การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อวางแผนการขยายโรงไฟฟ้า

The Application Mathematical Model in the Economics Analysis of Planning the New Generation Plant

สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Abstract

The evident of rapid growth of electricity demand consumption during the past decade has affected not only the environmental impacts and also the budget for electricity system expansion. The purpose of research want to studies and proposes the alternative way of electricity expansion plan in order that the system can supply the high growth of electricity demand with lowest cost and least environmental impacts. This mathematical model was used as a tool to find the expansion plan. The probabilistic simulation was used to simulate the system load demand with essentials constraints. The dynamic programming method was applied to compare the total cost of alternative system expansion plan in order to find the lowest cost's plan.

This result from the least cost expansion plan the year 2000-2020 shows that the energy conservation strategy along with the nuclear alternative will not effect only the reduction in electricity demand but also the environmental impact in term of air pollution. The reduction of electricity can reduce the total budget to 85, 108 million dollar or 22.6% less when comparing to reference case. In case that 15 US$ per ton of carbon tax was charged, the carbondioxide will be reduced by 18% and also another gases, but in the same time the total investment cost for the electric system will increase to 94,914 million US$.

Although the carbon tax will increase the total investment cost but this strategy will not only mitigate the greenhouse effect but also improve the ambient air quality.

บทคัดย่อ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศเพิ่มสูงขึ้นตามสภาวะของเศรษฐกิจ มีอัตราเพิ่มเฉลี่ย 13 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ซึ่งมากกว่าอัตราเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ แม้ว่าจะพิจารณาความต้องการพลังงานโดยรวมพบว่าก็มีความต้องการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 9.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี สาเหตุเพราะช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว แต่การขยายการผลิตเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก อีกทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้า ที่สามารถสนองตอบต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า และให้สอดคล้องกับอุปสงค์และอุปทานรวมทั้งกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การวิจัยครั้งนี้ใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ความน่าจะเป็นในการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าตามความต้องการใช้ และใช้โปรแกรมไดนามิกส์ในการตัดสินใจการวางแผนขยายกำลังการผลิต จากข้อมูลซึ่งนำมาวิจัยของปี 2543-2563 โดยกำหนดนโยบายการผลิตคือความต้องการใช้และต้นทุนต่ำสุด โดยมีการพิจารณาเรื่องสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย ผลการวิจัยพบว่าการนำนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน และการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาพิจารณาควบคู่กันจะประหยัดงบประมาณ และควบคุมการปลดปล่อยก๊าซมลพิษได้ระดับหนึ่ง ซึ่งต้องใช้งบประมาณ 85,108 ล้านดอลลาร์สหรัฐหรือน้อยลง 22.6% เมื่อเทียบกับกรณีฐาน แต่ถ้านำนโยบายการคิดภาษีสิ่งแวดล้อมโดยมีการเก็บภาษีจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเงิน 15 ดอลลาร์ต่อตัน จะมีผลทำให้งบประมาณเพิ่มสูงขึ้นเป็น 94,914 ล้านดอลลาร์สหรัฐ แต่สามารถลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยเฉลี่ย 18 เปอร์เซ็นต์ และยังมีผลต่อการลดก๊าซมลพิษชนิดอื่นๆ ลงได้อีกด้วย

คำหลัก (Keywords)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

โรงไฟฟ้า (Power Plant)

การวิจัยจะทำการพยากรณ์อุปทานของการผลิตไฟฟ้า และพิจารณาถึงข้อจำกัดด้านการใช้เชื้อเพลิงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินอุปทานจะใช้ข้อมูลจากแผนพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. โดยคำนึงถึงต้นทุนในการดำเนินการ, เชื้อเพลิง, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม, กำลังผลิตสำรองและประสิทธิภาพของระบบ การวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยคำนึงถึงผลกระทบต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว วิธีการวิจัยนี้จะศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่รวบรวมไว้แล้วจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย รวมทั้งผลกระทบทางเศรษฐกิจของประเทศและอัตราเพิ่มของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) ซึ่งได้มาจากการพยากรณ์ของสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่จำลองเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้แก่โปรแกรม

Energy and Power Evaluation Program (ENPEP) เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการผลิตไฟฟ้าที่มีต้นทุนต่ำสุดและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยสุดด้วย เนื่องจากภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเศรษฐกิจของประเทศตั้งแต่ปี 2539 ส่งผลให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลงและเตรียมพร้อมเพื่อการพัฒนาประเทศภายหลังสภาวะเศรษฐกิจที่จะฟื้นตัวขึ้นในอนาคตซึ่งจะส่งผลต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นและเตรียมพร้อมต่ออนาคตที่จะเปลี่ยนแปลงไปจึงมีการปรับการพยากรณ์ใหม่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอัตราการเติบโตของเศรษฐกิจก่อนและหลังการเกิดวิกฤตเศรษฐกิจ

	2540	2541	2542	2543-2548	2548-2553	2553-2558	2558-2563
ก่อนวิกฤตการณ์เศรษฐกิจ	7.8	7.8	7.7	7.6	7.2	6.4	6.1
หลังวิกฤตการณ์เศรษฐกิจ	0.6	-0.7	3.9	5.9	7.2	6.4	6.1

<u>ที่มาของข้อมูล</u> : สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) [2]

การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดสมมุติฐานในการวิจัย โดยกำหนดข้อจำกัดของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ดังนี้คือ

1. กำหนดให้มีโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซอยู่ในระบบไม่น้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อความมีเสถียรภาพในช่วงโหลดสูงสุด
2. กำหนดให้มีโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงอยู่ในระบบไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สิ่งแวดล้อมและระบบมีเสถียรภาพ
3. กำหนดให้มีโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นได้อีกไม่เกิน 11,650 เมกะวัตต์เพราะก๊าซธรรมชาติมีจำกัด

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้จะใช้แบบจำลองการขยายกำลังการผลิต โดยคำนึงถึงข้อจำกัดในด้านการใช้เชื้อเพลิงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าจะใช้ข้อมูลความต้องการการใช้ไฟฟ้าในอนาคต จากแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ส่วนการประเมินอุปทานพลังงานจะต้องอ้างอิงจากแผนพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจาก กฟผ. โดยคำนึงถึงต้นทุนในการดำเนินการของโรงไฟฟ้าที่มีอยู่และโรงไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นใหม่ในอนาคต เชื้อเพลิงที่จะใช้ประสิทธิภาพของระบบ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและกำลังการผลิตไฟฟ้าสำรองให้อยู่ในสัดส่วนที่กำหนด สมมุติฐานไว้ โดยกำหนดลำดับขั้นตอนของการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลที่จะใช้ในการวิจัย
2. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบจำลองการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มีต้นทุนต่ำสุด
3. ประมาณปริมาณมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยจากโรงไฟฟ้า
4. ประเมินราคาเชื้อเพลิงที่ใช้รวมทั้งภาษีคาร์บอน

จากข้อมูลที่ศึกษาเพื่อใช้ในการวิจัยพบว่า จะพิจารณาจากโรงไฟฟ้าในปัจจุบันจากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ปี 2538 โดยคำนึงถึงต้นทุนการผลิต ลักษณะการดำเนินงาน อายุการใช้งาน กำหนดการปลดออกจากระบบและแผนการพัฒนากำลังการผลิตปี 2540 และโรงงานที่ขยายใหม่ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่กระบี่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสุราษฎร์ธานี และผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (IPP) ส่วนโรงไฟฟ้าที่ กฟผ. พิจารณาคัดเลือกเข้าแผน ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าแบบต่างๆ คือโรงไฟฟ้ากำลังหลัก (Base Load) โรงไฟฟ้ากำลังช่วงปานกลาง (Intermediate Load) และโรงไฟฟ้ากำลังช่วงสูงสุด (Peak Load) โดยแบ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซตามลำดับ ดังข้อมูลในตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ต้นทุนของโรงไฟฟ้าที่พิจารณาคัดเลือก

โรงไฟฟ้า	ชนิดเชื้อเพลิง	กำลังผลิต (เมกะวัตต์)	อายุ (ปี)	เงินลงทุน (ดอลลาร์/กิโลวัตต์)	ต้นทุนการเก็บรักษาเชื้อเพลิง (ดอลลาร์/กิโลวัตต์)	ต้นทุนคงที่การผลิตและบำรุงรักษา (ดอลลาร์/กิโลวัตต์)	ต้นทุนแปรผันการผลิตและบำรุงรักษา (ดอลลาร์/เมกะวัตต์)	ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า (กิโลแคลอรี่/กิโลวัตต์ชั่วโมง
พลังความร้อน	ถ่านหิน[/1]	1,000	25	1,411	-	15.16	0.9272	2,322
	น้ำมันเตา[/1]	1,000	25	1,285	-	11.10	0.6791	2,341
	นิวเคลียร์[/2]	900	25	2,050	250	36.60	-	2,566
พลังความร้อนร่วม	ก๊าซธรรมชาติ[/1]	600	20	1,085	-	10.56	0.6494	1,691
	ก๊าซธรรมชาติเหลว[/1]	600	20	1,085	-	10.56	0.6494	1,691
กังหันก๊าซ	ดีเซล[/1]	200	15	706	-	7.94	0.4853	2,743

<u>ที่มาของข้อมูล</u> : 1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2. ทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ

จากข้อมูลที่รวบรวมมาได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์หาแผนการผลิตไฟฟ้าที่มีต้นทุนต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม ENPEP ซึ่งจะมีโปรแกรมโมดูลหนึ่งชื่อ Wien Automatic System Planning (WASP III) โดยโปรแกรมนี้จะใช้ประเมินราคาการผลิตไฟฟ้า (Production Costs) ค่าใช้จ่ายในกรณีที่ระบบไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ (Amount of Energy not Served) และความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability) โดยทั้ง 3 แบบของข้อมูลจะถูกนำไปประเมินหาทางเลือกในการวางแผนการขยายกำลังการผลิต โดยใช้วิธีการทางโปรแกรมไดนามิกส์ (Dynamic Programming) โดยไม่เปลี่ยนแปลงสถานะของการผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม ข้อมูลที่สำคัญที่ต้องพิจารณาการขยายการผลิตประกอบด้วยความต้องการใช้

ไฟฟ้าในอนาคต ซึ่งพยากรณ์จากการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ข้อมูลด้านเทคนิค ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าแต่ละประเภท ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับผลประโยชน์ เช่น อัตราดอกเบี้ย อัตราการลดหย่อนและอัตราเงินเฟ้อโดยนำข้อมูลต่างๆ มาประเมินตามความเป็นไปได้ของแต่ละระบบ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ (Jerasorn et al, 1997) [4]

$$B_j = \sum_{t=1}^{T} [I_{j,t} - S_j,t + F_{j,t} + L_{j,t} + M_{j,t} + O_{j,t}] \qquad (1)$$

B_j = สมการเป้าหมายของการขยายโครงการ

I = ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน

S = มูลค่าซากจากการลงทุน

F = ราคาเชื้อเพลิง

L = ต้นทุนการเก็บรักษาเชื้อเพลิง

M = ต้นทุนการผลิตและการบำรุงรักษา

O = ค่าใช้จ่ายจากการไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้

t = เวลา มีหน่วยเป็นปี (1, 2, …, T)

T = ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

เมื่อประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ได้แล้ว ต้องประเมินผลทางด้านปริมาณมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยจากโรงไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้และเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ในการประเมินค่ามลพิษจะต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ซึ่งแยกตามประเภทของเชื้อเพลิงดังสมการต่อไปนี้ [9]

$$Emission_{x,y} = PCAP_y \times PLF_y \times 8{,}760 \text{ (hrs/Year)} \times PHEAT_y \times 1.05485 \text{ (GJ/m Btu)} \times EMF_{x,y} \qquad (2)$$

เมื่อ $Emission_{x,y}$ = มลพิษประเภท x ที่ปลดปล่อยจากโรงไฟฟ้าประเภท y ต่อปี (g)

$PCAP_y$ = ขนาดของโรงไฟฟ้าประเภท y, (MW)

PLF_y = โหลดแฟกเตอร์ของโรงไฟฟ้าประเภท y, (%)

$PHEAT_y$ = ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าประเภท y, (10^6 Btu/MWh)

$EMF_{x,y}$ = สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษประเภท x จากโรงไฟฟ้าประเภท y, (g/GJ)

จากปริมาณมลพิษที่พิจารณาร่วมกับผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจยังไม่พอเพราะการตัดสินใจจะต้องพิจารณาอนาคตของสิ่งแวดล้อมด้วยเพราะปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจะต้องมีการบำบัดหรือป้องกัน จึงคิดค่าใช้จ่ายจากการก่อให้เกิดมลพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนที่เกิดจากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ซึ่งไม่เท่ากันจึงต้องประเมินราคาเชื้อเพลิงที่ใช้รวมกับการคิดภาษีคาร์บอนที่จะเกิดขึ้นด้วยสมการต่อไปนี้ [9]

$$\text{Fuel Cost}_{\text{Included carbon tax.i,k}}$$

$$= \text{Fuel Cost}_{i,k} + [(\text{Emission Coefficient}_{i,k} \times 4{,}168 \times \text{Carbon Tax} \times 100 \times 10^6)/10^6] \qquad (3)$$

เมื่อ $\text{Fuel Cost}_{i,k}$ = ราคาเชื้อเพลิงชนิดที่ i ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าที่ k, (Cents/10^6 kcal)

$\text{Emission Coefficient}_{i,k}$ = สัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้เชื้อเพลิง i ของโรงไฟฟ้าประเภท k (g/MJ)

Carbon Tax = ภาษีจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการศึกษานี้ คิดที่ 15 ดอลลาร์สหรัฐต่อตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทีปลดปล่อย

จากสมมุติฐานที่กำหนดและลำดับขั้นตอนการศึกษาวิจัยทั้ง 4 จึงทำการจำลองเหตุการณ์โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเลือกแผนการพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำสุด จากขั้นตอนทั้ง 4 สรุปผลได้เป็น 5 ข้อ แบ่งเป็นกรณีศึกษา 4 กรณี ดังต่อไปนี้

1. **ต้นทุนรวมของการผลิตไฟฟ้า** (Total Capital)

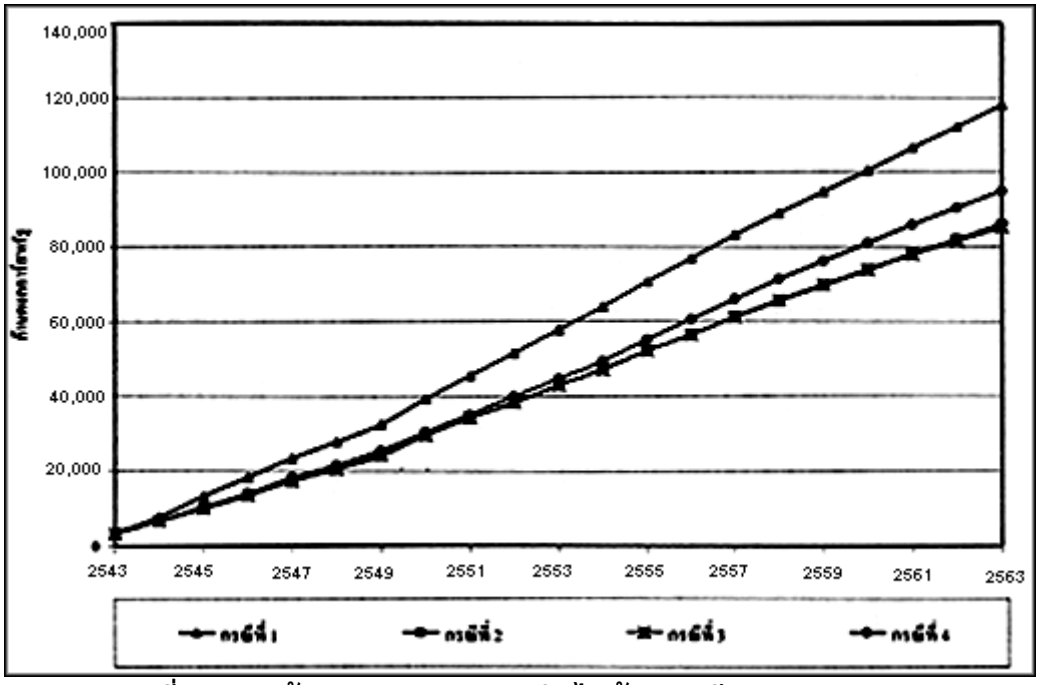
พิจารณาต้นทุนรวมของการผลิตไฟฟ้า ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2563 พิจารณาถึงแผนการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้า 4 กรณี (ดังภาพที่ 1) แสดงต้นทุนรวมการผลิตไฟฟ้าสะสมเมื่อเทียบกับกรณีที่มีต้นทุนต่ำสุด

กรณีที่ 1 พิจารณาการขยายกำลังผลิตโดยใช้อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในปัจจุบันที่สามารถยกเลิกและชะลอแผนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าออกไปได้ ต้นทุนรวมประมาณ 117,976 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งจะประหยัดงบประมาณได้ถึง 10,791 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือ 8.4%

กรณีที่ 2 พิจารณาการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะมีผลต่อการลดการขยายกำลังการผลิตติดตั้ง ทำให้ต้นทุนรวมในการผลิตไฟเป็นประมาณ 86,088 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ประหยัดงบประมาณได้ถึง 23,890 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือ 21.7% เมื่อเทียบกับกรณีที่ 3

กรณีที่ 3 พิจารณาการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยเริ่มการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2558 ซึ่งสามารถทำให้ประหยัดงบประมาณได้ประมาณ 980 ล้านดอลลาร์สหรัฐ

กรณีที่ 4 พิจารณาการนำนโยบายการคิดภาษีสิ่งแวดล้อมโดยเป็นวิธีการผลิตไฟฟ้าที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงกว่า ทำให้ต้นทุนรวมของการผลิตไฟฟ้าซึ่งหักภาษีคาร์บอนออกแล้วเป็นประมาณ 94,914 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งเพิ่มขึ้น 9,806 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือ 11.5%



ภาพที่ 1 กราฟต้นทุนรวมของการผลิตไฟฟ้า จากปี พ.ศ. 2543-2563

2. **กำลังการผลิตติดตั้ง** (Install Capacity)

กรณีที่ 1 พิจารณาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจตามสภาวะในปัจจุบันตามตารางที่ 3 การขยายกำลังการผลิตติดตั้งเพิ่มจาก 15,163 เมกะวัตต์ ในปี 2538 เป็น 60,681 เมกะวัตต์ ในปี 2563 คิดเป็นอัตราการเพิ่มโดยเฉลี่ย 5.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ตารางที่ 3 กำลังการผลิตติดตั้ง (กรณีที่ 1 กรณีฐาน)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	6,702	9,569	14,290	22,592	30,067	43,267
พลังความร้อนร่วม	4,385	8,650	8,650	7,890	10,925	10,200
พลังน้ำ	3,084	3,874	3,874	3,874	3,874	3,874
กังหันก๊าซ	928	872	872	1,472	2,140	3,340
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	-	-
รวม	15,099	22,965	27,686	35,828	47,006	60,681

กรณีที่ 2 พิจารณาจากการอนุรักษ์พลังงานทำให้สามารถชะลอการขยายกำลังการผลิตติดตั้งตามตารางที่ 4 ซึ่งในปี พ.ศ. 2563 มีกำลังการผลิต ติดตั้งประมาณ 46,740 เมกะวัตต์ มีอัตราเพิ่มกำลังผลิตโดยเฉลี่ย 4.4 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ตารางที่ 4 กำลังการผลิตติดตั้ง (กรณีที่ 2 กรณีการอนุรักษ์พลังงาน)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	6,702	8,369	7,349	14,651	21,126	29,326
พลังความร้อนร่วม	4,385	8,650	9,250	9,090	10,325	10,800
พลังน้ำ	3,084	3,874	3,874	3,874	3,874	3,874
กังหันก๊าซ	928	872	872	1,472	1,740	2,740
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	-	-
รวม	15,099	21,765	21,345	29,087	37,065	46,740

กรณีที่ 3 พิจารณาจากการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ตามตารางที่ 5 โดยเริ่มมีการติดตั้งในปี 2558 จำนวน 900 เมกะวัตต์และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็น 5,400 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2563 ทำให้ลดการก่อสร้างโรงไฟฟ้าใช้พลังงานอื่นๆ ทั้งหมด

ตารางที่ 5 กำลังการผลิตติดตั้ง (กรณีที่ 3 กรณีการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	6,702	8,369	7,349	14,651	20,126	25,326
พลังความร้อนร่วม	4,385	8,650	9,250	9,090	10,325	9,000
พลังน้ำ	3,084	3,874	3,874	3,874	3,874	3,874
กังหันก๊าซ	928	872	872	1,472	1,740	2,740
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	900	5,400
รวม	15,099	21,765	21,345	29,087	36,965	46,340

กรณีที่ 4 พิจารณาจากการนำนโยบายการคิดภาษีคาบอนมาใช้โดยคิดภาษีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 ดอลลาร์ต่อตันตามตารางที่ 6 คาร์บอนที่ปล่อยออกมามีผลทำให้การใช้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงๆ ถูกเลือกน้อยลง เปลี่ยนมาเลือกใช้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อย, มากขึ้นเช่นเลือกใช้ก๊าซธรรมชาติมากกว่าถ่านหิน

ตารางที่ 6 กำลังการผลิตติดตั้ง (กรณีที่ 4 กรณีการคิดภาษีสิ่งแวดล้อม)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	6,702	8,369	7,349	6,651	16,126	24,326
พลังความร้อนร่วม	4,385	8,650	9,250	16,890	14,525	10,200
พลังน้ำ	3,084	3,874	3,874	3,874	3,874	3,874
กังหันก๊าซ	928	872	872	1,272	1,740	2,740
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	900	5,400
รวม	15,099	21,765	21,345	28,687	36,265	41,140

3. **ปริมาณการผลิตไฟฟ้า** (Electricity Generation)

กรณีที่ 1 พิจารณาจากการพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้าตามแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจตามตารางที่ 7 ทำให้มีการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 79,955 กิโลวัตต์ชั่วโมงในปี 2538 เป็น 340,002 กิโลวัตต์ชั่วโมงในปี 2563 คิดเป็นอัตราการเพิ่มโดยเฉลี่ย 5.7 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ตารางที่ 7 ปริมาณการผลิตไฟฟ้า (กรณีที่ 1 กรณีฐาน)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	43,090	42,017	73,417	138,671	190,544	266,731
พลังความร้อนร่วม	28,020	57,307	53,915	48,161	61,759	60,622
พลังน้ำ	6,740	4,958	5,636	5,636	5,636	5,636
กังหันก๊าซ	2,062	2,081	1,210	4,099	4,669	7,013
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	-	-
รวม	79,912	106,363	134,177	196,568	262,607	340,002

กรณีที่ 2 พิจารณาจากการอนุรักษ์พลังงานทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลงตามตารางที่ 8 ซึ่งคิดปริมาณที่ลดลงในปี 2563 ลดลงเหลือ 259,458 กิกะวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นอัตราการลดโดยเฉลี่ย 4.6 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ตารางที่ 8 ปริมาณการผลิตไฟฟ้า (กรณีที่ 2 กรณีการอนุรักษ์พลังงาน)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	43,090	36,364	40,938	92,171	140,143	188,988
พลังความร้อนร่วม	28,020	54,282	61,398	54,700	54,544	59,083
พลังน้ำ	6,740	4,958	5,636	5,636	5,636	5,636
กังหันก๊าซ	2,062	1,308	2,829	4,118	3,699	5,751
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	-	-
รวม	79,912	96,911	110,845	156,625	204,022	259,458

กรณีที่ 3 พิจารณาการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ทำให้สามารถลดการผลิตไฟฟ้าด้วยการใช้พลังความร้อนและความร้อนร่วมอื่นๆ ลงเพราะโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าตามตารางที่ 9 จนในปี 2563 จะสามารถยกเลิกการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติเหลวลงได้

ตารางที่ 9 ปริมาณการผลิตไฟฟ้า (กรณีที่ 3 กรณีการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	43,090	36,391	41,003	92,171	133,346	168,466
พลังความร้อนร่วม	28,020	54,250	61,369	54,700	54,794	40,994
พลังน้ำ	6,740	4,958	5,636	5,636	5,636	5,636
กังหันก๊าซ	2,062	1,312	2,837	4,118	3,840	5,919
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	6,407	38,442
รวม	79,912	96,911	110,845	156,625	204,022	259,458

กรณีที่ 4 พิจารณาการคิดภาษีสิ่งแวดล้อมทำให้การสร้างโรงไฟฟ้าที่มีการก่อเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะลดลงตามตารางที่ 10 การคิดภาษีนี้มีผลทำให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังความร้อนร่วมเพิ่มมากขึ้นเพราะโรงไฟฟ้าประเภทนี้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า ทำให้มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ

ตารางที่ 10 ปริมาณการผลิตไฟฟ้า (กรณีที่ 4 กรณีการนำภาษีสิ่งแวดล้อม)

หน่วย : เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้า	2538	2543	2548	2553	2558	2563
พลังความร้อน	43,090	31,369	37,337	31,099	92,770	138,408
พลังความร้อนร่วม	28,020	59,382	65,150	116,675	95,617	71,368
พลังน้ำ	6,740	4,958	5,636	5,636	5,636	5,636
กังหันก๊าซ	2,062	1,203	2,722	3,215	3,593	5,605
พลังนิวเคลียร์	-	-	-	-	6,407	38,442
รวม	79,912	96,911	110,845	156,625	204,022	259,458

4. **ความต้องการเชื้อเพลิง** (Fuel Requirement)

เมื่อพิจารณาความต้องการเชื้อเพลิงจากแนวโน้มความต้องการไฟฟ้ามากขึ้น พิจารณาการอนุรักษ์พลังงาน การนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้และภาษีสิ่งแวดล้อมทำให้การใช้ถ่านหินลดลงเพราะมีการก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้การสร้างโรงไฟฟ้าประเภทใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงมีมากขึ้น เพราะเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าความต้องการใช้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ตามสมมุติฐานทั้ง 4 ดังตารางที่ 11 ถึง 14

ตารางที่ 11 ความต้องการเชื้อเพลิง (กรณีที่ 1 กรณีฐาน)

หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ชนิดเชื้อเพลิง	2538	2543	2548	2553	2558	2563
ถ่านหินนำเข้า	-	-	4,421	18,302	33,465	47,157
ถ่านหินลิกไนต์	3,364	4,121	4,127	3,696	1,774	430
น้ำมันเตา	4,956	3,060	3,591	4,641	2,972	8,261
ก๊าซธรรมชาตินำเข้า	1,415	4,382	5,279	5,045	11,115	11,667
ก๊าซธรรมชาติในประเทศ	6,003	9,176	8,427	7,264	2,153	250
ก๊าซธรรมชาติเหลว	-	-	-	-	-	271
ดีเซล	321	279	66	842	1,061	1,624
นิวเคลียร์	-	-	-	-	-	-
รวม	16,059	21,018	25,911	39,771	52,540	69,660

ตารางที่ 12 ความต้องการเชื้อเพลิง (กรณีที่ 2 กรณีการอนุรักษ์พลังงาน)

หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ชนิดเชื้อเพลิง	2538	2543	2548	2553	2558	2563
ถ่านหินนำเข้า	-	-	-	12,372	26,131	36,721
ถ่านหินลิกไนต์	3,364	4,073	4,122	3,651	1,722	422
น้ำมันเตา	4,956	1,649	2,749	2,071	815	3,142
ก๊าซธรรมชาตินำเข้า	1,415	4,321	5,108	5,371	8,590	10,124
ก๊าซธรรมชาติในประเทศ	6,003	8,522	9,131	6,967	1,898	211
ก๊าซธรรมชาติเหลว	-	-	-	-	-	578
ดีเซล	321	97	468	824	837	1,327
นิวเคลียร์	-	-	-	-	-	-
รวม	16,059	18,662	21,579	31,275	39,993	52,525

ตารางที่ 13 ความต้องการเชื้อเพลิง (กรณีที่ 3 กรณีการนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์)

หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ชนิดเชื้อเพลิง	2538	2543	2548	2553	2558	2563
ถ่านหินนำเข้า	-	-	-	12,372	24,613	35,653
ถ่านหินลิกไนต์	3,364	4,073	4,122	3,651	1,724	364
น้ำมันเตา	4,956	1,656	2,755	2,071	834	-
ก๊าซธรรมชาตินำเข้า	1,415	4,321	5,108	5,371	9,200	7,418
ก๊าซธรรมชาติในประเทศ	6,003	8,514	9,123	6,967	1,905	138
ก๊าซธรรมชาติเหลว	-	-	-	-	-	1,200
ดีเซล	321	98	470	842	871	1,426
นิวเคลียร์	-	-	-	-	1,629	9,773
รวม	16,059	18,663	21,578	31,275	40,775	55,973

ตารางที่ 14 ความต้องการเชื้อเพลิง (กรณีที่ 4 กรณีการคิดภาษีสิ่งแวดล้อม)

หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ชนิดเชื้อเพลิง	2538	2543	2548	2553	2558	2563
ถ่านหินนำเข้า	-	-	-	-	15,911	28,337
ถ่านหินลิกไนต์	3,364	2,567	3,102	2,374	897	194
น้ำมันเตา	4,956	1,965	2,916	2,116	801	-
ก๊าซธรรมชาตินำเข้า	1,415	4,406	5,149	15,284	16,053	12,983
ก๊าซธรรมชาติในประเทศ	6,003	9,514	9,857	7,722	2,184	146
ก๊าซธรรมชาติเหลว	-	-	-	-	-	1,200
ดีเซล	321	113	474	660	801	1,339
นิวเคลียร์	-	-	-	-	1,629	9,773
รวม	16,059	18,565	21,499	28,157	38,274	53,972

5. ประมาณปริมาณก๊าซมลพิษทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้า

(Emission From Power Generation)

ก๊าซที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ มีการก่อให้เกิดก๊าซมลพิษหลายประเภท เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฝุ่น และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยก๊าซแต่ละชนิดจะมีผลกระทบต่อทางเดินหายใจของมนุษย์, พืชและสัตว์ และพบว่ามลพิษที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ดังตารางที่ 15-18

ตารางที่ 15 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

หน่วย : พันตัน

	2538	2543	2548	2553	2558	2563
กรณีที่ 1	54,447	69,445	89,188	146,503	194,444	259,384
กรณีที่ 2	54,447	62,167	70,643	113,279	150,618	187,469
กรณีที่ 3	54,447	62,178	70,649	113,279	144,669	166,177
กรณีที่ 4	54,447	56,204	57,280	72,089	117,544	154,127

ตารางที่ 16 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

หน่วย : พันตัน

	2538	2543	2548	2553	2558	2563
กรณีที่ 1	908	314	351	357	290	291
กรณีที่ 2	908	240	303	225	169	151
กรณีที่ 3	908	240	303	225	165	133
กรณีที่ 4	908	171	130	69	81	110

ตารางที่ 17 ปริมาณการปลดปล่อยฝุ่น (SPM)

หน่วย : พันตัน

	2538	2543	2548	2553	2558	2563
กรณีที่ 1	1,170	19	21	24	18	37
กรณีที่ 2	1,170	14	18	15	10	18
กรณีที่ 3	1,170	14	18	15	10	7
กรณีที่ 4	1,170	11	7	5	5	6

ตารางที่ 18 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

หน่วย : พันตัน

	2538	2543	2548	2553	2558	2563
กรณีที่ 1	177	236	307	504	675	884
กรณีที่ 2	177	215	240	391	526	644
กรณีที่ 3	177	215	240	391	504	579
กรณีที่ 4	177	193	201	249	411	537

สรุปผลการวิจัยตามสมมุติฐานข้างต้นเทียบกันแต่ละกรณีหรือรวมกรณีต่างๆ ผสมผสานกันพบว่า ทางเลือกที่ดีที่สุดมี 2 ทางเลือกคือ

1. พิจารณาจากงบประมาณลงทุนต่ำสุดจะต้องใช้นโยบายนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาใช้ (กรณีที่ 3) ควบคู่กับนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน แม้ว่าเทคโนโลยีนิวเคลียร์จะมีราคาค่อนข้างสูงก็ตาม แต่เมื่อรวมต้นทุนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่มีต้นทุนต่ำและปลดปล่อยก๊าซต่างๆ ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่นๆ

2. ถ้าพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะต้องนำกรณีที่ 4 มาพิจารณาคือ นโยบาย การคิดภาษีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีผลต่อการเลือกใช้เชื้อเพลิงและรวมการคิดภาษีสิ่งแวดล้อมและต้นทุนเชื้อเพลิงต่ำสุดเป็นแนวทางการพิจารณา

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Energy Development and Promotion. Oil and Thailand. 1993-1995.
2. Thailand Development Research, Thailand Environment Institute. Preparation of Nation Strategy on Global Climate Change : Thailand. Submitted to The Government of Thailand, Bangkok. 1993.
3. Electricity Generation Authority of Thailand. Generation Information EGAT Power Development Plan PDP 97-01. Bangkok. 1997.
4. Jerasorn Santisirisomboon, Amornwan Resanond, Camilo Jose C. Lim, Duangiai Intarapravich and Wittanun Sridhavat Na Ayudhya. Thailand Energy Future. Thailand Environment Institute, 1997.
5. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Volum 3., 1995.
6. Wien Automatic System Planning (WASP) Packgae. A Computer code for Power Generating System Expansion Planning. Version WASP-III Plus User's Manual., Volum 1. International Atomic Agency, Vienna. (1995).
7. Energy and Power Evaluation Program (ENPEP) Version 3.0 User's Guide. International Atomic Energy Agency. (1996).
8. Expansion Planning for Electrical Generating Systems. A Guidebook. International Atomic Agency, Vienna. (1984).
9. Duangjai Intarpravich, Camilo Jose c. Lim, Jr., Jerasorn Santisirisomboon, Sameer Shrestha, Amornwan Resanond and Ivan Deccosta. Electricity: Meeting Needs With Least Environmental Impacts. Thailand Environment Institute, 1995.