับสัดส่วนของราคา p_2/p_1) ในกรณีนี้ ใช้ปัจจัยการผลิต y_1 มากกว่า y_2 เพื่อที่จะทำรายได้สูงสุด (maximize revenue) การที่จะได้รับระดับรายได้ดังเช่นที่จุด C ในขณะที่การจัดการการผลิตด้วยเทคนิคเดิม ผลผลิตของผู้ผลิตควรจะขยายไปที่จุด D เขียนได้ว่า ประสิทธิภาพทางต้นทุน(cost efficiency : CE (y,x,p)) คือ OA/OD และประสิทธิภาพรวม (AE) คือ

$$\begin{aligned} AE &= CE / TE \\ &= (OA/OD)/ (OA/OB) \\ &= OB/OD \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาจาก ฟังก์ชั่นพรหมแดนการผลิต (production frontier model) สมมุติการผลิตผลผลิต y_i โดยใช้ปัจจัยการผลิต x_i สามารถเขียนรูปแบบ ได้ ดังนี้ (Kumbhakar and Lovell, 2000)

$$y_i = f(x_i; \beta) \cdot TE_i \qquad (3.1)$$

การผลิต y_i โดยใช้ต้นทุนต่ำสุด (total minimum cost) TC_i โดยใช้ปัจจัยการผลิต x_i เพื่อผลิต y_i และราคาของปัจจัยการผลิต เป็น w_i ฟังก์ชั่นพรหมแดนของต้นทุน (cost frontier model) สามารถเขียนได้ดังนี้ (Linna and Hkkinen, 1996)

$$TC_i = c(y_I, w_I ; \beta) \qquad (3.2)$$

โดยที่ $y_I = (y_{I1}, \ldots\ldots, y_{mi})$ และ $w_I = (w_{I1}, \ldots\ldots w_{ni})$

และ $E_i \geq c(y_i, w_i ; \beta)$

โดยที่ $E_i = \sum_n w_{ni} x_{ni}$ คือ ต้นทุนของปัจจัยการผลิต (expenditure incurred by producer i for input n)

ประสิทธิภาพทางต้นทุน (cost efficiency: CE) คือ สัดส่วนของต้นทุนต่ำสุด TC_i ต่อต้นทุนของปัจจัยการผลิต (expenditure incurred by producer i) $E_i = \sum_n w_{ni} x_{ni}$ สามารถเขียนได้ดังนี้ (Linna and Hkkinen, 1996)

$$CE_i = TC_i / E_i \qquad (3.3)$$

ประสิทธิภาพทางเทคนิค (technical efficiency : TE) คือ สัดส่วนของจำนวนผลผลิตที่ผลิตได้จริง y_i ต่อผลผลิตที่มากที่สุดของ $f(x_i; \beta)$ (maximum feasible value of $f(x_i; \beta)$) สามารถเขียนได้ดังนี้ (Linna and Hkkinen, 1996)

$$TE_i = y_i / f(x_i; \beta)' \tag{3.4}$$

หรือ สัดส่วนของจำนวนปัจจัยการผลิตที่น้อยที่สุด (Minimum feasible input) x^* ต่อปัจจัยการผลิตที่ใช้จริง x_i สามารถเขียนได้ดังนี้ (Linna and Hkkinen, 1996)

$$TE_i = x_i^* / x_i \tag{3.5}$$

และประสิทธิภาพโดยรวม (allocative efficiency : AE) คือ สัดส่วนของ ประสิทธิภาพทางต้นทุน ต่อประสิทธิภาพทางเทคนิค สามารถเขียนได้ดังนี้ (Linna and Hkkinen, 1996)

$$AE_i = CE_i / TE_I \tag{3.6}$$

3.1.2 วิธีการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (Data Envelopment Analysis : DEA)

วิธีการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (Data Envelopment Analysis : DEA) เป็นการวิธีการที่ Charnes Cooper และ Rhodes ได้เสนอขึ้นในครั้งแรกจากงานสัมมนาวิชาการของพวกเขาในปี 1978 โดยเป็นวิธีการทางโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) ในการผลิตทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งพัฒนามาจากแนวความคิดของ Farrell (1957)

วิธีการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (DEA) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาประสิทธิภาพทางต้นทุน (cost efficiency : CE), ประสิทธิภาพทางเทคนิค (technical efficiency : TE) และประสิทธิภาพโดยรวม (allocative efficiency : AE) จากการใช้ปัจจัยการผลิต (inputs) เพื่อผลิตผลผลิต (outputs) ของหน่วยการผลิต การวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (DEA) เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบไม่มีพารามิเตอร์ (non – parametric approach) กล่าวคือ เป็นการวิเคราะห์โดยไม่ต้องมีรูปแบบของฟังก์ชั่นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ แต่จะใช้ฟังก์ชั่นในรูปแบบทั่วไป (general form) และในการวิเคราะห์ไม่จำเป็นจะต้องมีหน่วยตัดสินใจ (DMU) จำนวนมากนัก และเหมาะสำหรับการผลิตที่มีปัจจัยการผลิตและผลผลิตหลายชนิด

โดยทั่วไปประสิทธิภาพ (Efficiency) การผลิตผลผลิต (Output) 1 ชนิด ด้วยปัจจัยการผลิต (Input) 1 ชนิด สามารถวัดได้ด้วย ผลิตภาพของการผลิต (Productivity) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (DEA) โดยมีรูปแบบดังนี้ (Emrouznejad, 2001)

$$efficiency = \frac{output}{Input} \tag{3.7}$$

รูปแบบของการวัดประสิทธิภาพใน (3.7) ไม่เพียงพอที่จะสามารถใช้ได้ในกรณีที่มี ปัจจัยการผลิต และผลผลิตหลายชนิด ดังนั้น รูปแบบของการหาประสิทธิภาพในกรณี ปัจจัยการผลิต และผลผลิตหลายชนิด เป็นดังนี้ (Emrouznejad, 2001)

$$efficiency = \frac{weighted \quad sum \quad of \ output}{weighted \quad sum \quad of \ Input} \tag{3.8}$$

หรือสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_j = \frac{\sum_{i}^{m} u_{ij} y_{ij}}{\sum_{i}^{k} v_{ij} x_{ij}} \qquad j = 1,2,\ldots\ldots,n \tag{3.9}$$

โดยที่ E_j คือประสิทธิภาพของ หน่วยผลิตที่ n u เป็นเวกเตอร์ $m \times 1$ ของน้ำหนักถ่วงของผลผลิต y และ v เป็นเวกเตอร์ $k \times 1$ ของน้ำหนักถ่วงของปัจจัย x ซึ่งจากสมการ (2.9) นี้อาจเรียกว่า relative efficiency และจากสมการดังกล่าว เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพสูงสุด (maximize efficiency) สามารถจัดรูปแบบทางพีชคณิตได้ดังนี้ (Coelli et al, 2001)

$$Max \quad E_{j_0} = \frac{\sum_{i}^{m} u_{ij_0} y_{ij_0}}{\sum_{i}^{k} v_{ij_0} x_{ij_0}}$$

Subject to

$$\frac{\sum_{i}^{m} u_{ij} y_{ij}}{\sum_{i}^{k} v_{ij} x_{ij}} \le 1 \qquad j = 1,2,\ldots\ldots,n \tag{3.10}$$

$$u_{ij}, v_{ij} \ge 0$$

อย่างไรก็ตาม สมการ DEA ดังเช่น (3.10) ถึงแม้จะมีความยืดหยุ่นของน้ำหนักของปัจจัยการผลิตและผลผลิต แต่ก็มีปัญหาของทางเลือกที่เป็นไปได้หลายทางของสัดส่วนของน้ำหนักของปัจจัยการผลิตและผลผลิต ซึ่งบางครั้งอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กันกับปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Infinite number of solutions, that is, f (u*,v*) is a solution ,then (αu*,αv*) is another solution. (Coelli et al, 2001))

สมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งอยู่ในรูปสัดส่วน (fractional linear program) ดังสมการ (3.10) สามารถจัดรูปใหม่ให้อยู่ในรูปของ linear programming ได้ดังนี้ (Coelli et al, 2001)

$$Max \quad E_{j_0} = \sum_{i}^{m} u_{ij_0} y_{ij_0}$$

Subject to

$$\sum_{i}^{k} v_{ij_0} x_{ij_0} = 1$$

$$\sum_{i}^{m} u_{ij} y_{ij} - \sum_{i}^{k} v_{ij} x_{ij} \leq 0 \quad j = 1,2,\ldots\ldots,n \qquad (3.11)$$

$$u_{ij}, v_{ij} \geq 0$$

เมื่อใช้ คุณสมบัติ duality ของโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) ในสมการ (3.11) จะได้รูปแบบของ โปรแกรมเชิงเส้นดัง (3.12) ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นในรูปแบบทั่วไป (general form) ของการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (DEA) สามารถเขียนได้ดังนี้

1) รูปแบบทั่วไปของเส้นหุ้มด้านการผลิต (linear technical frontier)

ในการศึกษานี้จะใช้แบบของการมุ่งเน้นทางด้านปัจจัย (input oriented) นี้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นการหาเส้นเส้นพรหมแดน (frontier) ของการใช้ปัจจัยการผลิตต่ำสุด โดยแบ่งเป็นแบบผลได้คงที่ (constant return to scale; CRS) และแบบผลได้เปลี่ยนแปลง (variable return to scale; VRS) ซึ่งในแบบ VRS ได้เพิ่มข้อจำกัดของค่าความโค้ง (convexity constraint: $\sum_{j=1}^{N} \lambda_j = 1$) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

1.1) รูปแบบการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้มประเภทมุ่งเน้นทางด้านปัจจัยแบบผลได้คงที่ (input oriented DEA model (CRS)) (Coelli et al, 2001)

Minimize θ_{j_0}

Subject to

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j y_{ij} - y_{ij_0} \geq 0 \qquad i=1,\ldots,M$$
$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j x_{kj} - \theta_{j_0} x_{kj_0} \leq 0 \qquad k=1,\ldots,k \qquad (3.12)$$
$$\lambda_j \geq 0 \qquad j=1,\ldots,N$$

1.2) รูปแบบการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้มประเภทมุ่งเน้นทางด้านปัจจัยแบบผลได้เปลี่ยนแปลง (input oriented DEA model (VRS)) (Coelli et al, 2001)

Minimize θ_{j_0}

Subject to

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j y_{ij} - y_{ij_0} \geq 0 \qquad i=1,\ldots,M$$
$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j x_{kj} - \theta_{j_0} x_{kj_0} \leq 0 \qquad k=1,\ldots,k \qquad (3.13)$$
$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j = 1$$
$$\lambda_j \geq 0 \qquad j=1,\ldots,N$$

ให้ N = จำนวนของฟาร์มตัวอย่าง M = จำนวน output

K = จำนวน input λ_j = น้ำหนักถ่วงของ ฟาร์ม j

y_{ij} = output ที่ i ของ ฟาร์ม j และ x_{kj} = input ที่ k ของ ฟาร์ม j

θ_{j_0} = ตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางเทคนิคของฟาร์มที่พิจารณา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

2) รูปแบบทั่วไปของเส้นห่อหุ้มด้านต้นทุน (linear cost frontier)

ซึ่งจะเป็นการหาเส้นพรหมแดน (frontier) ของ ต้นทุนต่ำสุด (minimum cost) จะได้ดัง (3.13) (Coelli et al, 2001)

$$\text{Minimize} \quad TC_{j0} = \sum_{k=1}^{K} c_{kj0}.x^{*}_{kj0}$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j y_{ij} - y_{ij_0} \geq 0 \qquad \text{I=1,....,M}$$

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j x_{kj} - x^{*}_{kj_0} \leq 0 \qquad \text{k=1,....,K} \qquad (3.14)$$

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad \text{j=1,....,N}$$

ประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$CE_{j0} = TC_{j0} / E_{j0} \qquad (3.15)$$

โดยที่ $E_{j0} = \sum_{k=1}^{K} c_{kj0}.x_{kj0}$ หรือต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงของฟาร์ม j_0 (3.16)

ให้ N = จำนวนของฟาร์มตัวอย่าง

M = จำนวน output

K = จำนวน input

λ_j = น้ำหนักถ่วงของ ฟาร์ม j

y_{ij} = output ที่ i ของ ฟาร์ม j

x_{kj} = input ที่ k ของ ฟาร์ม j

c_{kj} = ราคา input ที่ k ของ ฟาร์ม j

หรือสามารถเขียนสมการเชิงเส้นของประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) ได้ ดังนี้ (Linna and Häkkinen, 1996)

Minimize ϕ_{j_0}

Subject to

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j y_{ij} - y_{ij_0} \geq 0 \qquad \text{I=1,....,M}$$

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j c_{kj} - \phi_{j_0} c_{kj_0} \leq 0 \qquad \text{k=1,....,K} \qquad (3.17)$$

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad \text{j=1,....,N}$$

ให้ N = จำนวนของฟาร์มตัวอย่าง

M = จำนวน output

K = จำนวน input

λ_j = น้ำหนักถ่วงของ ฟาร์ม j

y_{ij} = output ที่ i ของ ฟาร์ม j

c_{kj} = ราคา input ที่ k ของ ฟาร์ม j

ϕ_{j_0} = ตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางต้นทุนของฟาร์มที่พิจารณา

3) รูปแบบทั่วไปการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยรวม (allocative efficiency : AE)

มีรูปแบบดังนี้

$$AE_{j_0} = \frac{CE_{j_0}}{TE_{j_0}} \qquad (3.18)$$

ให้ AE_{j0} = ประสิทธิภาพโดยรวมของฟาร์ม j0

CE_{j0} = ประสิทธิภาพทางต้นทุนของฟาร์ม j0

TE_{j0} = ประสิทธิภาพทางเทคนิคของฟาร์ม j0

3.2 วิธีการศึกษา

ในการศึกษานี้ ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analysis)

ในส่วนข้อมูลทั่วไปของฟาร์มสุกร บ่อก๊าซชีวภาพ ตลอดจนสภาพเศรษฐกิจ สังคม ของเจ้าของฟาร์มสุกร อันได้แก่ ข้อมูลครัวเรือนของเกษตรกร ระดับการศึกษา ลักษณะการถือครองที่ดิน รายได้และอื่น ๆ ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางสถิติอย่างง่าย เช่น ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย

3.2.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis)

1) การประมาณมูลสัตว์

ปริมาณมูลของสัตว์จะแบ่งเป็นการประมาณสุกร และโคที่เลี้ยงในฟาร์มของเกษตรกรตัวอย่าง ดังนี้

1.1) การประมาณมูลสุกร

การประมาณมูลสุกรจะมีข้อสมมุติ ดังนี้

(1) สุกรทุกตัวมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากัน คือ ประมาณ 0.83 กิโลกรัมต่อวัน

(2) สุกรขุนทุกตัวมีจะมีน้ำหนักเมื่อเริ่มขุนที่ 15 กิโลกรัม

(3) ระยะเวลาในการเลี้ยงแบบขุน คือ 90 วัน

(4) พ่อพันธุ์มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 250 กิโลกรัม และแม่พันธุ์มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 170 กิโลกรัม

การประมาณมูลสุกรขุนในรอบระยะเวลาขุน สามารถเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$tdd_1 = N_1\left[\sum_{n=0}^{90}\left[W_0 + n(ADG)\right]\times \text{Daily dung yield}\right] / D$$

$$tdd_1 = N_1\left[\sum_{n=0}^{90}\left[15 + n(0.83)\right]\times 0.02\right] / 90 \qquad (3.19)$$

การประมาณมูลสุกรพ่อพันธุ์ สามารถเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$tdd_2 = N_2\left[W \times \text{Daily dung yield}\right]$$

$$tdd_2 = N_2\left[W \times 0.02\right] \qquad (3.20)$$

การประมาณมูลสุกรพ่อพันธุ์ สามารถเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$tdd_3 = N_3\left[W \times \text{Daily dung yield}\right]$$

$$tdd_3 = N_3\left[W \times 0.02\right] \qquad (3.21)$$

ปริมาณมูลสุกรทั้งหมดต่อวันของฟาร์ม สามารถเขียนได้ดังนี้

ปริมาณมูลสุกรทั้งหมดต่อวันของฟาร์มi = $(tdd_1) + (tdd_2) + (tdd_3)$ (3.22)

โดยที่

tdd (total dung per day) คือ ปริมาณมูลที่ขับถ่ายต่อวันของสัตว์ (กิโลกรัม)

Daily dung yield คือ ร้อยละของสิ่งขับถ่ายต่อน้ำหนักตัว โดยที่ของสุกรจะมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 2 (หรือ 0.02) ของน้ำหนักตัว

W_0 คือ น้ำหนักเริ่มต้นเมื่อเริ่มขุน (กิโลกรัม)

W คือ น้ำหนักสุกรพ่อพันธุ์ หรือแม่พันธุ์ (กิโลกรัม)

ADG คือ อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวัน (กิโลกรัม/วัน)

n คือ วันที่ขุน

D คือ ระยะเวลาในการเลี้ยงแบบขุน (วัน)

N คือ จำนวนสุกร

1.2) การประมาณมูลโค

การประมาณมูลโคจะมีข้อสมมุติ ดังนี้

โคโตเต็มที่เพศผู้จะมีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 850 กิโลกรัม และโคโตเต็มที่เพศเมียจะมีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 650 กิโลกรัม

ปริมาณมูลโคทั้งหมดต่อวันของฟาร์ม สามารถเขียนได้ดังนี้

$$tdd_{cow} = N_{cow}\left[W_{cow} \times \text{Daily dung yield}_{cow}\right]$$

$$tdd_{cow} = N_{cow}\left[W_{cow} \times 0.05\right] \qquad (3.23)$$

โดยที่

tdd_{cow} (total dung per day) คือ ปริมาณมูลที่ขับถ่ายต่อวันของโค(กิโลกรัม)

Daily dung $yield_{cow}$ คือ ร้อยละของสิ่งขับถ่ายต่อน้ำหนักตัว โดยที่ของโคจะมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5 (หรือ 0.05) ของน้ำหนักตัว

W_{cow} คือ น้ำหนักโคยืนคอกโตเต็มที่(กิโลกรัม)

2) การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยในแต่ละวัน (G, m^3/day) สามารถคำนวณได้จากปริมาณสารที่เป็นตัวการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (VS-Volatile Solid) และอัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ (specific Gy) ดังสมการ (Werner et al., 1989)

$$G = (\text{kg VS-input} \times \text{specific Gy})/1000 \quad (3.24)$$

$$\text{specific Gy} = Gy \times f_{T,RT} \quad (3.25)$$

$$\text{VS-input} = \text{total dung per day} \times (\%\text{VS in dung}) \quad (3.26)$$

โดยที่

G คือ ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยในแต่ละวัน (m^3/day)

VS-input คือ ปริมาณสารที่เป็นตัวการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (VS-Volatile Solid)

%VS in dung คือ ร้อยละของปริมาณสารที่เป็นตัวการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (VS)

specific Gy คือ อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ

Gy คือ อัตราการเกิดก๊าซเฉลี่ย ดังแสดงในตาราง 3.1

$f_{T,RT}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ดังแสดงในรูป 3.2

จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 ค่าร้อยละของปริมาณสารที่เป็นตัวการผลิตก๊าซชีวภาพ ต่อวัน (%VS in dung) ของสุกรเท่ากับ 12% และของโคเท่ากับ 13% และค่าอัตราการเกิดก๊าซเฉลี่ย (Gy) ของสุกร เท่ากับ 450 l/kg และโค เท่ากับ 350 l/kg

กำหนดให้ระยะเวลาในการหมักก๊าซของบ่อหมักก๊าซเท่ากับ 40 วันและค่าอุณหภูมิของบ่อหมักเท่ากับ 37 °C จากรูป 3.2 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) ประมาณ 1.18 ดังนั้น

จากสมการที่ 3.22-3.24 ปริมาณก๊าซเฉลี่ยต่อวันของฟาร์มสุกร (ลบ.ม./วัน) จะหาได้จาก

$$G_{pig} = ((\text{total dung per day} \times 0.12) \times (450 \times 1.18))/1000$$

$$G_{pig} = (\text{total dung per day} \times 63.72)/1000 \quad (3.27)$$

ปริมาณก๊าซเฉลี่ยต่อวันของฟาร์มโค (ลบ.ม./วัน) จะหาได้จาก

$$G_{cow} = ((\text{total dung per day} \times 0.13) \times (350 \times 1.18))/1000$$

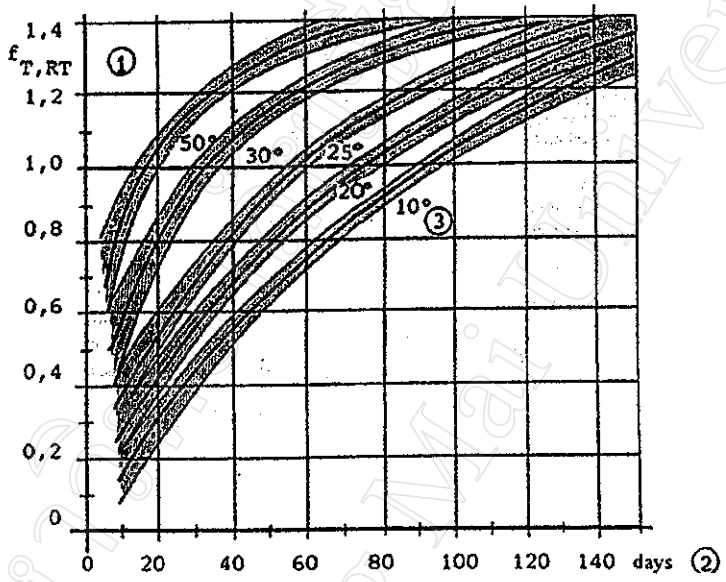
$$G_{cow} = (\text{total dung per day} \times 53.69)/\ 1000 \quad (3.28)$$

ตาราง 3.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากมูลของสุกร และโค (Gy)

ประเภทสัตว์	Gas-yield rang (l/kg VS[1])	Average gas yield (l/kg VS[1])	Daily dung yield (% of liveweight)	Fresh manure solid (%VS in dung)
สุกร	340-550	450	2	12
โค	150-350	250	5	13

[1]Fed Volatile Solid

ที่มา Werner et al. (1989)



รูป 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ ณ อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ (Werner et al., 1989)

โดยที่

(1) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$)

(2) คือ ระยะเวลาในการหมักก๊าซ (วัน)

(3) คือ อุณหภูมิในการหมักก๊าซ ($^{\circ}C$)

3) การคำนวณอัตราการใช้น้ำ

ในการประมาณการใช้น้ำของเกษตรกร จะสมมุติให้เกษตรกรใช้เครื่องสูบน้ำแบบหมุนเหวี่ยงดูดทางเดียว (single suction centrifugal pumps) มีสมการคำนวณดังนี้ (ประเสริฐ, 2541)

$$N_s = \frac{51.64NQ^{0.5}}{H^{0.75}} \tag{3.29}$$

โดยที่

N_s คือ อัตราเร็วจำเพาะ (specific speed) ที่ประสิทธิภาพสูงสุด = 2,500 รอบ/นาที

N คือ อัตราเร็วของใบพัด (รอบ/นาที)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/นาที)

H คือ ค่าเฮด หรือ ระดับความลึกที่ทำการสูบน้ำ (เมตร)

4) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพทางของบ่อก๊าซชีวภาพ จะทำการวิเคราะห์โดยวิธีการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (Data Envelopment Analysis: DEA) เพื่อหา ประสิทธิภาพทางต้นทุน (cost efficiency: CE) ประสิทธิภาพทางเทคนิค (technical efficiency: TE) และประสิทธิภาพโดยรวม (allocative efficiency : EE) ของบ่อก๊าซชีวภาพทั้งในฟาร์มสุกรและฟาร์มโค โดยมีรูปแบบสมการและข้อมูลที่เป็นปัจจัยการผลิต (input) และ ผลผลิต (output) ของทั้งฟาร์มสุกร และฟาร์มโค ดังนี้

2.1) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิค (technical efficiency : TE) มีรูปแบบดังนี้

Linear technical frontier

Technical Efficiency of farm j_0

Minimize θ_{j_0}

Subject to

$$\begin{aligned}
& y_{11}\lambda_1 + y_{12}\lambda_2 + y_{13}\lambda_3 + ... + y_{1N}\lambda_N - y_{1j_0} \geq 0 \\
& y_{21}\lambda_1 + y_{22}\lambda_2 + y_{23}\lambda_3 + ... + y_{2N}\lambda_N - y_{2j_0} \geq 0 \\
& x_{11}\lambda_1 + x_{12}\lambda_2 + x_{13}\lambda_3 + ... + x_{1N}\lambda_N + \theta_{j_0}x_{1j_0} \leq 0 \\
& x_{21}\lambda_1 + x_{22}\lambda_2 + x_{23}\lambda_3 + ... + x_{21N}\lambda_N + \theta_{j_0}x_{2j_0} \leq 0 \\
& x_{31}\lambda_1 + x_{32}\lambda_2 + x_{33}\lambda_3 + ... + x_{3N}\lambda_N + \theta_{j_0}x_{3j_0} \leq 0 \\
& \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + ... + \lambda_N = 1 \\
& \lambda_j \geq 0 \qquad j=1,\ldots,N \text{ farm}
\end{aligned} \tag{3.30}$$

2.2) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางต้นทุน (cost efficiency : CE) มีรูปแบบดังนี้

Linear cost frontier

Cost Efficiency of farm j_0

Minimize ϕ_{j_0}

Subject to

$$y_{11}\lambda_1 + y_{12}\lambda_2 + y_{13}\lambda_3 + ... + y_{1N}\lambda_N - y_{1j_0} \geq 0$$

$$y_{21}\lambda_1 + y_{22}\lambda_2 + y_{23}\lambda_3 + ... + y_{2N}\lambda_N - y_{2j_0} \geq 0 \qquad (3.31)$$

$$c_{11}\lambda_1 + c_{12}\lambda_2 + c_{13}\lambda_3 + ... + c_{1N}\lambda_N + \phi_{j_0}c_{1j_0} \leq 0$$

$$c_{21}\lambda_1 + c_{22}\lambda_2 + c_{23}\lambda_3 + ... + c_{2N}\lambda_N + \phi_{j_0}c_{2j_0} \leq 0$$

$$c_{31}\lambda_1 + c_{32}\lambda_2 + c_{33}\lambda_3 + ... + c_{31N}\lambda_N + \phi_{j_0}c_{3j_0} \leq 0$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + ... + \lambda_N = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad j=1,....,N \text{ farm}$$

โดยที่

θ_{j0} คือ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

Φ_{j0} คือ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

y_{1j0} คือ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการปฏิบัติโดยการเปรียบเทียบ(ลบ.ม./วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

y_{2j0} คือ ปุ๋ยอินทรีย์ (กิโลกรัม/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

x_{1j0} คือ มูลสุกร มูลโค (กิโลกรัม/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

x_{2j0} คือ แรงงานที่ใช้ เฉลี่ยต่อวัน(MD/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

x_{3j0} คือ ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน (ลบ.ม./วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่พิจารณา

y_{1N} คือ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการปฏิบัติโดยการเปรียบเทียบ(ลบ.ม./วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

y_{2N} คือ ปุ๋ยอินทรีย์ (กิโลกรัม/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

x_{1N} คือ มูลสุกร,มูลโค (กิโลกรัม/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

x_{2N} คือ แรงงานที่ใช้ เฉลี่ยต่อวัน(MD/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

x_{3N} คือ ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน (ลบ.ม./วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

c_{1N} คือ ราคามูลสุกร, มูลโค (บาท/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

c_{2N} คือ ราคาแรงงานที่ใช้ (บาท/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

c_{3N} คือ ราคาน้ำที่ใช้ (บาท/วัน) ของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

λ_N คือ ถ่วงน้ำหนักของบ่อก๊าซชีวภาพที่ N

2.3) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยรวม (allocative efficiency: AE)

มีรูปแบบดังนี้

$$AE_{j_0} = \frac{CE_{j_0}}{TE_{j_0}} \tag{3.32}$$

โดยที่มีปัจจัยการผลิต (inputs) ผลผลิต (outputs) และราคาปัจจัยการผลิต ดังต่อไปนี้

(1) ปัจจัยการผลิต (inputs)

X_1 คือ ปริมาณมูลสุกร หรือมูลโคที่ประมาณได้ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (กิโลกรัม/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

X_2 คือ แรงงานที่ใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ (MD/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

X3 คือ น้ำที่ใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

Y1 คือ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการปฏิบัติโดยการเปรียบเทียบ (ลบ.ม./วัน)

Y2 คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากบ่อกาซชีวภาพ (กิโลกรัม/วัน)

3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหว(Sensitivity Analysis)

จากค่าของประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) และประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) ที่ได้จากการวิเคราะห์เส้นห่อหุ้ม (DEA) จะถูกนำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อขจัดตัวแปรปัจจัยการผลิต (input) ที่อาจจะมีอิทธิพลต่อค่าของประสิทธิภาพมากเกินไป โดยใช้แบบจำลองที่ Zimmerman (2000) ได้เสนอไว้ ดังนี้

3.1) สร้างแบบจำลอง DEA ทั้งแบบผลได้คงที่ (CRS) และแบบผลได้เปลี่ยนแปลง (VRS) ขึ้นมาใหม่ทั้งหมด ซึ่งแบบจำลองใหม่นี้ได้มาจากการตัดปัจจัยการผลิตในแบบจำลองเดิมทีละตัวแปร ดังมีรูปแบบ ดังนี้

แบบจำลองที่ 1

ปัจจัยการผลิต (input) ได้แก่

X_1 คือ ปริมาณมูลสุกร หรือมูลโคที่ประมาณได้ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (กิโลกรัม/วัน) และมีมูลค่า เป็นบาท/วัน

X_2 คือ แรงงานที่ใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ (MD/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

แบบจำลองที่ 2

ปัจจัยการผลิต(input) ได้แก่

X_1 คือ ปริมาณมูลสุกร หรือมูลโคที่ประมาณได้ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (กิโลกรัม/วัน) และมีมูลค่า เป็นบาท/วัน

X_3 คือ น้ำที่ใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

แบบจำลองที่ 3

ปัจจัยการผลิต(input) ได้แก่

X_2 คือ แรงงานที่ใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ (MD/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

X_3 คือ น้ำที่ใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม/วัน) และมีมูลค่าเป็นบาท/วัน

และผลผลิต(output) ของแบบจำลองที่ 1-3 ได้แก่

Y_1 คือ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการปฏิบัติโดยการเปรียบเทียบ (ลบ.ม/วัน)

Y_2 คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากบ่อกาซชีวภาพ (กิโลกรัม/วัน)

3.2) ทดสอบการแจกแจงของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองใหม่ทั้งแบบผลได้คงที่ (CRS) และแบบผลได้เปลี่ยนแปลง (VRS) ด้วยค่าสถิติ Shapiro-Wilk จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ระหว่างค่าของประสิทธิภาพจากแบบจำลองเดิม กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ โดยทดสอบทั้งแบบที่ผลได้คงที่ (CRS) และแบบผลได้เปลี่ยนแปลง (VRS) กรณีค่าการแจกแจงของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองใหม่เป็นแบบปกติ จะทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มแบบใช้พารามิเตอร์ด้วยค่าสถิติ t-test และ กรณีค่าการแจกแจงของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองใหม่เป็นแบบไม่ปกติ จะทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ด้วยค่าสถิติ (Mann-Whitney U test)

4) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางประสิทธิภาพ

จะเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลผลิตของบ่อก๊าซชีวภาพ โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบ Tobit มีรูปแบบ ดังนี้ (Ruggiero, 1998)

$$y_i^u = h(Z_i) + \epsilon_i \tag{3.33}$$

จาก 3.33 ค่า error term (ϵ_i) แสดงถึงค่าระดับความไม่มีประสิทธิภาพของแต่ละฟาร์ม และสามารถเขียนรูปแบบ ได้ดังนี้ (Ruggiero, 1998)

$$y^u = \alpha_0 + \alpha_1 Z_1 + \ldots + \alpha_L Z_L + \epsilon \tag{3.34}$$

เมื่อปรับค่าของ error term (ϵ_i) ให้อยู่ในช่วงของค่าระดับประสิทธิภาพ ($0 \leq \epsilon_i \leq 1$) การประมาณค่าประสิทธิภาพ สามารถเขียนได้ดังนี้ (Ruggiero, 1998)

$$y_i^* = \epsilon_i + (1 - \underset{j}{Max}\ \epsilon_j) \tag{3.35}$$

โดยที่

y_i = ประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) ประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) และประสิทธิภาพโดยรวม AE) ของฟาร์มที่ i

$h(Z_i)$ = ผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อค่าประสิทธิภาพ

ϵ_i = ค่า error term แสดงถึงระดับประสิทธิภาพของแต่ละฟาร์ม

$\underset{j}{Max}\ \epsilon_j$ = ค่า error term สูงสุด หรือค่าระดับประสิทธิภาพสูงสุด

จาก 3.35 ค่า error term (ϵ_i) จะมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่าของระดับประสิทธิภาพที่ปรับแก้แล้ว (y_i^*) จะมีค่าสูงสุดเป็น 1 และมีค่าต่ำสุดคือศูนย์ ฉะนั้นค่าประมาณของประสิทธิภาพของแต่ละฟาร์มจะมีอยู่ระหว่างช่วง ศูนย์ถึง 1

การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับประสิทธิภาพ โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบ Tobit จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Limdep version 7.0 ในการวิเคราะห์ โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

E_{1n} = f (ปริมาณมูลสดต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน แรงงานที่ใช้ต่อวัน ขนาดพื้นฟาร์ม จำนวนแรงงาน ขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ จำนวนครั้งของการเข้าฝึกอบรมต่อปี จำนวนครั้งของการได้ที่รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่ต่อปี ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ และปริมาณการใช้ก๊าซถัง (LPG)) (3.36)

E_{2n} = f (ปริมาณมูลสดต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน แรงงานที่ใช้ต่อวัน ขนาดพื้นฟาร์ม จำนวนแรงงาน ขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ จำนวนครั้งของการเข้าฝึกอบรมต่อปี จำนวนครั้งของการได้ที่รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่ต่อปี ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ และปริมาณการใช้ก๊าซถัง (LPG)) (3.37)

E_{3n} = f (ปริมาณมูลสดต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน แรงงานที่ใช้ต่อวัน ขนาดพื้นฟาร์ม จำนวนแรงงาน ขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ จำนวนครั้งของการเข้าฝึกอบรมต่อปี จำนวนครั้งของการได้ที่รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่ต่อปี ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ และปริมาณการใช้ก๊าซถัง (LPG)) (3.38)

โดยที่

E_{1n} = ประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) ประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) และประสิทธิภาพโดยรวม AE) ของฟาร์มสุกรที่ n

E_{2n} = ประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) ประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) และประสิทธิภาพโดยรวม AE) ของฟาร์มโคที่ n

E_{3n} = ประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) ประสิทธิภาพทางต้นทุน (CE) และประสิทธิภาพโดยรวม AE) ของฟาร์มที่ n (ฟาร์มโคและฟาร์มสุกร)

ตัวแปรปัจจัยภายใน ได้แก่ ปริมาณมูลสดต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน และแรงงานที่ใช้ต่อวัน ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้

ตัวแปรปัจจัยภายนอก ได้แก่ จำนวนแรงงาน ขนาดพื้นฟาร์ม ขนาดบ่อก๊าซชีวภาพจำนวนครั้งของการเข้าฝึกอบรมต่อปี จำนวนครั้งของการได้รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่ต่อปี และปริมาณการใช้ก๊าซถัง (LPG)

ปริมาณมูลสดต่อวัน = ปริมาณของมูลสดของสัตว์ที่ยืนคอก และได้ปล่อยลงสู่บ่อก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมของฟาร์มที่ n

ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน	=	ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวันของบ่อก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรของฟาร์มที่ n
แรงงานที่ใช้ต่อวัน	=	แรงงานที่เกี่ยวข้องกับบ่อก๊าซชีวภาพที่ใช้ต่อวัน มีหน่วยเป็น Man day ของฟาร์มที่ n
จำนวนแรงงาน	=	จำนวนแรงงานที่ใช้ในฟาร์ม มีหน่วยเป็น คน ของฟาร์มที่ n
ขนาดพื้นฟาร์ม	=	ขนาดพื้นที่ฟาร์ม มีหน่วยเป็น ไร่ ของฟาร์มที่ n
ขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ	=	ขนาดของบ่อก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร ของฟาร์มที่ n
จำนวนครั้งของการเข้าฝึกอบรมต่อปี	=	จำนวนครั้งที่เกษตรกรเข้าของบ่อก๊าซชีวภาพได้เข้าฝึกอบรมเรื่องที่เกี่ยวข้องกับบ่อก๊าซชีวภาพต่อปีของฟาร์มที่ n
จำนวนครั้งของการได้รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่ต่อปี	=	จำนวนครั้งที่เกษตรกรเข้าของบ่อก๊าซชีวภาพได้รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่ต่อปี ของฟาร์มที่ n
ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้	=	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของฟาร์มที่ n
ปริมาณการใช้ก๊าซถัง (LPG)	=	ปริมาณการใช้ก๊าซถัง (LPG) ของฟาร์มที่ n

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University