บทที่ 3
วิธีการวิเคราะห์

การศึกษาในที่นี้แบ่งการสร้างแบบจำลองเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งจะสร้างแบบจำลองสมการการผลิต (Production Function), สมการการปล่อยก๊าซ (Emission Function) และ สมการอุปสงค์ของสินค้า (Demand Function) สมการหลักทั้ง 3 สมการนี้เป็นการทำ Regression โดยใช้วิธี OLS จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Econometric Views (Eviews) เมื่อได้สมการหลักทั้งสาม แล้วก็จะทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไว้ใช้ในส่วนที่สองต่อไป

สำหรับส่วนที่สอง จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการทั้งสามนี้เข้าใส่ไว้ในสมการกำไรโดยเงื่อนไขการทำกำไรสูงสุด (Profit Maximization) ภายใต้ข้อจำกัดอัตราผลได้จากการถือทุน (Rate of Return Contraint) จากนั้นนำมาทำให้เป็น Lagrangian Function โดยแยกทำทั้งกรณีที่มีการใช้มาตรการบังคับและควบคุมโดยตรง และกรณีที่มีการค้าใบอนุญาตการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อมาก็ทำ Partial Differentiate ทั้งสมการให้ได้ First-Order Necessary Conditions แล้วทำการแก้ระบบสมการเพื่อหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญ ณ จุดดุลยภาพ ภายใต้ข้อจำกัดอัตราผลได้จากการถือทุน ทั้งนี้ในขณะที่ทำการแก้ระบบสมการเหล่านี้ จะมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรซึ่งมีผลต่อการติดตั้งเครื่องบำบัด และระดับของการค้าใบอนุญาต ณ อัตราพื้นฐาน เพื่อให้ได้ส่วนผสมของการจำกัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ให้สวัสดิการสังคมสูงที่สุด สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Mathcad 7 Professional ในการแก้ระบบสมการที่เป็น Non-Linear

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองในหนึ่งช่วงเวลา (Single-Period Model) ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งแต่ละหน่วยการผลิตของแต่ละโรงไฟฟ้ามีเทคโนโลยีการผลิตที่เหมือนกัน แต่มีเทคโนโลยีการจำกัดการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีฟังก์ชันการผลิตอันเดียวกัน แต่ฟังก์ชันการปล่อยแตกต่างกัน

I 19235491

3.1 ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์

ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีหน่วยการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด 13 เครื่อง เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับจากโรงไฟฟ้ามีการรวมหน่วยการผลิตไฟฟ้าออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ เครื่องที่ 1 – 3, เครื่องที่ 4 – 7 และ เครื่องที่ 8 – 13 ดังนั้น การนำข้อมูลมาวิเคราะห์จะกระทำเป็นกลุ่มของหน่วยการผลิต ซึ่งในที่นี้ได้เลือกมา 2 กลุ่มคือ เครื่องที่ 4 – 7 และ เครื่องที่ 8 – 13 ให้เป็นตัวแทนของโรงไฟฟ้าที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มการผลิตของเครื่องที่ 1 – 3 จะไม่นำมาใช้วิเคราะห์ เนื่องจากมีปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าและมีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสัดส่วนที่น้อยมาก อีกทั้งยังไม่มีการติดตั้งเครื่องบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อีกด้วย[1]

ข้อมูลพื้นฐาน หรือข้อมูลเชิงบรรยายที่ใช้ประกอบการเขียนได้มาจากแหล่งต่าง ๆ อันได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ ศูนย์สารสนเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ สถาบันวิทยบริการ ศูนย์เอกสารประเทศไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องสมุดป๋วย อึ๊งภากรณ์ คณะเศรษฐศาสตร์ และหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ข้อมูลเชิงปริมาณเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้รับจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อันได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า ปริมาณการใช้ลิกไนต์ ราคาลิกไนต์ ฯลฯ เป็นข้อมูลรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2530 ถึง พ.ศ.2541 รวมเวลา 12 ปี

3.2 ข้อสมมติที่ใช้ในการศึกษา

ก่อนที่จะทำการศึกษาแบบจำลองใด ๆ ก็ตาม จำเป็นต้องมีการกำหนดข้อสมมติที่ใช้ในการศึกษาเสียก่อน เนื่องจากสภาพความเป็นจริงของระบบเศรษฐกิจและสังคมมีปัจจัยภายนอกหลายอย่างที่ทำให้การศึกษามีความยุ่งยาก และไม่สามารถนำปัจจัยเหล่านั้นมารวบรวมไว้ในแบบจำลองเดียวได้หมด การกำหนดข้อสมมติให้การศึกษาแคบลงจะช่วยให้การวิเคราะห์นั้นง่ายขึ้นและไม่ยุ่งยากจนไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้สำเร็จ การศึกษาแบบจำลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีข้อจำกัดบางประการที่ต้อง

---

[1] จึงทำให้ไม่สามารถหาสมการการปล่อยก๊าซซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าและการติดตั้งเครื่องบำบัดได้

สมมติขึ้น อย่างไรก็ตามหากมีการนำเอาสภาพความเป็นจริงเข้ามาเกี่ยวข้อง ก็จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่ให้รับกับการศึกษานั้นต่อไป[5]

ข้อสมมติต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา มีดังต่อไปนี้

1) โรงไฟฟ้าทั้งสองแห่งเป็นธุรกิจที่มีผู้ขายน้อยรายในตลาดสินค้า ค่าไฟฟ้าและปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นไปตามกฎของอุปสงค์ แต่ตลาดปัจจัยผันแปรเป็นตลาดเสรี มีการแข่งขันสมบูรณ์ ดังนั้น ราคาลิกไนต์ที่โรงไฟฟ้ารับมาจึงคงที่

2) โรงไฟฟ้าทั้งสองไม่มีกลยุทธ์ตอบโต้มาตรการของแต่ละฝ่าย หรือปริมาณการผลิตของโรงงานหนึ่ง จะไม่กระทบต่อการตัดสินใจในการผลิตของอีกโรงงาน

3) การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นแบบ Uniformly Mixed

4) ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แปรผันกับปริมาณของผลผลิต และแปรผกผันกับอัตราการติดตั้งเครื่องกำจัดซัลเฟอร์ (Scrubber or Abatement Capital)

5) โรงไฟฟ้าทั้งสองมีเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่เหมือนกัน แต่เทคโนโลยีการกำจัดมลพิษต่างกัน นั่นคือมีฟังก์ชันการผลิตเหมือนกัน แต่ฟังก์ชันการปล่อยก๊าซพิษต่างกัน

6) โรงไฟฟ้าทั้งสอง เป็นผู้ยอมรับราคาของใบอนุญาตในตลาดการค้าใบอนุญาต และให้มีการค้าใบอนุญาตอย่างเสรีระหว่างสองโรงไฟฟ้า และถือเป็นตลาดแข่งขันสมบูรณ์ โดยไม่มีการประมูลและไม่มีตัวแทน หรือการซื้อขายผ่านนายหน้าค้าใบอนุญาตแต่อย่างใด อีกทั้งยังสมมติให้ไม่มี Transaction Cost ในการซื้อขายใบอนุญาตด้วย

7) การกำหนดอัตราพื้นฐานของการจัดการควบคุมการปล่อยก๊าซ และการจัดสรรใบอนุญาต เป็นไปโดยรัฐบาล

8) การจัดสรรใบอนุญาตเริ่มแรกใช้หลักการที่ให้ลดระดับการปล่อยเป็นสัดส่วนของการปล่อยที่มีอยู่เดิม โดยกำหนดให้โรงไฟฟ้าได้ใบอนุญาตการปล่อยเท่ากับร้อยละ 50 ของการปล่อยเฉลี่ยเฉพาะในช่วงปี พ.ศ.2539 – 2541[6] ซึ่งปริมาณการปล่อยนี้จะเท่ากับปริมาณที่รัฐอนุญาตให้โรงไฟฟ้าทั้งสองทำการปล่อยได้ในกรณีบังคับและควบคุมโดยตรง

---

[5] การอภิปรายด้านข้อจำกัดของแบบจำลอง และข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ที่ทำให้ต้องมีการกำหนดข้อสมมติในการศึกษาขึ้นนั้น จะอยู่ในส่วนของข้อเสนอแนะในบทที่ 5

[6] เนื่องจากในปี พ.ศ.2539 – 2541 ได้มีการดำเนินการผลิตไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าแม่เมาะครบทั้ง 13 เครื่องแล้ว

3.3 นิยามตัวแปรและฟังก์ชันที่ใช้ในการศึกษา

มีการกำหนดให้ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา เป็นดังนี้

i	แทน	โรงไฟฟ้าที่ 1 และ 2
q_i	แทน	ระดับของผลผลิต
	หรือ	ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Gwh)
p_i	แทน	ราคาของผลผลิต
	หรือ	ค่าขายไฟฟ้าเฉลี่ยรายปี (Baht/Kwh)
x_i	แทน	ปัจจัยการผลิตผันแปร
	หรือ	ปริมาณลิกไนต์ (million ton)
k_{1i}	แทน	ปัจจัยการผลิตทุน (production capital)
	หรือ	มูลค่าเครื่องจักร (million Baht)
k_{2i}	แทน	ปัจจัยทุนที่ใช้ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (abatement capital)
	หรือ	มูลค่าเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization - FGD)
w	แทน	ผลตอบแทนของปัจจัยผันแปร
	หรือ	ราคาลิกไนต์เฉลี่ยปี (บาท/ตัน)
s	แทน	ผลตอบแทนของปัจจัยทุน ณ ราคาตลาด
	หรือ	อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ในปัจจุบัน
r	แทน	ผลตอบแทนของปัจจัยทุนของ กฟผ.
	หรือ	อัตราดอกเบี้ยที่กฟผ.ต้องจ่าย
E_i	แทน	ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกกำหนดโดยรัฐ
e_i	แทน	ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้า
L_i	แทน	ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนมีการค้าใบอนุญาต
	หรือ	ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อนุญาตให้ปล่อยได้ตามใบอนุญาตที่ได้รับ
l_i	แทน	ปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หลังมีการค้าใบอนุญาต
p_l	แทน	ราคาของใบอนุญาต
φ	แทน	ระดับของการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ณ อัตราพื้นฐาน มีค่าอยู่ในช่วงปิด 0 ถึง 1

θ แทน ระดับของการค้าใบอนุญาตของธุรกิจที่รวมเข้าไป ณ อัตราพื้นฐาน มีค่าอยู่ในช่วงปิด 0 ถึง 1

π_i แทน กำไรของโรงไฟฟ้า หรือ ส่วนเกินผู้ผลิต (Producer Surplus)

CS_i แทน ส่วนเกินผู้บริโภค (Consumer Surplus)

SW_i แทน สวัสดิการสังคม (Social Welfare)

ฟังก์ชันที่ใช้ในการศึกษา มีดังนี้

$q_i = f_i(x_i, k_{1i})$ แทน ฟังก์ชันการผลิต

$e_i = h_i(q_i, k_{2i})$ แทน ฟังก์ชันการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

$p_i = p_i(q_i)$ แทน ฟังก์ชันอุปสงค์

$k_{2i} = g_i(q_i; E_i)$ แทน ฟังก์ชันของทุนที่ใช้ในการกำจัดก๊าซ SO_2

$\pi_i = p(q_i)\, q_i - C_i(w_i, qi, k_{1i}) - r\,[\, k_{1i} + g_i(q_i; E_i)\,]$

แทน ฟังก์ชันกำไร (กรณีบังคับและควบคุมโดยตรง)

$\pi_i = p(q_i)\, q_i - C_i(w, q_i, k_{1i}) - r\,(k_{1i} + k_{2i}) - p_i[\, h_i(q_i, k_{2i}) - L_i]$

แทน ฟังก์ชันกำไร (กรณีการค้าใบอนุญาต)

$C_i(w, q_i, k_{1i}) = \min_{x \geq 0} \{wx | q_i \leq f_i(x_i, k_{1i})\}$ แทน ฟังก์ชันต้นทุนเฉพาะต้นทุนผันแปร

$CS_i(q_i) = \int_0^{qi} p_i(q_i)\, dq_i - q_i p_i(q_i)$ แทน ฟังก์ชันส่วนเกินผู้บริโภค

$SW(E_1, E_2, \varphi) = \sum_{i=1}^{2} (\pi_i + CS_i)$ แทน ฟังก์ชันสวัสดิการทางเศรษฐศาสตร์

3.4 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา[7]

ฟังก์ชันการผลิตของโรงไฟฟ้าทั้งสอง คือ

$$q_i = f_i(x_i, k_{1i})$$

กำหนดให้ q_i คือ ผลผลิตของโรงงาน อันได้แก่ ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้า

x_i คือ ปัจจัยการผลิตผันแปร อันได้แก่ ลิกไนต์

k_{1i} คือ ปัจจัยการผลิตทุน คือ มูลค่าเครื่องจักร

โดยมีเงื่อนไขว่า $f_x > 0$ และ $f_{k1} > 0$

ปัจจัยการผลิตทั้งสองสามารถหาซื้อได้ในตลาดแข่งขันสมบูรณ์ในราคา w และ r ตามลำดับ

ฟังก์ชันการปล่อยก๊าซของโรงไฟฟ้าทั้งสองคือ

$$e_i = h_i(q_i, k_{2i})$$

กำหนดให้ e_i คือ ระดับการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้า

k_{2i} คือ ปัจจัยทุนที่ใช้ในการควบคุมการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (abatement capital) ซึ่งมีราคา r

โดยมีเงื่อนไขว่า $h_{qi} > 0$, $h_{k2i} < 0$ และ $h_i: \partial^2 h_i / \partial q_i \partial k_{2i} < 0$

ฟังก์ชันของปัจจัยทุนที่ใช้กำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ

$$k_{2i} = g_i(q_i; E_i)$$

กำหนดให้ E_i คือ ระดับการปล่อยที่ถูกจำกัด

โดยมีเงื่อนไขว่า $\partial g_i(q_i; E_i) / \partial q_i > 0$

กำหนดให้แต่ละโรงไฟฟ้าเป็นธุรกิจผูกขาดในตลาดสินค้า มีฟังก์ชันอุปสงค์

$$p_i = p_i(q_i)$$

---

[7] ดัดแปลงจาก Coggins and Smith, 1993.

ดังนั้น ฟังก์ชันกำไร คือ

$$\pi_i = p_i(q_i)\, q_i - w\, x_i - r\,(k_{1i} + k_{2i})$$

โดย π_i คือ กำไรของธุรกิจ หรือ ส่วนเกินผู้บริโภค

$p_i(q_i)\, q_i$ คือ รายรับจากการขาย (ราคาค่าไฟฟ้า x ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้า)

$w\, x_i$ คือ ต้นทุนของปัจจัยผันแปร (ราคาปัจจัย x ปริมาณปัจจัยผันแปร)

$r\,(k_{1i} + k_{2i})$ คือ ต้นทุนของปัจจัยทุน (ราคาปัจจัย x ปริมาณปัจจัยทุนทั้งสองชนิด)

ภายใต้ข้อจำกัดอัตราผลได้ (Rate-Of-Return Regulation: ROR) ธุรกิจจะพยายามทำกำไรสูงสุดโดยมีข้อจำกัด ดังนี้

$$\pi_i \leq (s - r)\, k_{1i}$$

กำหนดให้ r แทน ผลตอบแทนของปัจจัยทุนของ กฟผ.

หรือ อัตราดอกเบี้ยที่กฟผ.ต้องจ่าย

s แทน ผลตอบแทนของปัจจัยทุน ณ ราคาตลาด

หรือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ในปัจจุบัน

และ $s > r$ เป็นการยืนยันว่ามีผลได้จากการถือปัจจัยทุน หรือการมีเครื่องจักรไว้ในครอบครอง

ในการกำหนดเช่นนี้ ทำให้โรงไฟฟ้ามีแรงจูงใจในการใช้ปัจจัยทุนให้มากขึ้นเนื่องจากมีต้นทุนในการนำเครื่องจักรมาใช้ในอัตราที่ถูกกว่าท้องตลาด ซึ่งการใช้ปัจจัยทุนนี้จะอยู่ในระดับที่มากกว่าจุดที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด ณ ระดับของปัจจัยการผลิตจำนวนหนึ่ง (Cost Minimizing Equilibrium) ยิ่งในหน่วยท้าย ๆ ของการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าจะยิ่งใช้ทุนมากขึ้น ๆ (เพราะอัตราผลตอบแทนจากการใช้ทุน ณ ราคาตลาดสูงกว่ากรณีที่มีแต่ r ซึ่งเป็นอัตราที่ กฟผ. ต้องจ่าย) หากมองในด้านของรัฐบาลแล้ว รัฐจำเป็นต้องแลกผลเสียที่เกิดจากการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างไม่มีประสิทธิภาพของธุรกิจ (คือไม่อยู่ ณ ระดับที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด) กับการลดลงของ Deadweight Cost[8] ที่เกิดขึ้นเพราะมีการผูกขาดของธุรกิจ

แม้ว่าโรงไฟฟ้าจะใช้ทุนอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่สำหรับคู่ส่วนผสมของการใช้ปัจจัยทุนและผลผลิต (k_{1i} , q_i) ณ ระดับใด ๆ ก็ตาม จะมีการเลือกทางเลือกที่ใช้ปัจจัยผันแปร (ลิกไนต์ : x_i) ไปใน

---

[8] นั่นคือ โรงไฟฟ้าจะทำการผลิตไฟฟ้า ณ ระดับที่มากกว่าจุดที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด จึงเกิดประโยชน์แก่ผู้บริโภค เพราะเมื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าไฟก็จะลดลง ตามกฎของอุปสงค์ deadweight cost จึงลดลงตามไปด้วย

ทางที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยมี 2 ขั้นตอน คือ 1) เลือกระดับของ k_{1i} กับ q_i และ 2) ใช้ x_i ให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยขึ้นอยู่กับคู่ส่วนผสมของ (k_{1i}, q_i) ที่ได้เลือกไว้

ฟังก์ชันต้นทุนของปัจจัยผันแปร หรือต้นทุนของการซื้อลิกไนต์ x_i จะเป็นดังนี้

$$C_i(w, q_i, k_{1i}) = \min_{x \geq 0} \{ wx | q_i \leq f_i(x_i, k_{1i}) \}$$

โดย $C_i(w, q_i, k_{1i})$ คือ ต้นทุนการซื้อลิกไนต์ หรือ $w x_i$ นั่นเอง

ดังนั้น เมื่อกำหนดฟังก์ชันต้นทุนปัจจัยผันแปร $C_i(w, q_i, k_{1i})$ แล้ว โรงงานจะเลือกส่วนผสมหรือคู่ของ k_{1i} และ q_i ที่ทำให้ได้กำไรสูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดอัตราผลได้ (Rate of Return)

3.4.1 กรณีการใช้มาตรการบังคับและควบคุมโดยตรง (Command and Control Regime: CAC)

ภายใต้มาตรการบังคับควบคุมโดยตรง โรงไฟฟ้าแต่ละโรงถูกกำหนดให้ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ไม่เกิน E_i ซึ่งถือเป็นตัวแปรภายนอก และถูกกำหนดโดยรัฐบาล[6]

การปล่อยก๊าซของทุกโรงงานจะเป็น

$$E = \sum_i E_i$$

โรงไฟฟ้าแต่ละโรงจำเป็นต้องทำให้ระดับการปล่อยของตนเองเป็นไปตามที่รัฐบาลกำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาปัจจัยทุนที่ใช้ในการควบคุมระดับการปล่อย (k_{2i}) มาใช้ ณ อัตราพื้นฐาน (Base Rate) ให้มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการทำกำไรของโรงไฟฟ้า (เพราะกำหนดไว้ว่า $s > r$) แม้ว่าจะเป็นที่ประจักษ์ว่าโรงไฟฟ้าซึ่งเป็นธุรกิจผูกขาดที่ทำการเพิ่มปัจจัยทุนที่ใช้ในการควบคุมระดับการปล่อย (k_{2i}) จะทำให้สวัสดิการทางเศรษฐกิจ (Economic Welfare) ลดลง (เพราะต้นทุนการผลิตสูงขึ้น) แต่ยังมีผลประโยชน์สองประการในการเพิ่มการใช้ปัจจัยทุนที่ใช้ในการควบคุมระดับการปล่อยนั้น อันได้แก่ 1) โรงไฟฟ้าจะพยายามใช้ k_{2i} ควบคู่กับ k_{1i} ให้มากขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มกำไร ณ อัตราพื้นฐาน ผลก็คือจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปัจจัยการผลิต และลดการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ 2) ถ้าการใช้

---

[6] ในที่นี้ กำหนดให้ E_i มีค่าเป็น 50% ของการปล่อยเดิม

ส่วนผสมของปัจจัยการผลิตใหม่ที่มีประสิทธิภาพนี้มีความสัมพันธ์กับการลดต้นทุนการผลิต จะทำให้โรงไฟฟ้าผลิตกระแสไฟเพิ่มขึ้น เป็นผลให้มีการลดลงของค่าไฟ และเป็นการเพิ่มสวัสดิการของผู้บริโภค (Consumer Welfare) ดังนั้น การเพิ่มการใช้ k_{2i} จะเป็นการเพิ่มทั้งกำไรของโรงไฟฟ้า และส่วนเกินผู้บริโภค (Consumer Surplus)

การตัดสินใจของรัฐบาลในการเลือกสัดส่วนของการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (φ) กำหนดให้อยู่ในช่วงปิดจาก 0 ถึง 1 หรือ $\varphi \in [0, 1]$ ถือเป็นสัดส่วนที่มีการติดตั้ง k_{2i} ณ อัตราพื้นฐาน ถ้า $\varphi = 1$ หมายความว่ามีการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด ณ อัตราพื้นฐาน หรือตั้งแต่เริ่มแรกนั่นเอง

ดังนั้น ข้อจำกัดของผลได้ ROR จะเขียนได้

$$\pi_i \leq (s - r)(k_{1i} + \varphi k_{2i})$$

กำหนดให้ φ คือ สัดส่วนของการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ ณ อัตราพื้นฐาน

แต่ละโรงไฟฟ้าจะมีสัดส่วนการบำบัด ณ อัตราพื้นฐานในระดับเดียวกัน เพราะกำหนดโดยรัฐบาล นั่นคือ φ มีค่าเท่ากันทั้งสองโรงไฟฟ้า รวมทั้ง s และ r (โดย $s > r$) ที่มีค่าเท่ากันทั้งสองโรงไฟฟ้า

ดังนั้น ปัญหาในการตัดสินใจของโรงไฟฟ้าแต่ละโรง จะเขียนได้ดังนี้

$$\max_{q_i, k_{1i}} \pi_i = p(q_i)q_i - C_i(w_i, q_i, k_{1i}) - r[k_{1i} + g_i(q_i; E_i)] \quad \ldots(1)$$

subject to

$$\pi_i \leq (s - r)[k_{1i} + \varphi g_i(q_i; E_i)]$$

$$h_i(q_i, k_{2i}) \leq E_i$$

สำหรับการวัดสวัสดิการรวม จะใช้กำไรทั้งหมด หรือส่วนเกินผู้ผลิตของโรงไฟฟ้าทั้งสอง และส่วนเกินผู้บริโภคทั้งตลาด (พื้นที่ใต้เส้นอุปสงค์และอยู่เหนือระดับราคา) โดยสมมติให้ธุรกิจมีเส้นอุปทานของปัจจัยการผลิตที่เป็นแนวราบขนานแกนนอน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลทางด้านสวัสดิการของตลาดปัจจัย

ส่วนเกินผู้บริโภคสามารถเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์กับระดับผลผลิตได้ดังนี้[7]

$$CS_i(q_i) = \int_0^{q_i} p_i(q_i)\, dq_i - q_i p_i(q_i)$$

ดังนั้น สวัสดิการทางเศรษฐศาสตร์เขียนได้ ดังนี้

$$SW(E_1, E_2, \varphi) = \sum_{i=1}^{2} (\pi_i + CS_i)$$

สำหรับผลเสียจากการที่สิ่งแวดล้อมถูกทำลายจะไม่นำมาพิจารณา ณ ที่นี้ ถึงแม้ว่าจะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอนก็ตาม เพราะไม่ว่าจะใช้มาตรการบังคับและควบคุมโดยตรง หรือกรณีการค้าใบอนุญาต ระดับการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็ไม่แตกต่างกัน จึงไม่กระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับสวัสดิการรวมโดยเปรียบเทียบ

3.4.2 *กรณีการค้าใบอนุญาตปล่อยก๊าซ (Allowance Trading Regime)*

ภายใต้กรณีการค้าใบอนุญาต แต่ละโรงไฟฟ้าจะได้รับใบอนุญาตซึ่งระบุจำนวนการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่จำกัด[8] $L_i > 0$ โดยอาจทำการค้ากันระหว่างโรงไฟฟ้าได้ในราคา p_l โดยให้ l_i แทนจำนวนใบอนุญาตที่ถือโดยแต่ละโรงไฟฟ้าหลังจากที่ทำการค้าเรียบร้อยแล้ว การค้าใบอนุญาตจะทำได้จนกระทั่งแต่ละโรงไฟฟ้ามีการปล่อยไม่เกินจำนวนใบอนุญาตที่มีอยู่

$$h_i(q_i, k_2) \leq l_i$$

เมื่อธุรกิจได้รับใบอนุญาตมาแล้ว ใบอนุญาตที่ถืออยู่นั้นจะมีมูลค่า เปรียบเหมือนถือปัจจัยทุนที่สามารถนำมาใส่ไว้ในฟังก์ชันกำไรได้ ทั้งนี้กำหนดให้ใบอนุญาตมีอายุไม่จำกัด แต่มีการซื้อขายกันในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หากพ้นกำหนดระยะเวลาไปแล้วก็สามารถนำส่วนที่เหลือมาใช้ได้อีกในช่วงเวลาต่อไป ขณะที่ราคาของใบอนุญาตเป็น p_l ใบอนุญาตจะมีมูลค่าเป็น p_l / r โรงไฟฟ้าอาจจะนำใบอนุญาตที่มี

---

[7] ดูวิธีการหาส่วนเกินผู้บริโภคภายใต้เส้นอุปสงค์ได้ในภาคผนวก ข.

[8] ใบอนุญาตซึ่งระบุจำนวนการปล่อยก๊าซ L_i นี้ จะกำหนดให้เท่ากับ E_i เพื่อให้เป็นไปตามข้อสมมติที่ว่าระดับการปล่อยนั้นเท่ากันทั้งในกรณีที่มีการบังคับและควบคุม และกรณีที่มีการค้าใบอนุญาต

มูลค่าในตัวนี้มาใช้ทดแทนปัจจัยทุน ณ อัตราพื้นฐานได้ นอกจากนี้ ยังกำหนดให้แต่ละโรงไฟฟ้าเป็นผู้ยอมรับราคา (Price Taker) ของใบอนุญาตที่เป็นไปตามกฎของอุปสงค์ และไม่มีการใช้กลยุทธ์หรือมาตรการใด ๆ ตอบโต้ฝ่ายตรงข้าม

นอกจากตัวแปร φ ที่รัฐบาลจะต้องกำหนดแล้ว ในกรณีของการใช้มาตรการการค้าใบอนุญาตการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นี้ รัฐจะต้องกำหนดระดับของการค้าใบอนุญาตของธุรกิจที่จะรวมเข้าไป ณ อัตราพื้นฐาน หรือ $\theta \in [0,1]$ ไว้ด้วย

ดังนั้น ปัญหาในการตัดสินใจของโรงไฟฟ้าแต่ละโรง จะเขียนได้ดังนี้

$$\max_{q_i, k1_i, k2_i} \pi_i = p(q_i)\, q_i - C_i(w, q_i, k_{1i}) - r(k_{1i} + k_{2i}) - p_l [\, h_i(q_i, k_{2i}) - L_i \,] \qquad \ldots(2)$$

subject to

$$\pi_i \leq (s - r)(k_{1i} + \varphi k_{2i} + \theta (p_l / r)\, l_i)$$

$$h_i(q_i, k_{2i}) \leq l_i$$

โดย

$p(q_i)\, q_i$	คือ	รายรับจากการขายกระแสไฟฟ้า
$C_i(w, q_i, k_{1i})$	คือ	ต้นทุนของลิกไนต์
$r(k_{1i} + k_{2i})$	คือ	ต้นทุนของเครื่องจักร
$p_l [\, h_i(q_i, k_{1i}) - L_i \,]$	คือ	มูลค่าที่เกิดจากการถือใบอนุญาต
p_l / r	คือ	ราคาที่แท้จริงของใบอนุญาต
θ	คือ	ระดับของการค้าใบอนุญาตของธุรกิจที่รวมเข้าไป ณ อัตราพื้นฐาน

เมื่อมีการกำหนดค่าของ φ และ θ ให้ จะได้คำตอบของปัญหา (2) ในรูปของ Implicit Function[9] ดังนี้

$$q_i^* = q_i^*(r, s, p_l; L_i, \varphi, \theta)$$

$$k_{1i}^* = k_{1i}^*(r, s, p_l; L_i, \varphi, \theta)$$

$$k_{2i}^* = k_{2i}^*(r, s, p_l; L_i, \varphi, \theta)$$

---

[9] Implicit Function ทั้ง 3 สมการ คือ q^*, k_1^*, k_2^* จะอยู่ในรูปที่ยังติดตัวแปร P_l ซึ่งจะนำไปแทนค่าในสมการการปล่อยก๊าซ เพื่อหาอุปสงค์ของการค้าใบอนุญาตต่อไป

ฟังก์ชันทั้ง 3 ข้างต้นจะเป็นคำตอบของระบบสมการ รวมทั้งเป็นตัวกำหนดระดับการปล่อยที่เหมาะสม หรือฟังก์ชันอุปสงค์ของใบอนุญาต[13] อันได้แก่

$$l_i^* = h(q_i^*, k_{2i}^*)$$

ทั้งนี้ ให้โรงไฟฟ้าสองโรงมีข้อจำกัดการปล่อย และดุลยภาพการซื้อขายใบอนุญาตจะมาจากเวกเตอร์คำตอบ $(q_i^*, k_{1i}^*, k_{2i}^*)_{i=1,2}$ ซึ่งจะทำให้เราจะได้

1) แต่ละโรงไฟฟ้า $(q_i^*, k_{1i}^*, k_{2i}^*)_{i=1,2}$ จะทำให้ได้ดุลยภาพสำหรับปัญหา (2)

2) $\sum_{i=1}^{2} l_i^* = \sum_{i=1}^{2} L_i$ (Market Clear)

และเช่นเดียวกันกับกรณีมาตรการควบคุมและบังคับโดยตรง สวัสดิการสังคม (Social Welfare) โดยรวมจะเป็นดังนี้

$$SW(E_1, E_2, \varphi, \theta) = \sum_{i=1}^{2} (\pi_i + CS_i)$$

---

[13] ความสัมพันธ์อยู่ในรูป Implicit Function โดยนำ q^*, k_2^* มาแทนค่าในสมการ $h(q_i, k_{2i}) = Bq / k_2^{\gamma}$ ที่จะกล่าวถึงในส่วนต่อไป ก็จะได้อุปสงค์ของใบอนุญาต

3.5 การนำแบบจำลองมาใช้กับโรงผลิตกระแสไฟฟ้า

การนำแบบจำลองทางทฤษฎีจากหัวข้อ 3.4 มาใช้ จะเป็นไปในแนวทางที่ต้องหาฟังก์ชันการผลิต, ฟังก์ชันการปล่อยก๊าซ และฟังก์ชันอุปสงค์ เสียก่อนโดยมีการกำหนดให้เทคโนโลยีการผลิตของแต่ละโรงไฟฟ้าเหมือนกัน มีเส้นอุปสงค์ที่เหมือนกัน และมีการใช้มาตรการบังคับควบคุมทุก ๆ อย่างที่ไม่แตกต่างกัน แต่ฟังก์ชันการปล่อย และใบอนุญาตที่ได้รับแต่แรกนั้นแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเขียนฟังก์ชันการผลิต ฟังก์ชันการปล่อย และฟังก์ชันอุปสงค์ ได้ดังนี้

$$f_i(x_i, k_{1i}) = A x_i^{\alpha} k_{1i}^{1-\alpha} \quad \text{...(3a)}$$

$$h_i(q_i, k_{2i}) = \frac{B_i q_i}{k_{2i}^{\gamma}} \quad \text{...(3b)}$$

$$p_i(q_i) = c - dq_i \quad \text{...(3c)}$$

ในที่นี้ กำหนดให้ $\alpha \in (0, 1)$ และ $\gamma \in (0, 1)$ และ c, d, A, B_i มีค่าเป็นบวก สำหรับตัวแปรที่ไม่มี subscript i เป็นตัวที่มีค่าเหมือนกันทั้งสองโรงไฟฟ้า

จากสมการ (3b) จะได้ฟังก์ชัน

$$g_i(q_i; E_i) = k_{2i} = (B_i q_i / E_i)^{1/\gamma}$$

ซึ่งให้ค่าที่เหมาะสม (optimal level) ของ k_{2i} สำหรับทุก ๆ q_i ในปัญหา (1) ดังนั้น หากกำหนด p_i และ q_i ฟังก์ชันต้นทุนสำหรับปัจจัยผันแปร[14] สามารถเขียนได้จาก (3a) ดังนี้

$$C_i(w; q_i, k_{1i}) = (q_i / A)^{1/\alpha} \cdot k_{1i}^{(\alpha-1)/\alpha} \cdot w.$$

---

[14] ซึ่ง $(q_i / A)^{1/\alpha} \cdot k_{1i}^{(\alpha-1)/\alpha}$ ก็คือ x_i นั่นเอง

3.5.1 กรณีการใช้มาตรการบังคับและควบคุมโดยตรง

(Command and Control Regime: CAC)

จากปัญหาในการตัดสินใจของโรงไฟฟ้าแต่ละโรง

$$\max_{q_i,\, k_{1i}} \pi_i = p(q_i)q_i - C_i(w_i, q_i, k_{1i}) - r[\, k_{1i} + g_i(q_i; E_i)\,] \qquad \ldots(1)$$

subject to

$$\pi_i \leq (s - r)[\, k_{1i} + \varphi g_i(q_i; E_i)\,]$$

$$h_i(q_i, k_{2i}) \leq E_i$$

ดังนั้น Lagrangian function ของปัญหา (1) กรณีมาตรการควบคุมและบังคับโดยตรง คือ

$$\mathcal{L}^{1)}(q_i, k_{1i}; \lambda) = p(q_i)q_i - C_i(w, q_i, k_{1i}) - r\,[\, k_{1i} + g_i(q_i; E_i)\,]$$
$$+ \lambda\{\, (s - r)\,[\, k_{1i} + \varphi g_i(q_i; E_i)\,] - p_i(q_i)q_i$$
$$+ C_i(w, q_i, k_{1i}) + r(k_{1i} + g_i(qi; E_i)\,]\,\} \qquad \ldots(4)$$

กำหนดให้ $\lambda \geq 0$ เป็น Lagrange multiplier

จะหา first-order necessary conditions ที่แทนค่าของตัวแปรจาก (3a), (3b) และ (3c) ลงในฟังก์ชันแล้ว ได้ดังนี้

$$0 = (1 - \lambda)\,[\, c - 2dq_i - (w / \alpha A^{1/\alpha})(q_i / k_{1i})^{(1 - \alpha)/\alpha}\,]$$
$$- (B_i q_i^{(1 - \gamma)} / E_i)^{1/\gamma}\,[\, r(1 - \lambda) - \lambda(s - r)\varphi\,] / \gamma \qquad \ldots(5a)$$

$$0 = [\,(\lambda - 1)(\alpha - 1)/\alpha\,]\,(q/A)^{1/\alpha}\, k_{1i}^{-1/\alpha}\, w - r + \lambda s \qquad \ldots(5b)$$

$$0 = (c - dq_i)q_i - (q/A)^{1/\alpha}\, k_{1i}^{(\alpha - 1)/\alpha}\, w - sk_{1i} - (B/E_i)^{1/\gamma}\, q_i^{1/\gamma}\,[\, r + \varphi(s - r)\,] \qquad \ldots(5c)$$

เมื่อแก้ระบบสมการนี้แล้ว จะได้เซตคำตอบของปัญหา (1) คือ

$$Z_i^* = (q_i^*, k_{1i}^*, \lambda^*)$$

3.5.2 กรณีการค้าใบอนุญาตปล่อยก๊าซ *(Allowance Trading Regime)*

สำหรับกรณีที่ใช้มาตรการการค้าใบอนุญาตปล่อย จะใช้ฟังก์ชันในลักษณะเดียวกันนี้มาวิเคราะห์ โดยกำหนดให้ข้อจำกัดการปล่อย (Emission Constraint) $h_i(q_i, k_{2i}) \leq l_i$ มีเครื่องหมายเท่ากัน นั่นคือ มีการปล่อยก๊าซเท่ากับใบอนุญาตที่ถืออยู่พอดี

จากปัญหาในการตัดสินใจของโรงไฟฟ้าแต่ละโรง จะเขียนได้ดังนี้

$$\max_{q_i, k1_i, k2_i} \pi_i = p(q_i)\, q_i - C_i(w, q_i, k_{1i}) - r(k_{1i} + k_{2i}) - p_t [\, h_i(q_i, k_{2i}) - L_i \,] \qquad \ldots(2)$$

subject to

$$\pi_i \leq (s - r) [\, k_{1i} + \varphi k_{2i} + \theta (p_t / r)\, l_i \,]$$

$$h_i(q_i, k_{2i}) \leq l_i$$

ดังนั้น Lagrangian function ที่เป็นของปัญหา (2) กรณีมาตรการการค้าใบอนุญาต เขียนได้ดังนี้

$$\mathcal{L}^{(2)}(q_i, k_{1i}, k_{2i}, \lambda) = p(q_i)q_i - C_i(w, q_i, k_{1i}) - r(k_{1i} + k_{2i}) - p_t [\, h_i(q_i, k_{2i}) - L_i \,]$$
$$+ \lambda \{ (s - r) [\, k_{1i} + \varphi k_{2i} + \theta (p/r) h_i \,] - p_t(q_i)q_i$$
$$+ C_i(w, q_i, k_{1i}) + r(k_{1i} + k_{2i}) + p_t [\, h_i(q_i, k_{2i}) - L_i \,] \} \ldots(6)$$

จะได้ first-order necessary conditions ดังนี้

$$0 = (1 - \lambda) [\, c - 2dq_i - (w/\alpha A^{\delta}) q_i^{\varepsilon} \cdot k_{1i}^{-\varepsilon} - p_t B / k_{2i}^{\gamma} \,] + [\, \lambda \theta\, p_t (s - r)\, B_i \,] / r k_{2i}^{\gamma}$$

$$0 = \varepsilon (1 - \lambda)(q/A)^{\delta} k_{1i}^{-\delta} w - r + \lambda s$$

$$0 = p_t (-\gamma B q / k_{2i}^{\gamma+1}) [\, 1 - \lambda - (\lambda (s - r) \theta) / r \,] + r - \lambda (s - r)\, \varphi + \lambda r$$

$$0 = (s - r) [\, k_{1i} + \varphi k_{2i} + \theta (p/r) l_i \,] - p_t(q_i)q_i + C_i(w, q_i, k_{1i}) + r(k_{1i} + k_{2i}) + p_t [\, h_i(q_i, k_{2i}) - L_i \,]$$

กำหนดให้ $\delta = 1/\alpha$ และ $\varepsilon = (1-\alpha)/\alpha$

จะได้เซ็ตคำตอบดังนี้

$$Z_i^* = (q_i^*, k_{1i}^*, k_{2i}^*, \lambda^*)$$

3.5.3 การหาจุดดุลยภาพที่ให้สวัสดิการสูงสุดในกรณีต่าง ๆ

ภายใต้กรณีมาตรการบังคับและควบคุมโดยตรง (CAC) ให้นำระบบสมการนี้มาแก้ ในขั้นแรกให้แทนค่าโดยกำหนดให้ φ มีค่าคงที่ แล้วหาค่าผลลัพธ์ของแต่ละโรงไฟฟ้า บันทึกค่าผลลัพธ์นั้นไว้ ต่อมาก็เพิ่มค่า φ ทีละ 0.1 โดยใช้ช่วงปิด 0 ถึง 1 จะแก้สมการได้ผลของความสัมพันธ์ ที่เป็นดุลยภาพระหว่าง q_I^* และ k_{II}^* ภายใต้ค่าคงที่ φ ที่กำหนดขึ้นในการผลิตของโรงไฟฟ้าแต่ละกรณี จากนั้นก็นำค่าที่ได้มาแทนในฟังก์ชันกำไร พร้อมทั้งหาส่วนเกินผู้บริโภค และสวัสดิการรวมได้

ในกรณีแรกของการใช้มาตรการควบคุมและบังคับโดยตรง จะทำการปรับตัวแปร φ เท่านั้น แต่ในกรณีของการใช้มาตรการการค้าใบอนุญาตปล่อย เราจะทดลองปรับให้ตัวแปรทั้ง φ และ θ ให้เปลี่ยนแปลง โดยทำการทดลองแบ่งเป็น 4 กรณีคือ 2 กรณีแรกจะกำหนดให้ค่า φ คงที่ ณ ระดับ 0 และ 1 ส่วน θ จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ทีละ 0.1 ภายใต้ขอบเขต 0 ถึง 1 อีก 2 กรณีหลังคือจะกำหนดให้ θ คงที่ ณ ระดับ 0 และ 1 ส่วน φ จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ทีละ 0.1 ภายใต้ขอบเขต 0 ถึง 1

เมื่อทำการทดลองแทนค่า φ และ θ ลงในสมการทั้งกรณีใช้มาตรการควบคุมและบังคับโดยตรง และการค้าใบอนุญาตแล้ว จะทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้ทั้งสองกรณี และนำสวัสดิการที่ได้รับทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันระหว่างสองมาตรการต่อไป นอกจากนี้ ในกรณีการค้าใบอนุญาตหากมีการค้าอย่างเต็มที่ (θ= 1) แล้ว จะทำการหาระดับการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (k_{2I})ที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงที่จะทำให้เกิดสวัสดิการสังคมที่มากที่สุดด้วย