การทดแทนกันของปัจจัยการผลิตและพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย

นางสาวสิรินทิพย์ ประวีณานุสรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์
คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUBSTITUTION OF PRODUCTION FACTORS AND ENERGY IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY IN THAILAND

Miss Sirintip Praweenanusorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Economics Program in Economics
Faculty of Economics
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

491060

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดแทนกันของปัจจัยการผลิตและพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย
โดย	นางสาวสิรินทิพย์ ประวีณานุสรณ์
สาขาวิชา	เศรษฐศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ วิบูลชุติกุล

คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะเศรษฐศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.โสตถิธร มัลลิกะมาส)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงศา พรชัยวิเศษกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ วิบูลชุติกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บังอร ทับทิมทอง)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.บัณฑิต ชัยวิชญชาติ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิรินทิพย์ ประวีณานุสรณ์ : การทดแทนกันของปัจจัยการผลิตและพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย. (SUBSTITUTION OF PRODUCTION FACTORS AND ENERGY IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ไพฑูรย์ วิบูลชุติกุล, 127 หน้า.

การเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันทำให้อุตสาหกรรมเหล็กพยายามลดการใช้พลังงานลง โดยทดแทนพลังงานด้วยปัจจัยการผลิตอื่นและทดแทนพลังงานที่มีราคาสูงด้วยพลังงานที่มีราคาต่ำกว่า การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับการทดแทนกันของพลังงานทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับประเภทพลังงาน นำข้อมูลจากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กที่สำรวจการใช้พลังงานของผู้ประกอบการขนาดกลางจำนวน 33 ราย ระหว่างปี 2542 ถึง 2547 มาวิเคราะห์ความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาและความยืดหยุ่นการทดแทนกันทั้งของ Allen และ Morishima ในแบบจำลองสมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยและระบบสมการสัดส่วนต้นทุนการผลิต

ผลการศึกษาในระดับปัจจัยการผลิตพบว่า พลังงานกับสินค้าทุนสามารถทดแทนกันได้ดีที่สุด การใช้พลังงานมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตทุกชนิดค่อนข้างมากยกเว้นแรงงาน ขณะที่ทุน แรงงานและวัตถุดิบไม่ตอบสนองต่อราคาปัจจัยการผลิตใดเลย การปรับปรุงกระบวนการผลิตและการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กทำให้ใช้พลังงานและสินค้าทุนเพิ่มขึ้นแต่ลดการใช้วัตถุดิบและแรงงานลดลง สำหรับผลการศึกษาในระดับประเภทพลังงานพบว่า พลังงานทุกชนิดสามารถทดแทนกัน โดยเฉพาะก๊าซกับน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถทดแทนกันได้ดีที่สุด การใช้ไฟฟ้าแทบจะไม่มีความอ่อนไหวต่อราคาไฟฟ้าและราคาพลังงานประเภทอื่น การใช้น้ำมันมีความอ่อนไหวต่อราคาไฟฟ้ามาก การใช้ก๊าซมีความอ่อนไหวต่อราคาก๊าซและราคาน้ำมันมาก การปรับปรุงกระบวนการผลิตและการขยายกำลังการผลิตไม่กระทบต่อโครงสร้างการใช้พลังงานในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา.....เศรษฐศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....สิรินทิพย์ ประวีณานุสรณ์.....
ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4685594129 : MAJOR ECONOMICS

KEY WORD: ENERGY / ELASTICITY OF SUBSTITUTION / PRICE ELASTICITY OF FACTOR DEMAND / IRON AND STEEL INDUSTRY

SIRINTIP PRAWEENANUSORN : SUBSTITUTION OF PRODUCTION FACTORS AND ENERGY IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY IN THAILAND. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PAITOON WIBOONCHUTIKULA, Ph.D., 127 pp.

Recent increases in energy prices has led the iron and steel industry in Thailand to reduce the energy consumption. Besides, firms in the industry substitute the use of energy for other kinds of factors of production to reduce production costs. They also substitute one type of energy for another to save total energy costs. This study intends to measure and analyze the degree of substitution between energy use and the various kinds of factors of production, and also study the substitution between different types of energy use. The study estimates translog cost functions and the system of cost share equations. Data come from the survey and interviews of steel firms in the Project" Study in Energy Benchmark of the Iron and Steel Industry" and the study period is from 1999 to 2004.

The findings are that energy and capital inputs are highly substitutable. The use of energy is more sensitive to its own prices and costs of capital and raw materials than the way other inputs including labor capital, and raw materials respond to factor price changes. Technical progress has led to raw-material-saving and labor-saving but does not save much energy and capital input. For the study of interfuel substitution, all types of energy use are substitutable with each other with gas and electricity having the highest degree of substitutability. Electricity use is relatively less sensitive to its own price and the cross prices of other types of energy than other energy inputs are. In fact, gas consumption is the most sensitive to its own price and the price of oil. Finally, technical progress or industrial expansion does not alter the composition of energy use by type during the period of the study.

Field of study.....ECONOMICS..... Student's signature..Sirintip Praweenanusorn.....

Academic year .....2006.....Advisor's signature.....Paitoon Wiboonchutikula.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นับเป็นอีกหนึ่งความภาคภูมิใจของข้าพเจ้าที่ต้องใช้ความอดทน ความมุ่งมั่นและความพากเพียร เพื่อเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางทฤษฎีและฝึกฝนทักษะในการวิจัย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถเสร็จเป็นรูปเล่มได้เลย หากไม่ได้รับความกรุณาจากบุคคลต่อไปนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ วิบูลชุติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่นอกจากจะกรุณาสละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องในเชิงวิชาการแล้ว อาจารย์ยังเป็นต้นแบบและแรงบันดาลใจที่สำคัญให้ข้าพเจ้าพยายามที่จะปรับปรุงและพัฒนาตนเองในด้านอื่นๆ ให้ดีขึ้นเป็นลำดับ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงศา พรชัยวิเศษกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวคิดการปรับปรุงแบบจำลองให้สมบูรณ์ขึ้น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บังอร ทับทิมทองและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ชัยวิชญชาติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ทั้งสามกรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนแหล่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์

สำหรับสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่คุณหิน นววงศ์ได้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการใช้พลังงานและโครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก ขอบคุณคุณจิรพล ยิ่งสิทธิสวัสดิ์อย่างมาก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือข้อมูลแก่ข้าพเจ้าด้วยความเต็มใจเสมอมา ท้ายที่สุดขอบคุณคุณรุ่งนภา ที่ช่วยเป็นธุระต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอบคุณเพื่อนที่ดีที่สุดอย่างคุณศศิวุฒฒิ์ วงษ์มณฑา สำหรับการช่วยเหลือทุกอย่างทั้งแรงกาย แรงใจและกำลังสมองตั้งแต่ต้นจนจบ ขอบคุณธิสิทธิ์ สิมาพัฒนพงศ์ นายกวินทร์ ภู่พกสกุล นางสาวณัฏฐาภรณ์ เลียมจรัสกุล ถึงแม้จะมีงานในความรับผิดชอบมากเพียงใด แต่ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์จะคอยเป็นกำลังใจและให้ช่วยเหลือยามที่ต้องการได้เสมอ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ ผู้เป็น "พระ" ที่ประเสริฐที่สุดในชีวิตของข้าพเจ้า ผู้ที่คอยห่วงใยเอาใจใส่และเป็นกำลังใจที่สำคัญให้ข้าพเจ้าโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังมีประโยชน์อยู่บ้าง ขอให้ผลแห่งความดีทั้งหมดได้บังเกิดแก่ผู้มีส่วนช่วยเหลือทุกท่านทั้งที่กล่าวถึงและมิได้กล่าวถึงในที่นี้ ความผิดพลาดประการใดก็ตามที่บังเกิดขึ้น ข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 8
1.3 ขอบเขตการศึกษา 8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
1.5 วิธีการศึกษา 9
1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอ 10
บทที่ 2 บทบาทพลังงานต่ออุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย 11
2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก 11
2.2 การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 14
2.2.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก 14
2.2.2 ปัจจัยที่กำหนดการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 17
บทที่ 3 การวัดความสามารถการทดแทนกัน 25
3.1 ทฤษฎีพื้นฐาน 25
3.1.1 ทฤษฎีควบคู่ระหว่างสมการการผลิตและสมการต้นทุน 25
3.1.2 การวัดความสามารถการทดแทนกัน 26
3.2 สมการลอการิทึมอดิศัย 33
3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37
3.3.1 วิธีวัดความสามารถการทดแทนกัน 37
3.3.2 ผลการประมาณความสามารถการทดแทนกัน 39

บทที่ หน้า

บทที่ 4 สมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยกับการวัดระดับการทดแทนกัน 51
4.1 สมการต้นทุนการผลิตและระบบสมการสัดส่วนต้นทุนการผลิต 51
4.1.1 ข้อสมมติ 51
4.1.2 แบบจำลองระดับปัจจัยการผลิต 52
4.1.3 แบบจำลองระดับพลังงาน 60
4.2 ข้อมูล 65
4.2.1 แหล่งที่มาของข้อมูล 65
4.2.2 ตัวแปรและวิธีการคำนวณ 65
4.3 วิธีการประมาณค่าและการทดสอบสมมติฐาน 68
4.3.1 วิธีการประมาณค่า 68
4.3.2 การทดสอบสมมติฐาน 72
4.3.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของค่าความยืดหยุ่น 76
บทที่ 5 การวิเคราะห์การทดแทนกันและการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 80
5.1 กรอบการวิเคราะห์สมมติฐานการศึกษา 80
5.2 ขั้นตอนการศึกษา 82
5.3 ผลการศึกษา 85
5.3.1 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยการผลิต 85
5.3.2 การวิเคราะห์ระดับพลังงาน 100
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 110
6.1 บทสรุป 110
6.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 112
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไป 113
รายการอ้างอิง 115
ภาคผนวก 120
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 127

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก 15
ตารางที่ 2.2 โครงสร้างต้นทุนพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 16
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของมูลค่าการผลิตและต้นทุนพลังงาน ของอุตสาหกรรมเหล็ก 17
ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 18
ตารางที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงต้นทุนและราคาพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 22
ตารางที่ 3.1 สรุปผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นของภาคอุตสาหกรรมในประเทศพัฒนา 43
ตารางที่ 3.2 สรุปผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นไขว้ของ ภาคอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนา 46
ตารางที่ 3.3 สรุปผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของภาคอุตสาหกรรมใน ประเทศกำลังพัฒนา 48
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนการผลิต 85
ตารางที่ 5.2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิต 88
ตารางที่ 5.3 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา 92
ตารางที่ 5.4 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับปัจจัยการผลิตของ Allen 95
ตารางที่ 5.5 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับปัจจัยการผลิต ของ Morishima 99
ตารางที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตตามแนวคิดของ Allen และ Morishima 100
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนพลังงาน 101
ตารางที่ 5.8 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนพลังงาน 103
ตารางที่ 5.9 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการใช้พลังงานต่อราคา 105
ตารางที่ 5.10 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับพลังงานของ Allen 107
ตารางที่ 5.11 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับพลังงาน ของ Morishima 109
ตารางที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานตามแนวคิดของ Allen และ Morishima 109

สารบัญภาพ

หน้า

แผนภาพที่ 1.1 ราคาน้ำมันดิบ WTI ระหว่างปี 2529-2549 2
แผนภาพที่ 1.2 ราคาน้ำมันดิบ WTI และโอมาน ระหว่างปี 2544-2550 2
แผนภาพที่ 1.3 ระดับการพึ่งพิงการนำเข้าพลังงานและน้ำมันของไทย 4
แผนภาพที่ 1.4 ความต้องการพลังงานประเภทต่างๆ ในประเทศไทย 5
แผนภาพที่ 1.5 มูลค่าการผลิตของอุตสาหกรรมบางกลุ่มในประเทศไทย 6
แผนภาพที่ 1.6 การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมบางกลุ่มในประเทศไทย 6
แผนภาพที่ 1.7 ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมในประเทศไทย 7
แผนภาพที่ 2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก 12
แผนภาพที่ 2.2 แหล่งที่มาของการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 19
แผนภาพที่ 2.3 ราคาพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก 21
แผนภาพที่ 2.4 สรุปปัจจัยที่กำหนดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก 24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ราคาน้ำมันแพงกำลังเป็นปัจจัยคุกคามเสถียรภาพทางเศรษฐกิจโลกในปัจจุบัน น้ำมันเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญทั้งในแง่ของการเป็นพลังงานขั้นปฐม(Primary Energy) และพลังงานขั้นสุดท้าย(Secondary Energy) ดังนั้น อุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานมากอย่างอุตสาหกรรมเหล็กต้องมีการเตรียมตัวรับมือกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากราคาพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การเปลี่ยนไปใช้พลังงานประเภทอื่นที่มีราคาต่ำกว่า ไปจนถึงการนำปัจจัยการผลิตอื่นมาทดแทนพลังงาน เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงความจำเป็นที่ต้องศึกษาความสามารถการทดแทนกันของพลังงานและปัจจัยการผลิตอื่นในอุตสาหกรรมเหล็กของประเทศไทย

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

วิกฤตการณ์น้ำมันที่เคยเกิดขึ้นในอดีตทั้งสองครั้งเป็นภาวะที่ราคาน้ำมันพุ่งสูงขึ้นอย่างเฉียบพลันและส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบเศรษฐกิจทั่วโลก[1] วิกฤตการณ์น้ำมันครั้งแรกเกิดในช่วงปี 2516 ถึง 2518 มีสาเหตุจากปัญหาการเมืองระหว่างประเทศของโลกอาหรับกับอิสราเอล ทำให้กลุ่มประเทศ OPEC ลดกำลังการผลิตลง ส่วนวิกฤติการณ์น้ำมันครั้งที่สองเกิดในช่วงปี 2522 ถึง 2523 จากปัญหาความขัดแย้งระหว่างอิรักกับอิหร่านทำให้ปริมาณการผลิตของทั้งสองประเทศลดลง สาเหตุที่ทำให้ราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเกิดจากการขาดแคลนน้ำมันเป็นหลักแต่เมื่อความขัดแย้งยุติลงราคาน้ำมันก็กลับเข้าสู่ภาวะปกติ

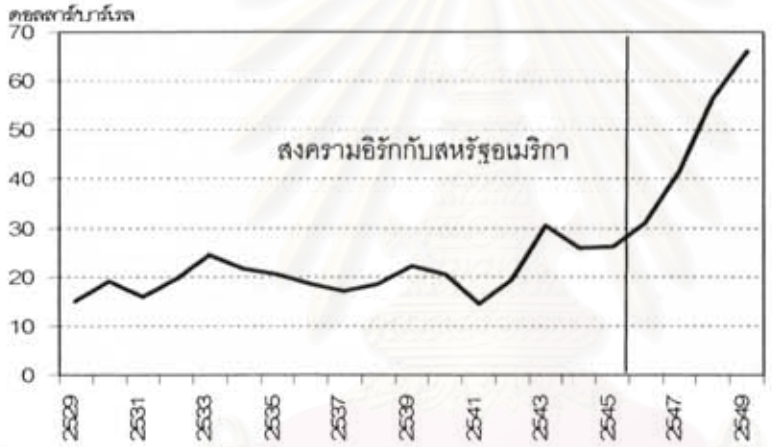
สำหรับวิกฤตการณ์น้ำมันในรอบที่สามนี้เป็นภาวะที่ราคาน้ำมันค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากพิจารณาจากราคาน้ำมันดิบในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา พบว่า เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 10 ต่อปี(จากแผนภาพที่ 1.1) โดยราคาน้ำมันได้เริ่มปรับตัวสูงขึ้นในปี 2542 เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน หากพิจารณาช่วงก่อนที่ราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้น คือ ระหว่างปี 2529 ถึง 2542 พบว่า ราคาน้ำมัน

---

[1] จากวิกฤติการณ์น้ำมันสองครั้งแรกนั้น การเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันทำให้เงินเฟ้อเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคก็จะลดใช้จ่ายลง ผู้ผลิตก็จะลดการลงทุน นอกจากนี้อัตราเงินเฟ้อยังส่งผลต่อค่าแรงที่เพิ่มขึ้นและผู้ผลิตมีแนวโน้มที่จะลดการจ้างงานลง ในขณะที่ภาครัฐใช้นโยบายการเงินและการคลังรัดตัว ทำให้อัตราดอกเบี้ยสูงขึ้น เป็นเหตุให้เศรษฐกิจชะลอตัวลง เรียกภาวะที่มีทั้งเงินเฟ้อและอัตราการว่างงานสูงนี้ว่า Stagflation

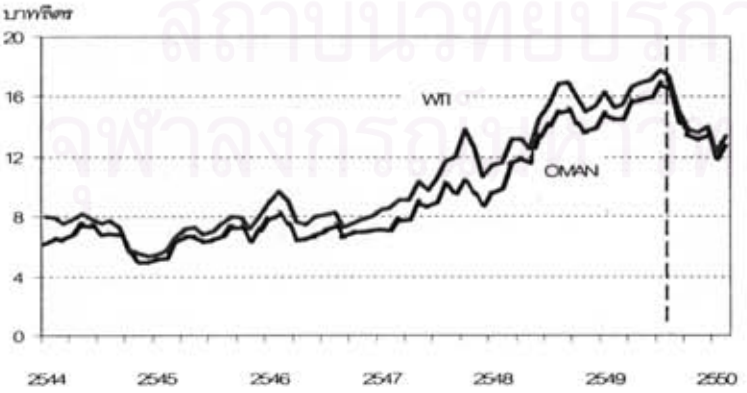
เคลื่อนไหวอยู่ในช่วงแคบๆ ราว 15-25 ดอลลาร์สหรัฐฯต่อบาร์เรล ช่วงนี้ราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 4 ต่อปี แต่หลังจากที่จีนเข้าเป็นสมาชิก WTO ในปี 2543 จนกระทั่งเกิดปัญหาการสู้รบระหว่างสหรัฐอเมริกากับอิรักในปี 2546 และความขัดแย้งด้านอาวุธนิวเคลียร์ระหว่างชาติตะวันตกกับอิหร่านที่เป็นผู้ผลิตน้ำมันอันดับ 4 ของโลกต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ราคาน้ำมันได้เพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 21 ต่อปี เช่นเดียวกับแผนภาพที่ 1.2 ที่เปรียบเทียบราคาน้ำมันดิบ WTI และราคาน้ำมันดิบในตลาดโอมานซึ่งเป็นแหล่งนำเข้าน้ำมันดิบของไทย ในช่วงปี 2543 จนถึงปี 2550 พบว่าราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยไปแตะที่จุดสูงสุดในไตรมาสที่ 2 ของปี 2549 เป็นที่น่าสังเกตว่าภายหลังปี 2542 ราคาน้ำมันได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าสงครามอิรักจะยุติลงแต่ราคาน้ำมันก็มิได้ปรับตัวลดลงเช่นในอดีต

แผนภาพที่ 1.1 ราคาน้ำมันดิบ WTI ระหว่างปี 2529-2549



ที่มา: EIA(2007)

แผนภาพที่ 1.2 ราคาน้ำมันดิบ WTI และโอมาน ระหว่างปี 2544-2550

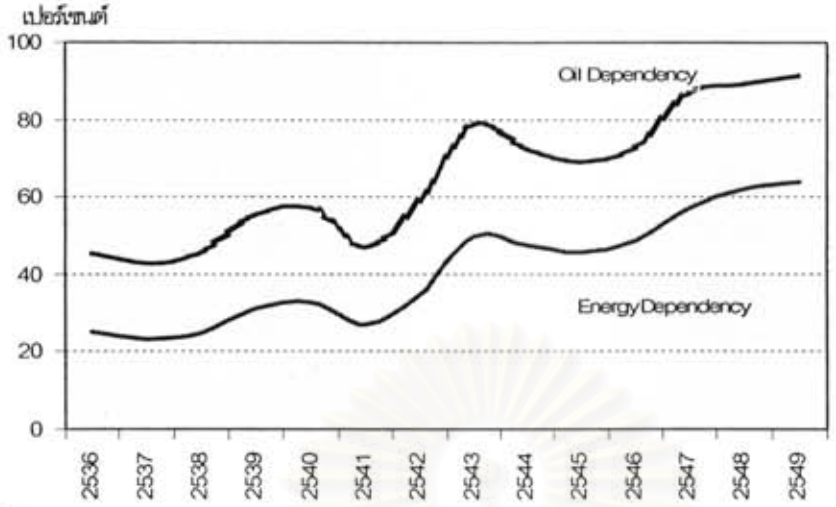


ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2550)

ความไม่สมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทานน้ำมันของโลกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ราคาน้ำมันไม่ได้ปรับตัวลดลงภายหลังสงครามสิ้นสุดและยังส่งผลให้ราคาพลังงานอื่นๆ เพิ่มขึ้น ปัจจุบันแหล่งผลิตพลังงานของโลกมีอยู่อย่างจำกัดและมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่ำ เนื่องมาจากต้นทุนที่สูงขึ้นและการต่อต้านจากภาคประชาสังคม ทั้งการจัดหาแหล่งน้ำมันดิบ การสร้างเขื่อนหรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในขณะที่ความต้องการพลังงานของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว McKinsey Global Institution หรือ MGI(2007) วิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานของโลกว่า ความต้องการพลังงานรวมของโลกตลอดทศวรรษที่ผ่านมา เพิ่มขึ้นร้อยละ1.5 ต่อปี และมีการคาดการณ์ว่าตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2563 ความต้องการพลังงานจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.2 ต่อปี สาเหตุหนึ่งมาจากการบริโภคที่เพิ่มขึ้นของสหรัฐอเมริกาและการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศกำลังพัฒนาในเอเชียโดยเฉพาะจีนและอินเดีย หากสถานการณ์พลังงานของโลกยังคงเป็นแบบนี้ต่อไปโดยที่ยังไม่ลดการใช้พลังงานลงอาจจะเป็นไปได้ยากที่ราคาน้ำมันจะกลับไปอยู่ในระดับต่ำเหมือนในอดีต

สำหรับประเทศไทยก็ประสบกับภาวะความไม่สมดุลทางด้านอุปสงค์และอุปทานของพลังงานเช่นกันเพราะไทยไม่มีแหล่งน้ำมันดิบภายในประเทศ แหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยมีอยู่อย่างจำกัด การพัฒนาพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนพลังงานหลักยังอยู่ในขั้นต้นทำให้กำลังการผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้ระบบเศรษฐกิจไทยจึงมีความเปราะบางทางด้านอุปทานพลังงานอยู่มาก เห็นได้จาก ภาวะการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศสูงมาก แหล่งนำเข้ายังคงกระจุกตัวอยู่ในตะวันออกกลางและพึ่งพาการใช้พลังงานบางประเภทมากเกินไป สำหรับการพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ จากตารางที่ 1.3 แสดงให้เห็นว่าช่วง 14 ปีที่ผ่านมา ภาวะพึ่งพาการนำเข้าพลังงานและน้ำมันของไทยสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ไทยมีภาวะพึ่งพิงการนำเข้าน้ำมันสูงกว่าพลังงานโดยรวมค่อนข้างมาก โดยในปี 2549 มีระดับการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปจากต่างประเทศสูงถึงร้อยละ 84 หมายความว่า หากมีมูลค่าการบริโภคน้ำมันในประเทศ 100 บาท จะเป็นการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ 84 บาท สำหรับภาวะการพึ่งพาแหล่งนำเข้าน้ำมัน ยรรยงและคณะ(2549) ชี้ให้เห็นว่า ไทยนำเข้าน้ำมันดิบจากตะวันออกกลางสูงถึงร้อยละ 80 แหล่งนำเข้าที่สำคัญคือ อาหรับเอมิเรตน์ ซาอุดิอาระเบียและโอมาน ตามลำดับ ท้ายที่สุดคือ ภาวะการพึ่งพิงพลังงานบางประเภทมากเกินไป โดยเฉพาะก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้ามีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 70 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ความเปราะบางทางพลังงานของไทยยิ่งสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของน้ำมันที่มีต่อเสถียรภาพทางเศรษฐกิจของไทย การเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันและไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงเช่นนี้ย่อมส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

แผนภาพที่ 1.3 ระดับการพึ่งพิงการนำเข้าพลังงานและน้ำมันของไทย

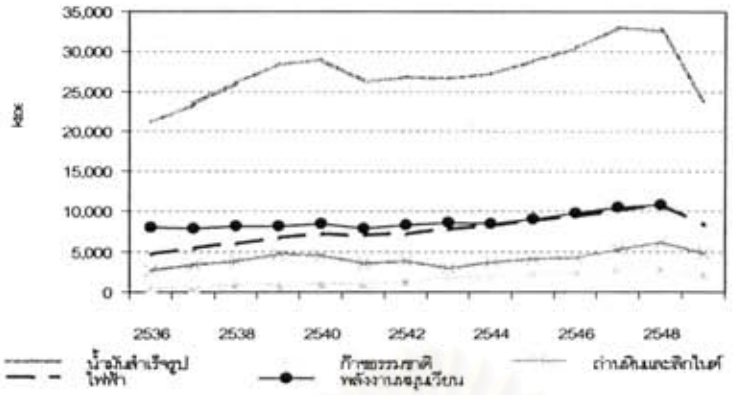


ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2550)และการคำนวณของผู้ศึกษา

ความต้องการพลังงานขั้นสุดท้ายของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดตั้งแต่ปี 2536 ถึง 2547 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 4.8 ต่อปี เมื่อพิจารณาความต้องการพลังงานแต่ละประเภทในแผนภาพที่ 1.4 พบว่า น้ำมันเป็นแหล่งพลังงานที่มีความต้องการสูงสุด รองลงมาคือ พลังงานหมุนเวียน ไฟฟ้า ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ความต้องพลังงานจากแหล่งในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยความต้องการพลังงานจากก๊าซธรรมชาติมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 16 ต่อปี ความต้องการพลังงานจากถ่านหินและไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 8.9 และ 7.1 ต่อปี ในขณะที่ความต้องการน้ำมันในประเทศเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงโดยเฉพาะหลังจากปี 2547 มีอัตราเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 3.8 ต่อปีเท่านั้นใกล้เคียงกับแนวโน้มความต้องการพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2.8 ต่อปี กล่าวได้ว่าในปัจจุบันน้ำมันยังคงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของไทยแต่ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นก่อให้เกิดความพยายามที่จะทดแทนพลังงานชนิดอื่นๆ โดยหันไปใช้พลังงานที่มีแหล่งผลิตในประเทศ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและไฟฟ้าซึ่งมีราคาต่ำกว่าและมีความผันผวนไม่มากนักแทน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภาพที่ 1.4 ความต้องการพลังงานในประเทศไทย

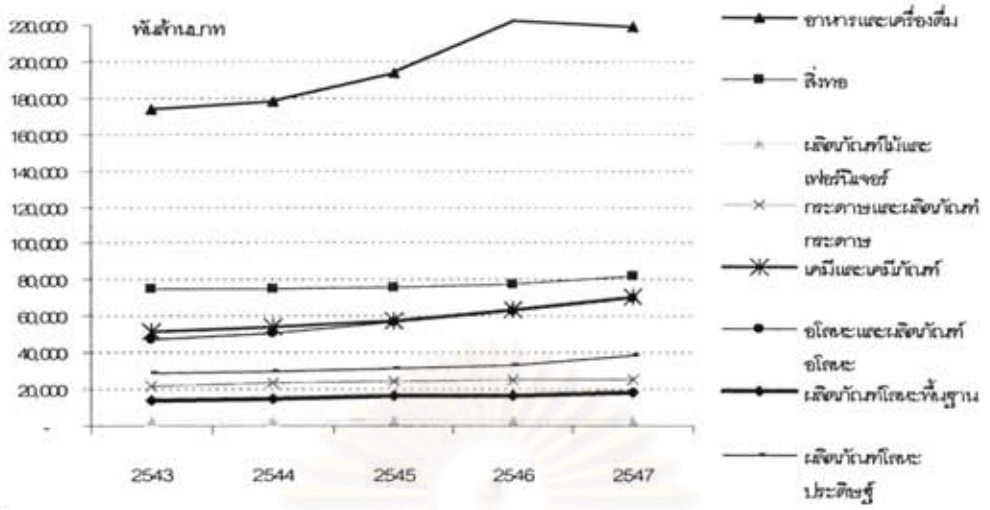


ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2550)

ภาคอุตสาหกรรมเป็นภาคการผลิตที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยและเป็นภาคการผลิตที่มีการใช้พลังงานสูงรองจากภาคคมนาคมขนส่ง คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 36.5 ของการใช้พลังงานทั้งหมด และมีแนวโน้มที่จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นต่อไปอีกตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ จากการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2549) บ่งชี้ว่า หากเศรษฐกิจของไทยขยายตัวร้อยละ 1 จะทำให้ความต้องการพลังงานในประเทศเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 1.4 ในช่วงปี 2543 ถึง 2547 ภาคอุตสาหกรรมของไทยมีการอัตราการขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 6.6 ต่อปี แสดงว่า การใช้พลังงานของไทยขยายตัวถึงร้อยละ 9.2 ต่อปีในช่วงเวลาเดียวกัน หากพิจารณามูลค่าการผลิตและอัตราการขยายตัวของแต่ละอุตสาหกรรม แผนภาพที่ 1.5 พบว่า อุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการผลิตค่อนข้างสูง ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมอโลหะและอุตสาหกรรมเคมีสำหรับอุตสาหกรรมที่มีอัตราการขยายตัวสูงทั้งหมดเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมหนัก ได้แก่ อุตสาหกรรมอโลหะและผลิตภัณฑ์อโลหะ (ร้อยละ 9.6) อุตสาหกรรมเคมีและเคมีภัณฑ์(ร้อยละ 7.7) อุตสาหกรรมโลหะขั้นพื้นฐาน[2](ร้อยละ 7.4) และอุตสาหกรรมโลหะประดิษฐ์(ร้อยละ 7.1) อุตสาหกรรมที่มีการผลิตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมเบาซึ่งมีอัตราขยายตัวต่ำกว่าอัตราการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมโดยรวม เช่น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมสิ่งทอ

[2] อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้

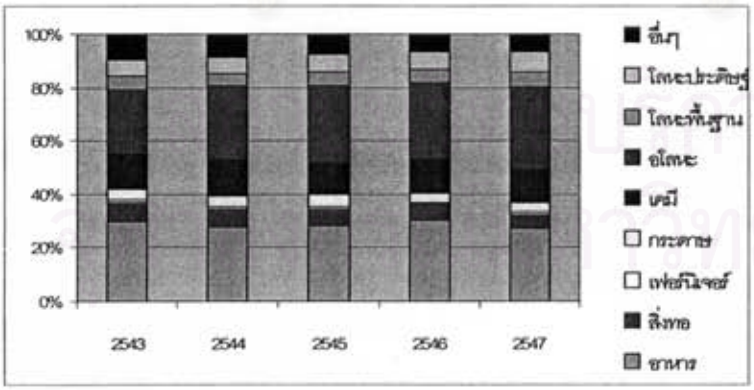
แผนภาพที่ 1.5 มูลค่าการผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศไทย



ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2550)

เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมของไทย แผนภาพที่ 1.6 พบว่า อุตสาหกรรมอโลหะและผลิตภัณฑ์อโลหะ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมีสัดส่วนการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ส่วนอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และอุตสาหกรรมกระดาษมีการใช้พลังงานไม่มากนัก สำหรับอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมากได้แก่ อุตสาหกรรมอโลหะและผลิตภัณฑ์อโลหะ(ร้อยละ 12.8) อุตสาหกรรมโลหะประดิษฐ์(ร้อยละ 11.9) อุตสาหกรรมโลหะพื้นฐานซึ่งมีอัตราการขยายตัวเท่ากับอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์(ร้อยละ 9.7) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมหนักเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก

แผนภาพที่ 1.6 การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมในประเทศไทย



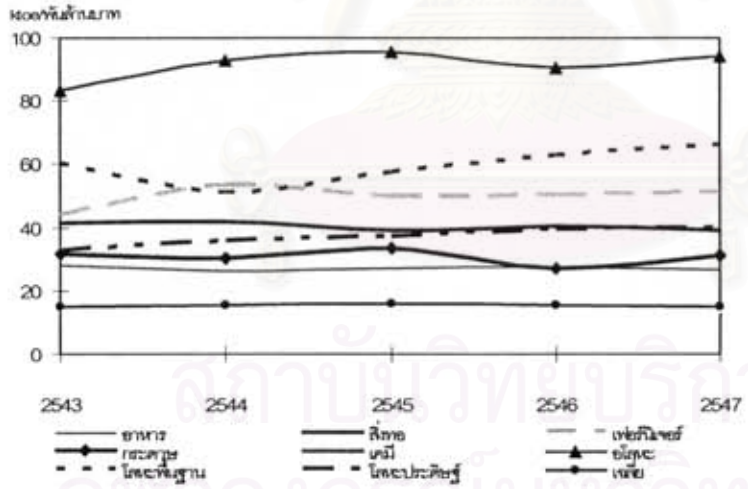
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2550)

กล่าวโดยสรุปคือ อุตสาหกรรมหนักเช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอโลหะ อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมโลหะขั้นพื้นฐาน เป็นภาคการผลิตที่มีอัตราการขยายตัวมาก

สัดส่วนการใช้พลังงานสูงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมดังกล่าวยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการผลิตและการใช้พลังงานสูง แต่มีอัตราการเพิ่มขึ้นต่ำ เช่นอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม กลุ่มที่สองคือ กลุ่มที่มีการผลิตและการใช้พลังงานสูงและมีอัตราการเพิ่มขึ้นมาก ได้แก่ อุตสาหกรรมอโลหะและผลิตภัณฑ์อโลหะ กลุ่มสุดท้ายคือ อุตสาหกรรมที่มีการผลิตและการใช้พลังงานไม่สูงมากแต่มีอัตราการขยายตัวสูง เช่น อุตสาหกรรมโลหะประดิษฐ์และอุตสาหกรรมโลหะพื้นฐาน ส่วนอุตสาหกรรมเบาเช่น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ มีการใช้พลังงานต่ำและเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

ความเข้มข้นการใช้พลังงานเป็นการพิจารณาถึงปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตสินค้า ซึ่งเป็นดัชนีหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในที่นี้คำนวณจากสัดส่วนการใช้พลังงานต่อมูลค่าการผลิตหนึ่งหน่วย จากแผนภาพที่ 1.7 พบว่า อุตสาหกรรมอโลหะและผลิตภัณฑ์อโลหะ ซึ่งได้แก่ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหรรมที่มีความเข้มข้นการใช้พลังงานสูงมาก รองลงมาคืออุตสาหกรรมโลหะพื้นฐานซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าและอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ตามลำดับ

แผนภาพที่ 1.7 ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมในประเทศไทย



ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2550)

สถานการณ์ราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วผนวกกับความไม่มั่นคงทางพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของไทยยังอยู่ในระดับต่ำ ส่งผลให้ภาคการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงต้องแบกรับภาระที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการลดความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิตทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศ อุตสาหกรรมเหล็กก็เป็น

อุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและปัจจัยการผลิตอื่นๆ รวมถึงการปรับตัวของการใช้พลังงานต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตและราคาพลังงานเอง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการสร้างนโยบายหรือมาตรการพลังงานที่เหมาะสมในการสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเหล็กซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานอย่างเข้มข้น นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ผลิตที่จะสามารถนำผลการศึกษาไปปรับปรุงในกระบวนการผลิตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการทดแทนกันระหว่างพลังงานกับปัจจัยการผลิตอื่นๆ ในอุตสาหกรรมเหล็ก
2. ศึกษาการทดแทนกันของพลังงานประเภทต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็ก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กที่นำมาศึกษาเป็นการสำรวจเฉพาะผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก ในกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางทั้งแบบมีเตาหลอมและไม่มีเตาหลอม ประกอบด้วยผู้ผลิตเหล็กเส้น เหล็กลวด เหล็กรูปพรรณรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดร้อน และผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย ประกอบด้วยผู้เหล็กแผ่นม้วนรีดเย็น เหล็กแผ่นชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน เหล็กแผ่นชุบสังกะสีแบบเคลือบด้วยไฟฟ้า เหล็กแผ่นเคลือบดีบุก เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็นและท่อเหล็ก คิดเป็นร้อยละ 35 ของปริมาณการผลิตรวมของทั้งประเทศ

2. การศึกษาการทดแทนกันของพลังงานทั้งระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานย่อยซึ่งเป็นการปรับตัวเบื้องต้นของผู้ผลิตในระยะสั้น

3. การศึกษานี้ศึกษาความสามารถการทดแทนกันของปัจจัยการผลิตและพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตและราคาพลังงาน(price effect) การเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต (scale effect) และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต (technical effect)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงบทบาทของพลังงานและปัจจัยการผลิตอื่นๆในอุตสาหกรรมเหล็กในฐานะที่เป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญปัจจัยการผลิตหนึ่ง และทราบถึงแนวโน้มการใช้พลังงานและระดับการทดแทนของพลังงานรวมถึงปัจจัยการผลิตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงราคาปัจจัยการผลิตและราคาพลังงาน การเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเหล็ก

1.5 วิธีการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis)

วิเคราะห์ข้อมูลจากฐานข้อมูลร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงภาพรวมของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก โครงสร้างการผลิต โครงสร้างต้นทุนการผลิตและโครงสร้างการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานย่อย รวมถึงปัจจัยที่กำหนดการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กโดยนำเสนอในรูปของแผนภาพและตาราง

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะเริ่มจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ในระบบสมการสัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิตและระบบสมการสัดส่วนต้นทุนของพลังงานย่อย จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณหาค่าความยืดหยุ่น 2 ประเภทคือ 1.) ความยืดหยุ่นต่อราคาประกอบด้วย ความยืดหยุ่นต่อราคาของตนเอง (Own-price elasticity of factor demand) และความยืดหยุ่นต่อราคาปัจจัยการผลิตชนิดอื่น (Cross-price elasticity of factor demand) และ 2.) ความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตและพลังงานประกอบด้วย ความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ Allen และตามแนวทางของ Morishima จากนั้นจะทดสอบความน่าเชื่อถือของค่าความยืดหยุ่น

1.6 **ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอ**

บทที่ 1 บทนำ บทนี้กล่าวถึงความสำคัญของการศึกษา ประกอบไปด้วยสถานการณ์พลังงานที่เกิดขึ้นในปัจจุบันทั้งในระดับโลกและระดับประเทศ ความต้องการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมของไทยโดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานอย่างเข้มข้น วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และวิธีการศึกษา

บทที่ 2 บทบาทของพลังงานต่ออุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาโดยกล่าวถึง โครงสร้างการผลิต โครงสร้างต้นทุนการผลิตและต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก การนำเสนอจะอยู่ในรูปของตารางและแผนภูมิประกอบการบรรยาย ข้อมูลในส่วนนี้จะใช้ประกอบการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ

บทที่ 3 การวัดความสามารถของการทดแทนกัน อธิบายทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับความสามารถการทดแทนกัน และนำเสนอรูปแบบสมการ (functional form) ที่เหมาะสมต่อการวัดระดับของการทดแทนกัน รวมถึงทบทวนงานศึกษาในอดีตที่วิเคราะห์การทดแทนของพลังงาน

บทที่ 4 สมการลอการิทึมอดิศัยและการวัดระดับการทดแทนกัน ประกอบด้วยแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา ที่มาของข้อมูลและการคำนวณตัวแปรที่ใช้ศึกษา รวมถึงวิธีการประมาณค่าและการทดสอบสมติฐาน

บทที่ 5 การวิเคราะห์การทดแทนกันและการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก นำเสนอผลการศึกษาที่ได้จากการประมาณค่าในแบบจำลอง วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการศึกษากับสมมติฐานและงานวิจัยในอดีต

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ สรุปผลการศึกษารวมถึงนำเสนอมาตรการหรือนโยบายที่ได้จากผลการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

บทบาทของพลังงานต่ออุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของโครงสร้างและการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก โดยการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนการผลิตและโครงสร้างการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก

หากจำแนกโครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีการผลิต สามารถแบ่งออกเป็น 3 อุตสาหกรรมย่อย คือ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางและอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย ซึ่งแต่ละอุตสาหกรรมย่อยมีกระบวนการผลิตดังรายละเอียดต่อไปนี้ (ดูในแผนภาพที่ 2.1)

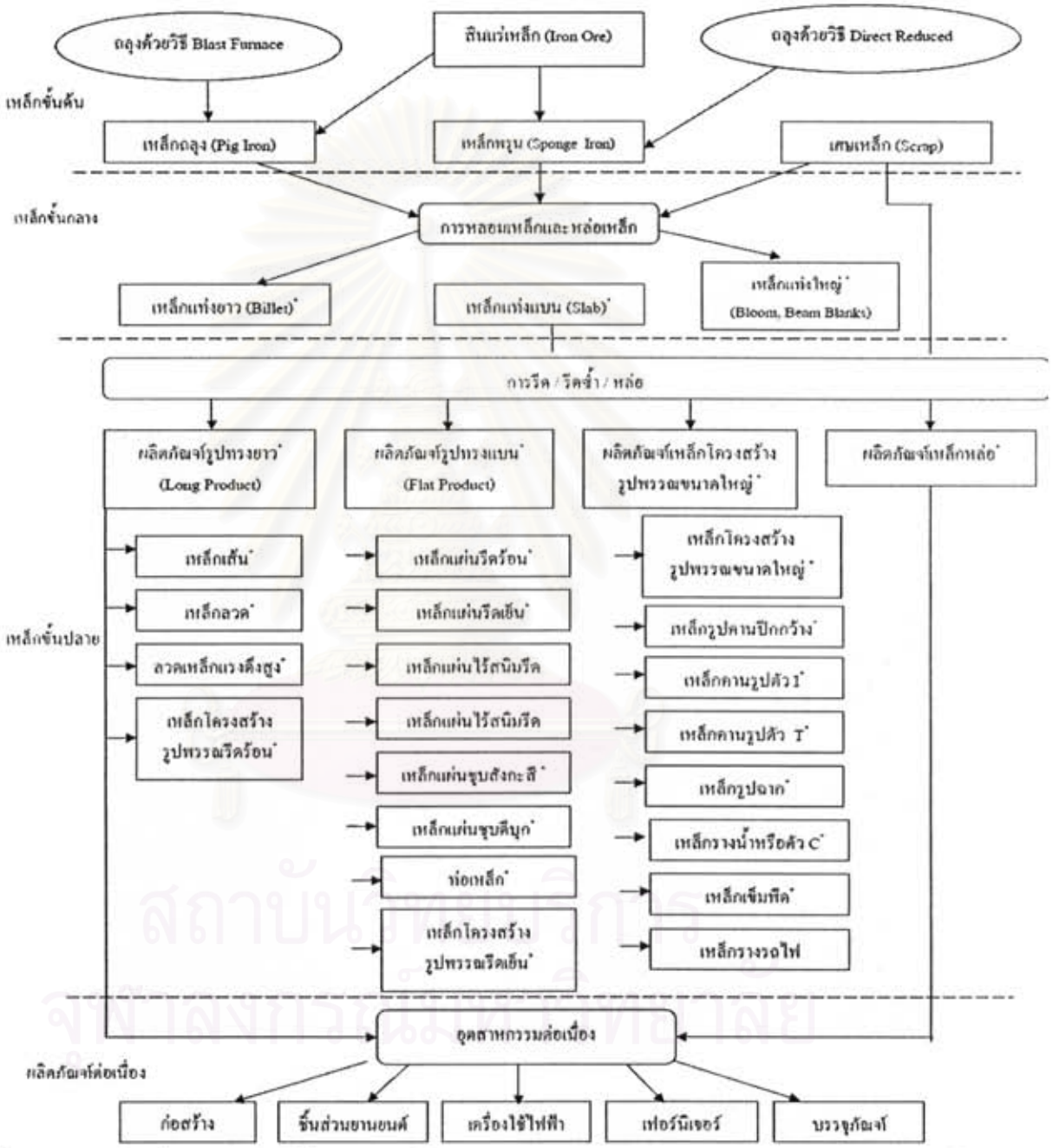
อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็ก เริ่มจากนำสินแร่เหล็กที่ขุดได้มาถลุงหรือแยกแร่เหล็กออกจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในขั้นตอนนี้ได้ผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทตามกรรมวิธีในการผลิต คือ เหล็กถลุง(Pig Iron)และเหล็กพรุน(Sponge Iron) กล่าวคือ เหล็กถลุง ใช้เตาถลุงแบบพ่นลม(Blast Furnace) มีถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลัก วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงเพื่อให้คุ้มค่าจึงต้องมีการผลิตขนาดใหญ่ ส่วนเหล็กพรุน ใช้เตาถลุงอุณหภูมิต่ำ มีก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก วิธีการนี้เหมาะสำหรับการผลิตขนาดเล็ก

อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง เป็นขั้นตอนที่นำผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นรวมถึงเศษเหล็กมาหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า(Electric Arc Furnace) และปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีให้เป็นเหล็กกล้า จากนั้นหล่อเหล็กกล้าให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ เหล็กแท่งยาว(Billet) เหล็กแท่งแบน(Slab) และเหล็กแท่งใหญ่(Bloom)

อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย เป็นขั้นตอนที่นำผลิตภัณฑ์เหล็กขั้นกลางมาผ่านกระบวนการรีดหรือรีดซ้ำทั้งร้อนและเย็น จัดเป็นสินค้าขั้นสุดท้ายก่อนส่งถึงมือผู้บริโภคหรืออุตสาหกรรมต่อเนื่อง การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถจำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบได้ดังนี้ เหล็กแท่งยาวในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปทรงยาว(Long products) ได้แก่ เหล็กเส้น เหล็กลวด เหล็กข้ออ้อย เหล็กแท่งแบนจาก

อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กทรงแบน (Flat products) ได้แก่ เหล็กแผ่นรีดร้อนและรีดเย็น และสามารถแปรรูปต่อไปเป็นกระป๋อง ท่อเหล็ก เป็นต้น สำหรับเหล็กแท่งใหญ่สามารถผลิตเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน

แผนภาพที่ 2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก



ที่มา: ศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์ (อ้างอิงจากโครงการแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา(สาขาเหล็ก) ,2545)

อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางนับเป็นกระบวนการผลิตต้นทางที่สุดในประเทศไทย ผู้ประกอบการในขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ผู้ประกอบการที่มีเตาหลอมและผู้ประกอบการที่ไม่มีเตาหลอม กระบวนการผลิตของผู้ประกอบการที่มีเตาหลอมประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นตอนการหลอมเหล็กและขั้นตอนการรีดเหล็ก ในขั้นตอนการหลอมจะเริ่มจากการนำเศษเหล็กมาหลอมร่วมกับผลิตภัณฑ์เหล็กขั้นต้น นำน้ำเหล็กที่ได้ไปหล่อเป็นบิลเล็ต การผลิตขั้นตอนนี้ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักและเป็นกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด ส่วนขั้นตอนการรีดเหล็กเริ่มจากการนำบิลเล็ตมาอบให้ร้อนด้วยเชื้อเพลิง แล้วจึงนำมารีดลดขนาดตามที่ต้องการด้วยแท่นรีดซึ่งต้องอาศัยไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน สำหรับผู้ประกอบการที่ไม่มีเตาหลอมนั้นจะเริ่มต้นจากการใช้เชื้อเพลิงเพื่ออบบิลเล็ตให้ร้อนแล้วรีดด้วยแท่นรีด จะเห็นได้ว่า ผู้ประกอบการที่มีเตาหลอมจะมีการใช้พลังงานสูงกว่าแต่มีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้วัตถุดิบได้มากกว่าผู้ประกอบการที่ไม่มีเตาหลอม

สำหรับอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย มีกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ค่อนข้างแตกต่างกันตามความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ สามารถสรุปเป็น 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้ ขั้นตอนการรีดเพื่อลดความหนาของแผ่นเหล็ก ขั้นตอนการทำความสะอาดผิวเหล็ก ขั้นตอนการอบอ่อนเพื่อปรับคุณสมบัติเชิงกล ขั้นตอนการเคลือบผิว และขั้นตอนการขึ้นรูป ตามลำดับ กระบวนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายค่อนข้างสั้นมีเพียง 1-2 ขั้นตอนเท่านั้นจึงทำให้มีการใช้พลังงานต่ำกว่าการผลิตในอุตสาหกรรมขั้นกลาง ขั้นตอนการผลิตมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ยกเว้นขั้นตอนการอบอ่อนที่มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเป็นหลัก

แนวทางการพัฒนาของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยช่วงที่ผ่านมา พัฒนาจากอุตสาหกรรมขั้นปลายไปสู่อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น การผลิตสินค้าในระยะเริ่มต้นถูกกำหนดจากสภาวะความต้องการและราคาภายในประเทศเป็นสำคัญทำให้มีทิศทางการพัฒนาไม่แน่นอน[1] ผู้ประกอบการของไทยในขณะนั้นรับซื้อเศษเหล็กจากเรือที่หมดอายุการใช้งานมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลยีต่ำและอาศัยกำลังคนเป็นหลัก ต่อมาจึงมีการพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางเพื่อผลิตวัตถุดิบป้อนให้กับผู้ผลิตในภาวะที่ปริมาณเศษเหล็กในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ ปัจจุบันมีความพยายามที่จะพัฒนาให้อุตสาหกรรมเหล็กของไทยมีการผลิตแบบครบวงจร การพัฒนาจึงได้รุกเข้าสู่กระบวนการผลิตเหล็กขั้นต้นมากขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการตระหนักถึงความมั่นคงด้านอุปทานในประเทศและเป็นการสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางและ

---

[1] ในขณะที่การพัฒนาของต่างประเทศ เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน เกิดจากนโยบายของภาครัฐ ทำให้มีการพัฒนาจากอุตสาหกรรมต้นน้ำไปสู่อุตสาหกรรมปลายน้ำ

เหล็กขั้นปลาย เพราะนอกจากจะช่วยป้องกันความผันผวนจากราคาตลาดโลกแล้วยังเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งทำให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมต่อเนื่องสามารถซื้อเหล็กได้ในราคาถูกลง นอกจากนี้ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กขั้นต้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอยู่อย่างจำกัดและอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มสูงเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมขั้นกลางและขั้นปลาย ดังนั้นการก่อตั้งอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นในประเทศไทยซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ต้องใช้พลังงานสูงนั้นจะยิ่งทำให้ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว

โดยสรุป การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กมีความแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนการผลิตทั้งประเภทของพลังงานและปริมาณที่ใช้ กล่าวคือ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางเป็นขั้นตอนการผลิตที่มีการใช้พลังงานเข้มข้นและใช้พลังงานจากไฟฟ้าและเชื้อเพลิง ในขณะที่อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายมีการใช้พลังงานต่ำกว่าและใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นหลัก โครงสร้างการใช้พลังงานที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อความสามารถในการทดแทนกันของพลังงานด้วย ในส่วนต่อไปจะเป็นบทวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานย่อยเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของพลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก

2.2 การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

2.2.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก

ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการสำรวจการใช้พลังงานของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางและขั้นปลาย โดยแบ่งอุตสาหกรรมเหล็กออกเป็น 10 ประเภทตามชนิดผลิตภัณฑ์ได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางประกอบด้วย เหล็กเส้น เหล็กลวด เหล็กรูปพรรณรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดร้อน นอกจากนี้ยังแบ่งตามลักษณะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตออกเป็น 2 ประเภทคือ โรงงานที่มีเตาหลอมและไม่มีเตาหลอม อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายประกอบด้วย เหล็กแผ่นม้วนรีดเย็น เหล็กแผ่นชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน เหล็กแผ่นชุบสังกะสีชนิดเคลือบด้วยไฟฟ้า เหล็กแผ่นเคลือบดีบุกหรือโครเมียม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น ท่อเหล็ก ERW และท่อเหล็กชุบสังกะสี การศึกษาส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์บทบาทของพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานย่อย

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กมีปัจจัยการผลิต 4 ชนิดคือ วัตถุดิบ ทุน[2] พลังงาน และแรงงาน การวิเคราะห์ถึงบทบาทของปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กจะพิจารณาจากสัดส่วนของต้นทุนปัจจัยการผลิตนั้นต่อต้นทุนรวม จากการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก ตารางที่ 2.1 พบว่า วัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่สุดในกระบวนผลิต รองลงมาคือทุน พลังงานและแรงงาน ตามลำดับ โดยทุนและวัตถุดิบมีสัดส่วนต้นทุนเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 51.1 และ 44.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพลังงานที่มีสัดส่วนต้นทุนเฉลี่ยเพียงร้อยละ 3.7 อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่จะใช้วัตถุดิบและพลังงานเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาคือในช่วงปี 2542 ถึง 2547 สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.4 ต่อปี และสัดส่วนต้นทุนพลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 8.8 ต่อปี ในขณะที่อุตสาหกรรมมีแนวโน้มใช้ทุนและแรงงานลดลงในอัตราร้อยละ 8.6 และ 7.3 ต่อปี กล่าวได้ว่าวัตถุดิบเป็นต้นทุนหลักของอุตสาหกรรมเหล็ก ในขณะที่พลังงานแม้จะมีต้นทุนไม่มากนักแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก(2549) วิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กของไทยเพิ่มขึ้น พบว่า เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตโดยก่อนปี 2544 อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายมีอัตราการขยายตัวสูงกว่าอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง แต่หลังจากนั้นอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางกลับขยายตัวเพิ่มขึ้นมากกว่า จึงทำให้การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กหลังจากปี 2544เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก

	2542	2543	2544	2545	2546	2547
วัตถุดิบ(ล้านบาท)	29,277.87	38,693.02	37,559.53	57,454.42	89,984.55	142,774.49
(ร้อยละ)	*34.24*	*37.80*	*35.29*	*48.08*	*52.80*	*56.49*
พลังงาน(ล้านบาท)	2,334.95	3,361.21	3,962.96	4,533.20	7,570.79	10,260.66
(ร้อยละ)	*2.73*	*3.28*	*3.72*	*3.79*	*4.44*	*4.06*
แรงงาน(ล้านบาท)	1,051.25	1,287.09	1,324.59	1,408.20	1,864.14	2,070.09
(ร้อยละ)	*1.23*	*1.26*	*1.24*	*1.18*	*1.09*	*0.82*
ทุน(ล้านบาท)	52,835.08	59,012.55	63,584.85	56,094.56	70,996.45	97,634.19
(ร้อยละ)	*61.80*	*57.66*	*59.74*	*46.94*	*41.66*	*38.63*
รวม	85,499.15	102,353.87	106,431.93	119,490.37	170,415.93	252,739.43

พลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กจำแนกเป็น 3 ประเภทคือ ไฟฟ้า น้ำมันและก๊าซ จากการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนพลังงานในช่วงปี 2542 ถึง 2547(ตารางที่ 2..2) พบว่า ไฟฟ้าเป็นแหล่ง

[2] ทุนในที่นี้หมายถึง เครื่องมือเครื่องจักรอุปกรณ์ ยานพาหนะ สิ่งก่อสร้างต่างๆ รวมถึงที่ดิน

พลังงานที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิต[3] คิดเป็นสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 65.5 ของต้นทุนพลังงานทั้งหมด รองลงมาคือน้ำมันและก๊าซ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากอัตราการขยายตัวของต้นทุนพลังงานแต่ละประเภท พบว่า สัดส่วนต้นทุนน้ำมันและก๊าซมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 4.5 ต่อปี และร้อยละ 0.3 ต่อปี ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนต้นทุนไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 2.6 ต่อปี แสดงให้เห็นว่า ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่จะลดการใช้น้ำมันและก๊าซลงและเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้ามากขึ้น

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างต้นทุนพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

	2542	2543	2544	2545	2546	2547
ไฟฟ้า(ล้านบาท)	1,335.33	2,188.03	2,534.97	2,864.26	5,208.45	6,956.51
(ร้อยละ)	*61.11*	*66.20*	*63.24*	*62.86*	*70.27*	*68.99*
น้ำมัน(ล้านบาท)	631.78	784.17	1,083.90	1,251.43	1,441.84	2,137.31
(ร้อยละ)	*28.91*	*23.73*	*27.04*	*27.47*	*19.45*	*21.20*
ก๊าซ(ล้านบาท)	217.87	332.79	389.88	440.73	761.34	988.99
(ร้อยละ)	*9.97*	*10.07*	*9.73*	*9.67*	*10.27*	*9.81*
รวม	2,184.98	3,304.99	4,008.75	4,556.41	7,411.63	10,082.82

บทบาทของพลังงานและปัจจัยการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กสามารถสรุปได้ว่า สินค้าทุนและวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่จะใช้วัตถุดิบและพลังงานเพิ่มขึ้นและลดการใช้ทุนและแรงงานลง หากพิจารณาพลังงานแต่ละชนิดพบว่าไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหลักในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก รองลงมาคือน้ำมันและก๊าซ ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่จะลดการใช้น้ำมันและก๊าซลง และเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานและปัจจัยการผลิตที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในส่วนต่อไป

---

[3] อุตสาหกรรมเหล็กมีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างมากเพราะไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางและอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย(น้ำมันและก๊าซเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางเท่านั้น) นอกจากนี้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากการสำรวจเป็นการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งในกระบวนการผลิตและนอกกระบวนการผลิต ได้แก่ ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและการใช้ในสำนักงาน ส่วนน้ำมันและก๊าซเป็นการสำรวจเฉพาะที่ใช้ในกระบวนการผลิต ความแตกต่างของข้อมูลไฟฟ้าและเชื้อเพลิงทั้งสองย่อมส่งผลให้การวัดการทดแทนกันคลาดเคลื่อนได้ แต่จากการศึกษาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายของอมรรัตน์(2546) พบว่าผู้ประกอบการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตมากกว่าส่วนที่ไม่ใช่กระบวนการผลิต โดยใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตสูงถึงร้อยละ 81.74 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากฐานข้อมูลนี้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์การทดแทนกันระหว่างพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กได้

2.2.2 ปัจจัยที่กำหนดการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

ปริมาณการผลิต

โดยทั่วไป หากต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตจะทำให้การใช้พลังงานและปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เท่ากันเพราะมีบทบาทในกระบวนการผลิตแตกต่างกัน สำหรับการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก ตารางที่ 2.3 แสดงว่าหากมีการขยายขนาดการผลิตจะทำให้ต้นทุนพลังงานโดยรวมเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่า โดยระหว่างปี 2542 ถึง 2547 ปริมาณการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.8 ต่อปีทำให้ค่าใช้จ่ายพลังงานรวมเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 21 ต่อปี เมื่อพิจารณาเป็นรายพลังงานพบว่า ต้นทุนของพลังงานแต่ละประเภทเพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกัน กล่าวคือเมื่ออุตสาหกรรมเหล็กมีการขยายตัวทำให้ต้นทุนน้ำมันและก๊าซเพิ่มขึ้นมากในอัตราที่ใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 24.3 ในขณะที่ต้นทุนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 20 เมื่อวิเคราะห์ถึงทิศทางการปรับตัวของพลังงานเทียบกับการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ปริมาณการผลิตและต้นทุนพลังงานรวมมีการปรับตัวไปในทางเดียวกันโดยต้นทุนน้ำมันปรับตัวสอดคล้องกับการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็ก ในขณะที่ต้นทุนไฟฟ้าและก๊าซภายหลังจากปี 2544 ขยายตัวในอัตราคงที่ โดยสรุปในภาวะที่ราคาน้ำมันสูงขึ้น การเพิ่มกำลังการผลิตจะส่งผลให้ต้นทุนน้ำมันและก๊าซเพิ่มขึ้นมากกว่าไฟฟ้า ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของมูลค่าการผลิตและต้นทุนพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

	2543	2544	2545	2546	2547	เฉลี่ย
ปริมาณการผลิต(ร้อยละ)	3.2	30.3	14.1	2.5	8.9	11.8
มูลค่าการผลิต(ร้อยละ)	10.5	5.3	-14.4	5.5	21.0	5.6
ต้นทุนพลังงานรวม(ร้อยละ)	27.7	21.6	15.0	13.3	27.2	21.0
ต้นทุนไฟฟ้า(ร้อยละ)	34.3	14.6	15.7	17.4	17.9	20.0
ต้นทุนน้ำมัน(ร้อยละ)	0.2	46.9	15.1	2.3	57.3	24.3
ต้นทุนก๊าซ(ร้อยละ)	67.3	11.4	11.5	18.4	12.7	24.3

หมายเหตุ: การผลิตและพลังงานคำนวณจากผู้ประกอบการที่ทำการผลิตตลอดช่วงปี 2542 ถึง 2547 จำนวน 18 ราย

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับการผลิต การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสามารถพิจารณาจากค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานโดยดัชนีความเข้มข้นการใช้พลังงานจะคำนวณจากสัดส่วนต้นทุนพลังงานต่อมูลค่าการผลิต หากค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานมีแนวโน้มลดลงแสดงว่า มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ผลการคำนวณความเข้มข้นการใช้พลังงานรวมและพลังงานแต่ละประเภทของอุตสาหกรรมเหล็กแสดงในตารางที่ 2.4 พบว่า ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กลดลงภายหลังจากปี 2544 เนื่องมาจากราคาพลังงานในช่วงนี้ปรับตัวสูงขึ้น เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นการใช้พลังงานแต่ละประเภทพบว่า อุตสาหกรรมเหล็กมีความเข้มข้นการใช้ไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาคือ น้ำมันและก๊าซ ตามลำดับ ความเข้มข้นการใช้ไฟฟ้าและก๊าซลดลงภายหลังจากปี 2544 เช่นเดียวกับความเข้มข้นการใช้พลังงานรวมและเป็นช่วงเวลาที่ราคาไฟฟ้าและก๊าซเพิ่มขึ้นมาก ในช่วงนี้อุตสาหกรรมเหล็กสามารถลดความเข้มข้นการใช้ก๊าซได้สูงถึงร้อยละ 10.8 ต่อปีและลดความเข้มข้นการใช้ไฟฟ้าได้สูงถึงร้อยละ 8.6 ต่อปีแสดงให้เห็นว่า อุตสาหกรรมเหล็กมีการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ก๊าซได้ค่อนข้างมาก ในขณะที่ประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

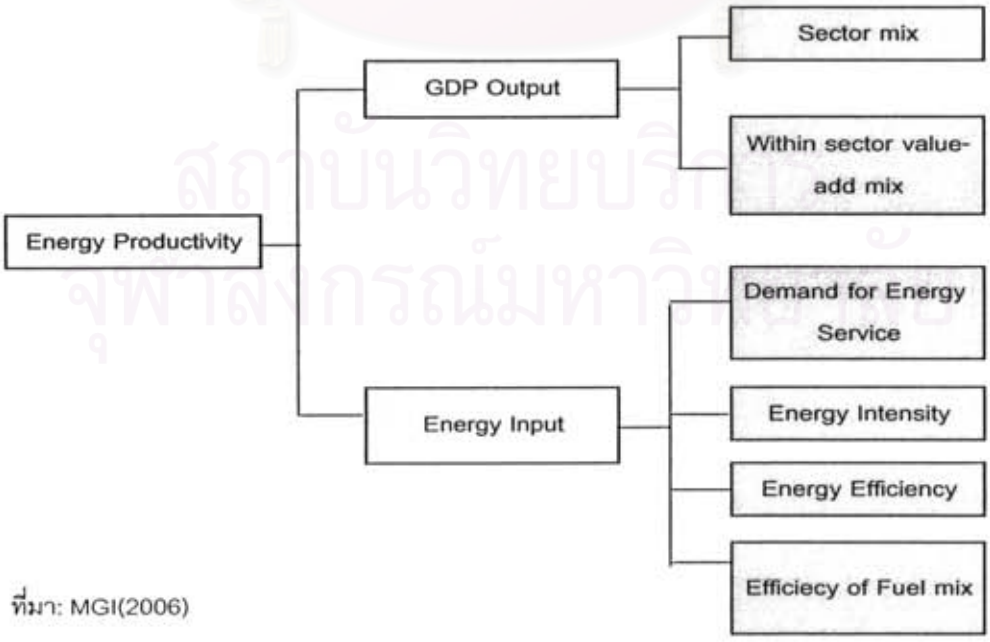
ประเภทพลังงาน	2542	2543	2544	2545	2546	2547
พลังงานรวม(บาท/ร้อยบาท)	4.72	5.46	5.42	5.14	4.43	4.18
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*15.57*	*-0.70*	*-5.12*	*-13.77*	*-5.63*
การเพิ่มขึ้นของราคา(ร้อยละ)	*n.a.*	*18.04*	*0.22*	*0.43*	*5.84*	*13.88*
ไฟฟ้า(บาท/ร้อยบาท)	2.83	3.44	3.22	3.07	2.75	2.40
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*21.56*	*-6.46*	*-4.56*	*-10.63*	*-12.54*
การเพิ่มขึ้นของราคา(ร้อยละ)	*n.a.*	*11.92*	*12.86*	*-7.93*	*-1.51*	*15.07*
น้ำมัน(บาท/ร้อยบาท)	1.40	1.27	1.52	1.44	1.12	1.31
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*-9.33*	*19.89*	*-5.03*	*-22.14*	*16.69*
การเพิ่มขึ้นของราคา(ร้อยละ)	*n.a.*	*3.57*	*5.12*	*6.54*	*9.88*	*22.33*
ก๊าซ(บาท/ร้อยบาท)	0.50	0.75	0.68	0.63	0.57	0.47
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*51.41*	*-9.05*	*-7.99*	*-9.91*	*-16.40*
การเพิ่มขึ้นของราคา(ร้อยละ)	*n.a.*	*4.17*	*19.64*	*1.26*	*8.78*	*2.28*

การวิเคราะห์แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามกรอบการแนวคิดของ MGI(2006) ชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานสามารถทำได้ 2 แนวทาง (แผนภาพที่ 2.2) คือ การบริหารจัดการทางด้านพลังงานและการบริหารจัดการทางด้านการผลิต มีรายละเอียดดังนี้

1. การบริหารการจัดการทางด้านพลังงาน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยลดการใช้พลังงานลง มี 4 วิธีคือ 1.)การลดการใช้พลังงานในส่วนของการขนส่งและลำเลียงภายในโรงงาน 2.) การลดความเข้มข้นการใช้พลังงาน เช่น การลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน 3.) การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด และ 4.) การเลือกองค์ประกอบของพลังงานให้เหมาะสม โดยนำพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้แทนพลังงานที่มีประสิทธิภาพต่ำหรือนำพลังงานราคาถูกต่ำมาทดแทนพลังงานที่มีราคาแพง

2. การจัดการด้านการผลิต เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากกว่าการใช้พลังงาน สามารถทำได้ 2 แนวทาง ดังนี้ 1.) การเปลี่ยนโครงสร้างการผลิตจากภาคการผลิตที่ใช้พลังงานสูงไปสู่ภาคการผลิตที่ใช้พลังงานต่ำ ประเทศพัฒนาส่วนใหญ่ได้เปลี่ยนจากภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นภาคการผลิตมีการใช้พลังงานสูงมาเป็นภาคธุรกิจหรือภาคบริการที่มีมูลค่าเพิ่มสูงแทน 2.) การสนับสนุนให้ภาคการผลิตที่มีการใช้พลังงานต่ำขยายตัวได้เร็วกว่าภาคการผลิตที่มีการใช้พลังงานสูง

แผนภาพที่ 2.2 แหล่งที่มาของการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน



ที่มา: MGI(2006)

สำหรับแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย จากการวิเคราะห์ของโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก(2549) พบว่าสาเหตุที่ความเข้มข้นการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กลดลงมาจาก 2 ปัจจัย สาเหตุหลักมาจากความพยายามที่จะลดความเข้มข้นการใช้พลังงานของผู้ประกอบการแต่ละรายในอุตสาหกรรมเหล็กลง อีกสาเหตุหนึ่งมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมย่อยโดยอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางซึ่งเป็นภาคการผลิตที่มีการใช้พลังงานสูงสามารถลดความเข้มข้นการใช้พลังงานได้มากกว่าอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายซึ่งลดลงไม่มากนัก แสดงให้เห็นว่าหากผู้ประกอบการแต่ละรายมีการปรับปรุงกระบวนผลิตจะช่วยลดความเข้มข้นการใช้พลังงานภายในโรงงานลงและส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของทั้งอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น อุตสาหกรรมเหล็กก็จะมีการใช้พลังงานลดลง

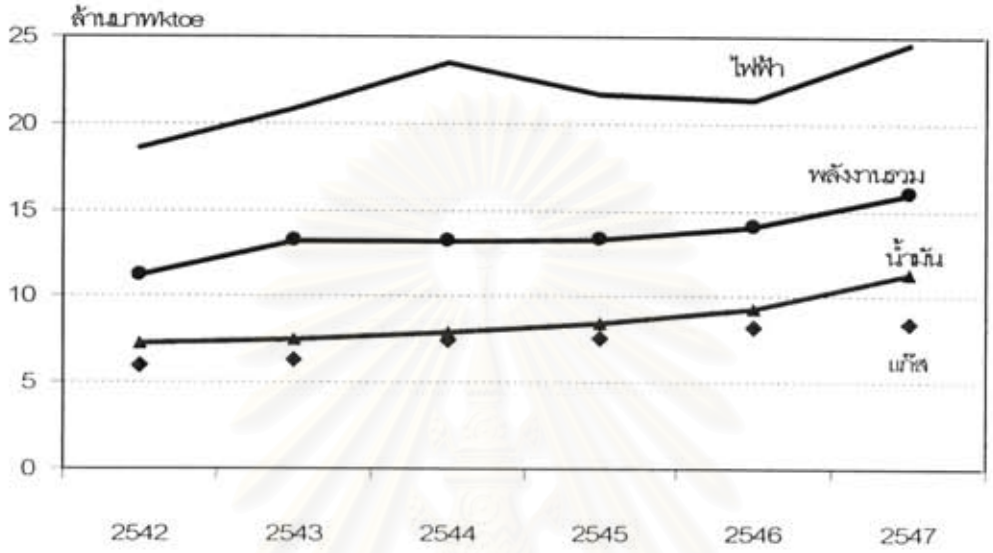
ราคาพลังงาน

ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไป การปรับตัวของผู้ประกอบการมีด้วยกัน 2 ระดับคือ ทดแทนการใช้พลังงานด้วยปัจจัยการผลิตอื่นและทดแทนพลังงานที่มีราคาสูงด้วยพลังงานมีราคาต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ความสามารถการทดแทนกันของพลังงานทั้งสองระดับจะต้องคำนึงถึงบทบาทของพลังงานรวมและพลังงานแต่ละชนิดว่ามีความสำคัญในกระบวนการผลิตนั้นมากน้อยเพียงใด หากพลังงานใดจำเป็นต่อกระบวนการผลิตค่อนข้างมากการเปลี่ยนแปลงของราคาพลังงานก็จะส่งผลต่อการใช้พลังงานนั้นไม่มากนัก ส่วนพลังงานที่มีความสำคัญรองลงมาผู้ประกอบการก็ยินดีที่จะเปลี่ยนไปใช้พลังงานประเภทอื่น จากการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กพบว่า พลังงานมีบทบาทในกระบวนการผลิตไม่สูงนักเมื่อเทียบกับวัตถุดิบและสินค้าทุน หลังราคาพลังงานเพิ่มขึ้นในปี 2544 การใช้พลังงานกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานมีราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสินค้าทุนและแรงงานทำให้ผู้ประกอบการยินดีที่จะแบกรับต้นทุนพลังงานที่สูงขึ้นแทนการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่หรือการจ้างงานเพิ่มขึ้น

พลังงานแต่ละประเภทมีระดับราคาและบทบาทในอุตสาหกรรมเหล็กแตกต่างกัน ราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันทำให้ราคาพลังงานประเภทอื่นๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เท่ากัน ผู้ประกอบการจึงมีการปรับตัวต่อการใช้พลังงานแต่ละประเภทไม่เหมือนกัน จากแผนภาพที่ 2.3 พบว่า ระหว่างปี 2542-2547 ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีราคาต่อหน่วยสูงสุด ในขณะที่น้ำมันและก๊าซมีระดับราคาใกล้เคียงกัน หากเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานพบว่า ราคาพลังงานรวมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 7.7 ต่อปี ราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดคือ มีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ

11 ต่อปี รองลงมาคือ ก๊าซ(ร้อยละ 7.2) และไฟฟ้า(ร้อยละ 6.7) ตามลำดับ เห็นได้ว่าแม้ไฟฟ้าจะมีราคาสูงเมื่อเทียบกับพลังงานประเภทอื่น แต่ราคาของไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าราคาน้ำมันและราคาก๊าซ

แผนภาพที่ 2.3 ราคาพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก



ความแตกต่างของระดับราคาและอัตราการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานส่งผลต่อการใช้พลังงานแต่ละประเภท เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนต้นทุนของพลังงานแต่ละประเภท(ตารางที่ 2.5) พบว่าสัดส่วนต้นทุนไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่สัดส่วนต้นทุนน้ำมันและก๊าซมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทดแทนการใช้น้ำมันและก๊าซ ต้นทุนไฟฟ้าเฉลี่ยต่อผลผลิต 1 ตันสูงกว่าต้นทุนเฉลี่ยของน้ำมันและก๊าซต่อผลผลิต ตามลำดับ แต่เนื่องจากต้นทุนไฟฟ้ามีอัตราการขยายตัวต่ำทำให้ต้นทุนไฟฟ้าเฉลี่ยต่อผลผลิตเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ส่วนต้นทุนก๊าซเฉลี่ยต่อผลผลิตเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงเพราะราคาของก๊าซเพิ่มขึ้นสูงกว่าราคาไฟฟ้าแต่อุตสาหกรรมเหล็กยังคงใช้ก๊าซในปริมาณเท่าเดิมทำให้ต้นทุนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมาก ต้นทุนเฉลี่ยต่อตันที่นำมาวิเคราะห์เป็นดัชนีความเข้มข้นการใช้พลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง จากตารางที่ 2.5 สามารถสรุปได้ว่า ต้นทุนก๊าซเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นทุนน้ำมันและไฟฟ้าตามลำดับ

สรุปได้ว่าตลอดช่วงปี 2542 ถึง 2547 ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีการใช้มากและมีระดับราคาค่อนข้างสูงแต่มีอัตราการขยายตัวต่ำทำให้ต้นทุนเฉลี่ยต่อตันเพิ่มขึ้นไม่มากนัก น้ำมันเป็นพลังงานที่มีราคาใกล้เคียงกับก๊าซแต่มีอัตราเพิ่มขึ้นสูงมากจึงทำให้มีการใช้น้ำมันลดลงมากกว่าการใช้ก๊าซ ส่งผลให้ต้นทุนเฉลี่ยของพลังงานทั้งสองใกล้เคียงกัน กล่าวได้ว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมัน

และก๊าซทำให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กลดการใช้น้ำมันและก๊าซลงและหันไปใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงต้นทุนและราคาพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

ประเภทพลังงาน	2542	2543	2544	2545	2546	2547	เฉลี่ย
สัดส่วนต้นทุน							
พลังงานรวม	2.7	3.3	3.7	3.8	4.4	4.1	3.9
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*20.2*	*13.4*	*1.9*	*17.1*	*-8.6*	*8.8*
ไฟฟ้า	61.1	66.2	63.2	62.9	70.3	69.0	66.3
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*8.3*	*-4.5*	*-0.6*	*11.8*	*-1.8*	*2.6*
น้ำมัน	28.9	23.7	27.0	27.5	19.5	21.2	23.8
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*-17.9*	*14.0*	*1.6*	*-29.2*	*9.0*	*-4.5*
ก๊าซ	10.0	10.1	9.7	9.7	10.3	9.8	9.9
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*1.0*	*-3.4*	*-0.5*	*6.2*	*-4.5*	*-0.3*
ต้นทุนเฉลี่ย(บาท/ตัน)							
พลังงานรวม	615.4	761.3	710.8	716.5	791.8	924.7	753.4
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*23.7*	*-6.6*	*0.8*	*10.5*	*16.8*	*9.0*
ไฟฟ้า	368.7	479.9	422.1	428.0	490.1	530.5	453.2
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*30.1*	*-12.0*	*1.4*	*14.5*	*8.2*	*8.5*
น้ำมัน	181.9	176.6	199.0	200.9	200.4	289.4	208.0
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*-2.9*	*12.7*	*0.9*	*-0.2*	*44.4*	*11.0*
ก๊าซ	64.7	104.9	89.7	87.7	101.3	104.8	92.2
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*62.1*	*-14.5*	*-2.2*	*15.4*	*3.5*	*12.9*
ราคาเฉลี่ย(ล้านบาท/ktoe)							
พลังงานรวม	11.2	13.3	13.3	13.3	14.1	16.1	
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*18.0*	*0.2*	*0.4*	*5.8*	*13.9*	*7.7*
ไฟฟ้า	18.6	20.9	23.5	21.7	21.3	24.6	
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*11.9*	*12.9*	*-7.9*	*-1.5*	*15.1*	*6.1*
น้ำมัน	7.3	7.5	7.9	8.4	9.2	11.3	
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*3.6*	*5.1*	*6.5*	*9.9*	*22.3*	*9.5*
ก๊าซ	6.0	6.3	7.5	7.6	8.3	8.5	
อัตราการขยายตัว(ร้อยละ)	*n.a.*	*4.2*	*19.6*	*1.3*	*8.8*	*2.3*	*7.2*

หมายเหตุ: สัดส่วนต้นทุนพลังงานรวม คำนวณจาก ต้นทุนพลังงานรวมต่อต้นทุนรวม

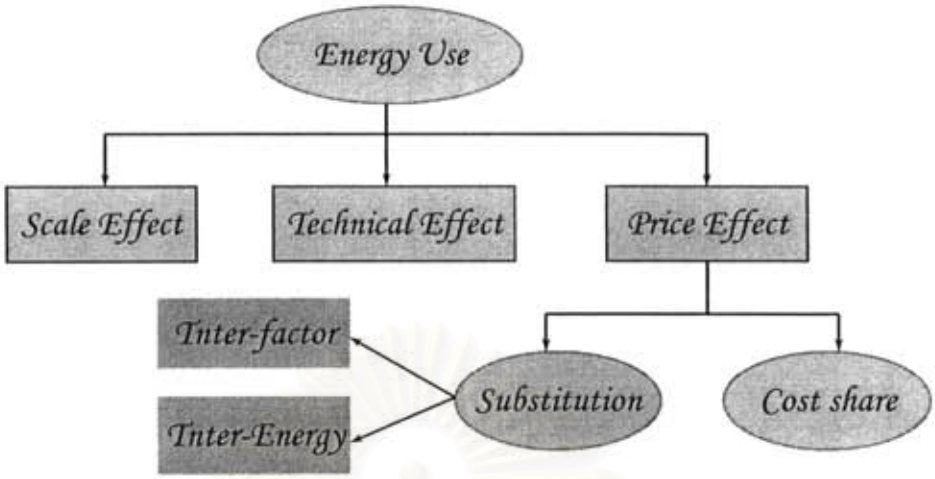
: สัดส่วนต้นทุนของพลังงานแต่ละประเภท คำนวณจากต้นทุนพลังงานต่อต้นทุนพลังงานรวม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ในบทนี้สรุปได้ว่า อุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 อุตสาหกรรมย่อยคือ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางและอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย อุตสาหกรรมย่อยทั้งสองมีขั้นตอนและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกันส่งผลให้มีการใช้พลังงานแต่ละประเภทในปริมาณที่แตกต่างกัน อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางมีการใช้พลังงานค่อนข้างมากโดยเฉพาะผู้ประกอบการที่มีเตาหลอม มีการใช้ไฟฟ้า น้ำมันและก๊าซในการผลิตสินค้า ขณะที่อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายมีความเข้มข้นการใช้พลังงานต่ำกว่าและใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นหลัก สำหรับการใช้พลังงานและปัจจัยการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กในภาพรวมพบว่า อุตสาหกรรมเหล็กใช้สินค้าทุนและวัตถุดิบค่อนข้างมาก มีการใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ แต่มีแนวโน้มที่จะใช้วัตถุดิบและพลังงานเพิ่มขึ้นมาก พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานหลักแม้จะมีราคาสูงเมื่อเทียบกับราคาของน้ำมันและก๊าซ อุตสาหกรรมเหล็กกลับมีแนวโน้มที่จะใช้เพิ่มขึ้น ขณะที่น้ำมันและก๊าซซึ่งมีราคาต่ำกว่ากลับมีแนวโน้มที่จะลดการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองลง ทั้งนี้เนื่องจากราคาน้ำมันและราคาก๊าซเพิ่มขึ้นมากกว่าราคาไฟฟ้า

โดยสรุป ปัจจัยที่กำหนดการใช้พลังงานสามารถจำแนกออกเป็น 3 ส่วนดังแผนภาพที่ 2.4 คือ ปริมาณการผลิต(Scale Effects) การปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือพัฒนาเทคโนโลยี (Technical Effects) และราคา(Price Effects) หากอุตสาหกรรมเหล็กต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตจะทำให้มีการใช้พลังงานรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าและทำให้มีการใช้น้ำมันและก๊าซเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้ไฟฟ้า ขณะเดียวกันการปรับปรุงกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมช่วยลดความเข้มข้นการใช้พลังงานลงส่งผลให้มีการใช้พลังงานลดลง โดยสามารถลดการใช้ก๊าซได้มากกว่าการใช้ไฟฟ้าแต่ไม่สามารถลดการใช้น้ำมันได้มากนัก สำหรับผลของราคาพลังงานแต่ละประเภทจะส่งผลให้ผู้ประกอบการมีการใช้ไฟฟ้าแทนน้ำมันและก๊าซ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ถึงผลของการเปลี่ยนแปลงราคาเป็นการประเมินการทดแทนกันในเบื้องต้นเท่านั้น หากต้องการทราบถึงระดับของการทดแทนกันโดยนำบทบาทของพลังงานเข้ามาร่วมวิเคราะห์ด้วยจะทำให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น โดยใช้แบบจำลองและเครื่องมือทางเศรษฐมิติ เพื่อวัดผลเชิงปริมาณของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงราคาที่มีต่อการใช้ปัจจัยการผลิตพลังงานรวมและพลังงานแต่ละประเภท รวมทั้งการวัดความสามารถในการทดแทนกันในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานย่อย

แผนภาพที่ 2.4 สรุปปัจจัยที่กำหนดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การวัดความสามารถการทดแทนกัน

การวัดความสามารถการทดแทนกันในงานศึกษานี้ใช้ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันเป็นเครื่องมือวัดระดับการทดแทนกันระหว่างพลังงานกับปัจจัยการผลิต และการทดแทนกันระหว่างพลังงานประเภทต่างๆ เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 กล่าวถึงทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาคที่เป็นพื้นฐานของแบบจำลองประกอบด้วยทฤษฎีผู้ผลิต (Theory of The Firm) และทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดความสามารถการทดแทนกัน ส่วนที่ 2 นำรูปแบบสมการที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับทฤษฎี ส่วนที่ 3 เป็นการสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทดแทนกันของพลังงานที่ได้ทำไว้ในอดีต

3.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

ทฤษฎีผู้ผลิต เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงพฤติกรรมการใช้ปัจจัยการผลิตประเภทต่างๆ ในการผลิตสินค้าชนิดหนึ่ง การศึกษานี้ใช้ทฤษฎีควบคู่(Duality Theory) ที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตสินค้ากับต้นทุนการผลิต *ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดความสามารถการทดแทนกัน* เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงพฤติกรรมการใช้ปัจจัยการผลิตในกรณีที่ราคาปัจจัยการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วยความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาปัจจัยการผลิต(Price Elasticity of Factor Demand) และความยืดหยุ่นการทดแทนกัน(Elasticity of Substitution) ส่วนนี้กล่าวถึงนิยามและความแตกต่างเชิงทฤษฎีของความยืดหยุ่นทั้งสองแบบ รวมถึงความสัมพันธ์ของความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาและความยืดหยุ่นการทดแทนกัน

3.1.1 ทฤษฎีควบคู่ระหว่างสมการการผลิตและสมการต้นทุน

ตามทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาค หากผู้ผลิตต้องการผลิตสินค้าเพื่อจำหน่ายในตลาดสินค้าที่มีการแข่งขันอย่างสมบูรณ์ ณ ระดับเทคโนโลยีใดๆ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตทุกประเภทและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตกับสินค้าได้จากสมการการผลิต ขณะเดียวกันผู้ผลิตจะตัดสินใจเลือกใช้ปัจจัยการผลิตใดและปริมาณเท่าใดจากตลาดปัจจัยการผลิตที่มีการแข่งขันสมบูรณ์มาผลิตสินค้าจะพิจารณาจากราคาปัจจัยการผลิตนั้น ราคาปัจจัยการผลิตอื่นๆ ราคาสินค้าและปริมาณการผลิต หากผู้ผลิตต้องการผลิตสินค้าจำนวนเพื่อให้เกิด

ต้นทุนการผลิตต่ำสุด (Cost Minimization) ผู้ผลิตสามารถคำนวณหาปริมาณของปัจจัยการผลิตแต่ละประเภทที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำสุดได้ ดังนั้นสมการการผลิตกับสมการต้นทุนเปรียบเหมือนกับเหรียญสองด้านที่ไม่ว่าจะพิจารณาจากสมการใดก็สามารถนำมาอธิบายโครงสร้างและเทคโนโลยีการผลิตได้ การศึกษานี้จึงนำทฤษฎีควบคู่มาเชื่อมโยงสมการทั้งสอง พิจารณาจากสมการที่ (3.1)

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^{n} X_i P_i \qquad \text{เมื่อ } (i = 1,2,\ldots,n)$$
$$\text{Subject to } Q = f(X_1, X_2, \ldots, X_n) \tag{3.1}$$

เมื่อ X_i คือปัจจัยการผลิต P_i คือราคาของปัจจัยการผลิต และ Q คือผลผลิต จากสมการข้างต้นสามารถเขียนเป็นสมการต้นทุนต่ำสุด ณ ระดับการผลิตใดๆ ได้ดังนี้

$$C^* = g(Q, P_1, P_2, \ldots, P_n) \tag{3.2}$$

หากผู้ผลิตต้องการผลิตสินค้าเพื่อให้มีต้นทุนต่ำสุด ผู้ผลิตสามารถคำนวณหาปริมาณของปัจจัยการผลิตทุกชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยใช้ Shephard's Lemma จากสมการที่ (3.2) สามารถหาปัจจัยการผลิตใดๆ ที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำสุดโดยหาอนุพันธ์สมการต้นทุนเทียบกับราคาของปัจจัยการผลิตชนิดนั้น ดังแสดงในสมการที่ (3.3)

$$\frac{\partial C^*}{\partial P_i} = X_i^*(Q, P_1, P_2, \ldots, P_n) \tag{3.3}$$

3.1.2 <u>การวัดความสามารถการทดแทนกัน</u>

โดยทั่วไปการวัดความสามารถการทดแทนกันในเชิงเศรษฐศาสตร์สามารถวัดได้จากค่าความยืดหยุ่น 2 แบบคือ ความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาปัจจัยการผลิต(Price Elasticity of Factor Demand) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิต(Price Effect) และความยืดหยุ่นการทดแทนกัน (Elasticity of Substitution) เป็นการวัดการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตคู่ใดๆ ภายใต้เทคโนโลยีที่ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน มีรายละเอียดดังนี้

n. ความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาปัจจัยการผลิต(Price Elasticity of Factor Demand)

ความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาเป็นการวัดว่า เมื่อราคาปัจจัยการผลิตชนิดใดชนิดหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดมากน้อยเพียงใด หากค่าความยืดหยุ่นที่ประมาณได้มีค่ามากแสดงว่าปัจจัยการผลิตนั้นมีความอ่อนไหวต่อราคามาก เมื่อราคามีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิตนั้นได้ง่าย ตามทฤษฎีเศรษฐศาสตร์ความยืดหยุ่นต่อราคาจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

1.) ความยืดหยุ่นต่อราคาหรือความยืดหยุ่นต่อราคาปัจจัยการผลิตนั้น(Own Price Factor Demand Elasticity, ε_{ii}) เป็นการวัดว่าเมื่อราคาปัจจัยการผลิตชนิดใดชนิดหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิตนั้นอย่างไร คำนวณจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณปัจจัยการผลิตต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตนั้นดังแสดงในสมการที่ (3.4) ความยืดหยุ่นต่อราคามีค่าเป็นลบเสมอ($\varepsilon_{ii} < 0$) เพราะโดยทั่วไปเมื่อราคาปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้น (P_i) จะทำให้ผู้ผลิตปรับลดการใช้ปัจจัยนั้นลง อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตสามารถลดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับบทบาทของปัจจัยการผลิตนั้นในกระบวนการผลิตซึ่งสามารถวัดได้จากขนาดของค่าความยืดหยุ่น ถ้าปัจจัยการผลิตนั้นมีความจำเป็นต่อการผลิตสินค้ามาก ค่าความยืดหยุ่นต่อราคาจะน้อยกว่า 1 หรือที่เรียกกันว่า ปัจจัยการผลิตนั้นมีความยืดหยุ่นต่ำ(Inelastic) นั่นคือ เมื่อปัจจัยการผลิตนั้นมีราคาเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้การใช้ปัจจัยการผลิตนั้นลดลงเพียงเล็กน้อย ในทางตรงข้ามหากค่าความยืดหยุ่นมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปัจจัยการผลิตนั้นมีความยืดหยุ่นสูง(Elastic) กล่าวคือ ปัจจัยการผลิตนั้นไม่จำเป็นต่อการผลิตมากนักเพราะหากราคาเปลี่ยนแปลงไปผู้ผลิตสามารถที่จะลดการใช้ปัจจัยการผลิตนั้นได้มาก

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\%\Delta X_i}{\%\Delta P_i} = \frac{\partial X_i}{\partial P_i}\frac{P_i}{X_i} = \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_i} \qquad (3.4)$$

2.) ความยืดหยุ่นไขว้หรือความยืดหยุ่นต่อราคาปัจจัยการผลิตอื่น(Cross Price Factor Demand Elasticity, ε_{ij}) เป็นการวัดว่าเมื่อราคาปัจจัยการผลิตชนิดใดชนิดหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิตอื่นอย่างไร คำนวณจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณปัจจัยการผลิตหนึ่งต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตอีกชนิดหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ (3.5) ตามทฤษฎี ความยืดหยุ่นไขว้เป็นได้ทั้งบวกและลบ หากมีค่าเป็นบวก($\varepsilon_{ij} > 0$) แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองสามารถทดแทนกันได้ นั่นคือเมื่อราคาปัจจัยการผลิตหนึ่ง(P_j)

เพิ่มขึ้นจะทำให้ผู้ผลิตหันไปใช้ปัจจัยการผลิตชนิดอื่นเพิ่มขึ้น(X_i) ในทางกลับกันหากความยืดหยุ่นไขว้มีค่าเป็นลบ($\varepsilon_{ij} < 0$) แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน อธิบายได้ว่า เมื่อราคาปัจจัยการผลิตหนึ่ง(P_j) เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตอีกชนิดลดลง(X_i)

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\%\Delta X_i / X_i}{\%\Delta P_j / P_j} = \frac{\partial X_i}{\partial P_j}\frac{P_j}{X_i} = \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_j} \tag{3.5}$$

ข. ความยืดหยุ่นการทดแทน(Elasticity of Substitution)

ความยืดหยุ่นการทดแทนเป็นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่นิยมใช้วัดความสามารถการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิต โดยวิเคราะห์ว่าหากราคาของปัจจัยการผลิตใดๆ เปลี่ยนแปลงไป ผู้ผลิตจะใช้ปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดอย่างไรภายใต้เทคโนโลยีการผลิตที่มีอยู่และการผลิตยังคงต้นทุนต่ำสุดต่อไป ในสถานการณ์นี้ผู้ผลิตมีทางเลือกในการใช้ปัจจัยการผลิตได้ 2 แนวทาง คือ ลดการใช้ปัจจัยการผลิตนั้นและหันปัจจัยการผลิตชนิดอื่นหรือลดปัจจัยการผลิตชนิดนั้นและลดการใช้ปัจจัยการผลิตชนิดอื่นด้วย การวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันจำแนกได้ 2 กรณีดังนี้ (Thompson, 2006)

<u>กรณีที่ 1</u> การวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันเชิงเปรียบเทียบ(Relative Substitution Elasticity) เป็นการวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันในกรณีที่กระบวนการผลิตมีปัจจัยการผลิตเพียง 2 ชนิด คำนวณจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนปริมาณปัจจัยการผลิตต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงอัตราการทดแทนกันหน่วยสุดท้ายของปัจจัยการผลิตทั้งสอง(Marginal Rate of Technical Substitution, MRTS) เรียกค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณตามแนวทางนี้ว่า Hick Elasticity of Substitution(HES)

$$HES_{KL} = \frac{d\ln(L/K)}{d\ln(f_K / f_L)} = \frac{d(L/K)}{d(f_K / f_L)} \cdot \frac{(f_K / f_L)}{(L/K)} \tag{3.6}$$

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ Hick ในสมการที่ (3.6) สามารถคำนวณได้จากสมการการผลิตโดยตรง โดยนำทฤษฎีควบคู่มาปรับสมการที่ (3.7ก) เป็นสมการที่ (3.7ข) ดังนี้ (ดูรายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ 1)

$$HES_{KL} = \frac{(f_K K + f_L L)}{KL} \cdot \frac{|B_{KL}|}{|B|} \quad (3.7ก)$$

$$= \frac{(f_K K + f_L L)}{KL} \cdot \frac{\partial K^*}{\partial P_L} \quad (3.7ข)$$

เมื่อ $|B|$ คือ Border Hessian Matrix

$|B_{ij}|$ คือ Cofactor ของเมทริกซ์ B

หากวิเคราะห์จากสมการต้นทุนก็สามารถคำนวณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันเชิงเปรียบเทียบได้เช่นเดียวกัน โดยนำแนวคิด Shephard's Lemma($\frac{\partial C^*}{\partial P_i} = X_i^*$) มาปรับเทอม $\frac{\partial K^*}{\partial P_L}$ ในสมการที่ (3.7ข) ได้ว่า $\frac{\partial K^*}{\partial P_L} = \frac{\partial^2 C^*}{\partial P_L \partial P_K}$ และภายใต้ข้อสมมติตลาดปัจจัยการผลิตเป็นตลาดแข่งขันสมบูรณ์ ราคาของปัจจัยการผลิต(P_i) จะเท่ากับผลผลิตหน่วยสุดท้าย(Marginal Product, MP_i) จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$HES_{KL} = \frac{P_K K + P_L L}{KL} \cdot \frac{\partial^2 C^*}{\partial P_L \partial P_K} \quad (3.8)^{***}$$

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามนิยามของ Hick สามารถวัดความโค้งของเส้นผลผลิตเท่ากันซึ่งเป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตสองชนิดในการผลิตสินค้า ณ ระดับใดๆ ได้ อย่างไรก็ตาม แนวทางนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่มากหากนำไปวิเคราะห์กระบวนการผลิตที่มีปัจจัยการผลิตมากกว่า 2 ชนิด ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Hick จะไม่คำนึงถึงปัจจัยการผลิตที่อยู่นอกเหนือการพิจารณาทำให้ค่าที่ประมาณได้บิดเบือนไปเพราะปัจจัยการผลิตทุกชนิดต่างมีบทบาทและมีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงมีการนำเสนอแนวทางในการคำนวณความยืดหยุ่นการทดแทนกันใหม่เพื่อให้สามารถปรับใช้ในการวิเคราะห์กรณีที่มีหลายปัจจัยการผลิตได้

<u>กรณีที่ 2</u> การวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันบางส่วน(Partial Substitution Elasticity) เป็นวิธีการวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยคู่หนึ่งในกระบวนการผลิตที่มีการใช้ปัจจัยการผลิตมากกว่า 2 ชนิด การคำนวณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันบางส่วนมี 2 วิธีคือ การวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen(1938) และการวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima(1967) ซึ่งแนวทางทั้งสองมีความแตกต่างกันในเชิงทฤษฎี มีรายละเอียดดังนี้

1. ความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ Allen(AES)

เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ปัจจัยการชนิดหนึ่ง (X_i) ต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตอีกชนิดหนึ่ง (P_j) กำหนดให้ราคาของปัจจัยการผลิตอื่นๆ และผลผลิตคงที่ การคำนวณความยืดหยุ่นจากสมการต้นทุนการผลิตตามแนวคิดของ Allen ได้นำเอาปัจจัยการผลิตทุกชนิดเข้ามาร่วมพิจารณาด้วยซึ่งแตกต่างจากแนวทางของ Hick ที่สนใจเฉพาะปัจจัยการผลิตคู่ที่กำลังพิจารณาอยู่เท่านั้น สังเกตได้จากตัวเศษในเทอมแรกของสมการที่ (3.9) $\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j}\right)$ ต่างจากตัวเศษในเทอมแรกของสมการที่ (3.8) $\left(\frac{P_i X_i + P_j X_j}{X_i X_j}\right)$

$$AES_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{|B_{ij}|}{|B|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i \partial P_j} \tag{3.9}$$

เมื่อ AES_{ij} คือ ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิต i และ j ของ Allen

X_i, X_j คือ ปัจจัยการผลิต i และ j

P_i, P_j คือ ราคาของปัจจัยการผลิต i และ j

จากสมการข้างต้น กำหนดให้ $\sum_{i=1}^{n} P_i X_i$ เท่ากับต้นทุนรวมที่ระดับต่ำสุด(C^*) และนำ Shephard's Lemma มาจัดรูปเทอมสุดท้ายของสมการที่ (3.9) ได้ว่า $\frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i \partial P_j} = \frac{\partial X_i}{\partial P_j}$ เขียน AES_{ij} ในรูปใหม่ได้ดังนี้

$$AES_{ij} = \frac{C^*}{X_i X_j} \frac{\partial X_i^*}{\partial P_j} \tag{3.10}$$

นำ P_j คูณทั้งเศษและส่วนของสมการที่ (3.10) และกำหนดให้ $\frac{X_j P_j}{C^*} = M_j$ ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง AES_{ij} และความยืดหยุ่นไขว้(ε_{ij}) ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$AES_{ij} = \frac{C^*}{X_j P_j} \cdot \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_j} = \frac{1}{M_j} \cdot \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_j} = \frac{\varepsilon_{ij}}{M_j} \quad (3.11)^{***}$$

เมื่อ M_j คือสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิตที่ราคาเปลี่ยนแปลงไป(X_j) ต่อต้นทุนรวม

ทิศทางและขนาดของค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตสองชนิดว่าเป็นปัจจัยที่ใช้ทดแทนหรือประกอบกัน หาก AES_{ij} มีค่าเป็นบวก($AES_{ij} > 0$) แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองสามารถทดแทนกันได้ แต่ถ้าค่าความยืดหยุ่นเป็นลบ($AES_{ij} < 0$) แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองใช้ประกอบกัน สำหรับขนาดของค่าความยืดหยุ่นหากมีค่ามากแสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมาก กล่าวคือ สามารถทดแทนกันหรือประกอบกันได้สูงขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของค่าความยืดหยุ่น

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen และความยืดหยุ่นไขว้มีความหมายใกล้เคียงกัน โดยเป็นการหาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้สมการที่ (3.11) แสดงให้เห็นว่าความยืดหยุ่นทั้งสองมีเครื่องหมายเหมือนกันและ AES_{ij} มีค่ามากกว่า ε_{ij} เสมอเพราะ AES_{ij} คำนวณจากค่าความยืดหยุ่นไขว้หารด้วยสัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิตที่มีค่าน้อยกว่า 1 อย่างไรก็ตาม AES_{ij} มีคุณสมบัติประการหนึ่งที่แตกต่างจาก ε_{ij} คือ AES_{ij} มีลักษณะสมมาตร($AES_{ij} = AES_{ji}$) ในขณะที่ ε_{ij} ไม่มีคุณสมบัตินี้จึงทำให้ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen ไม่เหมาะที่จะอธิบายการใช้ปัจจัยการผลิตในกรณีที่ราคามีการเปลี่ยนแปลง เพราะในความเป็นจริงแล้วปัจจัยการผลิตทั้งสองต่างมีความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาอีกปัจจัยหนึ่งในระดับที่แตกต่างกัน กรณีนี้ค่าความยืดหยุ่นไขว้จึงอธิบายได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังคงวัดค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับงานศึกษาในอดีตและใช้เป็นค่าอ้างอิงของค่าความยืดหยุ่นที่วัดโดยวิธีอื่น

จุดอ่อนของการวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen ที่จำแนกโดย Blackorby and Russell(1981) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นใหญ่ ประเด็นแรก นิยามความยืดหยุ่นของ Allen แตกต่างจากนิยามของความยืดหยุ่นการทดแทนกันที่นำเสนอโดย Hick เพราะค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตเพียงชนิดเดียวซึ่งต่างจากแบบดั้งเดิมที่วัดการเปลี่ยนแปลงโดยเปรียบเทียบของปัจจัยการผลิตทำให้ค่า AES_{ij} ไม่

สามารถวัดความโค้งของเส้นผลผลิตเท่ากันและสะท้อนโครงสร้างการใช้ปัจจัยการผลิตได้ ประเด็นที่สอง ค่า AES_{ij} จะแปรผันไปตามจำนวนปัจจัยในกระบวนการผลิตเพราะ AES_{ij} เป็นค่าที่ถ่วงน้ำหนัก ε_{ij} ด้วยสัดส่วนต้นทุน เมื่อสัดส่วนต้นทุนมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่า AES_{ij} เปลี่ยนแปลงไปด้วยโดยเฉพาะปัจจัยการผลิตที่มีสัดส่วนต้นทุนค่อนข้างต่ำ หากสัดส่วนดังกล่าวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าของ AES_{ij} เปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นการคำนวณค่าความยืดหยุ่นระหว่างปัจจัยการผลิตคู่ใดๆ จากกระบวนการผลิตที่ใช้ปัจจัยการผลิตไม่เท่ากันจะทำให้ค่าความยืดหยุ่นระหว่างปัจจัยการผลิตสองชนิดมีความแตกต่างกันเช่น ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างพลังงานกับทุนในกรณีที่มีปัจจัยการผลิตเพียงสามชนิด(KEL Model) จะต่างจากในกรณีที่มีปัจจัยการผลิต 4 ชนิด(KELM Model)[1] (Siddayao, 1987) ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนต้นทุนนี้เองทำให้การวิเคราะห์ตามแนวคิดของ Allen ไม่น่าเชื่อถือเท่าที่ควร Blackorby และ Russell (1981) จึงเสนอว่าควรใช้ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันที่ให้ค่าสม่ำเสมอในทุกแบบจำลองเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้และมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น เช่น ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima

2. **ความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ** Morishima(MES)

เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิด (X_i / X_j) ต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตชนิดหนึ่ง (P_j) โดยให้ราคาของปัจจัยการผลิตอื่นๆ และผลผลิตคงที่ เมื่อพิจารณาจากนิยามข้างต้น พบว่านิยามของ Morishima มีความคล้ายคลึงกับนิยามของ Hick มากกว่าของ Allen วิธีการคำนวณแสดงในสมการที่ (3.12)

$$MES_{ij} = \frac{\partial \ln(X_i / X_j)}{\partial \ln P_j} = \frac{\partial(X_i / X_j)}{\partial P_j} \cdot \frac{P_j}{(X_i / X_j)} \qquad (3.12)$$

เมื่อ AES_{ij} คือ ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิต i และ j ของ Allen

X_i, X_j คือ ปัจจัยการผลิต i และ j

P_i, P_j คือ ราคาของปัจจัยการผลิต i และ j

[1] K หมายถึงสินค้าทุน E หมายถึงพลังงาน L หมายถึงแรงงาน M หมายถึงวัตถุดิบ

จากทฤษฎีควบคู่สามารถเขียน MES_{ij} ในเทอมของ Border Hessian Matrix และผลผลิตหน่วยสุดท้ายของ j (f_j) ได้ดังนี้

$$MES_{ij} = \frac{f_i}{X_i} \cdot \frac{|B_{ij}|}{|B|} - \frac{f_j}{X_j} \cdot \frac{|B_{ij}|}{|B|} \tag{3.13}$$

นำสมการที่ (3.9) มาแทนในสมการที่ (3.12) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความยืดหยุ่นของ Allen กับความยืดหยุ่นของ Morishima ดังนี้

$$\begin{aligned} MES_{ij} &= \frac{f_j X_j}{f_i X_i} \cdot (AES_{ij} - AES_{jj}) \\ &= M_j \cdot (AES_{ij} - AES_{jj}) \end{aligned} \tag{3.14}$$

ถ้านำสมการที่ (3.11) แทนลงในสมการที่ (3.14) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง MES_{ij} กับความยืดหยุ่นต่อราคา(ε_{ii})และความยืดหยุ่นไขว้(ε_{ij})

$$MES_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{jj} \tag{3.15}$$

ในทางทฤษฎีปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันหรือประกอบกันพิจารณาได้จากเครื่องหมายของ MES_{ij} หากมีค่าเป็นบวก($MES_{ij} > 0$) แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองสามารถทดแทนกันได้ หากมีค่าเป็นลบ($MES_{ij} < 0$) แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองใช้ประกอบกัน ถ้าความยืดหยุ่นมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองสามารถใช้ทดแทนกันได้มากหรือจำเป็นต้องใช้ประกอบกันอย่างมาก แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองมีความสัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อย

ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen และ Morishima มีความแตกต่างทั้งในเชิงนิยามและทฤษฎี ความแตกต่างในเชิงนิยามทำให้ MES_{ij} ไม่มีคุณสมบัติสมมาตรเช่นเดียวกับความยืดหยุ่นไขว้จึงสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตได้ดีกว่าความยืดหยุ่นไขว้และความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen นอกจากนี้ความแตกต่างในเชิงทฤษฎีทำให้การตีความค่าความยืดหยุ่นทั้งสองแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่าง MES_{ij} และ AES_{ij} ในสมการที่ (3.14) สามารถทำนายทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตทั้งสองได้ หากค่า AES_{ij} เป็นบวกจะทำให้ค่า MES_{ij} เป็นบวกด้วย(ค่า AES_{jj} เป็นลบเสมอ) แต่ถ้า AES_{ij} เป็นลบ ค่า MES_{ij} อาจเป็นไปได้ทั้งบวก($MES_{ij} > 0$) และลบ($MES_{ij} < 0$) ดังนั้น

หากค่าความยืดหยุ่นของ Allen เป็นบวกหรือปัจจัยการผลิตทั้งสองทดแทนกันได้ สรุปได้ทันทีว่าปัจจัยการผลิตทั้งสองเป็นปัจจัยที่ทดแทนกันเสมอ แต่ถ้าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen เป็นลบไม่ได้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยการผลิตทั้งสองใช้ประกอบกัน เนื่องจากการวัดความยืดหยุ่นแบบ Allen มีแนวโน้มที่ปัจจัยการผลิตจะต้องใช้ประกอบกัน ในขณะที่การวัดความยืดหยุ่นแบบ Morishima มีความเอนเอียงว่าปัจจัยการผลิตจะสามารถใช้ทดแทนกัน

ข้อดีของความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima มีอยู่ 3 ประการ(Blackorby และ Russell, 1981) คือ ประการแรก ความยืดหยุ่น MES_{ij} ไม่มีลักษณะสมมาตร($MES_{ij} \neq MES_{ji}$) ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าและมีจำนวนค่าความยืดหยุ่นมากกว่าของ Allen ซึ่งสามารถนำไปประโยชน์ได้มากขึ้น ประการที่สอง การวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิตสองชนิดที่ผู้ศึกษาสนใจ ในขณะที่การวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Allen พิจารณาเฉพาะปัจจัยการผลิตชนิดเดียวเท่านั้น ประการสุดท้าย การวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima จะสามารถลดปัญหากรณีของปัจจัยการผลิตบางอย่างที่มีที่สัดส่วนค่าใช้จ่ายต่อต้นทุนรวมมีค่าต่ำๆ เมื่อสัดส่วนดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจะไม่ทำให้ค่า MES_{ij} เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

3.2 สมการลอการิทึมอดิศัย (Transcedental Logarithm Function)

สมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัย(Translog Cost Function) การ Derive เริ่มต้นจากสมการต้นทุนรวมซึ่งสามารถเขียนในเทอมของ Natural logarithms ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$\ln(C^*) = f(\ln Q, \ln P_1, \ln P_2, ..., \ln P_n) \tag{3.16}$$

โดยที่ C^* คือต้นทุนการผลิต Q คือปริมาณผลผลิต P_i คือราคาของปัจจัยการผลิตใดๆ และ n คือ จำนวนปัจจัยการผลิตทั้งหมด ตามลำดับ หลังจากนั้นกระจาย Taylor Series ลำดับที่ 2 รอบจุดที่ $\ln(P_i) = 0$ และ $\ln(Q) = 0$ จะได้สมการที่ (3.17)

$$\begin{aligned}\ln C^* &= \ln C^*\Big|_{\ln(.)=0} + \frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln Q}\Big|_{\ln(.)=0} \cdot \ln Q + \sum_i \frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln P_i}\Big|_{\ln(.)=0} \cdot \ln P_i \\ &+ \sum_{i,j} \frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_i \ln P_j}\Big|_{\ln(.)=0} \cdot \ln P_i \ln P_j + \sum_i \frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_i \ln Q}\Big|_{\ln(.)=0} \cdot \ln P_i \ln Q_i + R\end{aligned} \tag{3.17}$$

กำหนดให้ $\ln C^*\Big|_{\ln(.)=0} = \beta_0$ $\quad$ $\frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln Q}\Big|_{\ln(.)=0} = \beta_Q$

$\frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln P_i}\Big|_{\ln(.)=0} = \beta_i$ $\quad$ $\frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_i \ln P_j}\Big|_{\ln(.)=0} = \beta_{ij}$

$\frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_i \ln Q}\Big|_{\ln(.)=0} = \beta_{iQ}$ $\quad$ เมื่อ R เป็น Remainder term

และจาก Young's Theorem, $\frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_i \ln P_j} = \frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_j \ln P_i}$

เมื่อนำเงื่อนไขข้างต้นแทนในสมการที่ (3.17) จะได้สมการลอการิทึมอดิศัยที่ใช้ในการศึกษา แสดงในสมการที่ (3.18)

$$\ln C^* = \beta_0 + \beta_Q \cdot \ln Q + \beta_i \ln P_i + \frac{1}{2}\sum_{i,j} \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i \beta_{iQ} \ln P_i \ln Q + R \qquad (3.18)$$

จากสมการที่ (3.18) เป็นสมการต้นทุนที่ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน (Elasticity of Substitution) แต่มีข้อสมมติของสมการต้นทุนที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ว่า สมการต้นทุนต้องมีคุณสมบัติ Homogeneity in price ที่ว่า $\lambda C^*(Q, P_1, P_2, ..., P_n) = C^*(Q, \lambda P_1, \lambda P_2, ..., \lambda P_n)$ เมื่อ $\lambda > 0$ ข้อสมมติประกอบไปด้วย

1. Symmetry, $\beta_{ij} = \beta_{ji}$
2. Adding up, $\sum_j \beta_j = 1$
3. Homogeneity, $\sum_j \beta_{ij} = 0$

จากสมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยสามารถประมาณค่าเพื่อหาอุปสงค์ต่อการใช้ปัจจัยการผลิตโดยการหาอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งเทียบกับราคาปัจจัยการผลิตและจาก Shephard's Lemma จะได้ระบบสมการสัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิตนั้นแสดงในสมการที่ (3.19) โดยที่ M_i คือ สัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิต i ต่อต้นทุนการผลิตรวม

$$\frac{\partial \ln C^*}{\partial \ln P_i} = M_i = \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j + \beta_{iQ} \ln Q \quad \text{เมื่อ i= 1,2,....,n} \qquad (3.19)$$

จากสมการที่ (3.19) สามารถคำนวณหาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนของ Allen เมื่อได้ค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen และความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาโดยมีรายละเอียด ดังนี้

ก. การคำนวณหาความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen และ Morishima

จาก
$$\beta_{ij} = \frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P_i \partial \ln P_j} = P_j \frac{\partial}{\partial P_j}\left(\frac{\partial C^*}{\partial P_i}\frac{P_i}{C^*}\right)$$
$$= P_j\left(\frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i \partial P_j}\frac{P_i}{C^*} - \frac{P_i}{(C^*)^2}\frac{\partial C^*}{\partial P_i}\frac{\partial C^*}{\partial P_j}\right)$$
$$= \frac{P_i P_j}{C^*}\frac{\partial^2 C}{\partial P_i P_j} - \frac{P_i P_j}{(C^*)^2} X_i X_j \qquad (3.20)$$

จากสมการที่ (3.20) จัดรูปในเทอมของ $\frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i \partial P_j} = \frac{C^*}{P_i P_j}(\beta_{ij} + M_i M_j)$ และนำไปแทนในสมการที่ (3.10) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

$$AES_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i \partial P_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{C^*}{P_i P_j}(\beta_{ij} + M_i M_j)$$

$$= \frac{\beta_{ij}}{M_i M_j} + 1 \qquad (3.21)^{***}$$

จาก
$$\beta_{ii} = \frac{\partial^2 \ln C^*}{\partial \ln P^2{}_i} = P_i \frac{\partial}{\partial P_i}\left(\frac{\partial C^*}{\partial P_i}\frac{P_i}{C^*}\right)$$
$$= P_i\left\{\frac{\partial^2 C^*}{\partial^2 P_i}\frac{P_i}{C^*} - \left(\frac{C^* - \frac{P_i \partial C^*}{\partial P_i}}{(C^*)^2}\right)\frac{\partial^2 C^*}{\partial P^2{}_i}\right\}$$
$$= M_i - M_i^2 + \frac{P_i^2}{C^*}\frac{\partial^2 C^*}{\partial P^2{}_i} \qquad (3.22)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการที่ (3.22) จัดรูปในเทอมของ $\frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i^2} = \frac{C^*}{P^2{}_i}(\beta_{ii} - M_i + M^2{}_i)$ และนำไปแทนในสมการที่ (3.10) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

$$AES_{ii} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X^2{}_i} \cdot \frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X^2{}_i} \cdot \frac{C^*}{P^2{}_i}(\beta_{ii} - M_i + M^2{}_i)$$

$$= \frac{1}{M_i^2}(\beta_{ii} - M_i + M^2{}_i) \qquad (3.23ก)^{***}$$

$$MES_{ij} = M_j \cdot (AES_{ij} - AES_{jj}) \qquad (3.23ข)^{***}$$

ข. การคำนวณหาความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาและความยืดหยุ่นไขว้

เริ่มต้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen กับความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาปัจจัยการผลิตนั้นที่ว่า $AES_{ii} = \frac{\varepsilon_{ii}}{M_i}$ ซึ่งสามารถเขียนได้ว่า $\varepsilon_{ii} = M_i(AES_{ii})$ หลังจากนั้นนำสมการที่ (3.23) แทนในความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ค่าความยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อราคาที่สามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์สมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัย ดังนี้

$$\varepsilon_{ii} = M_i(AES_{ii}) = M_i\left\{ \frac{1}{M_i^2}(\beta_{ii} - M_i + M_i^2) \right\}$$

$$= \frac{\beta_{ii}}{M_i} + M_i - 1 \qquad (3.24)^{***}$$

ในทำนองเดียวกัน การคำนวณหาค่าความยืดหยุ่นไขว้เริ่มต้นจากความสัมพันธ์ที่ว่า $AES_{ij} = \frac{\varepsilon_{ij}}{M_j}$ ซึ่งสามารถเขียนได้ว่า $\varepsilon_{ij} = M_j(AES_{ij})$ หลังจากนั้นนำสมการที่ (3.21) แทนในความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ความยืดหยุ่นไขว้ที่สามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์สมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัย ดังนี้

$$\varepsilon_{ij} = M_j(AES_{ij}) = M_j\left\{ \frac{\beta_{ij}}{M_i M_j} + 1 \right\}$$

$$= \frac{\beta_{ij}}{M_i} + M_j \qquad (3.25)^{***}$$

เมื่อได้ค่าความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาและค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen ให้นำไปแทนสมการที่ (3.14) หรือสมการที่ (3.15) จะได้ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima กล่าวโดยสรุป เมื่อประยุกต์ทฤษฎีควบคู่กับสมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยจะสามารถหาค่าความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา ความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตทั้งของ Allen และ Morishima

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานและการวัดระดับการทดแทนของพลังงานในภาคอุตสาหกรรมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมาก นับตั้งแต่เกิดวิกฤตการณ์พลังงานครั้งที่ 1 ในช่วงต้นทศวรรษที่ 70 ส่วนหนึ่งเป็นเพราะภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างมากและมีการใช้พลังงานเข้มข้นรองจากภาคคมนาคมและการขนส่ง งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในประเทศพัฒนาแล้ว การศึกษาในประเทศกำลังพัฒนามีอยู่น้อยมาก เพราะข้อมูลมีอยู่จำกัด เนื้อหาส่วนนี้เป็นการปริทัศน์วรรณกรรมเพื่อแสดงแนวทางและผลการวัดความสามารถการทดแทนกันของงานวิจัยในอดีต

3.3.1 วิธีวัดความสามารถการทดแทนกัน

วิธีวัดความสามารถการทดแทนกันในทางทฤษฎีสามารถวัดได้จากสมการการผลิตและสมการต้นทุนการผลิต งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการทดแทนของพลังงานในอดีต นิยมคำนวณค่าความยืดหยุ่นจากสมการต้นทุนการผลิต Binswanger(1974) อธิบายถึงความเหมาะสมของการใช้สมการต้นทุนในการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นการทดแทนกันว่า การใช้สมการต้นทุนที่มีราคาปัจจัยการผลิตเป็นตัวแปรภายนอกมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ในระดับผู้ประกอบการและระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากผู้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ประเภทและปริมาณพลังงานในการผลิตสินค้าจากราคาที่กำหนดมาจากตลาด การวิเคราะห์ในกรณีนี้มีความสมเหตุสมผลมากกว่าการวิเคราะห์จากสมการการผลิต นอกจากนี้ค่าความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen ที่วิเคราะห์ได้จากสมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการประมาณจากสมการการผลิตลอการิทึมอดิศัย ทั้งนี้เพราะสามารถหาค่าความยืดหยุ่นต่อราคาได้จากอนุพันธ์ครั้งที่สองของสมการต้นทุนโดยตรง ในขณะที่สมการการผลิตต้องใช้กฎของเคเมอร์(Cramer's rule) หรือเมตริกซ์ย้อนกลับ(Inversion Matrix) ทำให้ค่าที่ประมาณได้มีความคลาดเคลื่อนมาก อีกประการหนึ่งคือ ปริมาณปัจจัยการผลิตซึ่งเป็นตัวแปรในสมการการผลิตจะมี

ความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรราคาในสมการต้นทุน เพราะในความเป็นจริงผู้ผลิตไม่ได้เลือกใช้ปัจจัยการผลิตโดยตัดสินใจจากราคาปัจจัยการผลิตเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้สมการการผลิตวิเคราะห์หาผลของราคาต่อการใช้ปัจจัยการผลิตจึงไม่สมเหตุสมผล อย่างไรก็ตามยังคงมีงานวิจัยบางชิ้น เช่น Nguyen and Streitwieser(1997) ที่ใช้สมการการผลิตในการวิเคราะห์เพราะขาดข้อมูลราคาปัจจัยการผลิตของผู้ประกอบการ

การวิเคราะห์ความสามารถการทดแทนกันระหว่างพลังงานในช่วงแรกเป็นการวัดระดับการทดแทนกันในกรณีที่มีปัจจัยการผลิตเพียงสองชนิด รูปแบบสมการที่นำมาวิเคราะห์จึงไม่มีปัญหามากนักและสามารถนำรูปแบบสมการการผลิตและสมการต้นทุนการผลิตที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความยืดหยุ่นการทดแทนกันมาวิเคราะห์ได้[2] ต่อมาการศึกษาได้ขยายขอบเขตไปยังกระบวนการผลิตที่ใช้ปัจจัยมากกว่าสองชนิด รูปแบบสมการแบบเก่าเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นและไม่สามารถอธิบายเทคโนโลยีการผลิตที่แท้จริงได้ Christensen, Jorgenson and Lau (1973) นำเสนอสมการการผลิตลอการิทึมอดิศัย(transcendental logarithmic production function) เป็นสมการกะประมาณ(approximation) สำหรับอุตสาหกรรมที่ไม่ทราบความสัมพันธ์ที่แท้จริงของปัจจัยการผลิตแต่ละชนิด สมการนี้มีความเหมาะสมต่อการศึกษาการทดแทนกันของปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีปัจจัยการผลิตหลายชนิดโดยไม่ต้องมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน และสามารถทดสอบหาสมการการผลิตที่แท้จริงได้โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้

---

[2] Nicholson(2005) ได้จำแนกฟังก์ชันการผลิตตามความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิต ออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่ ฟังก์ชันการผลิตแบบเส้นตรง เป็นฟังก์ชันที่มีผลได้ต่อขนาด(Returns to scale)และ RTS คงที่ จึงทำให้ค่าความยืดหยุ่นเป็นอนันต์($\sigma = \infty$) หมายถึงปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการผลิตสินค้าสามารถทดแทนกันได้อย่างสมบูรณ์และผู้ผลิตอาจสามารถเลือกใช้ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งก็ได้ ขึ้นอยู่กับราคาปัจจัยการผลิต ฟังก์ชันการผลิตแบบ Leontief สัดส่วนของปัจจัยการผลิตมีค่าคงที่จึงทำให้ค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ 0 หมายถึงปัจจัยการผลิตที่ใช้ไม่สามารถทดแทนกันได้ ฟังก์ชันการผลิตแบบ Cobb-Douglas มีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ 1 และการประหยัดต่อขนาดสามารถเป็นลักษณะใดก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ หากผลบวกของสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 1 จะมีลักษณะเป็นการประหยัดต่อขนาดคงที่ ฟังก์ชันการผลิตแบบ CES(Constant Elasticity of Substitution) การประหยัดต่อขนาดสามารถเป็นลักษณะใดก็ได้และมีค่าความยืดหยุ่นเป็นค่าใดๆ ก็ได้ที่มีเพียงค่าเดียว

ในการวิเคราะห์ความสามารถการทดแทนกันของปัจจัยการผลิต นอกเหนือจากรูปแบบของสมการแล้วควรจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของสมการที่นำมาใช้ซึ่งจะต้องใกล้เคียงกับโครงสร้างการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตที่แท้จริง ความแตกต่างของคุณสมบัติและข้อจำกัดของแบบจำลองส่งผลต่อขนาดและทิศทางของค่าความยืดหยุ่น คุณสมบัติ Separability เป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่มีปัจจัยการผลิตหลายชนิดเพราะทำให้สามารถแยกวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตออกมาเป็นกลุ่มย่อยได้(Keneda, 1982) สำหรับการศึกษาการทดแทนกันของพลังงาน Fuss(1979) ชี้ให้เห็นว่า การกำหนดให้พลังงานมีคุณสมบัติ Separability จะทำให้วิเคราะห์การทดแทนกันของพลังงานได้ใน 2 ระดับคือการทดแทนระหว่างพลังงานกับปัจจัยการผลิตอื่นๆ และการทดแทนระหว่างพลังงานด้วยกันเอง นอกจากนี้คุณสมบัติดังกล่าวเป็นพื้นฐานทางทฤษฎีของการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ Allen (Blackorby and Russell, 1989) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเชิงประจักษ์หลายชิ้นได้พยายามทดสอบว่าโครงสร้างการผลิตที่แท้จริงในอุตสาหกรรมที่ศึกษามีคุณสมบัตินี้หรือไม่ เช่นการศึกษาของ Delorme and Lester(1990) เป็นต้น ผลการทดสอบสรุปได้ว่า คุณสมบัตินี้จะมีความแตกต่างขึ้นอยู่กับลักษณะของอุตสาหกรรมและชนิดของปัจจัยการผลิตที่ทำการพิจารณา ซึ่งหลายงานพบว่าโครงสร้างการผลิตในอุตสาหกรรมที่พิจารณาไม่สามารถนำปัจจัยการผลิตแยกออกมาพิจารณาได้ สำหรับการทดสอบคุณสมบัติ Weak Separability ของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศออสเตรเลีย(Turnovsky and Donnelly, 1984) พบว่าพลังงานมีคุณสมบัติดังกล่าว หมายความว่าอัตราทดแทนหน่วยสุดท้าย(marginal rate of substitution) ระหว่างพลังงานแต่ละประเภทจะไม่ขึ้นอยู่กับการใช้ปัจจัยการผลิตชนิดอื่นๆ

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิต การเลือกใช้รูปแบบสมการ ลักษณะของสมการและการกำหนดคุณสมบัติ Weak Separability ของปัจจัยการผลิตควรจะสะท้อนโครงสร้างการผลิตที่แท้จริงของอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา จากคุณสมบัติเด่นของสมการต้นทุน translog และความเหมาะของคุณสมบัติ Weak Separability การศึกษานี้จึงได้เลือกใช้มาเป็นแบบจำลองในการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 ผลการประมาณความสามารถการทดแทนกัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นการทดแทนกันของพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในประเทศพัฒนา ขณะที่ประเทศกำลังพัฒนายังขาดแคลนข้อมูลในการวิเคราะห์การศึกษาจึงอยู่ในวงจำกัด อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาจากทั้งประเทศพัฒนาและประเทศกำลังพัฒนาเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการวิเคราะห์และใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการวิเคราะห์การใช้พลังงานและความสามารถการทดแทนกันของพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย

การศึกษาความสามารถการทดแทนของพลังงานในประเทศพัฒนาที่ใช้แบบจำลองลอการิทึมอดิศัยมีหลายชิ้น ผลการศึกษาค่าความหยุ่นการทดแทนกันของงานวิจัยแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของอุตสาหกรรมและประเทศที่ทำการศึกษา คุณลักษณะของแบบจำลอง ช่วงเวลาที่ศึกษาและวิธีการประมาณจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ทีเดียว ตารางที่ 3.1 แสดงผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นอุปสงค์ต่อราคาของแรงงาน ทุน พลังงานและวัตถุดิบของภาคอุตสาหกรรมในประเทศพัฒนาพบว่า หลังจากปี 1975 การใช้พลังงานในประเทศพัฒนามีความยืดหยุ่นสูงกว่าการใช้ปัจจัยการผลิตอื่น เห็นได้จากความยืดหยุ่นต่อราคา(Own Price Elasticity of Demand) ของพลังงานสูงกว่าความยืดหยุ่นอุปสงค์ต่อราคาของแรงงาน ทุนและวัตถุดิบ ความยืดหยุ่นอุปสงค์ต่อราคาของปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ชนิดในประเทศแคนาดามีค่าต่ำกว่าประเทศอื่น การใช้พลังงานในสหรัฐอเมริกาหลังจากปี 1978 มีความยืดหยุ่นต่อราคามากกว่าช่วงก่อนหน้า ทั้งนี้เพราะการศึกษาของ Halversen and Ford(1978) และField and Gergenstein(1980) ต่างวิเคราะห์ค่าความยืดหยุ่นจากข้อมูลภาคตัดขวางในปี 1971 เหมือนกัน ทำให้ค่าที่ประมาณได้สูงกว่าการประมาณค่าความยืดหยุ่นจากข้อมูลอนุกรมเวลาและข้อมูล panel ที่ใช้ในงานวิจัยอื่นๆ เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานในประเทศพัฒนาออกเป็นรายประเภท Caloghirou และคณะ(1997) ที่ศึกษาการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมของประเทศกรีก พบว่าไฟฟ้ามีความยืดหยุ่นต่อราคาต่ำมากและต่ำกว่าเชื้อเพลิง สะท้อนให้เห็นว่าไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในการผลิตของภาคอุตสาหกรรม

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิต การศึกษาในประเทศพัฒนาได้ใช้ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen แสดงในตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยการผลิตทุกชนิดสามารถทดแทนกันได้เช่น ทุนกับแรงงาน ทุนกับพลังงาน ทุนกับวัตถุดิบและแรงงานกับวัตถุดิบ ก่อนปี 1975 พลังงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกันหลังจากนั้นจึงสามารถทดแทนกัน

ได้แสดงว่า ภาคอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนาหลังจากปี 1975 มีการลงทุนในเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงานเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิต พบว่า ทุนกับแรงงานและทุนกับพลังงานมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาแต่ละประเภทของพลังงานพบว่า เชื้อเพลิงและทุนเป็นปัจจัยที่ทดแทนกันได้มากกว่าไฟฟ้ากับทุน

เมื่อเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของ Allen ของแต่ละการศึกษา พบว่า ทิศทางและระดับความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าทุนกับพลังงาน หลังจากวิกฤตการณ์พลังงานครั้งที่ 1 Hudson and Jorgenson(1974) และ Berndt and Wood(1975) วิเคราะห์การทดแทนกันของปัจจัยการผลิต 4 ชนิดคือทุน แรงงาน พลังงานและวัตถุดิบของภาคอุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกาโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาในช่วงเดียวกันคือระหว่างปี 1947-1971 แต่มีวิธีการประมาณค่าแตกต่างกัน กล่าวคือ Berndt and Wood(1975) ใช้แบบจำลอง translog ในขณะที่ Hudson and Jorgenson(1974) แบบจำลอง translog เป็นเพียงส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ตารางผลผลิต-ปัจจัยการผลิต ผลการศึกษาของงานทั้งสองสอดคล้องกัน คือ พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนปัจจัยการผลิตอื่นได้ยกเว้นสินค้าทุน Griffin and Gregory(1976) ต้องการทดสอบว่า หากวิเคราะห์ความยืดหยุ่นการทดแทนโดยใช้แบบจำลองและวิธีการประมาณค่าเหมือนกัน แต่ชุดข้อมูลที่ในการวิเคราะห์มีลักษณะแตกต่างจะให้ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นต่างกันหรือไม่ การทดสอบนี้ Griffin and Gregory(1976) ใช้ข้อมูล panel วิเคราะห์ปัจจัยการผลิต 4 ชนิดในภาคอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกาโดยใช้แบบจำลอง translog เช่นเดียวกับ Berndt and Wood(1975) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตค่อนข้างขัดแย้งกัน โดยพบว่าสินค้าทุนกับพลังงานใช้ทดแทนกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Ozatalay และคณะ(1979) ที่ใช้ข้อมูล panel ศึกษาการใช้ปัจจัยการผลิตของสหรัฐอเมริการะหว่างปี 1963-1974 พบว่า สินค้าทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถใช้ทดแทนกัน

สำหรับการศึกษาความสามารถการทดแทนกันของปัจจัยการผลิตและพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก Turnovsky and Donnelly(1984) นำเข้ามูลอนุกรมเวลาระหว่างปี 1946 ถึง 1979 พบว่า ทุนกับแรงงานและทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนกันได้มาก ขณะที่ทุนกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน การปรับปรุงกระบวนกาผลิตจะทำให้มีการใช้ทุนและพลังงานเพิ่มขึ้น สำหรับพลังงานแต่ละประเภทที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กได้แก่ ไฟฟ้า ถ่านหิน น้ำมันและก๊าซพบว่า ทุกชนิดสามารถทดแทนกัน

ตารางที่ 3.1 สรุปผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นของภาคอุตสาหกรรมในประเทศพัฒนา

ประเทศ	สหรัฐอเมริกา						ออสเตรเลีย	แคนาดา	กรีก
ผู้ศึกษา(ปี)	Hudson และ Jorgenson(1974)	Berndt and Wood(1975)	Griffin and Gregory(1976)	Halversen and Ford(1978)	Ozatalay และ คณะ(1979)	Field and Gergenstein(1980)	Turnovsky and Donnelly(1984)	Delorme and Lester(1990)	Caloghirou และ คณะ(1997)
ความยืดหยุ่นอุปสงค์ต่อราคา									
KK	-0.42	-0.48	-0.18	-0.92	n.a.	n.a.	n.a.	-0.14	-0.26
LL	-0.45	-0.46	-0.12	-0.92	n.a.	-0.93	n.a.	-0.25	-0.07
EE	0.07	-0.47	-0.79	-1.61	n.a.	-1.24	n.a.	-0.26	เชื้อเพลิง(-1.27) ไฟฟ้า(-0.22)
MM	n.a.	-0.22	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-0.07	n.a.
ความยืดหยุ่นการทดแทนกัน									
KL	1.09	1.01	0.06	n.a.	1.08	n.a.	1.39	(-0.738) ถึง (1.121)	-0.06
KE	-1.37	-3.22	1.07	(-1.03) ถึง (2.02)	1.22	n.a.	1.01	(1.531) ถึง (4.721)	เชื้อเพลิง(1.63) ไฟฟ้า(0.33)
LE	2.16	0.65	0.87	(0.46) ถึง (2.88)	1.03	n.a.	0.03	0.655	เชื้อเพลิง(1.71) ไฟฟ้า(-1.04)
KM	0.25	0.56	n.a.	n.a.	0.85	n.a.	-0.11	(-0.398) ถึง (-0.634)	n.a.
LM	0.45	0.60	n.a.	n.a.	1.00	n.a.	0.48	0.377	n.a.
EM	-0.77	0.75	n.a.	n.a.	0.58	n.a.	0.29	-0.069	n.a.

หมายเหตุ: การศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาอ้างจาก Saicheua(1987)

:การศึกษาในประเทศแคนาดาและกรีกเรียบเรียงโดยผู้ศึกษา

K =สินค้าทุน L =แรงงาน E = พลังงาน M=วัตถุดิบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากวิกฤตการณ์พลังงานครั้งที่ 2 ในปี 1979 Caloghirou, Mourelatos and Thompson(1997) วิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงราคาพลังงานและปัจจัยการผลิตชนิดอื่นต่อการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานเข้มข้นประกอบด้วยอุตสาหกรรมโลหะพื้นฐาน อุตสาหกรรมโลหะประดิษฐ์และอุตสาหกรรมอื่นๆที่ไม่ใช่โลหะ(non-metallic industry) ในประเทศกรีก โดยใช้ข้อมูลภาคตัดขวางและอนุกรมเวลา (panel data) ระหว่างปี 1980 ถึง 1991 ผลวัดค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen พบว่า การผลิตของอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานเข้มข้น การเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับระดับการผลิต ราคาปัจจัยการผลิตและการปรับปรุงกระบวนการผลิต เมื่อราคาพลังงานแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลง พบว่าการใช้เชื้อเพลิงแข็ง น้ำมันและก๊าซมีค่าความยืดหยุ่นต่อราคาสูง ในขณะที่การใช้ไฟฟ้ามีค่าความยืดหยุ่นต่ำมาก แสดงว่าอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานเข้มข้นมีการปรับตัวต่อการใช้เชื้อเพลิงได้มากกว่าไฟฟ้า เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมโดยรวม พบว่า ความยืดหยุ่นต่อราคา มากกว่าค่าความยืดหยุ่นต่อราคาของพลังงานช่วงก่อนเกิดวิกฤติพลังงานครั้งที่ 2 การใช้พลังงานที่ลดลงมากเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตภายประเทศและภาคอุตสาหกรรมลดความเข้มข้นการใช้พลังงานลง นอกจากนี้ยังพบว่าอุตสาหกรรมซีเมนต์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูงมากมีแนวโน้มที่จะทดแทนการใช้น้ำมันด้วยถ่านหิน เนื่องจากถ่านหินมีราคาต่ำและมีการผูกขาดน้อยกว่า สำหรับความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตในระยะสั้นพบว่า ทุกปัจจัยการผลิตสามารถทดแทนกันได้มาก แต่ในระยะยาวสินค้าทุนกับไฟฟ้าและแรงงานกับเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ร่วมกัน

การศึกษาค่าความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นไขว้ของภาคอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนา ส่วนใหญ่จะทำการศึกษาเป็นรายอุตสาหกรรมซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในประเทศพัฒนาที่วิเคราะห์ภาคอุตสาหกรรมโดยรวม ตารางที่ 3.2 ได้จำแนกอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษาในประเทศกำลังพัมนาออกเป็นสามกลุ่มคือ กลุ่มอุตสาหกรรมหนักประกอบด้วย อุตสาหกรรมเหล็กและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและกลุ่มอุตสาหกรรมเบาคือ อุตสาหกรรมสิ่งทอ ผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นต่อราคาพบว่า การใช้พลังงานในประเทศกำลังพัฒนามีการตอบสนองต่อราคาตนเองสูงสุดยกเว้นอุตสาหกรรมสิ่งทอของบังคลาเทศ ส่วนทุนและแรงงานมีการตอบสนองต่อราคาตนเองในระดับใกล้เคียงกัน ส่วนวัตถุดิบตอบสนองต่อราคาต่ำกว่าปัจจัยอื่น อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้ทุนและพลังงานเข้มข้นสูงสุด รองลงมาคืออุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมสิ่งทอ จากตารางพบว่า การใช้ทุนและพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาทุนค่อนข้างมาก ยกเว้นการศึกษาของ Chaubey(1982) และ Sharkar and Pachauri(1983) รองลงมาคืออุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตามลำดับ สำหรับการจ้างงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้แรงงาน

เข้มข้นพบว่า การจ้างงานจะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าจ้างแรงงานค่อนข้างมาก สำหรับอุตสาหกรรมเหล็กในอินเดียการใช้ปัจจัยการผลิตทุกชนิดจะไม่ตอบสนองต่อราคาตนเอง ยกเว้นการใช้พลังงานจากการศึกษาของ Roy(2006) ที่มีระดับการตอบสนองต่อราคาใกล้เคียงกับการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กของเกาหลี เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในประเทศพัฒนา พบว่าการใช้วัตถุดิบในประเทศกำลังพัฒนาไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาเช่นเดียวกับประเทศพัฒนา

สำหรับการศึกษาความยืดหยุ่นไขว้ของภาคอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนา ตารางที่ 3.2 พบว่า ปัจจัยการผลิตทุกชนิดของทุกภาคอุตสาหกรรมในทุกประเทศสามารถใช้ทดแทนกันได้ ยกเว้นอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศบังคลาเทศที่แรงงานสามารถใช้ร่วมกับพลังงาน ระดับการทดแทนกันของปัจจัยการผลิตไม่สูงนักยกเว้นอุตสาหกรรมเหล็กของเกาหลีและอินเดียที่พลังงานสามารถทดแทนการใช้วัตถุดิบได้ค่อนข้างมาก และทุนกับพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศฟิลิปปินส์ กรณีของประเทศไทยมีการศึกษาเพียง 2 ชิ้นคือ งานวิจัยของ Saicheau(1980) และงานวิจัยของ Siddayao และคณะ(1980) งานวิจัยทั้งสองศึกษาความต้องการและความสามารถการทดแทนกันของปัจจัยการผลิตในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร อุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักร อุตสาหกรรมสิ่งทอ ในช่วงหลังวิกฤตการณ์น้ำมันครั้งที่ 1 ผลจากศึกษาพบว่าพลังงานมีความยืดหยุ่นต่อราคาสูงกว่าปัจจัยการผลิตอื่นเช่นเดียวกับการศึกษาในประเทศพัฒนาและกำลังพัฒนา โดยการใช้พลังงานและแรงงานมีความยืดหยุ่นต่อราคาสูงและสินค้าทุนไม่ตอบสนองต่อราคาในทุกอุตสาหกรรม สอดคล้องกับลักษณะของอุตสาหกรรมโลหะและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารที่มีการใช้ทุนและพลังงานเข้มข้นโดยการใช้ปัจจัยการผลิตทุกชนิดของอุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักรมีความยืดหยุ่นต่อราคาสูงกว่าอีกสองอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 สรุปผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นไขว้ของภาคอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนา

	KK	LL	EE	MM	KL	LK	KE	EK	KM	MK	LE	EL	LM	ML	EM	ME
อุตสาหกรรมเหล็ก																
อินเดีย(Chaubey,1982)	-0.001	-0.001	-0.001	-0.11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
อินเดีย(Shankar and Pachauri, 1983)	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
อินเดีย(Roy, 2006)	-0.87	-0.90	-1.79	-0.75	0.05	0.43	0.13	0.73	0.69	0.57	0.04	0.03	0.43	0.04	1.00	0.15
เกาหลี(Roy, 2006)	-0.99	-0.90	-1.72	-0.65	0.04	0.38	0.14	0.65	0.81	0.48	0.03	0.02	0.49	0.03	1.06	0.14
อุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักร																
ไทย(Saicheua, 1987)	-0.56	-1.24	-1.50	n.a.	0.43	1.32	0.13	1.94	n.a.	n.a.	-0.08	-0.44	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร																
ฟิลิปปินส์(Ranada,1985)	-0.63	-1.2	-2.26	n.a.	n.a.	n.a.	0.04	n.a.	n.a.	n.a.	0.10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ไทย(Saicheua, 1987)	-0.34	-1.20	-2.26	n.a.	0.1	0.39	0.24	1.2	n.a.	n.a.	0.81	1.06	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
อุตสาหกรรมสิ่งทอ																
บังคลาเทศ(Khaled,1985)	-1.99	-0.48	-0.31	n.a.	n.a.	n.a.	0.12	n.a.	n.a.	n.a.	-0.29	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ฟิลิปปินส์(Ranada,1985)	0.20	-1.13	-1.25	n.a.	n.a.	n.a.	1.40	n.a.	n.a.	n.a.	0.12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ไทย(Saicheua, 1987)	-0.56	-1.13	-1.71	n.a.	0.35	0.72	0.21	0.88	n.a.	n.a.	0.41	0.83	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

แหล่งที่มา: Siddayao(1987) และการเรียบเรียงของผู้วิจัย

การศึกษาความสามารถการทดแทนกันของประเทศกำลังพัฒนา ตารางที่ 3.3 พบว่า ทุกอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนาปัจจัยการผลิตทุกชนิดสามารถทดแทนกันได้ยกเว้นอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศอินเดียและเกาหลีที่พลังงานกับแรงงานและวัตถุดิบใช้ประกอบกัน ความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตในอุตสาหกรรมหนักได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็กอุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักรและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารพบว่า แรงงานกับพลังงาและแรงงานกับวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเหล็ก แรงงานกับพลังงานในอุตสาหกรรโลหะและเครื่องจักร แรงงานกับทุนในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารของไทยมีความยืดหยุ่นการทดแทนกันต่ำ พลังงานสามารถทดแทนทุนได้มากกว่าทุนทดแทนพลังงาน สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้แรงงานเข้มข้นพบว่า ปัจจัยการผลิตทุกชนิดสามารถทดแทนกันได้มากกว่าในประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ สะท้อนให้เห็นว่า ไทยมีความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตได้ดีกว่าประเทศอื่นๆ สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาความยืดหยุ่นการทดแทนกันซึ่งวิเคราะห์ตามแนวคิดของ Morishima ใน 3 อุตสาหกรรมคือ อุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักร อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมสิ่งทอ จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยการผลิตทุกชนิดของทั้งสามอุตสาหกรรมในประเทศไทยสามารถทดแทนกันได้ ยกเว้นแรงงานกับทุนในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและแรงงานกับพลังงานในอุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักรที่มีความยืดหยุ่นต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาในประเทศพัฒนาและกำลังพัฒนา สรุปได้ว่า ความยืดหยุ่นต่อราคาทั้งในประเทศพัฒนาและกำลังพัฒนาให้ผลเหมือนกันคือ พลังงานจะตอบสนองต่อราคาของตนเองสูงสุดและวัตถุดิบจะไม่ตอบสนองต่อราคาของตนเองเลย ส่วนผลที่ต่างกันคือ ทุนและแรงงานของประเทศพัฒนาไม่ตอบสนองต่อราคาซึ่งประเทศกำลังพัฒนาจะตอบสนองมากกว่า อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาของกลุ่มประเทศทั้งสองมีความเหลื่อมล้ำกัน โดยข้อมูลของประเทศพัฒนาจะเก่ากว่าของประเทศกำลังพัฒนาแสดงให้เห็นว่า การตอบสนองต่อราคาของปัจจัยการผลิตของประเทศกำลังพัฒนาในปัจจุบันเหมือนกับประเทศพัฒนาในอดีต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 สรุปผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของภาคอุตสาหกรรมในประเทศกำลังพัฒนา

อุตสาหกรรม	KL	LK	KE	EK	LE	EL	KM	LM	EM
อุตสาหกรรมเหล็ก									
เกาหลี(Roy, 2006)	1.14	n.a.	1.96	n.a.	0.45	n.a.	1.44	0.87	1.89
อินเดีย(Roy, 2006)	1.09	n.a.	1.83	n.a.	0.57	n.a.	1.43	0.89	2.07
อุตสาหกรรมโลหะและเครื่องจักร									
ไทย(Siddayao, 1987)	1.67	1.88	1.63	2.50	1.41	0.80	n.a.	n.a.	n.a.
อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร									
ฟิลิปปินส์(Siddayao,1987)	1.57	1.51	0.56	0.89	0.62	1.24	n.a.	n.a.	n.a.
ไทย(Siddayao, 1987)	1.31	0.73	2.5	1.54	3.07	2.26	n.a.	n.a.	n.a.
อุตสาหกรรมสิ่งทอ									
บังคลาเทศ(Siddayao,1987)	0.70	2.17	0.30	1.94	0.29	0.32	n.a.	n.a.	n.a.
ฟิลิปปินส์(Siddayao,1987)	0.03	0.27	2.65	0.32	1.11	0.1	n.a.	n.a.	n.a.
ไทย(Siddayao, 1987)	1.48	1.28	1.92	1.44	2.12	1.96	n.a.	n.a.	n.a.
อินเดีย(Roy, 2006)	0.51	n.a.	2.11	n.a.	5.04	n.a.	n.a.	n.a.	-0.33
เกาหลี(Roy, 2006)	0.83	n.a.	0.36	n.a.	-1.32	n.a.	0.83	1.51	0.87

หมายเหตุ: อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมสิ่งทอของบังคลาเทศ และฟิลิปปินส์ เป็นค่าความยืดหยุ่นของ Morishima
แหล่งที่มา: Siddayao(1987) และการเรียบเรียงของผู้วิจัย

การทบทวนการศึกษาความยืดหยุ่นการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตและพลังงานของภาคอุตสาหกรรมทั้งในประเทศพัฒนาและประเทศกำลังพัฒนา รวมถึงประเทศไทยสามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับปัจจัยการผลิตค่อนข้างแตกต่างกัน สาเหตุที่ทำให้ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ

1. ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ กล่าวคือ หากใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาจะได้ว่าสินค้าทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ร่วมกัน เช่นการศึกษาของ Hudson and Jorgenson(1974) และ Berndt and Wood(1975) หากใช้ข้อมูลภาคตัดขวางหรือ panel พบว่า สินค้าทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตทดแทนกัน เช่น การศึกษาของ Fuss(1977) Pindyck(1979) การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นการวิเคราะห์การตอบสนองต่อราคาในระยะสั้น ค่าความยืดหยุ่นที่วัดจากข้อมูลอนุกรมเวลาจะเป็นการพิจารณาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันในระยะสั้น ถ้าวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลภาคตัดขวางจะเป็นสะท้อนถึงการปรับตัวของปัจจัยการผลิตต่อราคาในระยะยาว ค่าความยืดหยุ่นที่ประมาณได้จะเป็นค่าความยืดหยุ่นในระยะยาว ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรในระยะสั้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราการใช้กำลังการผลิตจะทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่ในระยะยาวอาจจะมีการติดตั้งเครื่องจักรใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ดังนั้น พลังงานกับเครื่องจักรจะใช้ร่วมกันในระยะสั้นและให้ทดแทนกันในระยะยาว อย่างไรก็ตาม การศึกษาโดยใช้ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นก็ยังมีผลการศึกษาที่แตกต่างกันซึ่งอาจมาจากสาเหตุอื่นๆ อีก

2. วิธีการคำนวณปริมาณและราคาปัจจัยการผลิต โดยเฉพาะการคำนวณราคาของสินค้าทุนและพลังงานรวม การศึกษาในอดีตมีวิธีการคำนวณราคาของสินค้าทุนหลายวิธีเช่น การคำนวณหาราคาสินค้าทุนต่อหน่วย(Rental price of capital) ตาม Christensen and Jorgenson(1969) วิธีการคำนวณหาผลตอบแทนของสินค้าทุน (Rate of return on capital) และใช้ตัวแปรแทนของราคาทุน(Thompson,2006) สำหรับการคำนวณราคาพลังงานรวมของงานศึกษาในอดีตมีดังนี้ การคำนวณดัชนีราคาเฉลี่ย(Weighted price Index) การคำนวณดัชนีราคาของ Divisia เช่น การศึกษาของ Hazilla and Kopp, 1984 และการคำนวณราคาพลังงานรวมจาก Translog unit cost function หรือ Price Frontier Possibility เช่น การศึกษาของ Fuss(1977) Pindyck(1979) และ Hazilla and Kopp(1984) เป็นต้น

3. การตัดปัจจัยการผลิตออกจากการประมาณค่าระบบสมการ ในการประมาณค่าระบบสมการจำเป็นต้องละสมการใดสมการหนึ่งออกเพื่อป้องกันปัญหา Multicillinearity การตัดสมการใดสมการใดสมการหนึ่งออกจะทำให้ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เปลี่ยนแปลงไป(Berndt and Wood, 1975) สำหรับการแก้ปัญหานี้การศึกษาในระยะหลังได้เลือกตัดสมการของปัจจัยการผลิตที่มีสัดส่วนต้นทุนต่ำสุด

4. ประเภทของความยืดหยุ่น การวิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นเบื้องต้น(Gross Elasticity) และค่าความยืดหยุ่นสุทธิ(Net Elasticity) อาจจะทำให้ปัจจัยการผลิตมีทิศทางและระดับความสัมพันธ์แตกต่างกัน(Berndt and Wood, 1975) ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าทุนและพลังงานทางวิศวกรรมศาสตร์ จะเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกันเท่านั้น เนื่องจากในทางวิศวกรรมจะสนใจเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของพลังงานและเครื่องจักรที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงราคาเท่านั้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นเบื้องต้น ในขณะที่การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์พบว่าพลังงานและสินค้าทุนอาจเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ร่วมกันหรือใช้ทดแทนกันในเวลาเดียวกันได้ขึ้นอยู่กับประเภทของความยืดหยุ่นที่กำลังพิจารณา

5. ลักษณะของแบบจำลอง การประมาณค่าความยืดหยุ่นของ Allen จากสมการ translog การกำหนดคุณสมบัติ Separability ของปัจจัยการผลิตจะส่งผลให้การประมาณจากแบบจำลองที่มีสามปัจจัยการผลิตจะให้ผลการศึกษาแตกต่างจากแบบจำลองที่มีสี่ปัจจัยการผลิต(Nguyen and Streitwieser, 1997) อย่างไรก็ตามหากกำหนดให้วัตถุดิบในแบบจำลอง KELM มีคุณสมบัติ Separability จะทำให้ค่าความยืดหยุ่นของ Allen ที่ประมาณได้เท่ากับการประมาณจากแบบจำลอง KEL ค่ายืดหยุ่นที่เกิดจากการประมาณค่าแบบจำลองที่มีจำนวนปัจจัยการผลิตแตกต่างกันจะเป็นปัญหาอย่างมากต่อการเปรียบการศึกษาในแต่ละงานวิจัย การศึกษาของ Siddayao และคณะ(1980) ได้ใช้ค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima เปรียบเทียบความสามารถการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตของภาคอุตสาหกรรรมในแต่ละประเทศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

สมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยกับการวัดระดับการทดแทนกัน

การทบทวนทฤษฎีพื้นฐาน กรอบแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทก่อน ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติและข้อจำกัดของสมการต้นทุนการผลิตลอการิทึมอดิศัย(Translog cost function) รวมถึงแนวทางในการวัดระดับการทดแทนกันของพลังงานทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและในระดับพลังงานย่อย เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการประยุกต์แนวคิดและทฤษฎีเพื่อสร้างแบบจำลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาและลักษณะของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย

4.1 สมการต้นทุนการผลิตและระบบสมการสัดส่วนต้นทุนการผลิต

4.1.1 ข้อสมมติ

แบบจำลองนี้สมมติให้โครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กมีลักษณะ ดังนี้

กำหนดให้ผู้ประกอบการทุกรายในอุตสาหกรรมเหล็กอยู่ในตลาดแข่งขันสมบูรณ์ โดยลักษณะตลาดแข่งขันสมบูรณ์กำหนดให้ ผู้ผลิตแต่ละรายผลิตสินค้าที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการจนสามารถทดแทนกันได้อย่างสมบูรณ์ และผู้ซื้อไม่เห็นความแตกต่างของสินค้า นอกจากนี้ผู้ผลิตแต่ละรายมีส่วนแบ่งการผลิตไม่มากนักจึงไม่สามารถกำหนดราคาสินค้าได้ ในขณะเดียวกันผู้บริโภคแต่ละรายมีความต้องการไม่มากพอที่จะมีอำนาจต่อรองกับผู้ผลิต

เทคโนโลยีการผลิตของผู้ประกอบการทุกรายในอุตสาหกรรมเหล็กไม่มีความแตกต่างกัน โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในทุกขั้นตอนการผลิตไม่มีความจำเพาะต่อชนิดของพลังงาน กล่าวคือ ผู้ประกอบการสามารถเลือกใช้พลังงานประเภทใดก็ได้โดยไม่ต้องถูกจำกัดจากเทคโนโลยี ดังนั้น การตัดสินใจเลือกใช้หรือทดแทนพลังงานประเภทใดๆ เป็นผลมาจากพฤติกรรมของผู้ผลิตที่ต้องการทำให้ต้นทุนต่ำสุด

กำหนดให้พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถแยกพิจารณาออกจากปัจจัยการผลิตอื่นๆ ได้บ้าง (Weak separability)[1] ภายใต้เงื่อนไขนี้ทำให้พลังงานมีคุณสมบัติสองประการคือ พลังงานแต่ละชนิดที่อยู่ภายในกลุ่มพลังงานรวมมีลักษณะบางประการคล้ายคลึงกัน (Homogeneous energy) จนสามารถนำมารวมกันได้ และจะไม่กระทบต่อการใช้ปัจจัยการผลิตอื่นๆ[2] ทำให้การตัดสินใจของผู้ผลิตต่อการเลือกใช้พลังงานทั้งในด้านปริมาณและประเภทของพลังงาน (Fuel mix) ภายใต้เงื่อนไขต้นทุนต่ำสุดจะเป็นอิสระจากปัจจัยการผลิตอื่นๆ

จากการข้อสมมติข้างต้น การวิเคราะห์ในแบบจำลองจึงสามารถแยกปัจจัยการผลิตออกมาเป็นกลุ่มย่อยได้โดยจะทำการวิเคราะห์ในสองระดับ คือระดับปัจจัยการผลิต ซึ่งวิเคราะห์การใช้พลังงานรวมของอุตสาหกรรมเหล็กและระดับพลังงาน เป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานแต่ละประเภท

4.1.2 <u>แบบจำลองระดับปัจจัยการผลิต</u>

สมมติให้สมการการผลิตของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กสามารถหาอนุพันธ์ครั้งที่ 2 ได้(Twice Differentiable) กำหนดให้ในการผลิตนั้นผู้ผลิตใช้ปัจจัยการผลิต 4 ชนิด ได้แก่ พลังงาน (E), วัตถุดิบ (M), สินค้าทุน(K) และแรงงาน(L) สามารถเขียนสมการการผลิตในรูปทั่วไปได้ว่า

$$Q = f[E, M, L, K] \tag{4.1}$$

โดยที่ Q = ผลผลิต
E = พลังงาน
M = วัตถุดิบ
L = แรงงาน
K = ทุน

[1] ในทางทฤษฎี คุณสมบัติแบ่งแยก(Separability) ของพลังงานคือ มีอัตราการทดแทนระหว่างพลังงานส่วนเพิ่มคู่ใดๆ (Marginal Rate of Technical Substitution -MRTS) จะเป็นอิสระจากปริมาณของปัจจัยการผลิตอื่นๆ

[2] นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการใช้พลังงานไม่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานรวมด้วยเช่นกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากทฤษฎีควบคู่(Duality theory) ระหว่างสมการการผลิตและสมการต้นทุนการผลิต จะได้สมการต้นทุนการผลิตรวมที่มีคุณสมบัติเหมือนกับสมการการผลิตในสมการที่ (4.1) ทุกประการ เขียนสมการต้นทุนรวมต่ำสุด ได้ดังนี้

$$C^*(P,Q) = C^*\left[P_E, P_M, P_L, P_K, Q\right] \tag{4.2}$$

โดยที่ $C(.)$ คือสมการต้นทุนรวม P_E คือ ราคาพลังงานรวม

P_K คือ ราคาสินค้าทุน P_L คือ ค่าจ้างแรงงาน P_M คือ ราคาวัตถุดิบ

กำหนดให้ราคาปัจจัยการผลิตและปริมาณการผลิตถูกกำหนดมาจากภายนอก การศึกษานี้ใช้สมการต้นทุนการผลิตที่อยู่ในรูปลอการิทึมของ Taylor series ลำดับที่ 2 (Second-order Taylor series) ที่กระจายรอบตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณการผลิต ราคาวัตถุดิบ ราคาพลังงาน ราคาทุนและค่าจ้างแรงงาน กำหนดให้ทุกตัวแปรที่มีค่าเท่ากับ 1 นอกจากนี้ได้ประยุกต์วิธีการติดตามผลของการพัฒนาเทคนิคการผลิตที่มีต่อการใช้ปัจจัยการผลิตของ Binswanger(1974) และ Delorme and Lester(1990) โดยใช้ตัวแปรเวลาเป็นตัวแปรแทนของการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตหรือการพัฒนาเทคโนโลยี(Technical progress or technological change) สมมติให้การปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตของอุตสหากรรมเหล็กมีอัตราการเพิ่มขึ้นแบบชี้กำลัง(Exponential rate) เขียนสมการต้นทุนการผลิตลอการิทึมอดิศัย(Translog cost function) ได้ว่า

$$\begin{aligned}
\ln C = {} & \beta_0 + \beta_K \ln P_K + \beta_E \ln P_E + \beta_L \ln P_L + \beta_M \ln P_M \\
& + \frac{1}{2}\beta_{KK}(\ln P_K)^2 + \frac{1}{2}\beta_{EE}(\ln P_E)^2 + \frac{1}{2}\beta_{LL}(\ln P_L)^2 + \frac{1}{2}\beta_{MM}(\ln P_M)^2 \\
& + \beta_{EM}\ln P_E \ln P_M + \beta_{EL}\ln P_E \ln P_L + \beta_{EK}\ln P_E \ln P_K + \beta_{ML}\ln P_M \ln P_L + \beta_{MK}\ln P_M \ln P_K + \beta_{LK}\ln P_L \ln P_K \\
& + \beta_Q \ln Q + \frac{1}{2}\beta_{QQ}\ln^2 Q + \beta_{KQ}\ln P_K \ln Q + \beta_{EQ}\ln P_E \ln Q + \beta_{LQ}\ln P_L \ln Q + \beta_{MQ}\ln P_M \ln Q \\
& + \beta_T T + \frac{1}{2}\beta_{TT}T^2 + \beta_{KT}\ln P_K T + \beta_{ET}\ln P_E T + \beta_{LT}\ln P_L T + \beta_{MT}\ln P_M T + \beta_{QT}\ln QT
\end{aligned} \tag{4.3}$$

เมื่อ T เป็นตัวแปรเวลา

สมการความต้องการปัจจัยการผลิต(Factor demand functions) หาจากอนุพันธ์ในรูปลอการิทึมของสมการต้นทุนเทียบกับลอการิทึมของราคาปัจจัยการผลิตแต่ละประเภท

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial C}{\partial P_i} \cdot \frac{P_i}{C} \tag{4.4}$$

จากแนวคิด Shepard's lemma ภายใต้เงื่อนไขต้นทุนต่ำสุดการหาอนุพันธ์สมการต้นทุนการผลิตเทียบกับราคาปัจจัยการผลิตนั้นเท่ากับปริมาณปัจจัยการผลิต

$$\frac{\partial C^*}{\partial P_i} = X^*_i \tag{4.5}$$

เมื่อ X^*_i คือ ปริมาณปัจจัยการผลิตที่ทำให้มีต้นทุนต่ำสุด

จากสมการ (4.4), (4.5) และ $C = \Sigma P_i X_i$ สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{P_i X_i}{\sum P_i X_i} = M_i \qquad , i \text{ คือ } K, E, L, M \tag{4.6}$$

โดยที่ M_i เป็นสัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิต i ต่อต้นทุนการผลิตรวม

ดังนั้น สมการการใช้ปัจจัยการผลิต(Input demand functions) หรือสมการสัดส่วนต้นทุนการผลิต เขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
M_K &= \beta_K + \beta_{KK} \ln P_K + \beta_{KE} \ln P_E + \beta_{KL} \ln P_L + \beta_{KM} \ln P_M + \beta_{KQ} \ln Q + \beta_{KT} T + \upsilon_K \\
M_E &= \beta_E + \beta_{EE} \ln P_E + \beta_{EM} \ln P_M + \beta_{EL} \ln P_L + \beta_{EK} \ln P_K + \beta_{EQ} \ln Q + \beta_{ET} T + \upsilon_E \\
M_L &= \beta_B + \beta_{LL} \ln P_L + \beta_{LE} \ln P_E + \beta_{LM} \ln P_M + \beta_{LK} \ln P_K + \beta_{LQ} \ln Q + \beta_{LT} T + \upsilon_L \\
M_M &= \beta_N + \beta_{MM} \ln P_M + \beta_{ME} \ln P_E + \beta_{ML} \ln P_L + \beta_{MK} \ln P_K + \beta_{MQ} \ln Q + \beta_{MT} T + \upsilon_M
\end{aligned} \tag{4.7}$$

นอกจากนี้สมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัยจะต้องมีคุณสมบัติของสมการต้นทุนการผลิตตรงตามทฤษฎีการผลิตนีโอคลาสิกทุกประการ(Well-behaved cost function) จึงต้องใส่ข้อจำกัดของพารามิเตอร์ทั้งในสมการเดียวกันและระหว่างสมการ ดังนี้

ข้อจำกัดของพารามิเตอร์ในสมการเดียวกัน

$$\text{Linear Homogeneity, } \sum_i \beta_{ij} = 0 \text{ นั่นคือ } \begin{matrix} \beta_{EE} + \beta_{EM} + \beta_{EL} + \beta_{EK} = 0 \\ \beta_{MM} + \beta_{EM} + \beta_{ML} + \beta_{MK} = 0 \\ \beta_{LL} + \beta_{EL} + \beta_{ML} + \beta_{LK} = 0 \\ \beta_{KK} + \beta_{EK} + \beta_{MK} + \beta_{LK} = 0 \end{matrix} \quad (4.8)$$

ข้อจำกัดนี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติ Homothetic ของสมการต้นทุนการผลิต

ข้อจำกัดของพารามิเตอร์ระหว่างสมการ

$$\text{Adding up, } \sum_i \beta_i = 1 \text{ นั่นคือ } \beta_K + \beta_E + \beta_L + \beta_M = 1 \quad (4.9)$$

ข้อจำกัดนี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติ Homogeneity ของสมการต้นทุนการผลิต ดังนั้นแบบจำลองนี้กำหนดให้สมการต้นทุนการผลิตเป็นเอกพันธ์ระดับขั้นหนึ่งกับราคาปัจจัยการผลิต (Homogeneity of degree one in input prices)

$$\text{Engel aggregation, } \sum_i \beta_{iQ} = 0 \text{ นั่นคือ } \beta_{KQ} + \beta_{EQ} + \beta_{LQ} + \beta_{MQ} = 0 \quad (4.10)$$

$$\sum_i \beta_{iT} = 0 \text{ นั่นคือ } \beta_{KT} + \beta_{ET} + \beta_{LT} + \beta_{MT} = 0 \quad (4.11)$$

$$\text{Symmetry, } \beta_{ij} = \beta_{ji} \text{ นั่นคือ } \begin{matrix} a.\beta_{KE} = \beta_{EK} \\ b.\beta_{KL} = \beta_{LK} \\ c.\beta_{KM} = \beta_{MK} \\ d.\beta_{EL} = \beta_{LE} \\ e.\beta_{EM} = \beta_{ME} \\ f.\beta_{LM} = \beta_{ML} \end{matrix} \quad (4.12)$$

จากข้อจำกัดที่แสดงในสมการที่(4.8)-(4.12) สามารถเขียนแบบจำลองในสมการที่(4.7) ใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} M_K &= \beta_K + \beta_{EK}\ln(P_E/P_K) + \beta_{MK}\ln(P_M/P_K) + \beta_{LK}\ln(P_L/P_K) + \beta_{KQ}\ln Q + \beta_{KT}T + \upsilon_K \\ M_E &= \beta_E + \beta_{EM}\ln(P_M/P_E) + \beta_{EL}\ln(P_L/P_E) + \beta_{EK}\ln(P_K/P_E) + \beta_{EQ}\ln Q + \beta_{ET}T + \upsilon_E \\ M_L &= \beta_L + \beta_{EL}\ln(P_E/P_L) + \beta_{ML}\ln(P_M/P_L) + \beta_{KL}\ln(P_K/P_L) + \beta_{LQ}\ln Q + \beta_{LT}T + \upsilon_L \\ M_M &= \beta_M + \beta_{EM}\ln(P_E/P_M) + \beta_{ML}\ln(P_L/P_M) + \beta_{KM}\ln(P_K/P_M) + \beta_{MQ}\ln Q + \beta_{MT}T + \upsilon_M \end{aligned} \quad (4.13)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ M_K คือ สัดส่วนต้นทุนสินค้าทุนต่อต้นทุนการผลิตรวม

M_E คือ สัดส่วนต้นทุนพลังงานต่อต้นทุนการผลิตรวม

M_L คือ สัดส่วนต้นทุนแรงงานต่อต้นทุนการผลิตรวม

M_M คือ สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบต่อต้นทุนการผลิตรวม

P_K คือ ราคาสินค้าทุน P_E คือ ราคาพลังงาน

P_L คือ อัตราค่าจ้างแรงงาน P_M คือ ราคาวัตถุดิบ

$\upsilon_K, \upsilon_E, \upsilon_L, \upsilon_M$ คือ เทอมค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มที่เกิดจากพฤติกรรมลดต้นทุนการผลิตของผู้ประกอบการ สมมติให้ค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละตัวเป็นอิสระ มีการกระจายแบบปกติและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0

พารามิเตอร์ในสมการต้นทุนการผลิตและระบบสมการปัจจัยการผลิต[3]ประกอบด้วยพารามิเตอร์ในเทอมของราคาปัจจัยการผลิตนั้น(Parameters of input term หรือ Distribution parameter, β_i) และพารามิเตอร์ที่อยู่ในเทอมของอนุพันธ์ไขว้ (parameters of interaction Term) ได้แก่ พารามิเตอร์ในเทอมของราคาปัจจัยการผลิตอื่น (Substitution elasticities, β_{ij}) พารามิเตอร์ในเทอมของปริมาณการผลิต (β_{iQ}) และพารามิเตอร์ในเทอมของการพัฒนาเทคนิคการผลิต (β_{iT}) กำหนดให้ $i, j = K, E, L, M$ โดยพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความหมายแตกต่างกันดังนี้

β_i คือ สัดส่วนต้นทุนเฉลี่ย(Average cost share) ของปัจจัยการผลิตแต่ละประเภท

β_{ii} คือ ความยืดหยุ่นของสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิต i ต่อราคาของราคาปัจจัย i

β_{ij} คือ ความยืดหยุ่นของสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิต i ต่อราคาปัจจัย j

β_{iQ} คือ ความยืดหยุ่นของสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิต i ต่อปริมาณการผลิต

β_{iT} คือ การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนปัจจัยการผลิตเมื่อมีการของการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีต่อการใช้ปัจจัยการผลิตโดยกำหนดให้ราคาปัจจัยการผลิตอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

---

[3] $\beta_0, \beta_Q, \beta_T, \beta_{QQ}, \beta_{TT}$ ไม่สามารถประมาณค่าได้จากระบบสมการที่ (4.13) ต้องประมาณจากสมการต้นทุนการผลิตโดยตรงเท่านั้น

หลังจากใส่ข้อจำกัดต่างๆ ในระบบสมการสัดส่วนต้นทุนทำให้พารามิเตอร์ที่เป็นอิสระลดลงจาก 28 ตัวเหลือเพียง 18 ตัว เนื่องจากระบบสมการอยู่ในรูปของสัดส่วนต้นทุน ผลรวมทั้งหมดจะต้องมีค่าเท่ากับ 1 ($M_K + M_L + M_E + M_M = 1$) จึงทำให้ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างผลบวกของค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 4 สมการเท่ากับ 1 ด้วยเช่นกัน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาค่าพารามิเตอร์ในระบบสมการมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน(Perfect multicolinearity) ดังนั้นการประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองนี้จะพิจารณาเพียง 3 สมการเท่านั้นและประมาณค่าพารามิเตอร์เหล่านี้พร้อมกันทั้งระบบสมการ (รายละเอียดจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป) งานศึกษาเชิงประจักษ์ในอดีตหลายชิ้น พบว่า พารามิเตอร์ในเทอมของราคาปัจจัยการผลิตนั้นมีค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์ในเทอมของอนุพันธ์ แม้ว่าพารามิเตอร์ส่วนหลังโดยตัวมันเองแล้วมีความหมายในเชิงเศรษฐศาสตร์ไม่มากนัก แต่มีความสำคัญต่อการประมาณค่าความยืดหยุ่นของการทดแทนกันและค่าความยืดหยุ่นต่อราคา

ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณระบบสมการ นำมาคำนวณหาค่าความยืดหยุ่นต่างๆ ดังนี้

ค่าความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา(Own price elasticity of demand)

$$\varepsilon_{EE} = \frac{-(\hat{\beta}_{EM} + \hat{\beta}_{EL} + \hat{\beta}_{EK})}{\overline{M}_E} + \overline{M}_E - 1$$

$$\varepsilon_{MM} = \frac{-(\hat{\beta}_{EM} + \hat{\beta}_{ML} + \hat{\beta}_{MK})}{\overline{M}_M} + \overline{M}_M - 1 \qquad (4.14)$$

$$\varepsilon_{LL} = \frac{-(\hat{\beta}_{EL} + \hat{\beta}_{ML} + \hat{\beta}_{LK})}{\overline{M}_L} + \overline{M}_L - 1$$

$$\varepsilon_{KK} = \frac{-(\hat{\beta}_{EK} + \hat{\beta}_{MK} + \hat{\beta}_{LK})}{\overline{M}_K} + \overline{M}_K - 1$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาสินค้าอื่น(Cross price elasticity of demand)

$$
\begin{aligned}
\varepsilon_{EM} &= \frac{\hat{\beta}_{EM}}{\overline{M}_E} + \overline{M}_M & \varepsilon_{ME} &= \frac{\hat{\beta}_{EM}}{\overline{M}_M} + \overline{M}_E \\
\varepsilon_{\mathrm{EL}} &= \frac{\hat{\beta}_{EL}}{\overline{M}_E} + \overline{M}_L & \varepsilon_{\mathrm{LE}} &= \frac{\hat{\beta}_{EL}}{\overline{M}_L} + \overline{M}_E \\
\varepsilon_{\mathrm{EK}} &= \frac{\hat{\beta}_{EK}}{\overline{M}_E} + \overline{M}_K & \varepsilon_{\mathrm{KE}} &= \frac{\hat{\beta}_{EK}}{\overline{M}_K} + \overline{M}_E \\
\varepsilon_{ML} &= \frac{\hat{\beta}_{ML}}{\overline{M}_M} + \overline{M}_L & \varepsilon_{LM} &= \frac{\hat{\beta}_{ML}}{\overline{M}_L} + \overline{M}_M \\
\varepsilon_{MK} &= \frac{\hat{\beta}_{MK}}{\overline{M}_M} + \overline{M}_K & \varepsilon_{KM} &= \frac{\hat{\beta}_{MK}}{\overline{M}_K} + \overline{M}_M \\
\varepsilon_{LK} &= \frac{\hat{\beta}_{LK}}{\overline{M}_L} + \overline{M}_K & \varepsilon_{KL} &= \frac{\hat{\beta}_{LK}}{\overline{M}_K} + \overline{M}_L
\end{aligned}
\qquad (4.15)
$$

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen (Allen partial elasticity of substitution)

$$
\begin{aligned}
AES_{EM} &= \frac{\varepsilon_{EM}}{\overline{M}_M} = AES_{ME} \\
AES_{EL} &= \frac{\varepsilon_{EL}}{\overline{M}_L} = AES_{LE} \\
AES_{EK} &= \frac{\varepsilon_{EK}}{\overline{M}_K} = AES_{KE} \\
AES_{ML} &= \frac{\varepsilon_{ML}}{\overline{M}_L} = AES_{LM} \\
AES_{MK} &= \frac{\varepsilon_{MK}}{\overline{M}_K} = AES_{KM} \\
AES_{LK} &= \frac{\varepsilon_{LK}}{\overline{M}_K} = AES_{KL}
\end{aligned}
\qquad (4.16)
$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima(Morishima partial elasticity of substitution)

$$\begin{aligned} MES_{EM} &= \varepsilon_{EM} - \varepsilon_{MM} & MES_{ME} &= \varepsilon_{ME} - \varepsilon_{EE} \\ MES_{EL} &= \varepsilon_{EL} - \varepsilon_{LL} & MES_{LE} &= \varepsilon_{LE} - \varepsilon_{EE} \\ MES_{EK} &= \varepsilon_{EK} - \varepsilon_{KK} & MES_{KE} &= \varepsilon_{KE} - \varepsilon_{EE} \\ MES_{ML} &= \varepsilon_{ML} - \varepsilon_{LL} & MES_{LM} &= \varepsilon_{LM} - \varepsilon_{MM} \\ MES_{MK} &= \varepsilon_{MK} - \varepsilon_{KK} & MES_{KM} &= \varepsilon_{KM} - \varepsilon_{MM} \\ MES_{LK} &= \varepsilon_{LK} - \varepsilon_{KK} & MES_{KL} &= \varepsilon_{KL} - \varepsilon_{LL} \end{aligned} \qquad (4.17)$$

นอกจากการประมาณค่าความยืดหยุ่นแล้ว พารามิเตอร์ในเทอมอนุพันธ์ไขว้ยังสามารถนำมาทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนการผลิต เพราะการใส่ข้อจำกัดต่างๆ เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในแบบจำลองเป็นการบิดเบือนโครงสร้างการผลิตที่แท้จริง ค่าที่ประมาณได้ก็จะมีความคลาดเคลื่อน สำหรับแบบจำลองระบบสมการต้นทุนการผลิตนี้จะทดสอบลักษณะการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กในสองประเด็นคือ

โครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กจะมีลักษณะเป็น Homothetic เมื่อพารามิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในเทอมของปริมาณการผลิตเท่ากับ 0($\beta_{iQ} = 0$) หมายความว่า การเพิ่มกำลังการผลิตหรือขยายขนาดการผลิต ก็ยังคงมีจะต้นทุนการผลิตต่อหน่วยคงที่ อีกนัยหนึ่งคือ ต้นทุนการผลิตของสินค้าขึ้นอยู่กับราคาของปัจจัยการผลิตเท่านั้น หากการผลิตมีลักษณะ non-homothetic แล้ว ราคาของปัจจัยการผลิต (price effects) และปริมาณของการผลิต (scale effects) ก็จะมีผลต่อกระทบต่อต้นทุนการผลิต[4]

การปรับปรุงเทคนิคหรือพัฒนาเทคโนโลยีตามแนวคิดของ Hick ส่งผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิตได้ 3 ทาง คือ **แนวทางแรก** คือ การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตจะไม่มีผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิต(neutral technical change) เมื่อพารามิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในเทอมของการพัฒนาเทคนิคการผลิตมีค่าเท่ากับ 0 ($\beta_{iT} = 0$) **แนวทางที่สอง**คือ การเปลี่ยนแปลงทางเทคนิคที่เกิดขึ้นทำให้การใช้ปัจจัยการผลิตเปลี่ยนไป โดยผู้ผลิตมีแนวโน้มที่จะใช้ปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลง

---

[4] นอกจากนี้ถ้า $\beta_Q = k$ และ $\beta_{QQ} = \beta_{QT} = 0$ แสดงว่า สมการต้นทุนจะเป็นเอกพันธ์ระดับขั้น k (Homogeneous of degree k) กับราคาปัจจัยการผลิต หาก k มีค่าเท่ากับ 1 สมการต้นทุนการผลิตจะขึ้นอยู่กับราคาปัจจัยการผลิตเท่านั้น ถ้าราคาปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้น จะทำให้ต้นทุนการผลิตเพื่อขึ้นในสัดส่วนเดียวกัน ในกรณีที่ k ไม่เท่ากับ 1 แสดงว่าราคาปัจจัยการผลิตและต้นทุนการผลิตเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันเนื่องจากมีผลของปริมาณการผลิตเข้าร่วมด้วย

ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ β_{iT} กล่าวคือ หากค่า $\beta_{iT} > 0$ แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทำให้ใช้ผู้ผลิตให้ไปใช้ปัจจัยการผลิตนั้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้น(Factor using technical progress) ในทางกลับกัน หากค่า $\beta_{iT} < 0$ แสดงว่า ผู้ผลิตพัฒนาเทคนิคการผลิตเพื่อลดการใช้ปัจจัยการผลิตนั้นลง(Factor saving technical progress)

4.1.3 <u>แบบจำลองระดับพลังงาน</u>

ในแบบจำลองนี้พิจารณาปัจจัยพลังงานในสมการ (4.1) ซึ่งประกอบด้วยพลังงานสามชนิด ภายใต้เทคโนโลยีการผลิตที่มีอยู่ ผู้ผลิตจะตัดสินใจเลือกใช้พลังงานชนิดใดก็ได้เพื่อให้เกิดต้นทุนการผลิตต่ำสุด เขียนสมการการผลิตใหม่ได้เป็น

$$Q = f[El, G, O, M, L, K] \tag{4.18}$$

โดยที่ Q = ผลผลิต
El = พลังงานจากไฟฟ้า
G = พลังงานจากก๊าซ
O = พลังงานจากน้ำมัน
M = วัตถุดิบ
L = แรงงาน
K = ทุน

คุณสมบัติ Weak separability ของพลังงาน ทำให้แยกพิจารณาออกเป็นพลังงานย่อยได้ เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$Q = f[f_E(El, G, O), M, L, K] \tag{4.19}$$

โดยที่ $f_E(\bullet)$ คือ สมการพลังงานรวม

ดังนั้นสามารถเขียนสมการต้นทุนด้านพลังงานที่มีคุณสมบัติ Weak separability ดังนี้

$$C_E = C_E[P_{El}, P_G, P_O, CE] \tag{4.20}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ $C_E(\bullet)$ คือ สมการต้นทุนพลังงานรวม

P_{EI} คือ ราคาไฟฟ้า

P_G คือ ราคาก๊าซ

P_O คือ ราคาน้ำมัน

CE คือ รายจ่ายพลังงานรวม

ต้นทุนด้านพลังงานนี้สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของ สมการต้นทุนพลังงานลอการิทึมอดิศัย โดยกำหนดให้ราคาของพลังงานทั้ง 3 ชนิดและรายจ่ายพลังงานรวมถูกกำหนดมาจากภายนอก และใช้ตัวแปรเวลาในการวิเคราะห์ทิศทางการปรับตัวของพลังงานแต่ละประเภทหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีภายในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ดังนี้

$$\begin{aligned}\ln c_E = {} & \alpha_0 + \alpha_{EI}\ln P_{EI} + \alpha_G \ln P_G + \alpha_O \ln P_O + \frac{1}{2}\alpha_{EIEI}\ln^2 P_{EI} + \frac{1}{2}\alpha_{GG}\ln^2 P_G + \frac{1}{2}\alpha_{OO}\ln^2 P_{OO} \\ & + \alpha_{EIG}\ln P_{EI}\ln P_G + \alpha_{EIO}\ln P_{EI}\ln P_O + \alpha_{GO}\ln P_G \ln P_O \\ & + \alpha_{CE}\ln CE + \frac{1}{2}\alpha_{CECE}\ln^2 CE + \alpha_{EICE}\ln P_{EI}\ln CE + \alpha_{GCE}\ln P_G \ln CE + \alpha_{OCE}\ln P_O \ln CE \\ & + \alpha_T T + \frac{1}{2}\alpha_{TT}T^2 + \alpha_{EIT}\ln P_{EI}T + \alpha_{GT}\ln P_G T + \alpha_{OT}\ln P_O T + \alpha_{CET}\ln CE \cdot T\end{aligned} \tag{4.21}$$

เมื่อ T เป็นตัวแปรเวลา

จากสมการที่(4.21) สามารถหาปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทที่ทำให้มีต้นทุนต่ำสุดโดยหาอนุพันธ์ลอการิทึมพลังงานรวมเทียบกับลอการิทึมของราคาพลังงานแต่ละประเภท ซึ่งอยู่ในรูปของสัดส่วนต้นทุนพลังงานแต่ละประเภท

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{P_i X_i}{\sum P_i X_i} = M_i \qquad \text{เมื่อ } i \text{ คือ } El, G, O \tag{4.22}$$

เขียนสมการสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละชนิด(Energy Demand Functions) เป็นระบบสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงานย่อย ดังนี้

$$M_{El} = \alpha_{El} + \alpha_{ElEl} \ln P_{El} + \alpha_{ElG} \ln P_G + \alpha_{ElO} \ln P_O + \alpha_{ElCE} \ln CE + \alpha_{ElT} T + \upsilon_{El}$$
$$M_G = \alpha_G + \alpha_{GG} \ln P_G + \alpha_{GEl} \ln P_{El} + \alpha_{GO} \ln P_O + \alpha_{GCE} \ln CE + \alpha_{GT} T + \upsilon_G \quad (4.23)$$
$$M_O = \alpha_O + \alpha_{OO} \ln P_O + \alpha_{OEl} \ln P_{El} + \alpha_{GO} \ln P_G + \alpha_{OCE} \ln CE + \alpha_{OT} T + \upsilon_0$$

พารามิเตอร์ในสมการต้นทุนและระบบสมการพลังงาน[5]ประกอบด้วย พารามิเตอร์ในเทอมของราคาพลังงานนั้น(Parameters of input term หรือ Distribution parameter, α_i) และพารามิเตอร์ที่อยู่ในเทอมของอนุพันธ์ไขว้ (parameters of interaction Term) ได้แก่ พารามิเตอร์ในเทอมของราคาพลังงานอื่น (Substitution elasticities, α_{ij}) พารามิเตอร์ของรายจ่ายพลังงานรวม (α_{iCE}) และพารามิเตอร์ในเทอมของการพัฒนาเทคนิคการผลิต (α_{iT}) กำหนดให้ $i, j = El, G, O$ โดยพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความหมาย ดังนี้

α_i คือ สัดส่วนต้นทุนเฉลี่ย(Average cost share) ของพลังงานแต่ละประเภท

α_{ii} คือ ความยืดหยุ่นสัดส่วนต้นทุนคงที่ของปัจจัย i ต่อราคาของราคาปัจจัย i

α_{ij} คือ ความยืดหยุ่นของสัดส่วนต้นทุนปัจจัย i ต่อราคาปัจจัย j

α_{iCE} คือ ความยืดหยุ่นของสัดส่วนต้นทุนพลังงาน i ต่อรายจ่ายพลังงานรวม

α_{iT} คือ การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพลังงาน i เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีในขณะที่ราคาปัจจัยต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

กำหนดให้สมการต้นทุนพลังงานลอการีทึมอดิศัยยังคงคุณสมบัติตามทฤษฎีเหมือนกับสมการต้นทุนรวม กล่าวคือ สมการต้นทุนพลังงานเป็นเอกพันธุ์ระดับขั้นหนึ่งกับราคาพลังงาน (Homogeneous of degree one) และสมการการใช้พลังงานเป็นเอกพันธุ์ขั้น 0 กับราคาพลังงาน (Homogeneous of degree one) เพราะฉะนั้นจึงใส่ข้อจำกัด ดังนี้ต่อไปนี้

Symmetry, $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$ จะได้ว่า

$$a.\alpha_{ElG} = \alpha_{GEl}$$
$$b.\alpha_{ElO} = \alpha_{OEl} \quad (4.24)$$
$$c.\alpha_{GO} = \alpha_{OG}$$

Engel aggregation, $\sum_i \beta_{iQ} = 0$ นั่นคือ $\beta_{KQ} + \beta_{EQ} + \beta_{LQ} + \beta_{MQ} = 0$ (4.25)

$$\sum_i \beta_{iT} = 0 \text{ นั่นคือ } \beta_{KT} + \beta_{ET} + \beta_{LT} + \beta_{MT} = 0 \quad (4.26)$$

---

[5] $\alpha_0, \alpha_{CE}, \alpha_T, \beta_{CECE}, \alpha_{TT}$ ไม่สามารถประมาณค่าได้จากระบบสมการ (4.23) ต้องประมาณจากสมการต้นทุนพลังงานโดยตรงเท่านั้น

Adding up, $\sum_j \alpha_j = 1$ จะได้ว่า $\alpha_{EI} + \alpha_G + \alpha_O = 1$ (4.27)

Homogeneity, $\sum_j \alpha_{ij} = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \alpha_{EIEI} + \alpha_{EIG} + \alpha_{EIO} &= 0 \\ \alpha_{GG} + \alpha_{GEI} + \alpha_{GO} &= 0 \\ \alpha_{OO} + \alpha_{OEI} + \alpha_{OG} &= 0 \end{aligned} \quad (4.28)$$

จากข้อจำกัดของพารามิเตอร์ที่แสดงในสมการที่(4.24)-(4.28) สามารถเขียนลดรูปสมการที่ (4.23) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} M_{EI} &= \alpha_E + \alpha_{EIG} \ln(p_G / p_{EI}) + \alpha_{EIO} \ln(p_O / p_{EI}) + \alpha_{EI} T + \upsilon_{EI} \\ M_G &= \alpha_G + \alpha_{EIG} \ln(p_{EI} / p_G) + \alpha_{GO} \ln(p_O / p_G) + \alpha_G T + \upsilon_G \\ M_O &= \alpha_O + \alpha_{EIO} \ln(p_{EI} / p_O) + \alpha_{GO} \ln(p_G / p_O) + \alpha_O T + \upsilon_O \end{aligned} \quad (4.29)$$

เมื่อ M_{EI} คือ สัดส่วนต้นทุนไฟฟ้าต่อต้นทุนพลังงานรวม

M_G คือ สัดส่วนต้นทุนก๊าซต่อต้นทุนพลังงานรวม

M_O คือ สัดส่วนต้นทุนน้ำมันต่อต้นทุนพลังงานรวม

P_{EI} คือ ราคาไฟฟ้า P_G คือ ราคาก๊าซ P_O คือ ราคาน้ำมัน

$\upsilon_{EI}, \upsilon_G, \upsilon_O$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

หลังจากใส่ข้อจำกัดแล้วทำให้ค่าพารามิเตอร์ลดลงจาก 15 เหลือ 12 ตัว หลังการประมาณค่าพารามิเตอร์ระดับพลังงานในสมการ (4.29) นำมาคำนวณหาค่าความยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อราคาและค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ Allen ดังนี้

ค่าความยืดหยุ่นของการใช้พลังงานต่อราคา(Own price elasticity of factor demand)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{EIEI} &= \frac{-(\hat{\alpha}_{EIG} + \hat{\alpha}_{EIO})}{M_{EI}} + \overline{M}_{EI} - 1 \\ \varepsilon_{GG} &= \frac{-(\hat{\alpha}_{GEI} + \hat{\alpha}_{GO})}{M_G} + \overline{M}_G - 1 \\ \varepsilon_{OO} &= \frac{-(\hat{\alpha}_{OEI} + \hat{\alpha}_{GO})}{M_O} + \overline{M}_O - 1 \end{aligned} \quad (4.30)$$

ค่าความยืดหยุ่นของการใช้พลังงานต่อราคาพลังงานชนิดอื่น(Cross price elasticity of factor demand)

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{EIG} &= \frac{\hat{\alpha}_{EIG}}{M_{EI}} + \overline{M}_G & \varepsilon_{GEI} &= \frac{\hat{\alpha}_{EIG}}{M_G} + \overline{M}_{EI} \\
\varepsilon_{EIO} &= \frac{\hat{\alpha}_{EIO}}{M_{EI}} + \overline{M}_O & \varepsilon_{OEI} &= \frac{\hat{\alpha}_{EIO}}{M_O} + \overline{M}_{EI} \\
\varepsilon_{GO} &= \frac{\hat{\alpha}_{GO}}{M_G} + \overline{M}_O & \varepsilon_{OG} &= \frac{\hat{\alpha}_{GO}}{M_O} + \overline{M}_G
\end{aligned} \tag{4.31}$$

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen (the Allen partial elasticity of substitution)

$$\begin{aligned}
AES_{EIG} &= \frac{\varepsilon_{EIG}}{M_G} = AES_{GEI} \\
AES_{EIO} &= \frac{\varepsilon_{EIO}}{M_O} = AES_{OEI} \\
AES_{GO} &= \frac{\varepsilon_{GO}}{M_O} = AES_{OG}
\end{aligned} \tag{4.32}$$

ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima(the Morishima partial elasticity of substitution)

$$\begin{aligned}
MES_{EIG} &= \varepsilon_{EIG} - \varepsilon_{GG} & MES_{GEI} &= \varepsilon_{GEI} - \varepsilon_{EIEI} \\
MES_{EIO} &= \varepsilon_{EIO} - \varepsilon_{OO} & MES_{OEI} &= \varepsilon_{OEI} - \varepsilon_{EIEI} \\
MES_{GO} &= \varepsilon_{GO} - \varepsilon_{OO} & MES_{OG} &= \varepsilon_{OG} - \varepsilon_{GG}
\end{aligned} \tag{4.33}$$

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนพลังงาน จะนำพารามิเตอร์ในเทอมอนุพันธ์ไขว้มาทดสอบเช่นเดียวกับระดับปัจจัยการผลิต ดังนี้

ถ้าการใช้พลังงานแต่ละประเภทมีลักษณะเป็น homothetic พารามิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในเทอมของปริมาณการผลิตจะมีค่าเท่ากับ 0($\alpha_{iQ} = 0$) แสดงว่า การเพิ่มกำลังการผลิตหรือขยายขนาดการผลิตจะไม่ส่งผลต่อต้นทุนพลังงานต่อหน่วย นั่นคือ ต้นทุนพลังงานขึ้นอยู่กับราคาของพลังงานแต่ละประเภทเท่านั้น หากการใช้พลังงานแต่ละชนิดมีลักษณะ non-homothetic หรือ $\alpha_{iQ} \neq 0$ แล้ว หมายความว่า ต้นทุนการผลิต จะถูกกำหนดโดยอิทธิพลของราคาปัจจัยการผลิต

(price effects) และปริมาณการผลิต(scale effects) ซึ่งจะทำให้ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยการผลิตไม่คงที่เมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิต

ตัวแปรเวลาในแบบจำลองนี้ต้องการวัดทิศทางการปรับปรุงเทคนิคหรือพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก ถ้าพารามิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในเทอมตัวแปรเวลามีค่าเท่ากับ 0 ($\alpha_{iT} = 0$) แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตที่ผ่านมาจะไม่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน (neutral technical change) หากมีค่าไม่เท่ากับ 0 ก็จะสามารถทำนายแนวโน้มการใช้พลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงได้จากเครื่องหมายของพารามิเตอร์ α_{iT} ถ้า $\alpha_{iT} > 0$ แสดงว่า ผู้ผลิตหันไปไปใช้พลังงานชนิดนั้นเพิ่มขึ้น หาก $\alpha_{iT} < 0$ แสดงว่า ผู้ผลิตลดการใช้พลังงานชนิดนั้นลง

4.2 ข้อมูล

4.2.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลสำหรับการศึกษานี้เป็นข้อมูล Panel data ของ **"โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC) (โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก)"** จัดทำขึ้นโดยความร่วมมือระหว่างสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยและคณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นการสำรวจการใช้พลังงานของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กระหว่างปี 2542 ถึงปี 2547 จำนวน 33 ราย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 35 ของปริมาณการผลิตรวมของทั้งประเทศ ฐานข้อมูลชุดดังกล่าวประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานประเภทต่างๆ อย่างละเอียดและเหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ในแบบจำลอง ซึ่งรายละเอียดของตัวแปรและวิธีการคำนวณจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

4.2.2 ตัวแปรและวิธีการคำนวณ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการวัดระดับการทดแทนของพลังงานทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน ตัวแปรที่จำเป็นต่อการประมาณค่าแบบจำลองได้แก่ สัดส่วนต้นทุนและราคา แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ตัวแปรพลังงาน (Energy Variables) และตัวแปรที่ไม่ใช่พลังงาน (Non-Energy Variables) โดยรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ สามารถอธิบาย ได้ดังนี้

1. ตัวแปรพลังงาน

พลังงานแต่ละประเภท ประกอบด้วย ไฟฟ้า ก๊าซและน้ำมัน การคำนวณสัดส่วนต้นทุนของพลังงานแต่ละประเภทได้จากการหารรายจ่ายของพลังงานด้วยรายจ่ายพลังงานรวม รายจ่ายพลังงาน ข้อมูลรายจ่ายจากฐานข้อมูลเป็นค่าใช้จ่ายของพลังงานแต่ละประเภทของผู้ประกอบการแต่ละราย รายจ่ายพลังงานรวม เป็นผลรวมของค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมันและค่าก๊าซของผู้ประกอบการทุกรายในแต่ละปี ปริมาณการใช้พลังงาน ข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ประกอบการที่ได้จากฐานข้อมูล มีหน่วยแตกต่างกันตามประเภทของพลังงาน เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาจึงแปลงหน่วยของพลังงานแต่ละประเภทให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน เป็นหน่วยเดียวกันคือ เทียบเท่าน้ำมันดิบพันตัน(ktoe) ราคาของไฟฟ้า น้ำมันและก๊าซ[6]เป็นราคาเฉลี่ยต่อหน่วย คำนวณจากการหารรายจ่ายของพลังงานแต่ละประเภทด้วยปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภท[7]

พลังงานรวม ต้นทุนและปริมาณการใช้พลังงานรวมเป็นผลรวมของต้นทุนและการใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซและน้ำมัน ราคาพลังงานรวมเป็นราคาพลังงานรวมเฉลี่ยต่อหน่วย คำนวณจากการหารรายจ่ายพลังงานรวมด้วยปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด

2. ตัวแปรที่ไม่ใช่พลังงาน

การคำนวณสัดส่วนต้นทุนของพลังงานได้จากการหารต้นทุนของพลังงานประเภทนั้นด้วยต้นทุนรวม ต้นทุนการผลิตรวมเป็นผลรวมของต้นทุนวัตถุดิบ แรงงาน ทุนและพลังงาน ส่วนราคาพลังงานมีรายละเอียด ดังนี้

---

[6] ในกรณีที่โรงงานบางแห่งมีการใช้พลังงานเพียง 1 หรือ 2 ประเภท จะประมาณราคาพลังงานที่ไม่ได้ใช้ด้วยวิธี Autoregression ตามสมการ $\ln P_t^i = \phi_o + \phi_1 \ln P_{t-1}^i$ โดยมีข้อสมมติว่าราคาพลังงานในปัจจุบันจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากราคาในอดีต

[7] การคำนวณราคาโดยวิธีนี้ เป็นการสมมติว่า ปริมาณการใช้พลังงานของผู้ประกอบการขึ้นอยู่กับราคาพลังงานเท่านั้น ซึ่งเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ในระยะสั้น เนื่องจากระยะยาวราคาพลังงานไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้พลังงานอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่นในระยะยาวโรงงานอาจมีการขยายพื้นที่ในการผลิต ทำให้ต้องใช้พลังงานในการขนส่งหรือสายพานลำเลียงเพิ่มขึ้น หรือความสามารถในการเข้าถึงแหล่งพลังงานอื่นๆ ซึ่งในปัจจุบันโรงงานที่ตั้งอยู่นอกแนวท่อก๊าซก็ไม่สามารถใช้พลังงานประเภทนี้ได้ แม้ว่าราคาก๊าซธรรมชาติจะมีราคาถูกกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงก็ตาม หากในอนาคตมีการวางแนวท่อก๊าซผ่านผู้ประกอบการสามารถที่จะเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติได้

ปริมาณการผลิต ข้อมูลการผลิตจากฐานข้อมูลเป็นปริมาณการผลิตรวมในแต่ละปี มีหน่วยเป็นตัน และกำหนดให้มีผู้ผลิตทุกรายในกลุ่มตัวอย่างผลิตสินค้าประเภทเดียวกัน

วัตถุดิบ ปริมาณและราคาวัตถุดิบของแต่ละโรงงานได้จากฐานข้อมูล กรณีที่มีการใช้วัตถุดิบมากกว่า 1 ชนิด ราคาวัตถุดิบเฉลี่ยคำนวณจากการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนการใช้วัตถุดิบ ต้นทุนเป็นผลรวมของผลคูณระหว่างปริมาณและราคาของวัตถุดิบแต่ละประเภท

แรงงาน ปริมาณและรายจ่ายของแรงงานได้จากฐานข้อมูล ปริมาณแรงงานเป็นจำนวนคนงานทั้งหมดในโรงงาน รายจ่ายเป็นจำนวนค่าจ้างคนงานโดยรวม ส่วนค่าแรง เป็นค่าจ้างเฉลี่ยต่อหัวต่อปี เท่ากับการหารค่าจ้างคนงานโดยรวมด้วยจำนวนคนงานทั้งหมด

สินค้าทุน ข้อมูลเกี่ยวกับรายจ่าย ปริมาณและราคาของสินค้าทุนไม่สามารถหาได้จากฐานข้อมูล จึงจำเป็นต้องประมาณตัวแปรเหล่านี้ทางอ้อม งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างข้อมูลของทุนหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้แปรเปลี่ยนไป ดังนั้นการเลือกใช้วิธีประมาณค่าของการศึกษาครั้งนี้จะขึ้นกับข้อมูลที่สามารถหาได้เป็นหลัก โดยรายจ่ายของทุน จะประมาณภายใต้สมมติฐานที่ว่าผู้ผลิตไม่มีกำไรส่วนเกินทางเศรษฐกิจ จึงเป็นผลต่างของมูลค่าการผลิตหักออกด้วยต้นทุนวัตถุดิบและค่าจ้างแรงงานทั้งหมด หรือ $P_k K = (P_Q Q - P_M M) - P_L L$ ปริมาณการใช้ทุนเป็นมูลค่าทางบัญชีของสินทรัพย์สุทธิประกอบด้วย สิ่งก่อสร้าง เครื่องมือและเครื่องจักรได้จากงบการเงินของแต่ละโรงงาน ราคาทุนหรือผลตอบแทนของทุน คำนวณจากอัตราค่าเสื่อมราคาบวกกับอัตราดอกเบี้ยแท้จริงหรือ $r = (i - \pi) + d$ เมื่อ r คือ ราคาประมาณของสินค้าทุน(Cost of capital) i คือดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายใหญ่ชั้นของธนาคารพาณิชย์(Minimum Lending Rate, MLR) π คืออัตราเงินเฟ้อในแต่ละปี ซึ่งข้อมูลอัตราดอกเบี้ยเงินกู้และอัตราเงินเฟ้อได้มาจากธนาคารแห่งประเทศไทย $(i - \pi)$ คืออัตราดอกเบี้ยแท้จริงคำนวณจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายใหญ่ชั้นของธนาคารพาณิชย์หรือ MLR (i) หักด้วย (π) และ d คือ อัตราค่าเสื่อมราคาของทุนคำนวณจากสัดส่วนของค่าเสื่อมราคารายปีต่อสต็อกทุน ณ ราคาปัจจุบันในรูปเปอร์เซ็นต์ ได้จากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

4.3 วิธีการประมาณค่าและการทดสอบสมมติฐาน

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการทางเศรษฐมิติในการประมาณค่าแบบจำลองและการทดสอบสมมติฐาน แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง คือ การประมาณค่าระบบสมการโดยวิธี Seemingly Unrelated Regression (SUR) ประกอบไปด้วย ข้อสมมติ วิธีการประมาณค่า และอธิบายถึงความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา ส่วนที่สอง คือการทดสอบสมมติฐาน จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบผลการประมาณค่าที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ Wald Test ทดสอบคุณสมบัติ Homothetic และผลการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน ส่วนที่สาม จะกล่าวถึงวิธี Delta Method ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติที่นำมาใช้คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน ความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา และความยืดหยุ่นไขว้ ตามลำดับ เพื่อที่จะสามารถทดสอบนัยสำคัญของค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณได้

4.3.1 วิธีการประมาณค่า

การประมาณค่าในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธี Seemingly Unrelated Regression (SUR) เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็น Simultaneous Equations กล่าวคือ ผู้ผลิตทำการตัดสินใจเพื่อเลือกใช้ปัจจัยการผลิตต่างๆ เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดพร้อมๆกันซึ่งการเลือกใช้ปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดไม่ได้เป็นอิสระจากกันโดยปัจจัยการผลิตบางชนิดสามารถทดแทนกันได้ ในขณะที่ปัจจัยการผลิตบางชนิดจำเป็นต้องใช้ประกอบกัน การประมาณค่าโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares, OLS) โดยพิจารณาว่าแต่ละสมการมีลักษณะเป็นสมการเชิงเดี่ยว (Single Equation) โดยมีข้อสมมติว่าตัวคลาดเคลื่อนแต่ละสมการไม่มีความสัมพันธ์จะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่บิดเบือน(Bias) และไม่คงเส้นคงวา (Inconsistency)

วิธีการประมาณค่าแบบ SUR เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบสมการที่พยายามแก้ปัญหาความแปรปรวนของตัวคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroskedasticity) และตัวคลาดเคลื่อนมีลักษณะ Contemporaneous Correlation กล่าวคือ ตัวคลาดเคลื่อน (Error Term) แต่ละสมการมีความสัมพันธ์กัน

ปัญหาความเป็นที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ คือ การเลือกใช้ปัจจัยการผลิตเพื่อให้มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด (Cost-Minimizing factor demands) กำหนดให้ Y เป็นผลผลิต p คือเวกเตอร์ของ

ราคาปัจจัยการผลิต x คือเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิต ซึ่งสามารถเขียนการเลือกใช้ปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดได้ดังนี้ $x_m = f_m(Y, p)$ เมื่อ m คือปัจจัยการผลิตใดๆ ระบบสมการการใช้ปัจจัยการผลิตสามารถเขียนได้ในระบบสมการที่ (4.34)

$$\begin{aligned} x_1 &= f_1(Y, p:\theta) + \varepsilon_1 \\ x_2 &= f_2(Y, p:\theta) + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ x_M &= f_M(Y, p:\theta) + \varepsilon_M \end{aligned} \qquad (4.34)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลอง SUR

แบบจำลอง SUR สามารถแสดงในรูปเมทริกซ์ ดังนี้

$$y_i = X_i\beta_i + \varepsilon_i, i = 1,2,....,M$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & X_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & X_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_M \end{bmatrix} = X\beta + \varepsilon \qquad (4.35)$$

กำหนดให้ T คือจำนวนข้อมูลในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองซึ่งมีทั้งหมด M สมการ โดยที่ y_m ประกอบไปด้วย T เวกเตอร์, X_m เป็นเมทริกซ์ตัวแปรอิสระมีมิติเท่ากับ (Txk_m) และ β_m ประกอบไปด้วย k_m เวกเตอร์ และ ε_m เป็นค่าความคลาดเคลื่อนประกอบไปด้วย T เวกเตอร์

ข้อสมมติ(Assumption) ของตัวคลาดเคลื่อนเขียนในรูปเมทริกซ์ในแบบจำลอง SUR คือ

1.) ค่าเฉลี่ยของค่าความคาดเคลื่อน (Error Term) เท่ากับศูนย์

$$E[\varepsilon | X_1, X_2, ...X_M] = 0 \qquad (4.36)$$

2.) ตัวคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง observation แต่ตัวคลาดเคลื่อนใน observation เดียวกันจะมีความสัมพันธ์ระหว่างสมการ สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E\left[\varepsilon_{it}\varepsilon_{js}\middle|X_1, X_2, \ldots X_M\right] = \sigma_{ij} \quad \text{เมื่อ } t = s \qquad (4.37)$$
$$= 0 \quad \text{เมื่อ } t \neq s$$

สำหรับ Covariance Matrix ของตัวคลาดเคลื่อนสามารถเขียนในรูปแบบเมทริกซ์ได้ในสมการที่ (4.38) เมื่อ I คือเมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)

$$E\left[\varepsilon_i\varepsilon_j^{'}\middle|X_1, X_2, \ldots X_M\right] = \sigma_{ij} I_T \qquad (4.38)$$

หรือเขียนอีกรูปแบบหนึ่ง แสดงในสมการที่ (4.39) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ที่มีมิติ $(MTxMT)$

$$E\left[\varepsilon\varepsilon^{'}\middle|X_1, X_2, \ldots X_M\right] = \Omega = \begin{bmatrix} \sigma_{11}I & \sigma_{12}I & \ldots & \sigma_{1M}I \\ \sigma_{21}I & \sigma_{22}I & \ldots & \sigma_{2M}I \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \sigma_{M1}I & \sigma_{M2}I & \ldots & \sigma_{MM}I \end{bmatrix} \qquad (4.39)$$

จากคุณสมบัติ Kronecker product สามารถเขียนเมทริกซ์ในสมการที่ (4.39) ในอยู่ในรูปสมการที่ (4.40) โดยกำหนดให้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \ldots & \sigma_{1M} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \ldots & \sigma_{2M} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \ldots & \sigma_{MM} \end{bmatrix}$$

$$\Omega = \Sigma \otimes I \,,\; \Omega^{-1} = \Sigma^{-1} \otimes I \qquad (4.40)$$

เมื่อพิจารณา Covariance Matrix ของตัวคลาดเคลื่อน (Ω) มีค่าไม่คงที่ซึ่งเป็นปัญหา Heteroskedasticity รูปแบบหนึ่งดังนั้นต้องมีการ Transform ข้อมูลในเมทริกซ์ตัวแปรตามและตัวแปรอธิบายโดยการนำ $\Omega^{-1/2}$ คูณในระบบสมการที่ (4.35) ก่อนจะประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด การประมาณค่าดังกล่าวเรียกว่า Generalized Least Squares(GLS) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่มีคุณสมบัติ Consistency กล่าวคือ ผลการประมาณค่าจะเข้า

ใกล้ค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งสูตรการคำนวณสามารถเขียนได้ในรูปแบบเมทริกซ์ในสมการที่ (4.41) เมื่อได้ค่า $\hat{\beta}_{GLS}$ แล้วแทนในสมการที่ (4.42) จะได้ Covariance matrix

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{GLS} &= \left[X'\Omega^{-1}X\right]^{-1}X'\Omega^{-1}y \\ &= \left[X'(\Sigma^{-1}\otimes I)X\right]^{-1}X'(\Sigma^{-1}\otimes I)y\end{aligned} \tag{4.41}$$

$$\hat{\sigma}_{ij} = \frac{1}{n}(y_i - X_i\hat{\beta}_{GLS,i})'(y_i - X_i\hat{\beta}_{GLS,i}) \tag{4.42}$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองระบบสมการของสัดส่วนต้นทุนการผลิตซึ่งแบ่งเป็น 2 ระบบสมการคือ ระบบสมการระดับปัจจัยการผลิต (Input Level) และระบบสมการระดับพลังงาน (Interfuel Level) จะใช้วิธี SUR ในการประมาณค่าตามที่กล่าวมาข้างต้น แต่เนื่องจากข้อสมมติของสมการต้นทุนทำให้ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้น การประมาณค่าในระบบสมการจะต้องตัดสมการออกไป 1 สมการเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Perfect Multicollinearity ในระบบสมการระดับปัจจัยการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย พลังงาน (E) วัตถุดิบ (M) แรงงาน (L) และทุน (K) การประมาณค่าจะตัดสมการของสัดส่วนต้นทุนแรงงานออกเพราะมีสัดส่วนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิตอื่นๆ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.14 ของต้นทุนรวม ดังนั้น ทำให้แบบจำลองที่จะประมาณค่าเหลือเพียง 3 สมการ แสดงในระบบสมการที่ (4.43)

$$\begin{aligned}
M_K &= \beta_K + \beta_{EK}\ln(P_E/P_K) + \beta_{MK}\ln(P_M/P_K) + \beta_{LK}\ln(P_L/P_K) + \beta_{KQ}\ln Q + \beta_{KT}T + \upsilon_K \\
M_E &= \beta_E + \beta_{EM}\ln(P_M/P_E) + \beta_{EL}\ln(P_L/P_E) + \beta_{EK}\ln(P_K/P_E) + \beta_{EQ}\ln Q + \beta_{ET}T + \upsilon_E \\
M_M &= \beta_M + \beta_{EM}\ln(P_E/P_M) + \beta_{ML}\ln(P_L/P_M) + \beta_{KM}\ln(P_K/P_M) + \beta_{MQ}\ln Q + \beta_{MT}T + \upsilon_M
\end{aligned} \tag{4.43}$$

เมื่อได้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ในระบบสมการที่ (4.43) สามารถใช้ข้อจำกัดของพารามิเตอร์ (Linear restriction) เพื่อประมาณค่าของ $\beta_L, \beta_{EL}, \beta_{ML}, \beta_{KL}, \beta_{LQ}$ และ β_{LT} และใช้ Delta Method เพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Error,S.E.)

ในทำนองเดียวกัน การประมาณค่าระบบสมการในระดับพลังงานซึ่งประกอบไปด้วยพลังงานจากไฟฟ้า(EI) พลังงานจากก๊าซ (G) และพลังงานจากน้ำมัน (O) การประมาณค่าจะตัดสมการของสัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซออกเพราะมีสัดส่วนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพลังงานจาก

แหล่งอื่นๆ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 9.92 ของต้นทุนพลังงานรวม ดังนั้น ทำให้แบบจำลองที่จะประมาณค่าเหลือเพียง 2 สมการ แสดงในระบบสมการที่ (4.44)

$$\begin{aligned} M_{EI} &= \alpha_{EI} + \alpha_{EIG}\ln(P_G/P_{EI}) + \alpha_{EIO}\ln(P_O/P_{EI}) + \alpha_{EI,CE}\ln(CE) + \alpha_{EIT}T + \upsilon_{EI} \\ M_O &= \alpha_O + \alpha_{EIO}\ln(P_{EI}/P_O) + \alpha_{GO}\ln(P_G/P_O) + +\alpha_{O,CE}\ln(CE) + \alpha_{OT}T + \upsilon_O \end{aligned} \qquad (4.44)$$

เมื่อได้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ในระบบสมการที่ (4.44) สามารถใช้ข้อจำกัดของพารามิเตอร์ (Linear restriction) เพื่อประมาณค่าของ $\alpha_G, \alpha_{EIG}, \alpha_{OG}, \alpha_{G,CE}$ และ α_{GT} และใช้ Delta Method เพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Error,S.E.) ซึ่งรายละเอียดในทางทฤษฎีจะกล่าวในส่วนต่อไป

4.3.2 <u>การทดสอบสมมติฐาน</u>

การทดสอบสมมติฐานจะใช้วิธี Wald Test ซึ่งเป็นการทดสอบข้อจำกัดของค่าพารามิเตอร์ โดยที่ข้อจำกัดนั้นจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่ก็ได้ ในทางเศรษฐมิติเมื่อมีการประมาณค่าแบบจำลองจำเป็นต้องมีการทดสอบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎีเศรษฐศาสตร์หรือไม่ เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นรายละเอียดในทางทฤษฎีของ Wald test กรณีที่ทดสอบข้อจำกัดที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น เริ่มพิจารณาจากสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งเขียนในรูปแบบของเมทริกซ์ ได้ดังสมการที่ (4.45)

$$Y = X\beta + \varepsilon \qquad (4.45)$$

Y คือ เมทริกซ์ของตัวแปรตาม(Dependent variable) มีมิติ (Nx1)

X คือ เมทริกซ์ของตัวแปรอธิบาย(Explanatory Variable) จำนวน K ตัว มีมิติ (NxK)

β คือ เมทริกซ์ของพารามิเตอร์จำนวน K ตัว มีมิติ (Kx1)

ε คือ เมทริกซ์ของ Disturbance Term มีมิติ (Nx1)

กำหนด Linear restriction ที่ต้องการทดสอบเขียนเป็นระบบสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} r_{11}\beta_1 + r_{12}\beta_2 + \ldots\ldots\ldots + r_{1K}\beta_K &= q_1 \\ r_{21}\beta_1 + r_{22}\beta_2 + \ldots\ldots\ldots + r_{2K}\beta_K &= q_2 \\ &\vdots \\ r_{J1}\beta_1 + r_{K2}\beta_2 + \ldots\ldots\ldots + r_{JK}\beta_K &= q_J \end{aligned} \qquad (4.46)$$

ระบบสมการที่ (4.46) มีทั้งสิ้น J สมการซึ่ง J คือจำนวน restriction ที่ต้องการทดสอบและจะต้องมีไม่เกินจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า (K) เขียนได้ว่า $J \le K$ เราสามารถเขียนระบบสมการที่ (4.46) ในรูปแบบเมทริกซ์ ได้ในสมการที่ (4.47)

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1K} \\ r_{21} & r_{21} & \cdots & r_{2K} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{J1} & r_{J2} & \cdots & r_{JK} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_K \end{bmatrix} \text{ และ } q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_J \end{bmatrix}$$

$$R\beta = q \qquad (4.47)$$

การทดสอบสมมติฐานว่าง(Null Hypothesis) สามารถเขียนเป็นสมการที่ (4.48) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} H_0 &: R\beta - q = 0 \\ H_1 &: R\beta - q \neq 0 \end{aligned} \qquad (4.48)$$

กำหนดให้ b คือเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการประมาณค่าโดยวิธี Generalized Least Squares (GLS), m คือ เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้ $Rb - q = m$ หากสมมติฐานว่างถูกต้องเวกเตอร์ m จะต้องมี mean vector เท่ากับเมทริกซ์ศูนย์ แสดงในสมการที่ (4.49) และCovariance matrix ของ m เขียนแสดงในสมการที่ (4.50)

$$E\left[m \middle| X\right] = RE\left[b \middle| X\right] - q = R\beta - q = 0 \qquad (4.49)$$

$$Var[m|X] = Var[Rb - q|X] = R\{Var[b|X]\}R' = \sigma^2 R(X'X)^{-1}R' \qquad (4.50)$$

จากสมการที่ (4.49) และ (4.50) สามารถคำนวณค่าทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน เรียกว่าค่า Wald Statistics(W) ซึ่งแสดงในสมการที่ (4.51) โดยที่ W มีการกระจายแบบ Chi-Square มีระดับความเป็นอิสระ (degree of freedom) เท่ากับ J ซึ่งเป็นจำนวนของ restriction ที่ทำการทดสอบ ดังนั้น หากค่า W ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่า Chi-square Statistic ที่ได้จากตารางสถิติ ($W < \lambda^2(J)$) แสดงว่า สมมติฐานว่างที่ตั้งไว้นั้นถูกต้องตามระดับนัยสำคัญที่เลือกไว้ โดยทั่วไปจะใช้ที่ 5% ในทางตรงข้าม หากค่า W ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า Chi-square ที่ได้จากตารางสถิติStatistic ($W > \lambda^2(J)$) แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานว่างหรืออีกนัยหนึ่งคือ การยอมรับสมมติฐานเลือก(Alternative Hypothesis: H_1) นั่นเอง

$$\begin{aligned} W &= m'\{Var[m|X]\}m = (Rb-q)'\left[\sigma^2 R(X'X)^{-1}R'\right]^{-1}(Rb-q) \\ &= \frac{(Rb-q)'\left[R(X'X)^{-1}R'\right]^{-1}(Rb-q)}{\sigma^2} \\ &\sim \lambda^2(J) \end{aligned} \qquad (4.51)$$

จากสมการที่ (4.51) σ^2 เป็น unknown parameter ดังนั้น ต้องมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (estimated parameter) ที่จะเป็นตัวแทนของค่าที่ไม่ทราบ กำหนดให้ s^2 เป็นตัวประมาณค่าของ σ^2 โดยที่ $s^2 = \frac{e'e}{N-K}$, $e'e$ คือผลรวมกำลังสองของ Residuals (Residuals Sum of Squares, RSS) เมื่อหารสมการที่ (4.51) ด้วย J จะได้การกระจายแบบ F ซึ่งมีระดับความเป็นอิสระของตัวเศษเท่ากับ J และระดับความเป็นอิสระของตัวส่วนเท่ากับ N-K

$$\begin{aligned} F[J, N-K] &= \frac{W\sigma^2}{Js^2} \\ &= \frac{(Rb-q)'\left[R(X'X)^{-1}R'\right]^{-1}(Rb-q)}{\sigma^2}\left(\frac{1}{J}\right)\left(\frac{\sigma^2}{s^2}\right)\left(\frac{(N-K)}{(N-K)}\right) \\ &= \frac{(Rb-q)'\left[\sigma^2 R(X'X)^{-1}R'\right]^{-1}(Rb-q)/J}{(N-K)s^2/\sigma^2} \\ &= \frac{(Rb-q)\left[R(s^2(X'X)^{-1})R'\right]^{-1}(Rb-q)}{J} \end{aligned} \qquad (4.52)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่า F statistics เพราะสมการที่ (4.52) มีการกระจายแบบ F มีระดับความเป็นอิสระของตัวเศษเท่ากับ J และระดับความเป็นอิสระของตัวส่วนเท่ากับ N-K ดังนั้นหากค่า F_{cal} ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่า F Statistic ที่ได้จากตารางสถิติ ($F_{cal} < F[J, N-K]$) แสดงว่า สมมติฐานว่างที่ตั้งไว้นั้นถูกต้องตามระดับนัยสำคัญที่เลือกโดยทั่วไปจะใช้ที่ 5% ในทางตรงข้าม หากค่า F_{cal} ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F Statistic ที่ได้จากตารางสถิติ ($F_{cal} > F[J, N-K]$) แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานว่างหรืออีกนัยหนึ่งคือ การยอมรับสมมติฐานเลือก(Alternative Hypothesis: H_1) นั่นเอง

การทดสอบ Wald Test ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบคุณสมบัติ Homotheticของสมการต้นทุน และการทดสอบการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต

ก. การทดสอบคุณสมบัติ Homothetic

คุณสมบัติ Homothetic คือ สมการต้นทุนรวม (C^*) สามารถเขียนในรูปต้นทุนเฉลี่ย (Average cost,AC) คูณกับระดับผลผลิต เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C^*(w,Q) = AC^*(w) \cdot Q \qquad (4.53)$$

จากแบบจำลองที่ (4.43) ที่เป็นระบบสมการสัดส่วนต้นทุนในระดับปัจจัยการผลิต หากค่า $\beta_{iQ} = 0$ แสดงว่าสมการต้นทุนรวมมีคุณสมบัติ Homothetic และเมื่อทดสอบแล้วพบว่าสมการต้นทุนมีคุณสมบัติ Homothetic จะตัดเทอมของ β_{iQ} ออกจากระบบสมการ เช่นเดียวกับการประมาณค่าในระบบสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงาน หากค่า $\alpha_{iQ} = 0$ แสดงว่าสมการต้นทุนพลังงานมีคุณสมบัติ Homothetic และเมื่อทดสอบแล้วพบว่าสมการต้นทุนพลังงานมีคุณสมบัติ Homothetic จะตัดเทอมของ α_{iQ} ออกจากระบบสมการ

ข. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล Pooled Data แบบจำลองจึงเพิ่มตัวแปรด้านเวลา (T) เป็นตัวสะท้อนถึงระดับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน

จากแบบจำลองที่ (4.43) ที่เป็นระบบสมการสัดส่วนต้นทุนในระดับปัจจัยการผลิต หากค่า $\beta_{iT} = 0$ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีไม่มีผลต่อต้นทุนการผลิตรวม และเมื่อทดสอบแล้วพบว่ายอมรับสมมติฐานดังกล่าว จะตัดเทอมของ β_{iT} ออกจากระบบสมการ

จากแบบจำลองที่ (4.44) ที่เป็นระบบสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงาน หากค่า $\alpha_{iT} = 0$ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีไม่มีผลต่อต้นทุนพลังงานและเมื่อทดสอบแล้วพบว่ายอมรับสมมติฐานดังกล่าว จะตัดเทอมของ α_{iT} ออกจากระบบสมการ

เมื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ในระบบสมการทั้งระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน รวมทั้งการทดสอบคุณสมบัติ Homothetic และการทดสอบการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตจะนำผลการประมาณค่ามาคำนวณค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน (Elasticity of Substitution) ของ Allen และ Morishima รวมทั้งความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา การคำนวณค่าความยืดหยุ่นโดยการนำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการประมาณค่าแทนไปในสูตรความยืดหยุ่นที่แสดงไว้ในส่วนของทฤษฎีซึ่งการคำนวณค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณได้จะไม่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Error,S.E.) ทำให้ไม่สามารถทดสอบได้ว่าค่าความยืดหยุ่นได้มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตาม มีวิธีการทางสถิติที่เรียกว่า Delta Method ในการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อนำไปทดสอบความน่าเชื่อถือของค่าความยืดหยุ่นที่ได้ต่อไปโดยรายละเอียดจะอยู่ในหัวข้อถัดไป

4.3.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของค่าความยืดหยุ่น

Delta Method เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างซับซ้อนโดยอาจเป็นความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงหรือความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เส้นตรงก็ได้ วิธีการ Delta Method เป็นประมาณค่าของฟังก์ชั่นนั้นให้เป็นเชิงเส้น (Linear Approximation) และคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้ประมาณขึ้น วิธีการนี้จะเหมาะกับจำนวนข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ (Large Sample)

เริ่มจากผลการประมาณค่าพารามิเตอร์จากการใช้วิธี SUR กำหนดให้ $\hat{\beta}$ คือเวกเตอร์ผลการประมาณค่าจากวิธี SUR ในทางสถิติ $\sqrt{n}(\hat{\beta} - \beta)$ จะมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) เมื่อ n คือจำนวนข้อมูล โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ $Var(\hat{\beta})$ เขียนแสดงได้ดังสมการที่ (4.54)

$$\sqrt{n}(\hat{\beta}-\beta)\xrightarrow{d}N(0,Var(\hat{\beta})) \qquad (4.54)$$

กำหนดให้ $G(\beta)$ คือ เมทริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในระบบสมการโดยอาจจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงหรือไม่ใช่เส้นตรงก็ได้ หลังจากนั้นให้กระจายอนุกรมเทเลอร์ลำดับที่สอง(Second order Taylor Series) ของเมทริกซ์ $G(\hat{\beta})$ รอบเมทริกซ์ β โดยที่ $G'(\beta)$ และ $G^{*}(\beta)$ คือเมทริกซ์ที่ได้จากการหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 และอนุพันธ์ลำดับที่ 2 เทียบกับ β ตามลำดับ เขียนแสดงได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} G(\hat{\beta}) &= G(\beta)+(\hat{\beta}-\beta)'G'(\beta)+\frac{1}{2}(\hat{\beta}-\beta)'G^{*}(\beta)(\hat{\beta}-\beta) \\ &\approx G(\beta)+(\hat{\beta}-\beta)'G'(\beta) \end{aligned} \qquad (4.55)$$

จากทฤษฎีที่แสดงในสมการที่(4.54) และสมการที่ (4.55) สามารถเขียนเป็นสมการที่ (4.56) ได้ดังนี้

$$\sqrt{n}\left[G(\hat{\beta})-G(\beta)\right]\approx\sqrt{n}(\hat{\beta}-\beta)'G'(\beta) \qquad (4.56)$$

จากสมการที่(4.54) - (4.56) สามารถเขียนได้ว่า $G(\hat{\beta})$ มีการกระจายแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $G(\beta)$ และมีความแปรปรวนเท่ากับ $\frac{\partial G(\beta)}{\partial\beta'}Var(\hat{\beta})\frac{\partial G(\beta)}{\partial\beta}$ เขียนแสดงได้ดังสมการที่ (4.57) ดังนี้ (Greene, 2000)

$$G(\hat{\beta})\xrightarrow{d}N(G(\beta),\frac{\partial G(\beta)}{\partial\beta'}Var(\hat{\beta})\frac{\partial G(\beta)}{\partial\beta}) \qquad (4.57)$$

การที่จะหาค่าความแปรปรวนที่แสดงไว้ในสมการที่ (4.57) จะใช้ $\left.\frac{\partial G(\beta|x)}{\partial\beta'}\right|_{\beta=\hat{\beta}}$ มาเป็นตัวประมาณการของ $\frac{\partial G(\beta)}{\partial\beta'}$ ทำให้สามารถคำนวณค่าความแปรปรวนของของเมทริกซ์ $G(\hat{\beta})$ ได้ดังนี้

$$Var(G(\hat{\beta}))=\frac{\partial G(\beta)}{\partial\hat{\beta}'}Var(\hat{\beta})\frac{\partial G(\beta)}{\partial\hat{\beta}} \qquad (4.58)$$

การประยุกต์ใช้วิธี Delta Method กับแบบจำลองในระดับปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการศึกษานั้น ให้เริ่มจากข้อจำกัดของพารามิเตอร์ของสมการต้นทุนลอการิทึมอดิศัย (Translog Cost Function) สมการที่ (4.59) คือ หนึ่งในข้อจำกัดในแบบจำลองระดับปัจจัยการผลิต

$$\hat{\beta}_{KK}+\hat{\beta}_{KE}+\hat{\beta}_{KL}+\hat{\beta}_{KM}=0 \tag{4.59}$$

เมื่อเทียบกับแบบจำลองในสมการที่ (4.43) ไม่ได้ประมาณค่าของ $\hat{\beta}_{KK}$ และ$Var(\hat{\beta}_{KK})$ แต่สามารถหาค่าของ $\hat{\beta}_{KK}$ จากเงื่อนไขในสมการที่ (4.59) จะได้ว่า $\hat{\beta}_{KK}=-(\hat{\beta}_{KE}+\hat{\beta}_{KL}+\hat{\beta}_{KM})$ เมื่อใช้วิธีการ Delta Method จะสามารถหา$Var(\hat{\beta}_{KK})$ ได้ดังสมการที่ (4.60)

$$\begin{aligned}Var(\hat{\beta}_{KK}) &= Var(\hat{\beta}_{KE})+Var(\hat{\beta}_{KL})+Var(\hat{\beta}_{KM})+2Cov(\hat{\beta}_{KE},\hat{\beta}_{KL})+\\ &2Cov(\hat{\beta}_{KE},\hat{\beta}_{KM})+2Cov(\hat{\beta}_{KL},\hat{\beta}_{KM})\end{aligned} \tag{4.60}$$

เมื่อได้ค่า $Var(\hat{\beta}_{KK})$ สามารถหาค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.E.) โดยที่ $S.E.(\hat{\beta}_{KK})=\left[Var(\hat{\beta}_{KK})\right]^{1/2}$ ทำวิธีเดียวกันนี้กับทุกข้อจำกัดทางพารามิเตอร์ทั้งในแบบจำลองของระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน เมื่อได้ผลประมาณค่าและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะสามารถคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาและความยืดหยุ่นของไขว้ ได้ดังสมการที่ (4.61) และ (4.62)

$$\varepsilon_{ii}=\frac{\hat{\beta}_{ii}}{M_i}+M_i-1 \rightarrow Var(\varepsilon_{ii})=\frac{1}{M_i^2}\cdot Var(\hat{\beta}_{ii}) \tag{4.61}$$

$$\varepsilon_{ij}=\frac{\hat{\beta}_{ij}}{M_i}+M_j \rightarrow Var(\varepsilon_{ij})=\frac{1}{M_i^2}\cdot Var(\hat{\beta}_{ij}) \tag{4.62}$$

ในทำนองเดียวกันสามารถใช้วิธีการ Delta Method คำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน (Elasticity of Substitution) ของ Allen และ Morishima ได้ดังนี้

$$AES_{ij}=\frac{\varepsilon_{ij}}{M_j} \rightarrow Var(AES_{ij})=\frac{1}{M_j^2}\cdot Var(\varepsilon_{ij}) \tag{4.63}$$

$$MES_{ij}=\varepsilon_{ij}-\varepsilon_{jj} \rightarrow Var(MES_{ij})=Var(\varepsilon_{ij})+Var(\varepsilon_{jj})-2Cov(\varepsilon_{ij},\varepsilon_{jj}) \tag{4.64}$$

เมื่อได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา ความยืดหยุ่นไขว้ และความยืดหยุ่นในการทดแทนกันทั้งของ Allen และ Morishima สามารถทดสอบนัยสำคัญของค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวิเคราะห์การทดแทนกันและการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็ก

เนื้อหาในบทนี้ เป็นการนำเสนอผลการประมาณค่าแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนการผลิตรวมและแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนพลังงาน ประกอบด้วย ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์และค่าความยืดหยุ่น รวมถึงผลการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนการผลิตและต้นทุนพลังงาน โดยมีลำดับขั้นตอนการนำเสนอดังนี้ ส่วนแรกกรอบการวิเคราะห์และสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตและความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน กล่าวถึง ส่วนต่อมาเป็นขั้นตอนการประมวลผลโดยวิธีทางเศรษฐมิติ ส่วนสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษาความสามารถการทดแทนของพลังงานทั้งในด้านระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานย่อย

5.1 กรอบการวิเคราะห์และสมมติฐานการศึกษา

อุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีเทคโนโลยีสูง ใช้พลังงานเข้มข้นและการผลิตยังมีแนวโน้มที่จะขยายตัวได้อีกมาก การเปลี่ยนแปลงกการใช้พลังงานของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานถูกกำหนดจาก 3 ปัจจัยหลักดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต(Scale effects) เมื่อกำหนดให้ราคาปัจจัยการผลิตทุกชนิดคงที่ การเพิ่มกำลังการผลิตจะทำให้ต้นทุนและการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไปในระดับที่แตกต่างกัน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือต้นทุนต่อหน่วยของพลังงานจะเปลี่ยนแปลงไปตามการขยายตัวของกำลังการผลิต ส่งผลให้โครงสร้างการใช้ปัจจัยการผลิตและโครงสร้างการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไป

2. การเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงกระบวนการผลิต(Technical progress) หากระดับผลผลิตและราคาปัจจัยการผลิตทุกชนิดคงที่ การพัฒนากระบวนการผลิตจะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมลดลง อย่างไรก็ตามจะส่งผลต่อต้นทุนของพลังงานได้ใน 2 รูปแบบ คือการปรับปรุงเทคนิคการผลิตอาจทำให้มีต้นทุนพลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง

3. การเปลี่ยนแปลงราคา(Price effects) ทั้งที่เกิดจากราคาของพลังงานเอง(Own-price effects) และราคาของปัจจัยการผลิตชนิดอื่น(Cross-price effects) ณ ระดับการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน หากราคาพลังงานเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการใช้พลังงานและการใช้ปัจจัยการผลิตอื่นๆ ทั้งนี้ขนาดผลกระทบของราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของพลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งแสดงออกมาในรูปของสัดส่วนต้นทุนพลังงานและความสามารถในการทดแทนการใช้พลังงานด้วยปัจจัยการผลิตชนิดอื่นๆ กล่าวคือ เมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตจะลดการใช้พลังงานลงและหันไปใช้ปัจจัยการผลิตชนิดอื่นๆ

ดังนั้นการศึกษานี้จะวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนราคาปัจจัยการผลิตต่อการใช้พลังงานและความสัมพันธ์กับปัจจัยการผลิตอื่นๆ ของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย จากการวิเคราะห์โครงสร้างอุตสาหกรรมและโครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กนำไปสู่สมมติฐานการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ดังนี้

<u>ระดับปัจจัยการผลิต</u>

วัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในกระบวนการผลิต เพราะมีสัดส่วนต้นทุนสูงรองจากสินค้าทุน ดังนั้นผู้ประกอบการจะพยายามปรับปรุงเทคนิคการผลิตเพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการผลิต แต่เนื่องจากวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตหลักจึงเป็นการยากที่จะใช้ปัจจัยการผลิตอื่นๆ มาทดแทน

ต้นทุนพลังงานเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา คาดว่าผู้ประกอบมีแนวโน้มที่จะลดการใช้พลังงานลง โดยส่วนหนึ่งจะเพิ่มการลงทุนในเครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีประหยัดพลังงานมากขึ้น อีกทางหนึ่งจะปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่ออนุรักษ์พลังงาน การศึกษาครั้งนี้จึงคาดการณ์ว่าทุนกับพลังงานน่าจะเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนกันได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยการผลิตคู่อื่นๆ

เมื่อผู้ผลิตมีการลงทุนเทคโนโลยีหรือสินค้าทุนเพื่อประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการจ้างงาน โดยอาจจะมีการจ้างแรงงานเพิ่มขึ้นหรือลดการจ้างงานลงก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากสินค้าทุนบางประเภทจำเป็นต้องใช้แรงงานควบคู่ไปด้วย ในทางตรงข้ามสินค้าทุนบางอย่างอาจไปทดแทนแรงงานได้ด้วยทำให้การจ้างงานในอุตสาหกรรมอาจจะลดลง

หากอุตสาหกรรมเหล็กมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มกำลังการผลิต จะทำให้มีการใช้ทุน แรงงาน วัตถุดิบ รวมถึงพลังงานประเภทต่างๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกัน

ระดับพลังงาน

ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญต่อกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก เมื่อราคาไฟฟ้าและราคาพลังงานอื่นๆ เพิ่มขึ้นจะทำให้การใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงมีค่าความยืดหยุ่นต่อราคาไฟฟ้าและราคาพลังงานประเภทอื่นๆ ค่อนข้างต่ำ

ปัจจุบันราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าราคาพลังงานประเภทอื่นๆ ดังนั้นการใช้น้ำมันจะมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาตนเองค่อนข้างมาก และผู้ประกอบการมีแนวโน้มที่จะหันไปใช้พลังงานที่มีราคาถูกกว่าทดแทน ซึ่งความสามารถการทดแทนกันของพลังงานแต่ละประเภทจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับราคาสัมพัทธ์ของพลังงานและข้อจำกัดทางเทคโนโลยี

5.2 ขั้นตอนการศึกษา

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนการประมวลผลโดยสังเขป ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประมาณค่าระบบสมการต้นทุนการผลิตและระบบสมการต้นทุนพลังงานแบบไม่มีข้อจำกัดของพารามิเตอร์ด้วยวิธี Seemingly Unrelated Regression (SUR) แบบจำลองที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์จะเป็นไปตามสมการที่ (5.1) และ (5.2)

ระบบสมการต้นทุนการผลิต

$$
\begin{aligned}
M_K &= \beta_K + \beta_{KE}\ln(P_E/P_K) + \beta_{KM}\ln(P_M/P_K) + \beta_{KL}\ln(P_L/P_K) + \beta_{KQ}\ln Q + \beta_{KT}T + \upsilon_K \\
M_E &= \beta_E + \beta_{EM}\ln(P_M/P_E) + \beta_{EL}\ln(P_L/P_E) + \beta_{EK}\ln(P_K/P_E) + \beta_{EQ}\ln Q + \beta_{ET}T + \upsilon_E \\
M_L &= \beta_L + \beta_{LE}\ln(P_E/P_L) + \beta_{LM}\ln(P_M/P_L) + \beta_{LK}\ln(P_K/P_L) + \beta_{LQ}\ln Q + \beta_{LT}T + \upsilon_L \\
M_M &= \beta_M + \beta_{ME}\ln(P_E/P_M) + \beta_{ML}\ln(P_L/P_M) + \beta_{MK}\ln(P_K/P_M) + \beta_{MQ}\ln Q + \beta_{MT}T + \upsilon_M
\end{aligned}
\qquad (5.1)
$$

ระบบสมการต้นทุนพลังงาน

$$
\begin{aligned}
M_{EI} &= \alpha_{EI} + \alpha_{EIG}\ln(p_G/p_{EI}) + \alpha_{EIO}\ln(p_O/p_{EI}) + \alpha_{EI,CE}\ln CE + \alpha_{EIT}T + \upsilon_{EI} \\
M_G &= \alpha_G + \alpha_{GEI}\ln(p_{EI}/p_G) + \alpha_{GO}\ln(p_O/p_G) + \alpha_{G,CE}\ln CE + \alpha_{GT}T + \upsilon_G \\
M_O &= \alpha_O + \alpha_{OEI}\ln(p_{EI}/p_O) + \alpha_{OG}\ln(p_G/p_O) + \alpha_{O,CE}\ln CE + \alpha_{OT}T + \upsilon_O
\end{aligned}
\qquad (5.2)
$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์จากระบบสมการจะต้องตัดสมการใดสมการหนึ่งออกไปเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันอย่างสมบูรณ์(Perfect Multicolinearity) ดังนั้น ในการศึกษานี้จะตัดสมการสัดส่วนต้นทุนแรงงานสำหรับการประมาณค่าในระดับปัจจัย และสัดส่วนต้นทุนของก๊าซสำหรับการประมาณค่าในระดับพลังงาน เพราะต้นทุนแรงงานต่อต้นทุนรวมและต้นทุนก๊าซต่อต้นทุนพลังงานรวม มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับปัจจัยการผลิตอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติ Homotheticity เพื่อวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต (Scale effect) และผลของการปรับปรุงเทคนิคการผลิต(Technical Progress) ของระบบสมการต้นทุนการผลิตและระบบสมการต้นทุนพลังงานด้วย Wald Test ดังนี้

สมการต้นทุนการผลิตและสมการต้นทุนพลังงานจะมีคุณสมบัติ Homotheticity หรืออีกนัยหนึ่งในระดับปัจจัยการผลิต หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตไม่มีผลต่อโครงสร้างการใช้ปัจจัยการผลิต ในระดับพลังงาน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงต้นทุนพลังงานรวมไม่มีผลต่อโครงสร้างการใช้พลังงานสามารถทดสอบได้โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ในเทอม Q ของระดับปัจจัยการผลิต ($\beta_{KQ} = \beta_{EQ} = \beta_{MQ} = 0$) และพารามิเตอร์ในเทอม CE ของระดับพลังงาน ($\alpha_{EI,CE} = \alpha_{O,CE} = 0$) ทุกตัวมีค่าเท่ากับศูนย์

การผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กจะไม่มีการปรับปรุงเทคนิคการผลิตทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน ก็ต่อเมื่อพารามิเตอร์ทุกตัวในเทอมเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ $\beta_{KT} = \beta_{ET} = \beta_{MT} = 0$ และ $\alpha_{EIT} = \alpha_{OT} = 0$

ขั้นตอนที่ 3 ประมาณค่าระบบสมการต้นทุนการผลิตและระบบสมการต้นทุนพลังงานด้วยวิธี SUR โดยกำหนดให้พารามิเตอร์มีข้อคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้ Symmetry, Linear Homogeneity และ Adding Up คุณสมบัติดังกล่าวทำให้จำนวนพารามิเตอร์ที่จะประมาณค่าจะลดลงเมื่อเทียบกับขั้นตอนที่ 1 แบบจำลองที่ใช้เป็นไปตามสมการที่ (5.3) และ (5.4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ระบบสมการต้นทุนการผลิต</u>

$$
\begin{aligned}
M_K &= \beta_K + \beta_{KE}\ln(P_E/P_K) + \beta_{KM}\ln(P_M/P_K) + \beta_{KL}\ln(P_L/P_K) + \beta_{KQ}\ln Q + \beta_{KT}T + \upsilon_K \\
M_E &= \beta_E + \beta_{EM}\ln(P_M/P_E) + \beta_{EL}\ln(P_L/P_E) + \beta_{KE}\ln(P_K/P_E) + \beta_{EQ}\ln Q + \beta_{ET}T + \upsilon_E \\
M_L &= \beta_L + \beta_{EL}\ln(P_E/P_L) + \beta_{LM}\ln(P_M/P_L) + \beta_{KL}\ln(P_K/P_L) + \beta_{LQ}\ln Q + \beta_{LT}T + \upsilon_L \\
M_M &= \beta_M + \beta_{EM}\ln(P_E/P_M) + \beta_{LM}\ln(P_L/P_M) + \beta_{KM}\ln(P_K/P_M) + \beta_{MQ}\ln Q + \beta_{MT}T + \upsilon_M
\end{aligned}
\qquad (5.3)
$$

ระบบสมการต้นทุนพลังงาน

$$M_{EI} = \alpha_E + \alpha_{EIG}\ln(p_G/p_{EI}) + \alpha_{EIO}\ln(p_O/p_{EI}) + \alpha_{EI,CE}\ln CE + \alpha_{EIT}T + \upsilon_{EI}$$
$$M_G = \alpha_G + \alpha_{EIG}\ln(p_{EI}/p_G) + \alpha_{GO}\ln(p_O/p_G) + \alpha_{G,CE}\ln CE + \alpha_{GT}T + \upsilon_G \quad (5.4)$$
$$M_O = \alpha_O + \alpha_{EIO}\ln(p_{EI}/p_O) + \alpha_{GO}\ln(p_G/p_O) + \alpha_{O,CE}\ln CE + \alpha_{OT}T + \upsilon_O$$

แบบจำลองข้างต้นยังมีปัญหาตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันอย่างสมบูรณ์ ดังนั้น การศึกษานี้จึงตัดสมการสัดส่วนต้นทุนแรงงานและสัดส่วนต้นทุนของก๊าซเช่นเดียวกับการประมาณค่าขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณความยืดหยุ่นต่อราคา(ε_{ii}) ความยืดหยุ่นไขว้(ε_{ij}) และความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen (AES) และ Morishima (MES)

ระดับปัจจัยการผลิต

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\hat{\beta}_{ii}}{M_i} + M_i - 1$$
$$\varepsilon_{ij} = \frac{\hat{\beta}_{ij}}{M_i} + M_j$$
$$AES_{ij} = \frac{\hat{\beta}_{ij}}{M_i M_j} + 1$$
$$AES_{jj} = \frac{1}{M_j^2}(\hat{\beta}_{jj} - M_j + M_j^2)$$
$$MES_{ij} = AES_{ij} - AES_{jj}$$

ระดับพลังงาน

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\hat{\alpha}_{ii}}{M_i} + M_i - 1$$
$$\varepsilon_{ij} = \frac{\hat{\alpha}_{ij}}{M_i} + M_j$$
$$AES_{ij} = \frac{\hat{\alpha}_{ij}}{M_i M_j} + 1 \quad (5.5)$$
$$AES_{jj} = \frac{1}{M_j^2}(\hat{\alpha}_{jj} - M_j + M_j^2)$$
$$MES_{ij} = AES_{ij} - AES_{jj}$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ในสมการที่ละไว้และค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณได้โดยวิธี Delta Method

ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบความน่าเชื่อถือของผลการประมาณค่าและค่าความยืดหยุ่นโดยพิจารณาจากค่า T-statistic

5.3 ผลการศึกษา

การศึกษาความสามารถการทดแทนกันของพลังงานได้ใช้ข้อมูล Panel จากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กที่สำรวจการใช้พลังงานของผู้ประกอบการของอุตสาหกรรมเหล็กระหว่างปี 2542 ถึง 2547 จำนวน 32 ราย รวมทั้งสิ้น 192 ตัวอย่าง ในส่วนนี้แบ่งวิเคราะห์ผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ *ส่วนที่หนึ่ง* วิเคราะห์ผลการศึกษาความสามารถการทดแทนกันในระดับปัจจัยการผลิต ประกอบไปด้วย สินค้าทุน แรงงาน พลังงาน และวัตถุดิบ และ *ส่วนที่สอง* วิเคราะห์ผลการศึกษาความสามารถการทดแทนกันในระดับพลังงาน ประกอบด้วย ไฟฟ้า ก๊าซ และน้ำมัน มีลำดับในการนำเสนอแต่ละส่วนดังนี้ การทดสอบคุณสมบัติ Homothetic และการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลการประมาณค่าแบบจำลอง ผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อ ผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงานตามแนวคิดของ Allen และ Morishima

5.3.1 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยการผลิต

การทดสอบคุณสมบัติ Homothetic และการปรับปรุงกระบวนการผลิตของสมการต้นทุนรวมในอุตสาหกรรมเหล็กได้พิจารณาจากค่า λ^2_{cal} หากมีค่ามากกว่า 7.81 สามารถปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือยอมรับการมีอยู่ของคุณสมบัตินั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติ Homothetic และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตของสมการต้นทุนรวมพบว่า ค่า λ^2_{cal} ที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติ Homotheticและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตของต้นทุนรวมมีค่า λ^2_{cal} = 98.572 และ λ^2_{cal} = 69.071 ตามลำดับ มากกว่า $\lambda^2(3)$ =7.81 แสดงว่าสมการต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กไม่มีคุณสมบัติ Homothhetic และ Technical Progress กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การขยายขนาดการผลิตและการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจะส่งผลต่อการใช้ปัจจัยการผลิตและต้นทุนรวมของอุตสาหกรรมเหล็ก

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนการผลิต

คุณสมบัติ	λ^2_{cal}
Homothetic	98.572*
Technical Change	69.071*

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น ที่ 95%

ดังนั้นในแบบจำลองระบบสมการสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิตประกอบด้วยตัวแปร ดังต่อไปนี้ ราคาวัตถุดิบ ราคาทุน ราคาพลังงาน ค่าแรง ปริมาณการผลิตและตัวแปรเวลา ผลการประมาณค่าระบบสมการสัดส่วนต้นทุนในระดับปัจจัยการผลิตแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

พารามิเตอร์เทอมของราคาสัมพัทธ์และปริมาณการผลิตที่อยู่ในรูปลอการิทึมที่ได้จากการประมาณค่าในตารางที่ 5.2 ผลการประมาณค่าที่ได้จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาสัมพัทธ์ของปัจจัยการผลิต ปริมาณการผลิต และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีว่ามีผลในเชิงปริมาณต่อสัดส่วนต้นทุนแต่ละปัจจัยการผลิตอย่างไร พารามิเตอร์ที่ได้เป็นค่าความยืดหยุ่นของสัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิตต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงราคาสัมพัทธ์และอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต เครื่องหมายของพารามิเตอร์ในตารางที่ 5.2 ไม่ได้บอกความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกันหรือประกอบกัน เพราะสัดส่วนต้นทุนนั้นมีทั้งผลจากราคาและปริมาณควบคู่กัน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตนั้นต้องพิจารณาจากค่าความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตตามแนวคิดของ Allen และ Morishima ซึ่งสามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์เทอมราคาสัมพัทธ์และสัดส่วนต้นทุนเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยการผลิต

สมการสัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างแรงงานกับทุน (P_L / P_K) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1 จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนลดลงร้อยละ 1.03 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับทุน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างพลังงานกับทุน (P_E / P_K) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1 จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 13.1 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับทุน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างวัตถุดิบกับทุน (P_M / P_K) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1 จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนลดลงถึงร้อยละ 10.21 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับผลผลิตกับสินค้าทุน พบว่า เมื่อระดับผลผลิต(Q) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.69 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญ แสดงว่า ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเมื่อผู้ผลิตเพิ่มระดับการผลิตให้สูงขึ้น สัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับสินค้าทุน(T) พบว่า การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล็กแนวโน้มที่ใช้สัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.35 ต่อปีแต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.366$

สมการสัดส่วนต้นทุนของแรงงาน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างทุนกับแรงงาน (P_K / P_L) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของแรงงานลดลงร้อยละ 1.03 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่าผลที่ได้เหมือนกับการวิเคราะห์จากสมการสัดส่วนต้นทุนของสินค้าทุนเพราะในแบบจำลองได้สมมติให้ค่าพารามิเตอร์มีคุณสมบัติสมมาตร ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับแรงงาน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างพลังงานกับแรงงาน (P_E / P_L) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของแรงงานลดลงร้อยละ 0.59 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับแรงงาน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างวัตถุดิบกับแรงงาน (P_M / P_L) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของแรงงานลดลงร้อยละ 0.31 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับผลผลิตกับแรงงาน พบว่า เมื่อระดับผลผลิต (Q) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1ทำให้สัดส่วนต้นทุนของแรงงานลดลงร้อยละ 1.32 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญ แสดงว่า ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเมื่อผู้ผลิตเพิ่มระดับการผลิตให้สูงขึ้น สัดส่วนต้นทุนของแรงงานจะลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงงาน(T) พบว่า การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่ใช้สัดส่วนต้นทุนของแรงงานลดลงร้อยละ 0.46 ต่อปีและค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.536$

สมการสัดส่วนต้นทุนของพลังงาน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างทุนกับพลังงาน (P_K / P_E) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของพลังงานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 13.10 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงงานกับพลังงาน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างแรงงานกับพลังงาน (P_L / P_E) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของพลังงานลดลงร้อยละ 0.59 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับพลังงาน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างวัตถุดิบกับพลังงาน (P_M / P_E) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของพลังงานลดลงถึงร้อยละ 10.56 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับผลผลิตกับพลังงาน พบว่า เมื่อระดับผลผลิต (Q) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนของพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.03 ซึ่งถือว่าน้อยมากแต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเมื่อผู้ผลิตเพิ่มระดับการผลิตให้สูงขึ้น สัดส่วนต้นทุนของพลังงานจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับพลังงาน(T) พบว่าการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่ใช้สัดส่วนต้นทุนของพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.41 ต่อปีและค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.614$ สำหรับค่า R^2 นับว่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสมการอื่นๆ ในแบบจำลอง

สมการสัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบ พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างทุนกับวัตถุดิบ (P_K / P_M) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบลดลงถึงร้อยละ 10.21 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงงานกับวัตถุดิบ พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างแรงงานกับวัตถุดิบ (P_L / P_M) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบลดลงร้อยละ 0.31 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับวัตถุดิบ พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างพลังงานกับวัตถุดิบ (P_E / P_M) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1จะทำให้สัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบลดลงถึงร้อยละ 10.56 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับผลผลิตกับวัตถุดิบ พบว่า เมื่อระดับผลผลิต (Q) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบลดลงเล็กน้อยเพียงร้อยละ 0.4 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แ สดงว่าในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเมื่อผู้ผลิตเพิ่มระดับการผลิตให้สูงขึ้น สัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบจะลดลงเพียงเล็กน้อย ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับวัตถุดิบ(T) พบว่า การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล็กมีแนวโน้มที่ใช้สัดส่วนต้นทุนของวัตถุดิบลดลงร้อยละ 2.30 ต่อปีและค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.408$

ตารางที่ 5.2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิต

สัดส่วนต้นทุนการผลิต	ค่าคงที่	$\hat{\beta}_{iK}$	$\hat{\beta}_{iL}$	$\hat{\beta}_{iE}$	$\hat{\beta}_{iM}$	$\hat{\beta}_{iQ}$	$\hat{\beta}_{iT}$	R^2
ทุน(K)	-0.8564*	-0.0186	-0.0103	0.1310*	-0.1021*	0.0169*	0.0035	0.366
	(0.1201)	*(0.0283)*	*(0.0068)*	*(0.0109)*	*(0.0246)*	*(0.0076)*	*(0.0083)*	
แรงงาน(L)	0.2187*	-0.0103	0.0193*	-0.0059	-0.0031	-0.0132*	-0.0046*	0.536
	(0.0335)	*(0.0068)*	*(0.0028)*	*(0.0036)*	*(0.0056)*	*(0.0018)*	*(0.0019)*	
พลังงาน(E)	-0.1716*	0.1310*	-0.0059	-0.0195*	-0.1056*	0.0003	0.0241*	0.614
	(0.0639)	*(0.0109)*	*(0.0036)*	*(0.0085)*	*(0.0093)*	*(0.0029)*	*(0.0031)*	
วัตถุดิบ(M)	1.8093*	-0.1021*	-0.0031	-0.1056*	0.2108*	-0.0040	-0.0230*	0.408
	(0.1236)	*(0.0246)*	*(0.0056)*	*(0.0093)*	*(0.0250)*	*(0.0077)*	*(0.0080)*	

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น ที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อพิจาณาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต(Scale effect) ในอุตสาหกรรมเหล็ก พบว่า เมื่อการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กเพิ่มขึ้นมีผลให้สัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิตต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ สัดส่วนการใช้สินค้าสินค้าทุนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 1.69 ในขณะที่สัดส่วนการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 0.03 สำหรับปัจจัยการผลิตที่มีสัดส่วนการใช้ลดลง ได้แก่ สัดส่วนการจ้างแรงงานลดลงร้อยละ 1.32 และสัดส่วนการใช้วัตถุดิบต่อต้นทุนรวมลดลงร้อยละ 0.4 การที่สัดส่วนการใช้วัตถุดิบลดลงน้อยกว่าการใช้แรงงานนั้นเป็นเพราะว่าในอุตสาหกรรมเหล็ก

ต้นทุนส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบแม้ว่าจะผู้ผลิตจะพยายามลดการสัดส่วนการใช้วัตถุดิบลงแต่ก็สามารถลดลงได้เพียงเล็กน้อย ข้อค้นพบดังกล่าวตรงกับสมมติฐานที่ได้คาดการณ์ไว้และสอดคล้องกับงานของ Turnovsky and Donnelly(1984) และ Christensen, Jorgenson, and Lau(1973) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กโดยใช้แบบจำลองในลักษณะเดียวกัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล็กทำให้สัดส่วนการใช้สินค้าทุนและพลังงานเพิ่มขึ้นในขณะที่สัดส่วนการใช้วัตถุดิบจะลดลง สัดส่วนการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กโดยรวมที่เพิ่มขึ้นเกิดจากในช่วงที่ทำการศึกษา(2542-2547) อุตสาหกรรมเหล็กของไทยมีการเปลี่ยนโครงสร้างการผลิต กล่าวคือมีการผลิตอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางเพิ่มขึ้นซึ่งการผลิตจะมีการใช้พลังงานมากกว่าอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย เห็นได้จากโรงานในอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางหลายแห่งเริ่มเปิดทำการในปี 2546-2547

เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี(Technical Effect) ในอุตสาหกรรมเหล็ก พบว่า การปรับปรุงเทคโนโลยีมีผลให้สัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิตบางชนิดเพิ่มขึ้น ได้แก่ สินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.35 และพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.41 ในขณะที่สัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิตบางชนิดลดลง ได้แก่ การจ้างงานลดลงร้อยละ 0.46 และวัตถุดิบลดลงร้อยละ 2.3 ข้อค้นพบดังกล่าวสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกันได้ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีจึงเป็นไปในทิศทางที่ประหยัดพลังงานแต่เพิ่มการใช้สินค้าทุนมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (2542-2547) การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการปรับโครงสร้างการผลิตมาทำการผลิตอุตสาหกรรมเหล็กในขั้นกลางซึ่งมีการใช้พลังงานอย่างเข้มข้น ดังนั้น เมื่อพิจารณาในภาพรวมของอุตสาหกรรมเหล็กจึงมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ พารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณค่าแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนในระดับปัจจัยการผลิตเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการคำนวณความยืดหยุ่นในขั้นต่อไป ระดับความสามารถในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตจะวิเคราะห์จากความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาและความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen และ Morishima ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์จะอยู่ในส่วนถัดไป

ความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา(Price Elasticity of Factor demand)

ความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาเป็นการวัดระดับผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงราคาปัจจัยการผลิตต่อการใช้ปัจจัยการผลิต ในตารางที่ 5.3 แสดงค่าความยืดหยุ่นต่อราคาของ

ปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ชนิดประกอบด้วย ทุน แรงงาน พลังงานและวัตถุดิบ ซึ่งในการคำนวณค่าความยืดหยุ่นต่อราคานี้จะใช้สัดส่วนต้นทุนเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยการผลิต ซึ่งมีค่าดังนี้ สัดส่วนต้นทุนสินค้าทุนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 51.07 สัดส่วนต้นทุนแรงงานเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.14 สัดส่วนต้นทุนพลังงานเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.67 และสัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 44.12 ตามลำดับ

ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาปัจจัยการผลิตนั้น(Own price elasticity of factor demand) พบว่า ค่าความยืดหยุ่นต่อราคาของสินค้าทุน วัตถุดิบ และพลังงานมีเครื่องหมายลบตรงตามทฤษฎี หมายความว่า หากปัจจัยการผลิตนั้นมีราคาสูงขึ้น จะทำให้ลดการใช้ปัจจัยการผลิตลง พบว่า พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่มีค่าความยืดหยุ่นต่อราคาสูงสุด โดยมีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ -1.496 รองลงมาคือ ทุนมีความยืดหยุ่นเท่ากับ -0.526 และวัตถุดิบมีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ -0.081 ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่นของแรงงานมีเครื่องหมายเป็นบวกเท่ากับ 0.701

โดยสรุป พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความยืดหยุ่นต่อราคาสูงสุด ข้อค้นพบดังกล่าวสอดคล้องกับโครงสร้างการผลิตที่แท้จริงของอุตสาหกรรมเหล็กไทย เนื่องจากความเข้มข้นการใช้พลังงานค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเทศพัฒนาอื่นๆ เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ดังนั้น หากพลังงานมีราคาสูงขึ้น ก็จะทำให้ผู้ประกอบการลดการใช้พลังงานได้มาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Roy(2006) ที่ศึกษาค่าความยืดหยุ่นต่อราคาของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศเกาหลีใต้และอินเดียพบว่า พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตเพียงชนิดเดียวที่มีความยืดหยุ่นต่อราคาสูง ในขณะที่ความยืดหยุ่นต่อราคาของแรงงาน ทุนและวัตถุดิบมีความยืดหยุ่นต่อราคาต่ำ โดยวัตถุดิบมีความยืดหยุ่นต่อราคาต่ำที่สุด จึงเป็นการยากที่จะลดการใช้วัตถุดิบลงได้อีก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาของประเทศเอเชียค่อนข้างแตกต่างจากการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา Huang(1991) วิเคราะห์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้ทุนและพลังงานเข้มข้น พบว่า การใช้สินค้าทุนมีความยืดหยุ่นต่อราคามากกว่าการใช้พลังงานและแรงงาน แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานในช่วงที่ทำการศึกษาจะไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน หากพิจารณาการใช้วัตถุดิบของอุตสาหกรรมเหล็ก พบว่า วัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความยืดหยุ่นต่ำที่สุด เพราะวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่สุดและอุตสาหกรรมเหล็กมีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบอย่างต่อเนื่อง

ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาปัจจัยการผลิตอื่นหรือความยืดหยุ่นไขว้ (Cross Price Elasticity of Factor Demand) ดังตารางที่ 5.3 เมื่อราคาของสินค้าทุนเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 พบว่า การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมากถึงร้อยละ 4.081 และมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า พลังงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน ได้เป็นอย่างดี การใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.279 แสดงว่า พลังงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน ในขณะที่การจ้างงานลดลงร้อยละ 0.391 แสดงว่าพลังงานกับแรงงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ประกอบกันแต่ความจำเป็นที่ต้องใช้ประกอบกันค่อนข้างต่ำ จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ว่าสินค้าทุนกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยที่ใช้ประกอบกัน แต่การใช้วัตถุดิบตอบสนองต่อราคาสินค้าทุนน้อยมาก

เมื่อราคาพลังงานเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 พบว่า การใช้ทุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงร้อยละ 0.293 ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ ในขณะที่การจ้างงานลดลงร้อยละ 0.477 แสดงว่าพลังงานกับแรงงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ประกอบกันและการใช้วัตถุดิบลดลงร้อยละ 0.203 แสดงว่า พลังงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ประกอบกัน กล่าวโดยสรุป สินค้าทุน แรงงานและวัตถุดิบ ไม่ค่อยอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงราคาพลังงาน โดยวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุด

เมื่อค่าจ้างแรงงานเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 พบว่า การใช้สินค้าทุนลดลงน้อยน้อยเพียงร้อยละ 0.009 แสดงว่า แรงงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ประกอบกันแต่ความจำเป็นที่ต้องใช้ประกอบกันถือว่าต่ำมาก การใช้พลังงานลดลง 0.148 แสดงว่า แรงงานกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ประกอบกัน ในขณะที่การใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.004 แสดงว่า แรงงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน จะเห็นได้ว่า กล่าวโดยสรุป สินค้าทุน พลังงาน และวัตถุดิบ มีความอ่อนไหวต่ำมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่าจ้างแรงงาน โดยวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุด

เมื่อราคาของวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 พบว่า การใช้ทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.241 ในขณะที่การใช้พลังงานลดลงร้อยละ 2.437 แสดงว่า พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนวัตถุดิบได้และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบมากที่สุด และการใช้แรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.168 แสดงว่า วัตถุดิบกับแรงงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน กล่าวโดยสรุป การเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบมากที่สุด

ตารางที่ 5.3 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคา

ปริมาณ	ราคา			
	ทุน	พลังงาน	แรงงาน	วัตถุดิบ
ทุน	-0.526*	0.293*	-0.009	0.241*
	(0.055)	*(0.021)*	*(0.013)*	*(0.048)*
พลังงาน	4.081*	-1.496*	-0.148	-2.437*
	(0.296)	*(0.231)*	*(0.098)*	*(0.253)*
แรงงาน	-0.391	-0.477	0.701*	0.168
	(0.596)	*(0.315)*	*(0.247)*	*(0.494)*
วัตถุดิบ	0.279*	-0.203*	0.004	-0.081
	(0.056)	*(0.021)*	*(0.013)*	*(0.057)*

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสรุป ปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันได้ ได้แก่ ทุนกับพลังงาน ทุนกับวัตถุดิบ และแรงงานกับวัตถุดิบ ในขณะที่ปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน คือ ทุนกับแรงงาน แรงงานกับพลังงาน และพลังงานกับวัตถุดิบ พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความยืดหยุ่นต่อราคาตัวเองและราคาปัจจัยการผลิตอื่นๆ ค่อนข้างมากยกเว้นค่าจ้างแรงงาน โดยการใช้พลังงานตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าทุนมากที่สุด ในขณะที่การใช้วัตถุดิบตอบสนองต่อราคาตนเองและราคาปัจจัยการผลิตอื่นๆ ต่ำมาก สะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กที่มีการใช้ทุนและพลังงานเข้มข้นต่างจากการศึกษาการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานเข้มข้นในประเทศพัฒนาเช่น Huang(1991) พบว่าในอุตสาหกรรมอาหารของสหรัฐอเมริกาแทบจะไม่มีความยืดหยุ่นต่อราคาปัจจัยใดเลยทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมหนักของประเทศพัฒนามีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การใช้วัตถุดิบมีความยืดหยุ่นต่อราคาตนเองต่ำที่สุดและการใช้วัตถุดิบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาปัจจัยการผลิตอื่นๆ น้อยมาก

ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิต(Elasticity of Substitution)

1.) Allen Elasticity of Substitution (AES)

การวิเคราะห์ความสามารถในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตตามแนวทางของ Allen เป็นการวัดความยืดหยุ่นเพียงบางส่วน (Partial Elasticity of Substitution) กรณีที่การผลิตมีการใช้ปัจจัยการผลิตมากกว่า 2 ชนิดโดยเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้

ปัจจัยการผลิตชนิดหนึ่ง (X_i) ต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตอีกชนิดหนึ่ง (P_j) โดยให้ราคาของปัจจัยการผลิตอื่นๆ และผลผลิตคงที่ หากปัจจัยการผลิตการผลิต 2 ชนิด สามารถทดแทนกันได้ ค่า AES จะเป็นบวกแต่หากเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน ค่า AES จะเป็นลบ โดยกำหนดให้สัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่าคงที่และ ราคาปัจจัยการผลิตอื่นๆ คงที่ จากนิยามข้างต้นทำให้ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen มีคุณสมบัติสมมาตร ดังนั้น การวิเคราะห์ความสามารถการทดแทนกันตามแนวทางของ Allenในระดับปัจจัยการผลิตสามารถคำนวณได้ 6 ค่า คือความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างทุนกับพลังงาน ทุนกับแรงงาน ทุนกับวัตถุดิบ พลังงานกับแรงงาน พลังงานกับวัตถุดิบ และ แรงงานกับวัตถุดิบ ตามลำดับ ผลการประมาณค่าแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

เริ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าทุนกับพลังงาน พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ 7.99 และมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้สินค้าทุนคงที่จะทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.99 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้พลังงานคงที่จะทำให้การใช้สินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.99 แสดงว่า ทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนกันและทดแทนกันดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการทดแทนกันของปัจจัยการผลิตคู่อื่นๆ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าทุนกับแรงงาน พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ -0.776 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้สินค้าทุนคงที่จะทำให้การใช้แรงงานลดลงร้อยละ 0.776 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้แรงงานคงที่จะทำให้การใช้สินค้าทุนลดลงร้อยละ 0.776 แสดงว่า ทุนกับแรงงานเป็นปัจจัยที่ใช้ประกอบกันโดยที่ความจำเป็นในการใช้ประกอบกันค่อนข้างต่ำ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าทุนกับวัตถุดิบ พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ 0.547 และมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้สินค้าทุนคงที่จะทำให้การใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.547 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้วัตถุดิบคงที่จะทำให้การใช้สินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.547 แสดงว่า ทุนกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยที่ใช้ทดแทนกันโดยที่ความสามารถในการทดแทนกันไม่ดีมากนัก

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับแรงงาน พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ -13.004 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้พลังงานคงที่จะทำให้การใช้แรงงานลดลงร้อยละ 13.004 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้แรงงานคงที่จะทำให้การใช้พลังงานลดลงร้อยละ 13.004 แสดงว่า พลังงานกับแรงงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ประกอบกันโดยที่ความจำเป็นในการใช้ประกอบกันค่อนข้างสูง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับวัตถุดิบ พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ –5.523 และมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้พลังงานคงที่จะทำให้การใช้วัตถุดิบลดลงร้อยละ 5.523 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้วัตถุดิบคงที่จะทำให้การใช้พลังงานลดลงร้อยละ 5.523 แสดงว่า พลังงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ประกอบกัน

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงงานกับวัตถุดิบ พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ 0.380 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้แรงงานคงที่จะทำให้การใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.380 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้วัตถุดิบคงที่จะทำให้การใช้แรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.380 แสดงว่าแรงงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันโดยที่ความสามารถในการทดแทนกันไม่ดีมากนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับปัจจัยการผลิตของ Allen

ปริมาณ	ปริมาณ			
	ทุน	พลังงาน	แรงงาน	วัตถุดิบ
ทุน	n.a.	7.990*	-0.766	0.547*
		(0.580)	*(1.167)*	*(0.109)*
พลังงาน	7.990*	n.a.	-13.004	-5.523*
	(0.580)		*(8.585)*	*(0.572)*
แรงงาน	-0.766	-13.004	n.a.	0.380
	(1.167)	*(8.585)*		*(1.119)*
วัตถุดิบ	0.547*	-5.523*	0.380	n.a.
	(0.109)	*(0.572)*	*(1.119)*	

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสรุป ความสามารถในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตของ Allen พบว่า ทุนกับพลังงาน ทุนกับวัตถุดิบ และแรงงานกับวัตถุดิบ เป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน โดยความสามารถในการทดแทนระหว่างทุนกับพลังงานมีมากที่สุดและสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ รวมทั้งสอดคล้องกับงานการศึกษาหลายๆ ชิ้น เช่น Saicheua(1987) และNguyen and Streitwieser(1997) เป็นต้น รองลงมาคือ ทุนกับวัตถุดิบและแรงงานกับวัตถุดิบ ตามลำดับ ในขณะที่ทุนกับแรงงาน พลังงานกับแรงงาน และพลังงานกับวัตถุดิบ เป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน ความจำเป็นการใช้ประกอบกันระหว่างพลังงานกับแรงงานมีมากที่สุด รองลงมา คือ พลังงานกับวัตถุดิบ และทุนกับแรงงาน ตามลำดับ ข้อสังเกตเครื่องหมายที่ได้จากการวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตของ Allen และความยืดหยุ่นไขว้จะเหมือนกัน ทำให้ได้ข้อสรุปเหมือนกันว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยที่ใช้ทดแทนกัน ปัจจัยใดใช้ประกอบกัน

2.) Morishima Elasticity of Substitution (MES)

การวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตตามแนวคิดของ Morishima เป็นการวัดความยืดหยุ่นเพียงบางส่วน (Partial Elasticity of Substitution) กรณีที่การผลิตมีการใช้ปัจจัยการผลิตมากกว่า 2 ชนิด โดยเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิดที่สนใจ (X_i / X_j) ต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตใดปัจจัยหนึ่งเท่านั้น(P_j) โดยให้ราคาของปัจจัยการผลิตอื่นๆ และผลผลิตคงที่ โดยที่ $MES_{ij} = \frac{\partial \ln(X_i / X_j)}{\partial \ln(P_j)}$ จากนิยามข้างต้นทำให้ค่าความยืดหยุ่นของ Morishima ไม่มีคุณสมบัติ

สมมาตรเหมือนกับความยืดหยุ่นของ Allen กล่าวคือ $MES_{ij} \neq MES_{ji}$ ดังนั้น ในระดับปัจจัยการผลิตสามารถคำนวณค่าความยืดหยุ่นของ Morishima ได้ 12 ค่า คือ ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่าง ทุนกับพลังงานเมื่อราคาทุนเปลี่ยนแปลง ทุนกับพลังงานเมื่อราคาพลังงานเปลี่ยนแปลง ทุนกับแรงงานเมื่อราคาทุนเปลี่ยนแปลง ทุนกับแรงงานเมื่อค่าจ้างแรงงานเปลี่ยนแปลง ทุนกับวัตถุดิบเมื่อราคาทุนเปลี่ยนแปลง ทุนกับวัตถุดิบเมื่อราคาวัตถุดิบเปลี่ยนแปลง พลังงานกับแรงงานเมื่อราคาพลังงานเปลี่ยนแปลง พลังงานกับแรงงานเมื่อค่าจ้างแรงงานเปลี่ยนแปลง พลังงานกับวัตถุดิบเมื่อราคาพลังงานเปลี่ยนแปลง พลังงานกับวัตถุดิบเมื่อราคาวัตถุดิบเปลี่ยนแปลง แรงงานกับวัตถุดิบเมื่อค่าจ้างแรงงานเปลี่ยนแปลง และแรงงานกับวัตถุดิบเมื่อราคาวัตถุดิบเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ

ความแตกต่างกันระหว่างความยืดหยุ่นในการทดแทนกันตามแนวคิดของ Allen และ Morishima คือ การวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตชนิดหนึ่งว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ปัจจัยการผลิตอีกชนิดหนึ่งอย่างไร คล้ายกับความยืดหยุ่นไขว้ ลแต่ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen จะพิจารณาถึงสัดส่วนต้นทุนการผลิต กล่าวคือ หากปัจจัยการผลิตใดมีสัดส่วนต้นทุนรวมสูงแสดงว่าเป็นปัจจัยการผลิตสำคัญในกระบวนการผลิต ดังนั้น เมื่อราคาปัจจัยการผลิตนั้นเปลี่ยนแปลงไป การที่ผู้ผลิตจะหันไปใช้ปัจจัยการผลิตอื่นทดแทนจะทำได้ยาก ค่า AES จะน้อย ในทางตรงข้าม หากปัจจัยการผลิตใดมีสัดส่วนต้นทุนรวมต่ำแสดงว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่ไม่สำคัญนักในกระบวนการผลิต ดังนั้น เมื่อราคาปัจจัยการผลิตนั้นเปลี่ยนแปลงไป การที่ผู้ผลิตจะหันไปใช้ปัจจัยการผลิตอื่นทดแทนจะทำได้ง่ายกว่า ค่า AES จะมาก เครื่องหมายของค่าความยืดหยุ่นของ Allen จะเหมือนกับความยืดหยุ่นไขว้ แต่ค่าความยืดหยุ่นของ Allen จะมีคุณสมบัติสมมาตร กล่าวคือ $AES_{ij} = AES_{ji}$ ในขณะที่การวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิด ต่อการเปลี่ยนแปลงราคาปัจจัยการผลิตอันใดอันหนึ่ง โดยที่ความยืดหยุ่นของ Morishima ไม่มีคุณสมมาตรและเครื่องหมายที่ได้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับค่าความยืดหยุ่นไขว้ คำนิยามที่แตกต่างกันนี้เองทำให้ข้อสรุปที่ได้จากสองแนวคิดจะแตกต่างกันว่าปัจจัยการผลิต 2 ชนิดที่พิจารณานั้นเป็นปัจจัยที่ใช้ประกอบกันหรือทดแทนกัน

หลังจากที่ได้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 และค่าความยืดหยุ่นของการใช้ปัจจัยการผลิตต่อราคาที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 นำค่าดังกล่าวแทนในความสัมพันธ์ที่แสดงไว้ในบทที่ 4 เพื่อคำนวณค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นคำนวณจากวิธี Delta Method เพื่อทดสอบนัยสำคัญของค่า

ความยืดหยุ่นของ Morishima ที่คำนวณได้ ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของ Morishima และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 5.5

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาสินค้าทุนเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อราคาสินค้าทุน(P_K) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตลดการใช้สินค้าทุนลงและเปลี่ยนมาใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานต่อทุน(E/K) เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.606 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า พลังงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันได้เป็นอย่างดีและสอดคล้องกับผลการศึกษาของการวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen และเป็นค่าความยืดหยุ่นที่มากที่สุด กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการใช้พลังงานต่อสินค้าทุนอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าทุนค่อนอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยการผลิตคู่อื่นๆ ในทำนองเดียวกัน การที่ราคาสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตลดการใช้สินค้าทุนและเปลี่ยนมาใช้แรงงานมากขึ้น ทำให้สัดส่วนของแรงงานต่อทุน(L/K) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.135 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า แรงงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันแต่ความสามารถในการทดแทนกันค่อนข้างต่ำ เมื่อวิเคราะห์ผลจากการที่ราคาสินค้าทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตจะลดการใช้สินค้าทุนและเปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของวัตถุดิบต่อทุน(M/K)เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.805 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า วัตถุดิบกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน กล่าวโดยสรุป เมื่อราคาสินค้าทุนเปลี่ยนแปลงการวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima จะได้ว่า ทุนกับพลังงาน ทุนกับแรงงาน และทุนกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยทดแทนกันโดยการใช้พลังงานมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงราคาของสินค้าทุนมากที่สุด รองลงมา คือ วัตถุดิบและแรงงาน ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาพลังงานเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อราคาของพลังงาน(P_E) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตลดการใช้พลังงานลงและเปลี่ยนมาใช้สินค้าทุนเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนการใช้ทุนต่อพลังงาน(K/E) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.789 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า พลังงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาสินค้าทุนเปลี่ยนแปลงไป พบว่า การใช้พลังงานตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าทุนมากกว่าการใช้สินค้าทุนตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงราคาพลังงาน ในทำนองเดียวกัน การที่ราคาของพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตลดการใช้พลังงานและเปลี่ยนมาใช้แรงงานมากขึ้น ทำให้สัดส่วนของแรงงานต่อพลังงาน(L/E) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.018 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า แรงงานกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน เมื่อวิเคราะห์ผลจากการที่

ราคาของพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตจะลดการใช้พลังงานและเปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของวัตถุดิบต่อพลังงาน(M/E)เพิ่มขึ้นร้อยละ1.293 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า วัตถุดิบกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน กล่าวโดยสรุปเมื่อราคาพลังงานเปลี่ยนแปลง การวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima จะได้ว่า พลังงานกับทุน พลังงานกับแรงงาน และพลังงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยทดแทนกันโดยสินค้าทุนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงราคาพลังงานมากที่สุด รองลงมา คือ วัตถุดิบและแรงงาน ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima เมื่อค่าจ้างแรงงานเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อค่าจ้างแรงงาน(P_L) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้ทุนต่อพลังงาน(K/L) ลดลงร้อยละ 0.71 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า แรงงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน ในทำนองเดียวกัน การที่ค่าจ้างแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนของพลังงานต่อแรงงาน(E/L) ลดลงร้อยละ 0.849 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า แรงงานกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน เมื่อวิเคราะห์ผลจากการที่ค่าจ้างแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนของวัตถุดิบต่อแรงงาน(M/L)ลดลงร้อยละ 0.697 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า แรงงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน กล่าวโดยสรุปเมื่อค่าจ้างแรงงานเปลี่ยนแปลง การวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima จะได้ว่า แรงงานกับทุน แรงงานกับพลังงาน และแรงงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยประกอบกันโดยที่สัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิตต่อการใช้แรงงานลดลงไม่มาก การใช้พลังงานมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าจ้างแรงงานมากที่สุด รองลงมา คือ วัตถุดิบและทุน ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาวัตถุดิบเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อราคาของวัตถุดิบ(P_M) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตลดการใช้วัตถุดิบลงและเปลี่ยนมาใช้ทุนเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนการใช้ทุนต่อวัตถุดิบ(K/M) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.322 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า วัตถุดิบกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันแต่ระดับการทดแทนไม่สูงมาก ในทำนองเดียวกัน การที่ราคาของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนของพลังงานต่อวัตถุดิบ(E/M) ลดลงร้อยละ 2.356 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า วัตถุดิบกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน เมื่อวิเคราะห์ผลจากการที่ราคาของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตจะลดการใช้วัตถุดิบและเปลี่ยนมาใช้แรงงานเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของแรงงานต่อวัตถุดิบ(L/M)เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.248 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า วัตถุดิบกับแรงงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันแต่ระดับการทดแทนไม่สูงมาก กล่าวโดยสรุปเมื่อราคาวัตถุดิบเปลี่ยนแปลง การวัดความยืดหยุ่นตามแนวคิดของ Morishima จะได้ว่า วัตถุดิบ

กับสินค้าทุน และวัตถุดิบกับแรงงานเป็นปัจจัยทดแทนกันในขณะที่วัตถุดิบกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน

ตารางที่ 5.5 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับปัจจัยการผลิตของ Morishima

ปริมาณ	ราคา			
	ทุน	พลังงาน	แรงงาน	วัตถุดิบ
ทุน	n.a.	1.789*	-0.710*	0.322*
		(0.249)	*(0.245)*	*(0.100)*
พลังงาน	4.606*	n.a.	-0.849*	-2.356
	(0.342)		*(0.247)*	*(0.248)*
แรงงาน	0.135	1.018*	n.a.	0.248
	(0.587)	*(0.352)*		*(0.540)*
วัตถุดิบ	0.805*	1.293*	-0.697*	n.a.
	(0.106)	*(0.228)*	*(0.257)*	

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เนื่องจากการวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima ไม่มีคุณสมบัติสมมาตรทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันและในบางกรณีทำให้ได้ข้อสรุปที่แตกต่างกัน พิจารณากรณีของสินค้าทุนกับพลังงาน พบว่า เมื่อราคาสินค้าทุนเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานต่อสินค้าทุนเพิ่มร้อยละ 4.606 สรุปได้ว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกัน แต่ถ้าราคาพลังงานเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการใช้สินค้าทุนต่อพลังงานลดลงร้อยละ 1.789 สรุปได้ว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ทดแทนกันเช่นกัน อย่างไรก็ตาม มีอยู่หลายกรณีที่ทำให้ได้ขอสรุปที่แตกต่างไปทั้งนี้เป็นเพราะนิยามของค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Morishima ที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิด เป็นต้นว่า เมื่อราคาสินค้าทุนเปลี่ยนแปลงไป จะได้ว่าแรงงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกัน ในขณะที่เมื่อราคาสินค้าทุนเปลี่ยนแลงไปจะได้ว่าแรงงานกับทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน

เมื่อนำค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตตามวิธีของ Allen และ Morishima มาเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 5.6 พบว่า การวัดความยืดหยุ่นของ Allen จากตารางที่ 5.4 การวัดความยืดหยุ่นของ Allen ทั้งหมด 6 ค่า สรุปได้ว่า ทุนกับพลังงาน ทุนกับวัตถุดิบ และแรงงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกัน ส่วนทุนกับแรงงาน พลังงานกับแรงงาน และพลังงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยที่ใช้ประกอบกัน จากตารางที่ 5.5 การวัดความยืดหยุ่นของ

Morishima ทั้งหมด 12 ค่า จะได้ว่า ทุนกับพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกันเมื่อราคาของสินค้าทุนหรือราคาพลังงานเปลี่ยนแปลงไป และทุนกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกันเมื่อราคาของสินค้าทุนหรือราคาวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม ทุนกับแรงงาน พลังงานกับแรงงาน พลังงานกับวัตถุดิบ และแรงงานกับวัตถุดิบจะเป็นปัจจัยการผลิตที่ทดแทนกันหรือประกอบกันนั้นขึ้นกับว่ามีการเปลี่ยนแปลงราคาของปัจจัยการผลิตใด

ตารางที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตตามแนวคิดของ Allen และ Morishima

ปัจจัยการผลิต	ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen	ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima
ทุน,พลังงาน	ทดแทนกัน	ทดแทนกัน
ทุน,แรงงาน	ประกอบกัน	ทดแทนกัน/ประกอบกัน
ทุน,วัตถุดิบ	ทดแทนกัน	ทดแทนกัน
พลังงาน, แรงงาน	ประกอบกัน	ทดแทนกัน/ประกอบกัน
พลังงาน,วัตถุดิบ	ประกอบกัน	ทดแทนกัน/ประกอบกัน
แรงงาน, วัตถุดิบ	ทดแทนกัน	ทดแทนกัน/ประกอบกัน

5.3.2 การวิเคราะห์ระดับพลังงาน

เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก 2 คุณสมบัติ ประกอบไปด้วย การทดสอบคุณสมบัติ Homothetic และ การทดสอบการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตที่มีผลต่อต้นทุนพลังงาน ตามลำดับ

การทดสอบคุณสมบัติ Homothetic ของต้นทุนพลังงาน เป็นการทดสอบว่า $\alpha_{EI,CE} = \alpha_{O,CE} = 0$ ผลการทดสอบโดยใช้ Wald Test พบว่า ค่า $\lambda^2_{cal} = 5.90$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $\lambda^2(2)$ จากตารางที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ที่มีค่าเท่ากับ 5.99 ดังนั้น ผลการทดสอบ Wald Test จะยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้เพราะ $\lambda^2_{cal} < \lambda^2(2)$ กล่าวคือ ต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กมีคุณสมบัติ Homothetic โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.7 ดังนั้น ในแบบจำลองระดับพลังงานจึงไม่ต้องประมาณค่าของ $\alpha_{EI,CE}$ และ $\alpha_{O,CE}$ การที่สมการต้นทุนพลังงานมีคุณสมบัติ Homothetic แสดงว่า เมื่อปริมาณการใช้พลังงานรวมเปลี่ยนแปลงไปไม่มีผลต่อสัดส่วนการใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ

ในทำนองเดียวกัน การทดสอบว่าในอุตสาหกรรมเหล็กการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีมีผลต่อสัดส่วนการใช้พลังงานประเภทต่างๆ หรือไม่ โดยทดสอบว่า $\alpha_{EIT} = \alpha_{OT} = 0$ ผลการทดสอบโดยใช้ Wald Test พบว่า ค่า λ^2_{cal} = 1.983 ซึ่งน้อยกว่าค่า $\lambda^2(2)$ จากตารางที่ช่วงความเชื่อมั่น (Confident Interval) ที่ 95% ที่มีค่าเท่ากับ 5.99 ดังนั้น ผลการทดสอบ Wald Test จะยอมรับสมมติฐานที่ตั้งไว้เพราะ $\lambda^2_{cal} < \lambda^2(2)$ กล่าวคือ ในอุตสาหกรรมเหล็กในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีไม่มีผลต่อสัดส่วนการใช้พลังงานประเภทต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.7 ดังนั้น ในแบบจำลองระดับพลังงานจึงไม่ต้องประมาณค่าของ $\alpha_{EI,CE}$ และ $\alpha_{O,CE}$

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสมการต้นทุนพลังงาน

คุณสมบัติ	λ^2_{cal}
Homothetic	5.90
Technical Change	1.983

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

การประมาณค่าแบบจำลองระดับพลังงานใช้วิธี Seemingly Unrelated Regression เช่นเดียวกับการประมาณค่าแบบจำลองในระดับปัจจัยการผลิต สำหรับสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซที่ได้ตัดออกไปนั้นจะประมาณค่าพารามิเตอร์จากข้อจำกัดของพารามิเตอร์ (Parameter Restrictions) ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 สำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ในสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซนั้นได้มาจากการใช้วิธี Delta Method ผลการประมาณค่าแสดงในตารางที่ 5.8 ผลการประมาณค่าที่ได้จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาสัมพัทธ์ของพลังงานว่ามีผลในเชิงปริมาณต่อสัดส่วนต้นทุนพลังงานแต่ละประเภทอย่างไร พารามิเตอร์ที่ได้เป็นค่าความยืดหยุ่นของสัดส่วนการพลังงานต่อการเปลี่ยนแปลงราคาสัมพัทธ์ของพลังงาน เครื่องหมายของพารามิเตอร์ในตารางที่ 5.8 ไม่ได้บอกความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานประเภทต่างๆ ว่าเป็นพลังงานที่ทดแทนกันหรือประกอบกัน เพราะสัดส่วนต้นทุนพลังงานแต่ละประเภทนั้นมีทั้งผลจากราคาและปริมาณควบคู่กัน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานแต่ละประเภทต้องพิจารณาจากค่าความยืดหยุ่นการใช้พลังงานต่อราคา ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างพลังงานประเภทต่างๆ ตามแนวคิดของ Allen และ Morishima ซึ่งสามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์เทอมราคาสัมพัทธ์พลังงานและสัดส่วนต้นทุนพลังงานเฉลี่ยของพลังงานแต่ละประเภท

สมการสัดส่วนต้นทุนไฟฟ้า พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างก๊าซกับไฟฟ้า(P_G / P_{EI}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 4.84 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างน้ำมันกับไฟฟ้า(P_O / P_{EI}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15.22 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.084$ ซึ่งถือว่าต่ำมาก แสดงว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเหล็กไม่ได้ถูกกำหนดจากราคาพลังงานจากแหล่งอื่นๆ มากนัก

สมการสัดส่วนต้นทุนก๊าซ พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างไฟฟ้ากับก๊าซ(P_{EI} / P_G) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซลดลงร้อยละ 4.84 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างน้ำมันกับก๊าซ(P_O / P_G) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากถึงร้อยละ17.79 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.105$ ซึ่งถือว่าไม่สูงมากนัก

สมการสัดส่วนต้นทุนน้ำมัน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างไฟฟ้ากับน้ำมัน(P_{EI} / P_O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานจากน้ำมันเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15.22 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญ ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซกับน้ำมัน พบว่า เมื่อราคาสัมพัทธ์ระหว่างก๊าซกับน้ำมัน (P_G / P_O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานจากน้ำมันเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากถึงร้อยละ 17.79 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญ สำหรับนัยสำคัญโดยรวมของสมการพบว่า $R^2 = 0.227$ ซึ่งถือว่าไม่สูงมากนักแต่นับว่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงานไฟฟ้าและสมการสัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.8 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนในระดับพลังงาน

สัดส่วนต้นทุนพลังงาน	ค่าคงที่	$\hat{\alpha}_{i,EI}$	$\hat{\alpha}_{iG}$	$\hat{\alpha}_{iO}$	R^2
ไฟฟ้า(EI)	0.7377*	-0.1038	-0.0484	0.1522*	0.084
	(0.0534)	*(0.0549)*	*(0.0307)*	*(0.0484)*	
ก๊าซ(G)	0.1187*	-0.0484	-0.1295*	0.1779*	0.105
	(0.0300)	*(0.0307)*	*(0.0310)*	*(0.0311)*	
น้ำมัน(O)	0.1435*	0.1522*	0.1779*	-0.3301*	0.227
	(0.0486)	*(0.0484)*	*(0.0311)*	*(0.0593)*	

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสรุป เมื่อราคาไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าและก๊าซลดลงแต่ทำให้สัดส่วนการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อราคาก๊าซเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นแต่ทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าและก๊าซลดลง และเมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าและก๊าซเพิ่มขึ้นแต่ทำให้สัดส่วนการใช้นั้นลดลง การทดสอบนัยสำคัญโดยรวมของแบบจำลองสัดส่วนต้นทุนพลังงานพบว่า ค่า R^2 ไม่สูงมากนัก แสดงว่า ในอุตสาหกรรมเหล็กราคาสัมพัทธ์ของพลังงานไม่ได้เป็นปัจจัยหลักในการอธิบายพฤติกรรมการเลือกใช้พลังงานแต่ละประเภทของผู้ผลิต ทั้งนี้การเลือกใช้พลังงานแต่ละประเภทขึ้นกับเทคโนโลยีการผลิตที่ใช้นั้นเหมาะกับการใช้พลังงานประเภทใด

ความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้พลังงานต่อราคา(Price Elasticity of Energy Demand)

เมื่อประมาณค่าแบบจำลองในระดับพลังงานให้นำค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้มาคำนวณความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้พลังงานต่อราคา ประกอบไปด้วย ความยืดหยุ่นการใช้พลังงานต่อราคาพลังงานนั้นและความยืดหยุ่นไขว้เช่นเดียวกับผลการศึกษาในระดับปัจจัยการผลิต ในการคำนวณค่าความยืดหยุ่นจะใช้สัดส่วนต้นทุนพลังงานเฉลี่ยของพลังงานแต่ละประเภทซึ่งมีค่าดังนี้ สัดส่วนต้นทุนพลังงานจากไฟฟ้าต่อต้นทุนพลังงานรวมเท่ากับร้อยละ 65.45 สัดส่วนต้นทุนพลังงานจากน้ำมันต่อต้นทุนพลังงานรวมเท่ากับร้อยละ 24.63 และสัดส่วนต้นทุนพลังงานจากก๊าซต่อต้นทุนพลังงานรวมเท่ากับร้อยละ 9.92 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้พลังงานต่อราคาและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 5.9

ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นต่อราคาพลังงานแต่ละประเภทพบว่า ไฟฟ้ามีความยืดหยุ่นต่อราคาตัวเองต่ำที่สุด ส่วนเชื้อเพลิงทั้งสองประเภทคือน้ำมันและก๊าซมีความยืดหยุ่นต่อราคาค่อนข้างมาก กล่าวคือ ไฟฟ้ามีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ -0.504 แสดงว่าไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงพรรณนาข้างต้นที่พบว่า ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานที่มีการใช้กันมากและใช้ในทุกขั้นตอนการผลิต กรณีของก๊าซและน้ำมันพบว่า มีค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ -2.206 และ -2.094 ตามลำดับ ก๊าซเป็นแหล่งพลังงานที่ความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากก๊าซโดยเฉพาะก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและมีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการ แต่การใช้พลังงานจากก๊าซในอุตสาหกรรมเหล็กมีข้อจำกัด คือ ผู้ประกอบการที่สามารถใช้ก๊าซธรรมชาติได้จะต้องอยู่ตามแนวท่อก๊าซซึ่งในปัจจุบันมีอยู่เพียง 2 แนวเท่านั้น หากในอนาคตมีการวางท่อก๊าซเพิ่มขึ้นผู้ประกอบการก็พร้อมที่หันมาใช้พลังงานจากก๊าซมากขึ้น

โดยสรุป เมื่อวิเคราะห์ค่าความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้พลังงานต่อราคาพลังงานแต่ละประเภท พบว่า การใช้ไฟฟ้ามีความอ่อนไหวต่อราคาน้อยที่สุดทั้งนี้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า เนื่องจากโครงสร้างการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กส่วนใหญ่เป็นพลังงานจากไฟฟ้าแสดงว่าเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบันมีความจำเพาะกับการใช้ไฟฟ้ามากกว่าพลังงานอื่นๆ ในขณะที่การใช้ก๊าซและน้ำมันมีความอ่อนไหวต่อราคาอย่างมาก กล่าวคือ เมื่อราคาพลังงานเหล่านี้เพิ่มสูงขึ้นผู้ผลิตจะปรับตัวไปใช้พลังงานจากแหล่งอื่นๆ มาทดแทนได้

ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของการใช้พลังงานต่อราคาพลังงานประเภทอื่นหรือความยืดหยุ่นไขว้ เมื่อราคาของไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 พบว่า การใช้ก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.166 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ไฟฟ้ากับก๊าซเป็นพลังงานที่สามารถใช้ทดแทนกัน การใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.272 ซึ่งถือว่ามีความอ่อนไหวค่อนข้างมากและค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าไฟฟ้ากับน้ำมันเป็นพลังงานที่สามารถใช้ทดแทนกัน กล่าวโดยสรุป การใช้น้ำมันมีความอ่อนไหวต่อราคาของไฟฟ้ามากกว่าการใช้ก๊าซ

ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นไขว้พบว่า การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.025 แต่ค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่า ก๊าซกับไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถใช้ทดแทนกันแต่ความสามารถในการทดแทนต่ำมากการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.821 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ก๊าซกับน้ำมันเป็นพลังงานที่สามารถใช้ทดแทนกัน กล่าวโดยสรุป การใช้ไฟฟ้าและน้ำมันมีความอ่อนไหวต่อราคาก๊าซน้อยมาก โดยการใช้ไฟฟ้ามีความอ่อนไหวน้อยที่สุด

ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของการใช้พลังงานต่อราคาพลังงานประเภทอื่นหรือความยืดหยุ่นไขว้ เมื่อราคาของน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 พบว่า การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.479 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า น้ำมันกับไฟฟ้าเป็นพลังงานสามารถใช้ทดแทนกัน (Substitution) การใช้ก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.094 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวโดยสรุป การใช้ก๊าซมีความอ่อนไหวต่อราคาน้ำมันมากกว่าการใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 5.9 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของปริมาณการใช้พลังงานต่อราคา

ปริมาณ	ราคา		
	ไฟฟ้า	ก๊าซ	น้ำมัน
ไฟฟ้า	-0.504*	0.025	0.479*
	(0.084)	*(0.047)*	*(0.074)*
ก๊าซ	0.166	-2.206*	2.039*
	(0.309)	*(0.313)*	*(0.314)*
น้ำมัน	1.272*	0.821*	-2.094*
	(0.196)	*(0.126)*	*(0.241)*

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสรุป เมื่อวิเคราะห์ค่าความยืดหยุ่นของการใช้พลังงานต่อราคาพลังงานประเภทอื่นหรือความยืดหยุ่นไขว้พบว่า แหล่งพลังงานสามารถทดแทนกันได้ทั้งหมด แต่ระดับความสามารถในการทดแทนแตกต่างกัน การใช้ไฟฟ้ามีความอ่อนไหวต่อราคาตนเองและราคาพลังงานอื่นๆ น้อยมาก แสดงว่า ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในอุตสาหกรรมเหล็กสอดคล้องกับผลการศึกษาเชิงพรรณนา ในขณะที่การใช้น้ำมันและก๊าซมีความอ่อนไหวต่อราคาตนเองและราคาพลังงานอื่นค่อนข้างมาก

ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันในระดับพลังงาน(Elasticity of Substitution)

1.) Allen Elasticity of Substitution (AES)

การศึกษาในการทดแทนกันระหว่างพลังงานโดยวัดความยืดความยืดหยุ่นของ Allen แนวคิดจะเหมือนกับการศึกษาความสามารถในการทดแทนกันในระดับปัจจัยการผลิตแต่เป็นการวิเคราะห์ในระดับที่ย่อยกว่าเพราะเป็นการวิเคราะห์เฉพาะในกลุ่มพลังงานเท่านั้น กล่าวคือ เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้พลังงาประเภทหนึ่งที่พิจารณาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงราคาของพลังงานอีกประเภทหนึ่ง โดยกำหนดให้สัดส่วนต้นทุนพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงราคาคงที่และ ราคาแหล่งพลังงานอื่นๆ คงที่ จากนิยามข้างต้นทำให้ความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen มีคุณสมบัติสมมาตร ดังนั้น ในระดับพลังงานจะคำนวณค่าความ

ยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen ได้ 3 ค่า คือ ความสามารถในการทดแทนกันระหว่างไฟฟ้ากับก๊าซ ไฟฟ้ากับน้ำมัน และก๊าซกับน้ำมัน ตามลำดับ

การคำนวณความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen สามารถคำนวณจากผลการประมาณค่าแบบจำลองที่แสดงในตารางที่ 5.8 และผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นของการใช้พลังงานต่อราคาที่แสดงในตารางที่ 5.9 ตามความสัมพันธ์ที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 สำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยืดหยุ่นนั้นคำนวณโดยใช้วิธี Delta Method ดังตารางที่ 5.10

เริ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับก๊าซ พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ 0.254 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าคงที่จะทำให้การใช้ก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.254 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้ก๊าซคงที่จะทำให้การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.254 แสดงว่าไฟฟ้ากับก๊าซเป็นพลังงานที่ต้องใช้ทดแทนกันแต่ความสามารถในการทดแทนกันอยู่ในระดับต่ำ เมื่อวิเคราะห์ระหว่างไฟฟ้ากับน้ำมัน พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ 1.944 และมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าคงที่จะทำให้การใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.944 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้น้ำมันคงที่จะทำให้การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.944 แสดงว่า น้ำมันกับไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ใช้ทดแทนกันและสามารถทดแทนกันได้ค่อนข้างดี และเมื่อวิเคราะห์ระหว่างก๊าซกับน้ำมัน พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของ Allen เท่ากับ 8.280 และมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อราคาก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 1โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้ก๊าซคงที่จะทำให้การใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.280 หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้น้ำมันคงที่จะทำให้การใช้ก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.280 แสดงว่าก๊าซกับน้ำมันเป็นปัจจัยที่ใช้ทดแทนกันและสามารถทดแทนกันได้เป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันระดับพลังงานของ Allen

ปริมาณ	ปริมาณ		
	ไฟฟ้า	ก๊าซ	น้ำมัน
ไฟฟ้า	n.a.	0.254 *(0.473)*	1.944* *(0.300)*
ก๊าซ	0.254 *0.473*	n.a.	8.280* *(1.274)*
น้ำมัน	1.944* *(0.300)*	8.280* *(1.274)*	n.a.

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสรุป พลังงานแต่ละประเภทสามารถใช้ทดแทนกันได้เพราะค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของ Allen มีค่ามากกว่าศูนย์ คือ เมื่อราคาพลังงานใดเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตจะปรับไปใช้พลังงานอื่นๆ ทดแทน แต่ระดับความสามารถในการทดแทนกันแตกต่างกัน โดยความสามารถในการทดแทนกันระหว่างก๊าซกับน้ำมันดีที่สุด รองลงมา คือ ไฟฟ้ากับน้ำมัน และไฟฟ้ากับก๊าซ ตามลำดับ นอกจากนี้ ข้อสรุปที่ว่าแหล่งพลังงานใดทดแทนกันหรือแหล่งพลังงานใดจำเป็นต้องใช้ประกอบกันจากการวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันในระดับพลังงานของ Allen จะเหมือนกับการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นไขว้ที่ได้วิเคราะห์มาในข้างต้น

2.) Morishima Elasticity of Substitution (MES)

การศึกษาการทดแทนกันระหว่างพลังงานโดยวัดความยืดความยืดหยุ่นของ Morishima แนวคิดจะเหมือนกับการศึกษาความสามารถการทดแทนกันในระดับปัจจัยการผลิตแต่เป็นการวิเคราะห์ลึกลงไปในแต่ละพลังงานโดยวิเคราะห์เฉพาะในกลุ่มพลังงานเท่านั้น กล่าวคือเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการใช้พลังงานสองประเภทที่พิจารณาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงราคาพลังงานประเภทใดประเภทหนึ่ง โดยกำหนดให้ราคาแหล่งพลังงานอื่นๆ คงที่ ค่าความยืดหยุ่นของ Morishima ไม่มีคุณสมบัติสมมาตร ดังนั้น ในระดับพลังงานจะคำนวณค่าความยืดหยุ่นในการทดแทนกันของMorishima ได้ 6 ค่า คือ ความสามารถในการทดแทนกันระหว่างไฟฟ้ากับก๊าซเมื่อราคาไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ไฟฟ้ากับก๊าซเมื่อราคาก๊าซเปลี่ยนแปลง ไฟฟ้ากับน้ำมันเมื่อราคาไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ไฟฟ้ากับน้ำมันเมื่อราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลง ก๊าซกับน้ำมันเมื่อราคาก๊าซเปลี่ยนแปลง และก๊าซกับน้ำมันเมื่อราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ ผลการประมาณค่าแสดงในตารางที่ 5.11

ผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อราคาไฟฟ้า(P_{El}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้ก๊าซต่อไฟฟ้า (G/El) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.671 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าไฟฟ้ากับก๊าซเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกันได้แต่ระดับความสามารในการทดแทนค่อนข้างต่ำ ในทำนองเดียวกัน เมื่อราคาไฟฟ้า(P_{El}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้น้ำมันต่อไฟฟ้า(O/El) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.776 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าไฟฟ้ากับน้ำมันเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกัน กล่าวโดยสรุป ในอุตสาหกรรมเหล็ก การใช้น้ำมันมีความอ่อนไหวต่อราคาไฟฟ้ามากกว่าการใช้ก๊าซ

ผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาก๊าซเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อราคาก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าต่อก๊าซ (El/G) เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.231 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าก๊าซกับไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกันได้ ในทำนองเดียวกัน เมื่อราคาก๊าซเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้น้ำมันต่อก๊าซ(O/G) เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.027 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าก๊าซกับน้ำมันเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกันกล่าวโดยสรุป ในอุตสาหกรรมเหล็ก การใช้น้ำมันมีความอ่อนไหวมากกว่าต่อราคาก๊าซมากกว่าการใช้ไฟฟ้า

ผลการศึกษาค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima เมื่อราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อราคาน้ำมัน (P_O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าต่อน้ำมัน (El/O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.573 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าน้ำมันกับไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกันได้ ในทำนองเดียวกัน เมื่อราคาน้ำมัน (P_O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ทำให้สัดส่วนการใช้ก๊าซต่อน้ำมัน(G/O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.133 และค่าดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าน้ำมันกับก๊าซเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกันได้เป็นอย่างดี กล่าวโดยสรุป ในอุตสาหกรรมเหล็ก การใช้ก๊าซมีความอ่อนไหวต่อราคาน้ำมันมากกว่าการใช้ไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 ผลการประมาณค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันในระดับพลังงานของ Morishima

ปริมาณ	ราคา		
	ไฟฟ้า	ก๊าซ	น้ำมัน
ไฟฟ้า	n.a.	2.231* (0.307)	2.573* (0.303)
ก๊าซ	0.671* (0.304)	n.a.	4.133* (0.527)
น้ำมัน	1.776* (0.268)	3.027* (0.421)	n.a.

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสรุป เมื่อวิเคราะห์ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของพลังงานตามแนวทางของ Morishima พบว่า พลังงานทุกประเภทสามารถทดแทนกันได้เพราะค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima มีค่ามากกว่าศูนย์ คือ เมื่อราคาพลังงานใดเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตจะปรับไปใช้พลังงานอื่นๆ ทดแทน แต่ระดับความสามารถการทดแทนกันแตกต่างกัน โดยค่าความยืดหยุ่นของ Morishima ทุกตัวมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันตามแนวทางของ Allen ที่ว่าก๊าซกับน้ำมันมีความสามารถการทดแทนกันได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพลังงานคู่อื่นๆ รองลงมา คือ ไฟฟ้ากับน้ำมัน และไฟฟ้ากับก๊าซ ตามลำดับ แต่ค่าความยืดหยุ่นของ Morishima จะมี 2 ค่าคือ คิดการเปลี่ยนแปลงของราคาพลังงานแต่ละประเภทที่มีต่อสัดส่วนการใช้พลังงาน 2 ประเภทที่พิจารณา

เมื่อนำค่าความยืดหยุ่นการทดแทนกันในระดับพลังงานตามวิธีของ Allen และ Morishima มาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 5.12 พบว่า การวัดความยืดหยุ่นของ Allen ทั้งหมด 3 ค่า สรุปได้ว่า ไฟฟ้ากับน้ำมัน และน้ำมันกับก๊าซเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ทดแทนกัน และการวัดความยืดหยุ่นของ Morishima ทั้งหมด 6 ค่า จะได้ว่า ไฟฟ้า ก๊าซและน้ำมันเป็นพลังงานที่สามารถทดแทนกันได้เช่นกัน

ตารางที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานตามแนวคิดของ Allen และ Morishima

ประเภทของพลังงาน	ความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน ของ Allen	ความยืดหยุ่นในการทดแทนกัน ของ Morishima
ไฟฟ้า,ก๊าซ	ทดแทนกัน	ทดแทนกัน
ไฟฟ้า,น้ำมัน	ทดแทนกัน	ทดแทนกัน
ก๊าซ,น้ำมัน	ทดแทนกัน	ทดแทนกัน

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการทดแทนกันและการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับการทดแทนกันของพลังงานทั้งในระดับปัจจัยการผลิตและระดับพลังงาน การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานต่อความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิต ดังกล่าวได้ใช้แบบจำลองสมการต้นทุนและระบบสมการสัดส่วนต้นทุนลอการิทึมอดิศัย โดยมีตัวแปรเวลาเป็นตัวแปรแทนเพื่อติดตามการพัฒนาเทคนิคการผลิตและใช้ข้อมูลจากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กที่สำรวจการใช้พลังงานของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กระหว่างปี 2542 ถึง 2547 จำนวน 192 ตัวอย่าง

การวัดระดับการทดแทนของพลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก ได้แยกคำนวณค่าความยืดหยุ่นออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นไขว้ 2. ความยืดหยุ่นการทดแทนกัน โดยความยืดหยุ่นไขว้เป็นการวัดระดับการทดแทนกันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของราคา ในขณะที่ความยืดหยุ่นการทดแทนกันเป็นการวัดระดับการทดแทนกันทางเทคนิค ทั้งนี้ความยืดหยุ่นการทดแทนกันคำนวณได้ 2 วิธี ดังนี้ ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen เป็นการวัดเป็นการวัดเปอร์เซ็นการเปลี่ยนแปลงของการใช้ปัจจัยการผลิตหนึ่งต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาอีกปัจจัยการผลิตหนึ่ง โดยกำหนดให้สัดส่วนต้นทุนปัจจัยการผลิตที่ราคาเปลี่ยนแปลงมีค่าคงที่ ค่าที่คำนวณได้จากวิธีนี้จะใช้เป็นค่ามาตรฐาน ความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Morishima เป็นการวัดเปอร์เซ็นการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนการใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิดที่กำลังพิจารณาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตใดๆ ซึ่งการวัดระดับการทดแทนกันด้วยวิธีนี้จะดีกว่าแบบแรกเนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการใช้ปัจจัยการผลิตทั้งสอง

6.1 บทสรุป

การใช้ปัจจัยการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กทั้งสี่ชนิด คือ วัตถุดิบ ทุน แรงงานและพลังงาน ขึ้นอยู่กับราคาสัมพัทธ์ของปัจจัยการผลิต ระดับการผลิตและการปรับปรุงเทคนิคการผลิต ในขณะที่การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กทั้งสามชนิดคือ ไฟฟ้า น้ำมันและก๊าซ ถูกกำหนดจากราคาสัมพันธ์ของพลังงานเท่านั้น

การขยายขนาดการผลิตหรือเพิ่มกำลังการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กจะส่งผลให้สัดส่วนต้นทุนของปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เท่ากัน จากการศึกษาพบว่า หากอุตสาหกรรมเหล็กเพิ่มกำลังการผลิตจะทำให้ใช้ปัจจัยทุนเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าการใช้พลังงาน แต่จะลดการใช้วัตถุดิบและแรงงานลง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ผ่านมาของอุตสาหกรรมเหล็กทำให้สามารถลดการใช้วัตถุดิบและแรงงานลงแต่ไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้

ผลการคำนวณความยืดหยุ่นต่อราคาและความยืดหยุ่นไขว้ในระดับปัจจัยการผลิตพบว่า การใช้ปัจจัยการผลิตเกือบทุกชนิดแทบจะไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตใดเลย ยกเว้นพลังงานเป็นเพียงปัจจัยการผลิตชนิดเดียวที่อ่อนไหวราคาพลังงาน ราคาทุน ปละราคาวัตถุดิบ โดยเมื่อราคาพลังงานสูงขึ้นร้อยละ 1 ทำให้การใช้พลังงานลดลงร้อยละ 1.496 และหากราคาทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 4.081 แสดงให้เห็นว่า ทุนและพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนกันได้ดี นอกจากนี้ในระดับปัจจัยการผลิต ทุนกับแรงงาน พลังงานกับแรงงาน และพลังงานกับวัตถุดิบเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ประกอบกัน ความยืดหยุ่นการใช้พลังงานต่อราคาวัตถุดิบและความยืดหยุ่นการใช้วัตถุดิบต่อราคาพลังงานเท่ากับ -2.437 และ -0.203 ตามลำดับ

การวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันของ Allen และ Morishima ในระดับปัจจัยการผลิต พบว่า พลังงานกับสินค้าทุนเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถทดแทนกันได้ดีที่สุด หากราคาพลังงานเพิ่มขึ้น ปัจจัยการผลิตทุกชนิดได้แก่ วัตถุดิบทุนและแรงงานสามารถทดแทนพลังงานได้ ทุนสามารถทดแทนพลังงานได้มากสุดแต่การใช้พลังงานจะตอบสนองต่อราคาสินค้าทุนมากกว่าที่สินค้าทุนตอบสนองต่อราคาพลังงาน นอกจากนี้พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่ใช้ร่วมกับแรงงานและวัตถุดิบ

สำหรับการทดแทนกันในระดับพลังงาน เมื่อพิจารณาตามแนวทาง Allen และ Morishima พบว่าพลังงานทุกชนิดสามารถทดแทนกัน ก๊าซกับน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานที่ทดแทนกันได้ดีที่สุด ในขณะที่ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในอุตสาหกรรมเหล็กทำให้การใช้ไฟฟ้าไม่ตอบสนองต่อราคาไฟฟ้าเองและราคาพลังงานอื่นๆ มากนัก การใช้น้ำมันมีความอ่อนไหวต่อราคาน้ำมันเองและราคาไฟฟ้ามาก ในขณะที่การใช้ก๊าซมีการตอบสนองต่อราคาก๊าซเองและราคาน้ำมันมากเช่นกัน การพัฒนาเทคนิคการผลิตและการขยายตัวของอุตสาหกรรมไม่กระทบต่อโครงสร้างการใช้พลังงาน

6.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

นโยบายราคาพลังงานเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งต่อการกระตุ้นให้อุตสาหกรรมเหล็กลดการใช้พลังงานลง จากการศึกษาพบว่า หากราคาพลังงานเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กลดการใช้พลังงานได้สูงมากโดยหากราคาพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผู้ผลิตสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 4.6 และจากผลการศึกษาของโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กพบว่า ราคาพลังงานที่ไม่ได้สะท้อนต้นทุนการผลิตที่แท้จริงทำให้ผู้ประกอบการไม่มีแรงจูงใจที่จะลดการใช้พลังงานลง ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มไม่มากนัก ดังนั้นหากรัฐบาลปล่อยให้ราคาพลังงานเป็นไปตามกลไกตลาดจะทำให้กระตุ้นให้ผู้ประกอบการหันมาให้ความสนใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ภาครัฐควรจะพิจารณาการปล่อยให้ราคาพลังงานเป็นไปตามกลไกตลาดโดยพิจารณาเป็นรายประเภท เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานย่อมจะส่งผลต่อการใช้พลังงานและต้นทุนพลังงานแต่ละประเภทในระดับที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า การปล่อยลอยตัวราคาน้ำมันและก๊าซจะส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมเหล็กมากกว่าราคาไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะน้ำมันและก๊าซมีสัดส่วนการใช้ไม่สูงมากนักและมีความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาได้ดีทำให้ไม่ส่งผลต่อภาระต้นทุนของผู้ประกอบการ สำหรับราคาไฟฟ้า การปล่อยให้ราคาเปลี่ยนแปลงไปตามความผันผวนของราคาน้ำมันจะกระทบต่อต้นทุนของผู้ประกอบการอย่างมากเนื่องจากไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในอุตสาหกรรมเหล็กและผู้ประกอบการไม่สามารถเปลี่ยนการใช้ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานชนิดอื่นๆ ได้ทันทีเพราะความสามารถในการทดแทนระหว่างไฟฟ้ากับพลังงานอื่นๆ ค่อนข้างต่ำ

การศึกษาพบว่า การพัฒนาการผลิตในช่วงที่ผ่านมาช่วยให้อุตสาหกรรมเหล็กลดการใช้วัตถุดิบลงแต่มีการใช้พลังงานเพิ่ม ทั้งนี้มีสาเหตุจากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางซึ่งเป็นส่วนที่ใช้พลังงานสูงมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่าอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย ดังนั้นภาครัฐควรมีการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์พร้อมกับให้สิทธิประโยชน์เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ควรมีการจัดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาแรงงานในสายการผลิตให้มีความเชี่ยวชาญเพิ่มขึ้น การศึกษายังพบว่า พลังงานและสินค้าทุนสามารถทดแทนกันได้มาก ดังนั้นในภาวะที่ราคาพลังงานเพิ่มสูงขึ้น หากต้องการให้ผู้ประกอบการลดการใช้พลังงานลง รัฐบาลควรจะสร้างแรงจูงใจโดยให้เงินสนับสนุนในการพัฒนาเทคโนโลยีของผู้ประกอบการหรือการใช้มาตรการทางภาษีโดยปรับลดอัตราภาษีที่เกี่ยวกับเครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงาน

ในช่วงที่ทำการศึกษาผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กใช้ก๊าซธรรมชาติในการกระบวนการผลิตไม่มากนัก แต่ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานสะอาดที่มีแหล่งผลิตอยู่ในประเทศไทย เป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาก๊าซธรรมชาติไม่ผันผวนมากเมื่อเทียบกับน้ำมัน จึงเป็นพลังงานทางเลือกที่รัฐบาลส่งเสริมให้มีการใช้ทดแทนน้ำมันในภาคคมนาคมขนส่งและภาคอุตสาหกรรม การศึกษานี้พบว่า น้ำมันและก๊าซธรรมชาติทดแทนกันได้มาก เมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้ใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 2.04 มาตรการเกี่ยวกับก๊าซธรรมที่มีอยู่ในปัจจุบันมี 2 มาตรการ คือ การส่งเสริมการใช้ก๊าซธรรมชาติมากขึ้น โดยส่งเสริมให้ภาคพลังงานนำก๊าซธรรมชาติไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่วนในภาคอุตสาหกรรมภาครัฐส่งเสริมให้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้มและน้ำมันเตา นอกจากนี้ยังมีโครงการวางท่อส่งก๊าซย่อยเข้าไปในเขตอุตสาหกรรมต่างๆ ตามแนวท่อก๊าซหลัก ปัจจุบันไทยมีแนวท่อก๊าซหลักจำนวน2 ท่อเท่านั้น ทำให้ผู้ประกอบการที่ต้องการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตมีข้อจำกัดอยู่มากในการเข้าถึงพลังงานประเภทนี้ ดังนั้นรัฐบาลควรจะมีมาตรการสนับสนุนการใช้ก๊าซธรรมชาติและนโยบายพัฒนาโครงการท่อส่งก๊าซอย่างจริงจัง

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไป

การศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษามีข้อจำกัดด้านเวลาและขาดแคลนข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญทำให้ต้องประมาณค่าตัวแปรบางอย่างเพิ่มเติม เช่น ราคาสินค้าทุน(Cost of capital) ราคาพลังงาน เป็นต้น ประกอบกับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลรายปีซึ่งมีข้อมูลเพียง 6 ปี (2542-2547) ทำให้ข้อมูลราคาปัจจัยการผลิตต่างๆ รวมทั้งราคาพลังงานประเภทต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักส่งผลต่อผลการประมาณค่าความสามารถในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตและระหว่างพลังงานประเภทต่างๆ ดังนั้นในอนาคตควรมีการเก็บรวบรวมฐานข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการใช้และราคาของปัจจัยการผลิตต่างๆและพลังงาน โดยการเก็บข้อมูลอาจจะเป็นรายเดือน รายไตรมาสเพื่อให้จำนวนข้อมูลมีมากขึ้นซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแบบจำลองโดยเฉพาะการเพิ่มสมการที่แสดงการปรับตัวของราคาปัจจัยการผลิตและพลังงาน เพราะอุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ใช้พลังงานอย่างเข้มข้น เมื่อมีการขยายการผลิตทำให้มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นย่อมส่งผลต่อราคาของพลังงานด้วย แต่ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาสมมติให้ราคาพลังงานเป็นตัวแปรภายนอกทำให้ไม่เห็นความสัมพันธ์ของการขยายการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กที่มีต่อราคาพลังงานประเภทต่างๆ หากในอนาคตมีการพัฒนาฐานข้อมูลให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น การศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มตัวแปรดัมมี่และใช้แบบจำลองสำหรับการประมาณค่าข้อมูล Panel ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตและระหว่างพลังงานประเภทต่างๆ ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีการใช้พลังงานอย่างเข้มข้นด้วยเพราะผลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการและภาครัฐบาลในการร่วมมือกันกำหนดนโยบายการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นรูปธรรมที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานเข้มข้น

ราคาพลังงานที่คำนวณจากผลหารของรายจ่ายพลังงานต่อปริมาณการใช้พลังงานหรืออีกนัยหนึ่งคือ ต้นทุนพลังงานเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยพลังงานความร้อน การคำนวณด้วยวิธีนี้อาจจะไม่ได้สะท้อนผลกระทบด้านราคาที่แท้จริงและจะบิดเบือนค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้และจะยิ่งบิดเบือนมากขึ้นหากวิเคราะห์พลังงานในระดับปัจจัยการผลิต

การใช้พลังงานของผู้ประกอบการไม่อาจจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาได้ทันที หากราคาพลังงานมีการเปลี่ยนแปลง ผู้ประกอบการยังไม่สามารถที่ทดแทนพลังงานหรือปัจจัยการผลิตได้ทันที ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการผลิต ลักษณะของเทคโนโลยีการผลิต รวมถึงความชำนาญของแรงงานในกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์ความสามารถการทดแทนกันของอุตสาหกรรมเหล็กในภาพรวมเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตในเบื้องต้น แต่เนื่องจากการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางและอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาที่เจาะลึกลงในแต่ละอุตสาหกรรมย่อยจะทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและปัจจัยการผลิตอื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงอุตสาหกรรม. สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา. 2545. โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา(สาขาเหล็ก)[Online]. แหล่งที่มา: http://www.oie.go.th-/policy7_th.asp[8 พฤศจิกายน 2549]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะเศรษฐศาสตร์. ศูนย์ศึกษานโยบายเพื่อการพัฒนา. 2550. โครงการพัฒนาข้อมูลพลังงาน ดัชนีทางเศรษฐกิจ และตัวแบบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อติดตามผลและการวางนโยบายพลังงาน. เสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยพลังงาน. 2549. โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC)(โครงการศึกษาเกณฑ์กรใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก). เสนอต่อสำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ยรรยง ไทยเจริญ, จริยา เปรมศิลป์และวัสยา ลิ้มธรรมมหิศร. 2549. การสิ้นสุดของยุคราคาน้ำมันต่ำ: บทเรียนและความท้าทายสำหรับยุทธศาสตร์พลังงานของไทย. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการประจำปี 2549. ธนาคารแห่งประเทศไทย: สิงหาคม 2549

อมรรัตน์ แก้วประดับ. 2545. การประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาษาอังกฤษ

Alba, M. 1995. Analysis of Hospital Production and Cost: Economies of Scale and Scope. Philippine Institute for Development Studies (PIDS). Discussion paper series No.95-21

Babin, F. G., Willis, C. E., and Allen, G. P. 1982. Estimation of Substitution Possibilities between Water and Other Production Inputs. American Journal of Agricultural Economics 64(1): 148-151.

Bende-Nabende, A., Ford, Jim., Sen, S. S. and Slater, J. 2002. Productivity analysis in Asia-Pacific Economic Cooperation Region: A multi-country translog comparative analysis, 1965-97. Economics Bulletin 15(2): 1-9.

Berndt, E. R., and Christensen, L. R. 1973. The Internal Structure of Functional Relationships: Separability, Substitution, and Aggregation. The Review of Economics Studies 40(3): 403-410.

Berndt, E. R., and Wood, D. O. 1979. Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity. The American Economic Review 69(3): 342-354.

Binswanger, H. P. 1974. A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution. American journal Agricultural Economics (May): 377-386.

Blackorby, C., and Russell, R. R. 1981. The Morishima Elasticity of Substitution; Symmetry; Constancy; Separability; and its Relationship to the Hicks and Allen Elasticities. The Review of Economic Studies 48(1): 147-158.

Blackorby, C., and Russell, R. 1989. Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand Up? (A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticity). The American Economic Review 79(4): 882-888.

Bousquet, A., and Ivaldi, M. 1998. An individual choice model of energy mix. Resource and Energy Economics 20: 263-286.

Bousquet, A., and Ladoux, N. 2006. Flexible versus designated technologies and interfuel substitution. Energy Economics 28: 426-443.

Caloghirou, Yanis D., Mourelatos, Alexi G. and Thompson, Henry. 1997. Industrial energy substitution during the 1980s in the Greek economy. Energy Economics 19: 476-491.

Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., and Lau, L. J. 1973. Transcendental Logarithmic Production Frontiers. Review of Economics and Statistics 55: 28-45.

Chulalongkorn University. Centre for Development Policy Studies. 2005. Analytical Economic Model, Data and Economic Indices Development for Monitoring and Policy on Energy Project. Presented to Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy

Chulalongkorn University. Centre for Development Policy Studies. 2006. Current Oil Price, Long-term Energy Strategy and the Thai Economy Project. Presented to Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy

Chung, J. W. 1987. On the Estimation of Factor Substitution in the Translog Model. The

Review of Economics and Statistics 69(3): 409-417.

Delorme, F., and Lester, J. 1990. The Structure of Production in Ten Canadian Industries. Empirical Economics 15(4): 315-346.

Farrell, D., Nyquist, S. S., and Rogers, M. C. 2007. Making the most of the world's energy resources. The McKinsey Quarterly 1: 21-33.

Field, B. C., and Grebenstein C. 1980. Capital-Energy Substitution in U.S. Manufacturing. The Review of Economics and Statistics 62(2): 207-212.

Fuss, M. A. 1977. The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example Of The Estimation of Production Structures with Many Inputs. Journal of Econometrics 1977(5): 89-116.

Gamponia, V., and Brown, G. Jr. 1982. Steel and Energy Substitution in U.S. Manufacturing. Southern Economic Journal 48(3): 785-791.

Greene, W. H. 2000. Econometric Analysis. 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.

Griffin, J. M., and Gregory, P. R. 1976. An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Response. The American Economic Review 66(5): 845-857.

Gyapong, A., and Gyimah-Brempong, K. 1988. Factor Substitution, Price Elasticity of Factor Demand and Returns to Scale in Police Production: Evidence from Michigan. Southern Economic Journal 54(4): 863-878.

Hallam, Arne. 2004. Production Function. Lecture on Microeconomics[Online]. Available from: http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/documents/-ProductionFunction000.pdf.[2006, December 16]

Halter, A.N., Carter, H.O. and Hocking, J.G. 1957. A Note on the Transcendental Production Function. Journal of Farm Economics 39(4): 966-974.

Halvorsen, R. 1977. Industrial Demand for Energy. National Bureau of Economic Research(NBER) Working paper No.166

Hazilla, M., and Kopp, R. J. 1984. A Factor Demand Model for Strategic Nonfuel Minerals in the Primary Metals Sector. Land Economics 60(4): 328-339.

Hesse, D. M., and Tarkka, H. 1986. The Demand for Capital, Labor and Energy in European Manufacturing Industry before and after the Oil Price Shocks. The Scandinavian Journal of Economics 88(3): 529-546.

Hope, E., and Singh, B. 1995. Energy Price Increases in Developing Countries: Case Studies of Colombia, Ghana, Indonesia, Malaysia, Turkey, and Zimbabwe. The World Bank Policy Research Working paper 1442.

Huang, K. S. 1991. Factor Demands in the U.S. Food-Manufacturing Industry. American Journal of Agricultural Economics 73(3): 615-620.

Jorgenson, D. W. 1984. The Role of Energy in Productivity Growth. The American Economic Review 74(2): 26-30.

Jun Xu and J. Scott Long. 2005. Using the Delta Method to Construct Confidence Intervals for Predicted Probabilities, Rates,and Discrete Changes[Online]. Available from: http://www.indiana.edu/~jslsoc/stata/spostci/-spost_deltaci.pdf.[2007, January 10]

Lopez, R. E. 1980. The Structure of Production and the Derived Demand for Inputs in Canadian Argriculture. American Journal of Agricultural Economics 62(1): 38-45.

Mahmud, F., and Chishti, S. 1990. The Demand for Energy in the Large-Scale Manufacturing Sector of Pakistan. Energy Economics (October): 251-254.

McKinsey Global Institute. 2006. Productivity of growing global energy demand: A microeconomic perspective[Online]. Available from: http://www.mckinsey.com/-mgi.[2007, January 19]

Miller, E. M. 1986. Cross-Sectional and Time-Series Biases in Factor Demand Studies: Explaining Energy-Capital Complementarity. Southern Economic Journal 52(3): 745-762.

Nguyen, S. V., and Streitwieser, M. L. 1997. Capital-Energy Substitution Revisited: New Evidence from Micro Data. Center of Economic Studies, U.S. Bureau of the Census. CES Discussion paper 97–4

Nicholson, W. 2005. Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions. 9th ed. Australia: South-Western.

Ozatalay, S., Grubaugh, S., and LongII, T. V. 1979. Energy Substitution and National Energy Policy. The American Economic Review 69(2): 369-371.

Pindyck, R. S. 1979. Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. The Review of Economics and Statistics 61(2): 169-179.

Roy, J., Sanstad, A. H., Salhaye, J. A., and Khaddaria, R. 2006. Substitution and Price

elasticity estimates using inter-count pooled data in a translog cost model. Energy Economics 28: 706-719.

Saicheua, S. 1987. Input Substitution in Thailand's Manufacturing Sector: Implication for Energy Policy. Energy Economics (January): 55-63.

Sato, R., and Koizumi T. 1973. On the Elasticities of Substitution and Complementarity. Oxford Economic Papers 25(1): 44-56.

Siddayao, C. M., Khaled, M., Ranada, J. G., and Saicheua, S. 1987. Estimates of energy and non-energy elasticities in Selected Asian manufacturing Sectors: Policy Implication. Energy Economics (April): 155-128.

Stern, D. I. 1994. Accuracy of the Translog Function. Applied Economics Letters 1: 172-174.

Syrquin, M., and Hollender, G. 1982. Elasticities of Substitution and Complementarity: The General Case. Oxford Economic Papers 34(3): 515-519.

Thompson, H. 2006. The Applied Theory of Energy Substitution in Production. Energy Economics 28: 410-425.

Thompson, P., and Taylor, T. G. 1995. The Capital-Energy Substitutability Debate: A new Look. The Review of Economics and Statistics. 77(3): 565-569

Turnovsky, M. H. L., and Donnelly, W. A. 1984. Energy Substitution, Separability, and Technical Progress in the Australian Iron and Steel Industry. Journal of Business & Economic Statistics 2(1): 54-63.

Uri, N. D. 1982. The Industrial Demand for Energy. Resources and Energy 4: 27-57.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

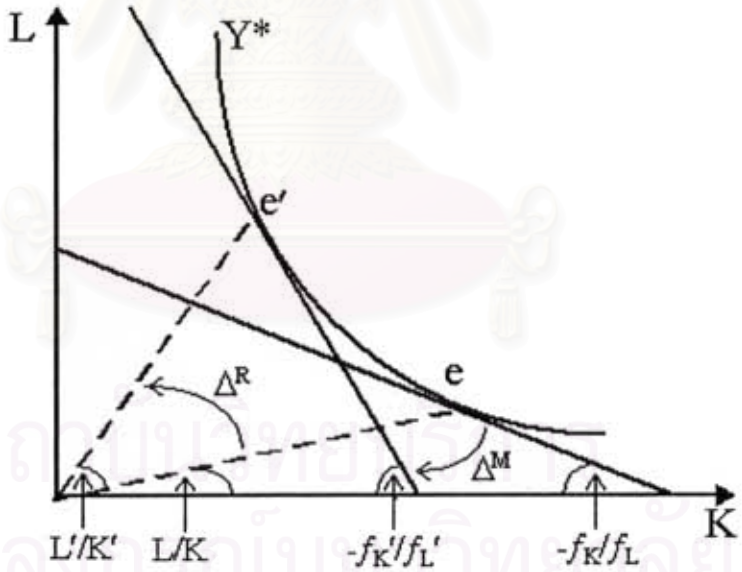
ความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีควบคู่และ ความสามารถในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิต

<u>กรณีที่ 1</u> การผลิตมีการใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิด คือ ทุน (K) และแรงงาน (L)

ความยืดหยุ่นของการทดแทนกันระหว่างทุนกับแรงงานตามแนวคิดของ Hick (1932) และ Robinson (1933) สามารถคำนวณได้จาก

$$HES_{ij} = \frac{d\ln(L/K)}{d\ln(f_K/f_L)} = \frac{d(L/K)}{d(f_K/f_L)} \cdot \frac{(f_K/f_L)}{(L/K)} \qquad (1)$$

การวัดความยืดหยุ่นสามารถพิจารณาได้จากเส้นผลผลิตเท่ากัน(Isoquant) กำหนดให้การผลิตที่มีต้นทุนต่ำสุดอยู่ที่จุด e ต่อมามีการเปลี่ยนแปลงใน MRTS โดยที่ (f_K / f_L) ลดลง ทำให้จุดการผลิตที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุดคือจุด e' แสดงในรูปที่ 1 ดังนั้น กล่าวโดยสรุป การวัดความยืดหยุ่นการทดแทนกันเป็นการวัดความโค้งเว้า (Convex) ของเส้นผลผลิตเท่ากันนั่นเอง หากมีความเว้ามาก ความสามารถในการทดแทนกันจะต่ำ ในทางตรงข้าม หากมีความเว้าไม่มาก ความสามารถในการทดแทนกันจะสูง



รูปที่ 1 การวัดความยืดหยุ่นของการทดแทนกันระหว่างทุนกับแรงงาน

<u>การคำนวณความยืดหยุ่นของการทดแทนกันระหว่างทุนกับแรงงานจากสมการการผลิต</u>

Total differentiating สมการที่ (1) เทอม f_K/f_L เทียบกับ K และ L จะได้ว่า

$$d(f_K/f_L) = [\partial (f_K/f_L)/\partial K]\cdot dK + [\partial (f_K/f_L)/\partial L]\cdot dL \quad (2)$$

จากนิยามของเส้นผลผลิตเท่ากัน $f_K/f_L = - dL/dK$ หรือ $dK = -(f_L/f_K)dL$ แทนค่าในสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$d(f_K/f_L) = \{f_K[\partial (f_K/f_L)/\partial L] - f_L[\partial (f_K/f_L)/\partial K]\}dL/f_K \quad (3)$$

Total differentiating เทอม L/K จะได้ว่า $d(L/K) = (KdL - LdK)/K^2$ และจาก $dK = -(f_L/f_K)dL$ จะได้ว่า

$$d(L/K) = [K + L\cdot(f_L/f_K)]dL/K^2 = [f_K K + f_L L]dL/f_K K^2 \quad (4)$$

นำสมการที่ (4) หารด้วย $d(f_K/f_L)$

$$d(L/K)/d(f_K/f_L) = [f_K K + f_L L]/\{K^2(f_K[\partial (f_K/f_L)/\partial L] - f_L[\partial (f_K/f_L)/\partial K])\} \quad (5)$$

นำสมการที่ (5) หารด้วย L/K และคูณด้วย f_K/f_L เพื่อให้ได้ความยืดหยุ่นของการทดแทนกัน

$$HES_{KL} = [d(L/K)/d(f_K/f_L)]\cdot[(f_K/f_L)/(L/K)]$$
$$= \{f_K[f_K K + f_L L]\}/\{f_L KL(f_K[\partial (f_K/f_L)/\partial L] - f_L[\partial (f_K/f_L)/\partial K])\} \quad (6)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หาค่า $\partial (f_K/f_L)/\partial L$ และ $\partial (f_K/f_L)/\partial K$

$$\partial (f_K/f_L)/\partial K = [f_{KK} f_L - f_{LK} f_K]/f_L^2 \quad (7)$$

$$\partial (f_K/f_L)/\partial L = [f_{KL} f_L - f_{LL} f_K]/f_L^2 \quad (8)$$

นำ (7) และ (8) แทนในสมการที่ (6) และจาก Young Theorem $f_{KL} = f_{LK}$ จะได้ว่า

$$HES_{ij} = \frac{f_L f_K (f_K K + f_L L)}{KL(2f_{KL} f_L f_K - f_{LL} f_K^2 - f_{KK} f_L^2)} \quad (9)$$

จากปัญหาต้นทุนต่ำสุด(Cost Minimization Problem) ของผู้ผลิตกรณีมีปัจจัยการผลิต 2 ชนิด

Min $C = P_K K + P_L L$ (10)

Subject to $Q = f(K, L)$ (11)

$$Z = P_K K + P_L L + \lambda(\bar{Q} - f(K, L)) \quad (12)$$

First Order Condition (F.O.C.)

$$\frac{\partial Z}{\partial \lambda} = f(K, L) - Q = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial K} = P_K - \lambda f_K = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial L} = P_L - \lambda f_L = 0 \quad (15)$$

Total differentiating สมการที่ (13) ถึง (15)

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 0 & f_K & f_L \\ f_K & f_{KK} & f_{KL} \\ f_L & f_{LK} & f_{LL} \end{bmatrix}}_{B} \begin{bmatrix} d\lambda \\ dK \\ dL \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dQ \\ dP_K \\ dP_L \end{bmatrix} \quad (16)$$

ทำ Comparative Static ระบบสมการที่(16) กำหนดให้ $dP_L \neq 0, dP_K = dQ = 0$

$$\begin{bmatrix} 0 & f_K & f_L \\ f_K & f_{KK} & f_{KL} \\ f_L & f_{LK} & f_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\lambda / dP_L \\ dK / dP_L \\ dL / dP_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{17}$$

$$\frac{\partial K^*}{\partial P_L} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 0 & f_L \\ f_K & 0 & f_{KL} \\ f_L & 1 & f_{LL} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 0 & f_K & f_L \\ f_K & f_{KK} & f_{KL} \\ f_L & f_{LK} & f_{LL} \end{vmatrix}} = \frac{|B_{KL}|}{|B|} = f_L f_K \tag{18}$$

เมื่อ B คือ Border Hessian Matrix, $|B| = 2f_{KL}f_L f_K - f_{LL}f_K^2 - f_{KK}f_L^2$ และ $|B_{KL}| = |B_{LK}|$ คือ cofactor และ $|B_{KL}| = |B_{LK}| = f_L f_K$ นำสมการที่ (18) แทนในสมการ (9) จะได้สมการที่ (19) สมมติให้สมการการผลิตมีคุณสมบัติ Twice-Continuous Differentiable Function และมีคุณสมบัติ Quasi-concave ดังนั้น Bordered Hessian Matrix ของสมการการผลิตจะต้องมีลักษณะ negative semi-definite

$$HES_{ij} = \frac{(f_K K + f_L L)}{KL} \cdot \frac{|B_{KL}|}{|B|} = \frac{(f_K K + f_L L)}{KL} \cdot \frac{\partial K}{\partial P_L} \tag{19}$$

<u>กรณีที่ 2</u> การผลิตมีการใช้ปัจจัยการผลิตมากกว่า 2 ชนิด

การวัดความยืดหยุ่นในการทดแทนกันระหว่างปัจจัยการผลิตกรณีที่มีการใช้ปัจจัยการผลิตมากกว่า 2 ชนิด เป็นการวัดความยืดหยุ่นเพียงบางส่วน(Partial Elasticity of Substitution) คือ สนใจเฉพาะ 2 ปัจจัยการผลิตที่ต้องการวัดความสามารถในการทดแทนกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตนั้นโดยกำหนดให้ราคาปัจจัยการผลิตอื่นที่อยู่นอกเหนือการพิจารณาและผลผลิตมีค่าคงที่ การวัดความยืดหยุ่นลักษณะนี้มี 2 แบบ คือ Allen Elasticity of Substitution(AES_{ij}) และ Morishima Elasticity of Substitution(MES_{ij})

เริ่มจากข้อสมมติที่ว่าผู้ผลิตต้องการผลิตที่ต้นทุนต่ำสุด มีการใช้ปัจจัยการผลิต n ชนิด ดังนั้น ปัญหาความเป็นที่สุดของผู้ผลิตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (20) ถึง (22)

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^{n} X_i P_i \qquad \text{เมื่อ } (i = 1,2,\ldots,n) \tag{20}$$

$$\text{Subject to } Q = f(X_1, X_2, \ldots\ldots, X_n) \tag{21}$$

$$Z = P_1 X_1 + P_2 X_2 + \ldots. + P_n X_n + \lambda(\bar{Q} - f(X_1, X_2, \ldots, X_n)) \tag{22}$$

First Order Condition (F.O.C.)

$$\frac{\partial Z}{\partial \lambda} = f(X_1, X_2, \ldots, X_n) - \bar{Q} = 0 \tag{23}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial X_i} = P_i - \lambda f_i = 0 \text{ เมื่อ } i = 1,2,\ldots,n \tag{24}$$

Total differentiating สมการที่ (23) ถึง (24)

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 0 & f_1 & f_2 & \cdot & \cdot & f_n \\ f_1 & f_{11} & f_{12} & \cdot & \cdot & f_{1n} \\ f_2 & f_{21} & f_{22} & \cdot & \cdot & f_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_n & f_{n1} & f_{n2} & \cdot & \cdot & f_{nn} \end{bmatrix}}_{B} \begin{bmatrix} d\lambda \\ dX_1 \\ dX_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ dX_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dY \\ dP_1 \\ dP_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ dP_n \end{bmatrix} \tag{25}$$

ทำ Comparative Static ระบบสมการที่ (25) เพื่อหาค่า $\frac{\partial X_i^*}{\partial P_j}$ กำหนดให้

$dP_j \neq 0, dP_1 = dP_2 = dP_i = \ldots = dP_N, i \neq j$ และ $dQ = 0$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\begin{bmatrix} 0 & f_1 & f_2 & f_j & \cdot & f_n \\ f_1 & f_{11} & f_{12} & f_{1j} & \cdot & f_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{i1} & f_{i1} & f_{i2} & f_{ij} & \cdot & f_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_n & f_{n1} & f_{n2} & f_{nj} & \cdot & f_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\lambda / dP_j \\ dX_1 / dP_j \\ \cdot \\ dX_i / dP_j \\ \cdot \\ dX_n / dP_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 1 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \tag{26}$$

$$\frac{\partial X_i^*}{\partial P_j} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & f_1 & f_2 & 0 & \cdot & f_n \\ f_1 & f_{11} & f_{12} & 0 & \cdot & f_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{i1} & f_{i1} & f_{i2} & 1 & \cdot & f_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_n & f_{n1} & f_{n2} & 0 & \cdot & f_{nn} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 0 & f_1 & f_2 & f_j & \cdot & f_n \\ f_1 & f_{11} & f_{12} & f_{1j} & \cdot & f_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{i1} & f_{i1} & f_{i2} & f_{ij} & \cdot & f_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_n & f_{n1} & f_{n2} & f_{nj} & \cdot & f_{nn} \end{vmatrix}} = \frac{|B_{ij}|}{|B|} \tag{27}$$

เมื่อ B คือ Border Hessian Matrix

$|B|$ คือดีเทอร์มิแนนท์ของ Border Hessian Matrix

$|B_{ij}|$ คือ cofactor

ดังนั้นจากสมการที่(27) สามารถเขียนความยืดหยุ่นของ Allen และ Morishima ได้ดังสมการที่(28) และ(29) ตามลำดับ

$$AES_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{|B_{ij}|}{|B|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{\partial X_i^*}{\partial P_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}{X_i X_j} \cdot \frac{\partial^2 C^*}{\partial P_i \partial P_j} \tag{28}$$

$$MES_{ij} = \frac{f_j}{X_i} \cdot \frac{|B_{ij}|}{|B|} - \frac{f_j}{X_j} \cdot \frac{|B_{ij}|}{|B|} = \frac{f_j X_j}{f_i X_i} \cdot (AES_{ij} - AES_{jj}) \tag{29}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิรินทิพย์ ประวีณานุสรณ์ เกิดวันอังคารที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2523 มีภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี(วิทยาศาสตร์บัณฑิต) จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรเศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย