Nitiphong Songsrirote and Charuk Singhapreecha. (2006). Efficiency Measurement Approaches and Its Limitations. Applied Economics Journal,13 (2),79-99.

วารสารเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 ก.ค. - ธ.ค. 2549

วิธีการวัดและข้อจำกัดของวิธีการวัดประสิทธิภาพ
Efficiency Measurement Approaches and Limitations

นิติพงษ์ ส่งศรีโรจน์[1/]
จารึก สิงหปรีชา[2/]

บทคัดย่อ

การวัดประสิทธิภาพรวมทั้งการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้วัดนับได้ว่ามีส่วนสำคัญในการประเมินถึงสมรรถนะหรือประสิทธิภาพของหน่วยการผลิตไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิต ธุรกิจ องค์กรของรัฐ หรืออื่น ๆ การวัดประสิทธิภาพช่วยให้ทราบถึงสุขภาพของหน่วยการผลิตเอง หากสุขภาพของหน่วยการผลิตนั้นเกิดมีสภาพไม่สมบูรณ์ ก็สามารถที่จะเยียวยารักษาได้ ถ้าหน่วยการผลิตมีสุขภาพที่ดี ก็มั่นใจได้ว่าผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์จากความมีประสิทธิภาพของหน่วยการผลิตนั้น เครื่องมือการวัดประสิทธิภาพมีหลายประเภทแต่ที่นิยมในปัจจุบันได้แก่ Data Envelopment Analysis (DEA) และ Stochastic Frontier Analysis (SFA) อันเนื่องมาจากวิธีการวัดแต่ละวิธีใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และข้อสมมติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้แต่ละวิธีจึงเป็นสิ่งสำคัญ ตัวอย่างเช่น หากการวิเคราะห์เน้นที่ตัวรบกวน โดยเฉพาะในการผลิตทางการเกษตรก็ควรจะใช้วิธี SFA หากไม่เน้นความสำคัญที่ผลของตัวรบกวน (Noise) เช่น การผลิตของหน่วยธุรกิจ องค์กร หรือองค์กรภาครัฐ ก็ควรเลือกใช้วิธี DEA เป็นต้น บทความนี้จะพิจารณาการวัดประสิทธิภาพหน่วยการผลิตในช่วงระยะเวลาเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลแบบภาคตัดขวางเท่านั้น

คำสำคัญ : การวัดประสิทธิภาพ, การวัดแบบนอนพาราเมตริก, การวัดแบบพาราเมตริก

ABSTRACT

Measurements of efficiency as well as the development of its tools are the crucial part of evaluating the performance of producing units such as producer, firm and so on. Measurement of efficiency provides us the symptom of producing unit's health. If it is found that producing units' health is not well, then we can alleviate the problem. In addition, The good health or high performance of producing units will contribute to the consumers. There are various tools of efficiency measurement. The favorable tools are Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Analysis (SFA). These tools also have some limitations so that we should employ these tools carefully. For instance, If the analysis is focused on noise effect, such as agricultural production, SFA should be employed. In contrast, if noise effect is not emphasized, such as production of a firm, an organization or government organization, DEA should be introduced. The article will be considered only in the case of time -invariant data or crossectional data.

Keywords : Efficiency Measurement, Nonparametric Approach, Parametric Approach

[1/] นิสิตปริญญาเอก สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ email : econ555@gmail.com, http://www.nitiphong.com

[2/] อาจารย์ประจำภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ e-mail : fecochs@ku.ac.th

1. บทนำ

การวัดประสิทธิภาพนับได้ว่าเป็นเครื่องมือสำคัญและมีประโยชน์ยิ่งในการเปรียบเทียบสมรรถนะของหน่วยการผลิต ไม่ว่าจะเป็นระดับผู้ผลิต ธุรกิจ หน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ การวัดประสิทธิภาพสามารถจะชี้ถึงความไม่มีประสิทธิภาพและสามารถที่จะเยียวยาความไม่มีประสิทธิภาพนั้นได้ ขณะเดียวกันในส่วนของภาครัฐก็สามารถที่จะกระตุ้นและส่งเสริมความมีประสิทธิภาพและทำให้มั่นใจได้ว่าผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์อันเนื่องมาจากความมีประสิทธิภาพของหน่วยการผลิตเหล่านั้น

ตามที่ได้ศึกษาทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาคมาแล้วนั้น มักจะพบว่าเป็นเรื่องเกี่ยวกับการพัฒนาตัวแบบของฟังก์ชันการผลิต ฟังก์ชันต้นทุน และฟังค์ชันกำไร มีผลงานจำนวนไม่น้อยที่เริ่มด้วยฟังก์ชันการผลิตและพยายามกำหนดข้อสมมติว่าผู้ผลิตนั้นดำเนินการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดภายใต้ปัจจัยการผลิตที่มีอยู่ กรณีของฟังก์ชันต้นทุนก็พยายามที่จะทำให้ต้นทุนต่ำสุดโดยที่ผู้ผลิตจัดสรรปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนฟังก์ชันกำไรนั้นผู้ผลิตก็ดำเนินการผลิตให้เกิดกำไรสูงสุด โดยที่ทำให้รายได้สูงสุดและมีต้นทุนต่ำที่สุด กล่าวคือผู้ผลิตจะจัดสรรผลผลิตและปัจจัยการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าผู้ผลิตเองก็ไม่สามารถที่จะแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization Problems) ได้เสมอไป (Kumbhakar et al., 2000 : 2) นั่นก็คือผู้ผลิตอาจจะไม่ประสบผลสำเร็จในการใช้ปัจจัยการผลิตที่ต่ำสุดเพื่อผลิตสินค้าและบริการภายใต้เงื่อนไขเทคโนโลยีที่เผชิญอยู่เสมอไป หรือผู้ผลิตบางคนเท่านั้นที่จะมีประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (Technical Efficiency : TE) แม้ว่าผู้ผลิตบางคนที่สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตให้ต่ำสุดได้ หรือผู้ผลิตมีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคแต่ก็ใช่ว่าจะสามารถจัดสรรปัจจัยการผลิตที่ทำให้เกิดประสิทธิผลเชิงต้นทุน (Cost Effectiveness) ภายใต้เงื่อนไขของราคาปัจจัยการผลิตที่เขาเผชิญอยู่ได้ การจัดสรรปัจจัยการผลิตดังกล่าวก็จะส่งผลให้ผู้ผลิตไม่สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดได้นั้น หมายความว่าผู้ผลิตบางรายเท่านั้นที่จะมีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (Cost Efficiency) ในมุมมองของผลผลิตภายใต้ราคาผลผลิตที่เผชิญอยู่ ผู้ผลิตบางรายเท่านั้นที่ประสบผลสำเร็จในการจัดสรรผลผลิตเพื่อทำให้เกิดรายได้สูงสุด ในที่สุดก็จะทำให้ผู้ผลิตบางคนไม่ได้กำไรสูงสุด หรือไม่มีประสิทธิภาพเชิงกำไร (Profit Inefficiency)

ตามที่ได้กล่าวข้างต้น จึงทำให้การศึกษาฟังก์ชันการผลิต ฟังก์ชันต้นทุน และฟังก์ชันกำไรแบบดั้งเดิมมาเป็นแบบเส้นพรมแดน (Frontier) ดังนั้น เส้นพรมแดนการผลิต (Production Frontier) จะแสดงลักษณะชุดของปัจจัยการผลิตต่ำสุดที่ใช้เพื่อผลิตสินค้าและบริการต่าง ๆ หรือผลผลิตที่ผลิตได้สูงสุดกับปัจจัยการผลิตต่าง ๆ โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขเทคโนโลยีที่เผชิญอยู่ ผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตบนเส้นพรมแดนการผลิตถือว่ามีประสิทธิเชิงเทคนิค ส่วนผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตต่ำกว่าเส้นพรมแดนการผลิตถือว่าไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (Technical Inefficiency) กรณีของเส้นพรมแดนต้นทุน (Cost Frontier) จะแสดงลักษณะค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุดสำหรับการผลิตชุดผลผลิตระดับหนึ่งภายใต้ราคาปัจจัยการผลิตและเทคโนโลยีที่เผชิญอยู่ ผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตอยู่บนเส้นพรมแดนต้นทุนถือว่ามีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน ส่วนผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตสูงกว่าเส้นพรมแดนต้นทุนถือว่าไม่มีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (Cost Inefficiency) ในทำนองเดียวกันเส้นพรมแดนรายได้ (Revenue Frontier) จะแสดงลักษณะรายได้สูงสุดที่ได้รับจากการใช้ชุดปัจจัยการผลิตหนึ่ง ๆ โดยกำหนดราคาผลผลิตและเทคโนโลยีการผลิตคงที่ ผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตอยู่บนเส้นพรมแดนรายได้แสดงว่าผู้ผลิตมีประสิทธิภาพเชิงรายได้ (Revenue Efficiency) และผู้ผลิตดำเนินการผลิตอยู่ต่ำกว่าเส้นพรมแดนรายได้แสดงว่าผู้ผลิตไม่มีประสิทธิภาพเชิงรายได้ (Revenue Inefficiency) สิ่ง

ที่ได้จากแนวคิดของเส้นพรมแดนรายได้และเส้นพรมแดนต้นทุนก็คือ แนวคิดด้านเส้นพรมแดนกำไร (Profit Frontier) ซึ่งแสดงลักษณะกำไรสูงสุดที่ได้รับจากกิจกรรมการผลิต โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขของราคาผลผลิต ราคาปัจจัยการผลิตและเทคโนโลยีที่เผชิญอยู่ ผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตอยู่บนเส้นพรมแดนกำไรจะเป็นผู้ที่มีประสิทธิภาพเชิงกำไร ส่วนผู้ผลิตที่ดำเนินการผลิตอยู่ต่ำกว่าเส้นพรมแดนกำไรจะไม่มีประสิทธิภาพเชิงกำไร ในแต่ละกรณีที่ได้กล่าวข้างต้น ความสนใจก็จะมุ่งเน้นไปที่การวัดความไม่มีประสิทธิภาพและอธิบายถึงปัจจัยที่กำหนดความไม่มีประสิทธิภาพเหล่านั้น

การวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีเส้นพรมแดน (Frontier Approach) เป็นวิธีการที่มีแนวคิดมุ่งไปที่เส้นพรมแดน มากกว่าที่จะมุ่งไปที่วิธีแบบแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Central Tendencies) และวิธีการนี้ยังแบ่งวิธีการวัดออกเป็น 2 วิธีได้แก่ แบบนอนพาราเมตริก (Nonparametric Approach) กับแบบพาราเมตริก (Parametric Approach) การวัดประสิทธิภาพในวิธีแรกรู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Data Envelopment Analysis หรือ DEA ซึ่งพัฒนาโดย Charnes Cooper และ Rhodes (1978) DEA เป็นวิธีที่นิยมใช้วัดประสิทธิภาพในทางสาขาวิชาวิทยาการจัดการ (Management Science) ส่วนวิธีที่สองนั้นเป็นวิธีที่มีชื่อเรียกว่า Stochastic Frontier Analysis หรือ SFA แนวการวิเคราะห์ดังกล่าวปรากฏในผลงานของ Meeusen และ Van den Broeck (MB) (1977) รวมทั้ง Aigner Lovell และ Schmidt (ALS) (1977) โดยแนวคิดทั้ง 2 วิธีนั้นได้แรงดลใจมาจากผลงานของ Farrell (1957) เช่นเดียวกันที่ผลงานของ Farrell ก็มีพื้นฐานของแนวคิดมาจาก Koopmans (1951) ซึ่งได้ให้คำนิยามประสิทธิภาพเชิงเทคนิค รวมทั้ง Debreu (1951) และ Sherphard (1953) ก็ได้นำเสนอฟังก์ชันระยะทาง (Distance Function) อันเป็นแนวคิดพื้นฐานสำคัญในการวัดประสิทธิภาพต่อมา

วิธีการวัดทั้งแบบ DEA และ SFA นั้นมีความแตกต่างกัน เมื่อนำไปใช้จะทำให้ได้ค่าของการวัดประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากแต่ละวิธีก็มีจุดเด่นจุดด้อยที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงควรเลือกใช้วิธีการวัดที่เหมาะสมกับแต่ละปัญหา

บทความนี้จะนำเสนอในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้ หัวข้อแรกจะกล่าวถึงแนวคิดวิธีการวัดประสิทธิภาพของ Farrell ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญของการวัดประสิทธิภาพ หัวข้อที่สองจะกล่าวถึงวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบ DEA และ SFA เพื่อให้ทราบถึงแนวคิดเบื้องต้นในการวัดประสิทธิภาพ หัวข้อที่สามจะกล่าวถึงจุดเด่นจุดด้อยของการวัดแต่ละวิธีเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ให้สอดคล้องกับสภาพปัญหาในแต่ละโอกาส และหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงแนวทางการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมในการวัดประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีการวัดทั้งสองแบบจะกล่าวถึงเฉพาะการวัดประสิทธิภาพในช่วงระยะเวลาเดียวกัน คือใช้ข้อมูลภาคตัดขวางเท่านั้น

2. แนวคิดการวัดประสิทธิภาพของ Farrell

แนวคิดแรกเริ่มของ Farrell (1957) ซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษาการวัดประสิทธิภาพแบบอื่น ๆ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการวัดที่เน้นทางด้านปัจจัยการผลิต และส่วนที่สองเป็นการวัดที่เน้นทางด้านผลผลิต ซึ่งจะได้นำเสนอดังนี้

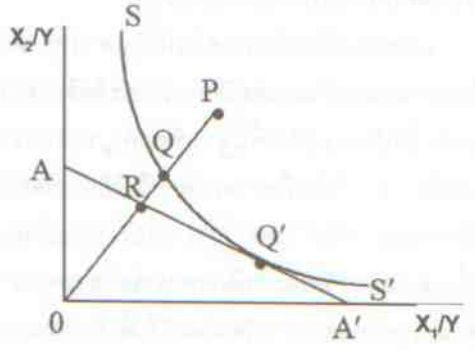
2.1 การวัดที่เน้นทางด้านปัจจัยการผลิต (Input-oriented Measures)

Farrell ได้ยกตัวอย่างแนวคิดของเขาโดยการใช้ตัวอย่างแบบง่ายซึ่งเป็นธุรกิจที่ใช้ปัจจัยการผลิตเพียงสองชนิด (X_1 และ X_2) เพื่อผลิตผลผลิตเพียงชนิดเดียว (y) ภายใต้ข้อสมมติผลตอบแทนต่อขนาดเป็นแบบคงที่ (Constant Returns to Scale : CRTS)

จากภาพที่ 1 เส้น SS' แสดงถึงเส้นผลผลิตเท่ากันที่มีประสิทธิภาพ (Efficiency Isoquant Curve)

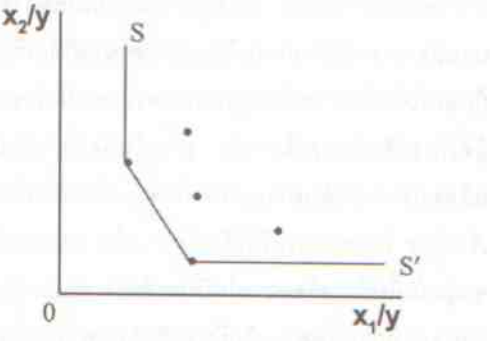
ภาพที่ 1

Efficiency Measurement



ภาพที่ 2

เส้นผลผลิตเท่ากันในรูป Piecewise Linear Convex Isoquant

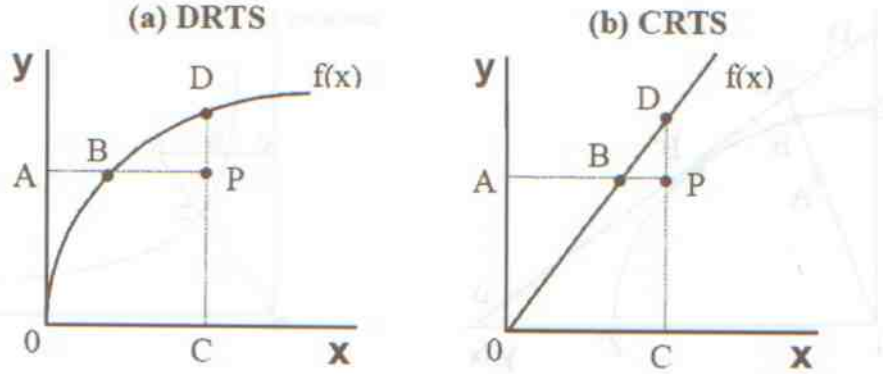


และหมายความถึงธุรกิจนั้นมีการดำเนินการผลิตที่มีประสิทธิภาพเต็มที่ จากเส้นดังกล่าวสามารถวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคได้ ถ้ากำหนดให้ธุรกิจใช้ปริมาณปัจจัยการผลิตที่จุด P เพื่อผลิตสินค้า 1 หน่วย ซึ่งเป็นจุดที่ธุรกิจบางรายไม่มีประสิทธิภาพ ความไม่มีประสิทธิภาพการผลิตของธุรกิจนั้นสามารถแสดงด้วยระยะทางระหว่าง QP ซึ่งก็คือปริมาณปัจจัยการผลิตที่สามารถลดลงได้อย่างเป็นสัดส่วนโดยที่ผลผลิตไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งปริมาณที่ลดลงได้นี้มักแสดงในรูปร้อยละ ซึ่งมีค่าเท่ากับ QP/OP ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (TE) จึงสามารถวัดได้จาก 1-(QP/OP) ซึ่งมีค่าเท่ากับ OQ/OP ซึ่งค่าสัดส่วนนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับของความไม่มีประสิทธิภาพของธุรกิจนั้น ๆ ค่า TE ที่เท่ากับ 1 จะแสดงถึงธุรกิจนั้นมีประสิทธิภาพเต็มที่ ตัวอย่างเช่น ที่จุด Q เนื่องจากจุดดังกล่าวอยู่บนเส้นผลผลิตเท่ากัน

เมื่อนำราคาปัจจัยการผลิตเข้ามาพิจารณาซึ่งแสดงในรูปอัตราส่วน แสดงโดยเส้น AA' ในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นเส้นที่แสดงถึงความมีประสิทธิภาพในการจัดสรรปัจจัยการผลิต (Allocative Efficiency : AE) ณ จุด P ความไม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรปัจจัยการผลิตก็คือระยะระหว่าง PR ดังนั้น ประสิทธิภาพในการจัดสรรปัจจัยการผลิตเท่ากับ OR/OQ เนื่องจากระยะทาง RQ แสดงถึงการลดลงของต้นทุนการผลิตซึ่งจะเกิดขึ้นได้ถ้าการผลิตนั้นเกิดขึ้นที่จุด Q' แทนที่จะเป็นจุด Q การที่จะให้เส้นผลผลิตเท่ากันสัมผัสกับเส้นต้นทุนเท่ากันที่จุด Q' นั้น Q จึงต้องเคลื่อนไปสู่จุด Q' นั่นคือมีการจัดสรรทรัพยากรใหม่โดยใช้ x_i / y เพิ่มขึ้น จะพบว่าช่วงห่างของเส้น AA' กับเส้นต้นทุนเท่ากันที่สมมติลากขนานผ่านจุด Q นั้นก็คือต้นทุนทั้งหมดที่สามารถลดลงได้

เมื่อพิจารณาที่จุด P เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดโดยเคลื่อนที่มายังจุด Q' หรือที่จุด R ซึ่งเป็นจุดที่แสดงสถานะเสมือนเดียวกันกับจุด Q' จะพบว่าเมื่อพิจารณาทางด้านประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและประสิทธิภาพในการจัดสรรปัจจัยการผลิตแล้วเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดังกล่าวธุรกิจต้องเคลื่อนมาอยู่ที่จุด R ดังนั้น OR/OP ก็คือ ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Efficiency : EE) ซึ่งมีค่าเท่ากับ TE คูณด้วย AE อย่างไรก็ตามต้องพึงระลึกเสมอว่า มาตรวัดเหล่านี้อยู่บนข้อสมมติที่ต้องทราบรูปแบบเส้นพรมแดนของการผลิต (Frontier) แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ และต้องประมาณค่าเส้นของผลผลิตเท่ากันที่มีประสิทธิภาพจากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง Farrell ได้แนะนำให้ใช้เส้นผลผลิตเท่ากันในรูป Piecewise Linear Convex Isoquant ซึ่งเป็นเส้นที่แสดงว่ากลุ่ม

ภาพที่ 3
การวัดที่เน้นทางด้านปัจจัยการผลิต ผลผลิตและผลตอบแทนต่อขนาด



ตัวอย่างจะต้องอยู่บนหรือเหนือเส้นนี้ขึ้นไป ดังแสดงในภาพที่ 2 ส่วนอีกแนวทางหนึ่งที่ Farrell แนะนำก็คือ การประมาณค่าฟังก์ชันแบบพาราเมตริก (Parametric Function) เช่น แบบ Cobb-Douglas เป็นต้น

2.2 การวัดที่เน้นทางด้านผลผลิต (Output-oriented Measures)

วิธีการวัดที่กล่าวมาเป็นการวัดที่มุ่งตอบคำถามที่ว่า ปริมาณปัจจัยการผลิตจำนวนเท่าไรที่สามารถจะลดลงได้อย่างเป็นสัดส่วนโดยที่ไม่ทำให้ผลผลิตที่ผลิตนั้นเปลี่ยนแปลง สำหรับวิธีการวัดนี้เป็นการตอบคำถามที่ว่าผลผลิตจำนวนเท่าไรที่สามารถจะเพิ่มขึ้นได้อย่างเป็นสัดส่วนโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ ความแตกต่างของ 2 แนวทางนั้นสามารถแสดงได้โดยพิจารณา ภาพที่ 3

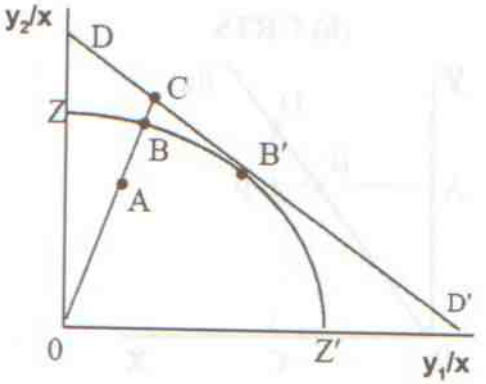
จากภาพที่ 3 (a) เป็นเทคโนโลยีการผลิตแบบผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decreasing Returns to Scale : DRTS) ซึ่งแสดงโดยฟังก์ชัน f (*x*) และมีธุรกิจหนึ่งดำเนินการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพที่จุด P ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคจากการวัดที่เน้นทางด้านปัจจัยการผลิตจะเท่ากับ AB/AP ขณะที่การวัดที่เน้นทางด้านผลผลิต ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคจะเท่ากับ CP/CD การวัดที่เน้นทางด้านปัจจัยการผลิตและผลผลิตจะให้ค่าการวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคเท่ากันเฉพาะกรณีของเทคโนโลยีการผลิตแบบผลตอบแทนต่อขนาดคงที่แต่จะไม่เท่ากันกรณีของเทคโนโลยีการผลิตแบบผลตอบแทนต่อขนาดลดลงและเทคโนโลยีการผลิตแบบผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increasing Returns to Scale : IRTS) (Fare and Lovell, 1978) ผลตอบแทนต่อขนาดแบบคงที่ (Constant Returns to Scale : CRTS) แสดงด้วยภาพที่ 3 (b) ซึ่งจะพบว่า (AB/AP) = (CP/CD)

วิธีการวัดที่เน้นด้านผลผลิตสามารถที่จะพิจารณากรณีการผลิตที่ให้ผลผลิต 2 ชนิด (y_1 และ y_2) โดยใช้ปัจจัยการผลิตเพียง 1 ชนิด (x_1) สมมติว่าเทคโนโลยีการผลิตเป็นแบบผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ สามารถแสดงเทคโนโลยีการผลิตโดยเส้นความเป็นไปได้ในการผลิต (Production Possibilities Curve : PPC) แบบสองมิติ ดังแสดงในภาพที่ 4 เส้น ZZ' คือ คือ เส้น PPC และที่จุด A แสดงถึงธุรกิจที่ดำเนินการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ เพราะที่จุด A นั้นจะอยู่ต่ำกว่าเส้น PPC

ดังนั้นในภาพที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคกรณีเน้นทางด้านผลผลิต จะเท่ากับ OA/OB ถ้านำเรื่องราคามาพิจารณาก็สามารถจะวาดเส้นรายได้เท่ากัน (Iso-revenue) ซึ่งแสดงด้วยเส้น DD' และ

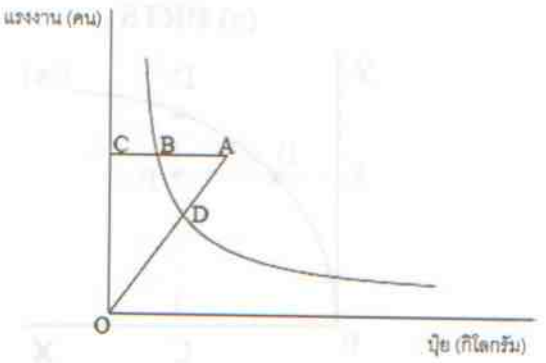
ภาพที่ 4

การวัดประสิทธิภาพที่เน้นด้านผลผลิต



ภาพที่ 5

การวัดประสิทธิภาพแบบไม่ใช้รัศมีจากจุดกำเนิด



สามารถวัดประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรปัจจัยการผลิตได้ ซึ่งเท่ากับ OB/OC ประเด็นสำคัญในการวัดประสิทธิภาพ ที่ได้กล่าวข้างต้นก็คือ การวัดทั้งสองแบบเป็นการวัดระยะรัศมี (Radial Measure) จากจุดกำเนิดไปยังจุดการผลิตที่สนใจ ดังนั้นสัดส่วนโดยเปรียบเทียบจากการใช้ปัจจัยการผลิตหรือผลผลิตจึงมีค่าคงที่ และช่วยให้การเปลี่ยนหน่วยการวัดไม่มีผลต่อค่าของประสิทธิภาพการผลิต ในทางกลับกันการวัดที่ไม่ได้วัดระยะรัศมีจากจุดกำหนดไปยังจุดการผลิตที่สนใจ เช่น การวัดระยะที่สั้นที่สุดจากจุดการผลิตที่สนใจไปยังเส้นพรมแดนการผลิต การเปลี่ยนหน่วยของการวัดจะทำให้มีผลต่อการวัดแบบดังกล่าว กล่าวคือการเปลี่ยนหน่วยการวัดจะมีผลต่อการกำหนดจุดที่ใกล้ที่สุดซึ่งจะส่งผลให้ค่าของการวัดประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น ในภาพที่ 5 การวัดที่ไม่ใช้รัศมีในการวัดประสิทธิภาพ คือ การวัดจากจุดที่ไม่มีประสิทธิภาพ คือ จุด A ไปยังจุด B ซึ่งค่าประสิทธิภาพเท่ากับ BC/AB เมื่อมีการเปลี่ยนหน่วยปัจจัยการผลิต เช่น แรงงานจากจำนวนคนเป็นจำนวนชั่วโมงก็จะทำให้ค่าประสิทธิภาพเปลี่ยนไป

3. Data Envelopment Analysis (DEA)

ตามที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่า แนวคิดวิธีการวัดประสิทธิภาพโดยวิธี DEA นั้นมีพื้นฐานมาจาก Charnes Cooper และ Rhodes (CCR) (1978) และเป็นแนวคิดเริ่มต้นของการพัฒนาวิธีการวัดวิธีนี้ วิธีการของ CCR ได้มีการพัฒนาโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) เพื่อประยุกต์ใช้กับการกำหนดตัวแบบ (Model) ของความเป็นไปได้ในการผลิต (Production Possibilities) CCR ได้ใช้วิธีการกำหนดค่าที่เหมาะสมโดยวิธีโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) เพื่อเป็นการขยายแนวคิดวิธีการวัดของ Farrell ซึ่งเป็นแบบการพิจารณาเพียงผลผลิตเดียว แต่กรณีของ CCR เป็นแบบผลผลิตหลายชนิดและปัจจัยการผลิตหลายชนิดภายใต้การผลิตแบบผลได้ต่อขนาดคงที่ อีกทั้งยังได้ปรับปรุงงานของ Farrell กล่าวคือ การวัดประสิทธิภาพของ Farrell ไม่ได้พิจารณากรณีปัจจัยการผลิตส่วนเกินที่ไม่เท่ากับศูนย์หรือ Non-zero Slacks เนื่องจากปัจจัยการผลิตส่วนเกินที่ไม่เท่ากับศูนย์เป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่มีประสิทธิภาพ และ CCR ยังแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะทำให้ปัจจัยการผลิตส่วนเกินเหล่านี้มีค่าสูงสุดได้โดยที่ไม่ทำให้ค่าการวัดประสิทธิภาพของ Farrell เปลี่ยนไป นอกจากนี้ Färe, Grosskopf และ Lovell (1985) ก็ได้นำเสนอตัวแบบกรณีผลตอบแทนต่อขนาดที่ไม่คงที่ (Variable Returns to Scale) ซึ่งเป็นการ

พัฒนาเพิ่มเติมจากผลงานของ CCR ที่พิจารณาเฉพาะกรณีผลตอบแทนต่อขนาดคงที่เท่านั้น โดยเนื้อหาในส่วนแรกจะกล่าวถึงตัวแบบ CCR และส่วนที่สองจะอธิบายกรณีของปัจจัยการผลิตส่วนเกิน ดังแสดงในหัวข้อ 3.1 และ 3.2

3.1 CCR DEA Model

พื้นฐานการสร้างตัวแบบนี้มาจากความมุ่งหมายที่พยายามจะวัดประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Relative Efficiency) กรณีที่มีผลผลิตและปัจจัยการผลิตหลายชนิดของหน่วยการตัดสินใจการผลิตหนึ่ง ๆ (Decision Making Unit : DMU) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 โดยสมมติว่ามี DMU จำนวน n DMU ที่ต้องพิจารณา แต่ละ DMU ก็ใช้ปัจจัยการผลิตจำนวน m ชนิดที่แตกต่างกันเพื่อผลิตสินค้าจำนวน s ชนิดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ DMU_j จะใช้ปัจจัยการผลิต x_{ij} เพื่อผลิตผลผลิต y_{rj} โดยที่ x_{ij} กับ y_{rj} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และ DMU อย่างน้อยมีปัจจัยการผลิตและผลผลิตหนึ่งชนิดที่มีค่ามากกว่าศูนย์

$$E_1 = \frac{u_1 y_{11} + u_2 y_{21} + \ldots + u_s y_{s1}}{v_1 x_{11} + v_2 x_{21} + \ldots + v_m x_{m1}} = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_{r1} y_{r1}}{\sum_{j=1}^{m} v_{j1} x_{j1}} \qquad (3.1.1)$$

โดยที่ E_1 คือ ประสิทธิภาพของหน่วยที่ 1

u_1 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของผลผลิต r

y_{r1} คือ ปริมาณผลผลิต r จากหน่วยที่ 1

v_j คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยการผลิต j

x_{j1} คือ ปริมาณปัจจัยการผลิต j ที่ใช้ในหน่วยที่ 1

กรณีของรูปแบบทั่วไปซึ่งนำเสนอโดย Charnes, Cooper และ Rhodes สามารถแสดงด้วยสมการที่ 3.1.2 ดังนี้

$$\max h_o(u,v) = \frac{\sum_r u_r y_{ro}}{\sum_i v_i x_{io}} \qquad (3.1.2)$$

ซึ่ง y_{ro} กับ x_{io} คือ ค่าผลผลิตและปัจจัยการผลิตที่เป็นอยู่ของ DMU_o และสมมติต่อไปว่าอัตราส่วนผลผลิตต่อปัจจัยการผลิตของแต่ละ DMU ในสมการที่สองนั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าหนึ่งหรือเท่ากับ 1 ดังนั้นปัญหาโปรแกรมคณิตศาสตร์จึงแสดงได้ดังสมการที่ 3.1.3

$$\max h_o(u,v) = \frac{\sum_r u_r y_{ro}}{\sum_i v_i x_{io}} \qquad (3.1.3)$$

ภายใต้ข้อจำกัด $\sum_r u_r y_{rj} / \sum_i v_i x_{ij} \le 1$ สำหรับ j=1 ถึง n และ u_r กับ v_i มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ สำหรับทุก ๆ i และ r จากสมการที่ 3.1.3 เพื่อให้เกิดความสะดวกในวิเคราะห์ จึงกำหนดสมการที่ 3.1.3 อยู่ในรูปของเวกเตอร์ ดังสมการที่ 3.1.4 ดังนี้

$$\max_{u,v} (u' y_i / v' x_i) \qquad (3.1.4)$$

ภายใต้ข้อจำกัด $u' y_j / v' x_j \le 1$

u กับ v มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

โดยที่ j เท่ากับ 1 ถึง N ปัญหาที่เกิดขึ้นจากสมการที่ 3.1.3 หรือ 3.1.4 ซึ่งเป็นรูปแบบอัตราส่วนจะทำให้ได้คำตอบที่มีค่าอนันต์ (Infinite Number of Solutions) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวสามารถกำหนดข้อกำจัดใหม่ นั่นคือ กำหนด $v' x_j$ เท่ากับ 1 และจากการแปลงรูป (Transformation) ซึ่งพัฒนาโดย Charnes กับ Cooper (1962) จะทำให้ได้ผลเทียบเท่ากับปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ซึ่งการเปลี่ยนตัวแปรจาก (u,v) เป็น (μ,v) เป็นผลเนื่องมาจากการแปลงรูปของ Charnes กับ Cooper ดังนั้นรูปแบบใหม่ที่ได้เรียกว่า "Multiplier Form" ของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง ดังแสดงในสมการที่ 3.1.5

$$\max_{u,v} (u' y_i)$$

ภายใต้ข้อจำกัด $v' x_i = 1$

$$u'y_j / v'x_j \le 1$$

หรือ $(\mu'y_j / v'x_j) - 1 \le 0$

หรือ $u'y_j - v'x_j \le 0$

μ กับ v มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (3.1.5)

โดยใช้วิธีปัญหาควบคู่ในโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Duality in Linear Programming) ก็จะได้รูปแบบของปัญหาที่เทียบเท่ากัน ซึ่งเรียกว่า "Envelopment Form" ดังแสดงในสมการที่ 3.1.6

$$\begin{aligned} & -y_i + Y\lambda \ge 0 \\ \min_{\theta,\lambda} \theta \quad & \theta x_i - X\lambda \ge 0 \\ \text{ภายใต้ข้อจำกัด} \quad & \lambda \ge 0 \end{aligned} \qquad (3.1.6)$$

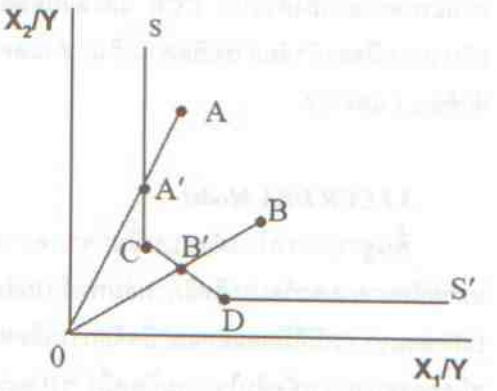
โดยที่ θ เป็นค่าสเกลาร์และ λ เป็นเวกเตอร์ค่าคงที่ ที่มีมิติ (N x 1) รูปแบบในสมการที่ 3.1.6 เป็นรูปแบบที่มีข้อจำกัดน้อยกว่าแบบสมการที่ 3.1.5 ดังนั้นโดยทั่วไปรูปแบบในสมการที่ 3.1.6 จึงนิยมสำหรับการแก้ปัญหามากกว่า และรูปแบบปัญหาข้างต้นจะต้องแก้สมการทั้งหมด N ครั้ง นั่นคือต้องแก้สมการหนึ่งครั้งในแต่ละ DMU ค่าของ θ ที่ได้มาจะแสดงถึงระดับของประสิทธิภาพของ DMU_i ถ้า θ มีค่าเท่ากับ 1 จะแสดงถึงจุดที่อยู่บนเส้นเส้นพรมแดนและเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคตามคำนิยามของ Farrell กรณีของผลตอบแทนต่อขนาดที่ไม่คงที่ (Variable Returns to Scale) จะเพิ่มข้อจำกัด $N1'\lambda = 1$ (N1 หมายถึงมิติ N x 1) เข้าไปในสมการที่ 3.1.6 ส่วนกรณีของผลตอบแทนต่อขนาดคงที่จะใช้รูปแบบในสมการที่ 3.1.6

3.2 ปัจจัยการผลิตส่วนเกิน (Input Excess or Slacks)

ปัจจัยการผลิตส่วนเกินหรือปัจจัยการผลิตที่มีการใช้มากเกินไปในการผลิตซึ่งสะท้อนถึงการจัดสรรทรัพยากรไม่มีประสิทธิภาพ ปัจจัยการผลิตส่วนเกินอาจจะมองได้ว่าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับวิธีการสร้างเส้นพรมแดนในวิธี DEA และอาจจะเกิดขึ้นมาจากขนาดของตัวอย่างที่มีจำกัด ถ้าจำนวนตัวอย่างมีไม่จำกัดหรือจำนวนที่มากแล้วก็จะทำให้ไม่เกิดปัจจัยการผลิตส่วนเกิน นอกจากนั้นปัจจัยการผลิตส่วนเกินอาจจะเกิดจากความไม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากร (Ferrier and Lovell, 1990)

ภาพที่ 6

การวัดประสิทธิภาพกับปัจจัยการผลิตส่วนเกิน



รูปแบบ Piecewise Linear ของเส้นพรมแดนแบบนอนพาราเมตริก (Non-parametric Frontier) ในวิธี DEA อาจจะทำให้เกิดปัญหาในการวัดประสิทธิภาพ ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นจากส่วนของเส้นตรงใน Piecewise Linear ที่ขนานกับแกน ดังในภาพที่ 2 ซึ่งจะไม่เกิดขึ้นกับกรณีรูปแบบฟังก์ชันพาราเมตริก สำหรับตัวอย่างของปัญหาแบบนี้จะนำเสนอในภาพที่ 6

จากภาพที่ 6 DMU ซึ่งใช้ชุดของปัจจัยการผลิต C กับ D เป็น DMU ที่มีประสิทธิภาพ ส่วน DMU A กับ B เป็นจุดที่ไม่มีประสิทธิภาพ ตามนิยามการวัดแบบ Farrell ที่จุด A ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคเท่ากับ OA'/OA และที่จุด B ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคเท่ากับ OB'/OB อย่างไรก็ตามก็มีคำถามเกิดขึ้นว่าที่จุด A' เป็นจุดที่มีประสิทธิภาพหรือไม่ เนื่องจากสามารถที่จะลดการใช้ปัจจัยการผลิตลงได้อีกโดยที่ผลผลิตยังคงเท่าเดิม สถานการณ์เช่นนี้เรียกว่า

เกิดปัจจัยการผลิตส่วนเกิน (Input Slack) สังเกตว่าสำหรับ DMU ใด ๆ ผลผลิตส่วนเกิน (Output Slack) จะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อ $Y\lambda - Yi = O$ ขณะที่ปัจจัยการผลิตส่วนเกินจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อ $\theta x_i = X\lambda = o$ ในภาพที่ 6 การจัดการสำหรับปัญหากรณีข้างต้นก็มีบางผลงานที่แนะวิธีแก้ไขโดยโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงขั้นที่สอง (Secondstage Linear Programming) ด้วยการทำให้ผลรวมของผลผลิตและปัจจัยการผลิตส่วนเกินนั้นมีค่าสูงที่สุด (Ali and Seiford, 1993) ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรงขั้นที่สองแสดงในสมการที่ 3.2.1

$$\min_{\lambda,s_o,s_i} -(M1'S_o + K1'S_i)$$
$$\text{ภายใต้ข้อจำกัด } -y_i + Y\lambda - S_o = 0$$
$$\theta x_i - X\lambda - S_i = 0$$
$$\lambda \geq 0, S_o \geq 0, S_i \geq 0 \qquad (3.2.1)$$

โดยที่ S_o คือ ผลผลิตส่วนเกินที่มีมิติ Mx1 S_i คือ ปัจจัยการผลิตส่วนเกินที่มีมิติ Kx1 และ M1 กับ K1 คือ Mx1 กับ Kx1 เป็นเวกเตอร์ของ 1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวิธีแก้ปัญหาโดยโปรแกรมเชิงเส้นตรงขั้นที่สองก็ยังก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องการเปลี่ยนหน่วยการวัดและผลรวมของ Slack ทั้งกรณีผลผลิตและปัจจัยการผลิตมักจะถูกทำให้มีค่าสูงสุดมากกว่าที่จะเป็นค่าต่ำสุด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว Coelli (1997) จึงแนะนำให้ใช้วิธี DEA แบบหลายขั้นตอน (Multiplestage Linear Programming)

4. Stochastic Frontier Analysis (SFA)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แนวคิด SFA นั้น มีต้นกำเนิดมาจากผลงาน 2 เรื่องซึ่งมีการตีพิมพ์ไล่เลี่ยกัน ได้แก่ Meeusen กับ van den Broeck (MB) (1977) และ Aigner Lovell กับ Schmidt (ALS) (1977) และผลงานทั้งสองทีมก็มีลักษณะคล้าย ๆ กัน จนกระทั่งมีการรายงานผลงานฉบับที่สามเกี่ยวกับ SFA ของ Battese กับ Corra (1977) ตัวแบบ SFA ดั้งเดิมจากสามผลงานนี้ได้มีการพิจารณาถึงองค์ประกอบของความคลาดเคลื่อน (Composed Error) และแต่ละผลงานก็ได้พัฒนาเกี่ยวกับเส้นพรมแดนการผลิต (Production Frontier) รวมทั้งตัวแบบ SFA ด้วย ซึ่งแสดงได้โดยฟังก์ชันในสมการที่ 4.1

$$y = f(x;\beta)\cdot\exp(v-u) \qquad (4.1)$$

ซึ่ง y คือ ผลผลิตมีค่าเป็นสเกลาร์ x เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิต และ β เป็นเวกเตอร์พารามิเตอร์ องค์ประกอบแรกของความคลาดเคลื่อน $v \sim N(0,\sigma_v^2)$ เป็นความมุ่งหมายที่จะนำผลของตัวรบกวนทางสถิติ (Statistical Noise) เข้ามาพิจารณา องค์ประกอบที่สองของความคลาดเคลื่อนคือ $u \geq 0$ เป็นความมุ่งหมายที่จะนำผลทางด้านความไม่มีประสิทธิภาพเข้ามาพิจารณาด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ผลิตจึงดำเนินการผลิตอยู่บนหรือภายใต้เส้นพรมแดนการผลิต MB ได้กำหนดการกระจายของ u เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution) Battese กับ Corra ได้กำหนดรูปแบบการกระจายของ u เป็นแบบกึ่งเส้นโค้งปกติ (Half-Normal Distribution) และ ALS ก็นำการกระจายทั้งสองแบบมาพิจารณา หลังจากนั้นตัวพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก็จะถูกประมาณ รวมทั้ง $\beta,\sigma_v^2,\sigma_u^2$ ไม่ว่าข้อสมมติการกระจายของ u จะเป็นแบบใดก็ตาม แต่ u จะแสดงถึงความคลาดเคลื่อนซึ่งมีความเบ้ (Skewness) หรือการแจกแจงไม่เป็นเส้นโค้งปกติ (Normal Distribution) เพื่อให้ค่าสถิติมีประสิทธิภาพ จึงต้องประมาณตัวแบบโดยวิธีความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood) ภายหลังประมาณการตัวแบบแล้วก็จะได้ค่าประมาณของค่าเฉลี่ยความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของตัวอย่าง ซึ่งกำหนดโดย $E(-u) = E(v-u) = -(2/\pi)^{1/2}\cdot\sigma_u$ เป็นกรณีของการกระจายแบบกึ่งเส้นโค้งปกติ และ $E(-u) = E(v-u) = -\sigma_u$ เป็นกรณีของเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบปกติ (Normal-exponential)

การพัฒนา SFA หลังปี ค.ศ. 1977 Forsund, Lovell และ Schmidt (1980 : 14) ก็ได้กล่าวถึงจุดด้อยของวิธี SFA ที่ไม่สามารถจะแยกค่าความคลาดเคลื่อนของปัจเจก (Individual Residual) เข้าไปสู่ความคลาดเคลื่อนสององค์ประกอบได้ ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะประมาณค่าความไม่มีประสิทธิภาพจากกลุ่มตัวอย่างที่กำลังพิจารณา วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้ค่าเฉลี่ยของความไม่มีประสิทธิภาพของกลุ่มตัวอย่างนั้นทั้งหมด ต่อมาผลงานของ Jondrow และคณะ (JLSM) (1982) ได้ใช้เทอม $[u_i/(v_i-u_i)]$ เพื่อจะได้ค่าประมาณความไม่มีประสิทธิภาพของแต่ละผู้ผลิตจากกลุ่มตัวอย่าง ความพยายามที่จะได้มาซึ่งค่าประมาณของประสิทธิภาพจากลักษณะเฉพาะของผู้ผลิตจึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในวิธี SFA ความสนใจเกี่ยวกับรูปแบบการกระจายของ u ซึ่งเป็นแบบการกระจายที่เรียกว่า "Single Parameter Distribution" ก็ยังคงได้รับความสนใจไม่ว่าจะเป็น Afriat (1972), Richmond (1974) และ Greene (1980a, b) ที่นำเสนอการกระจายแบบแกรมม่า (Gamma Distribution) Stevenson (1980) เสนอการกระจายแบบ Gamma distribution กับ Truncate Normal Distribution ต่อมา Lee (1983) นำเสนอ Four-parameter Pearson Family Distribution อย่างไรก็ตามการกระจายแบบ Single Parameter สองแบบข้างต้นก็ยังเป็นที่ใช้แพร่หลายในงานวิจัยเชิงประจักษ์ ต่อมามีความพยายามที่จะวัดประสิทธิภาพในหลายแบบ เช่น Cost Frontier หรือ Profit Frontier ซึ่งแต่ละแบบก็มีความเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ นอกจากนี้ SFA ก็ยังมีการวัดที่ใช้กับข้อมูลทั้งที่เป็นแบบภาคตัดขวาง (Crossectional Data) และแบบพาเนล (Panel Data) ซึ่งแบบพาเนลก็จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผู้ผลิตเปลี่ยนไปตามเวลาและทำให้มองภาพของสมรรถนะของการผลิตได้ดียิ่งขึ้น

ในอันดับต่อไปจะได้กล่าวถึงวิธี SFA ที่แต่ละแบบมีข้อสมมติที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้มีเส้นพรมแดน (Frontier) แบ่งได้ 4 ประเภท ประกอบด้วย Production Frontier, Cost Frontier, Revenue Frontier และ Profit Frontier โดยจะได้กล่าวต่อไป

4.1 วิธีเส้นพรมแดนการผลิต (Production Frontier)

ในหัวข้อนี้จะสมมติการผลิตใช้ปัจจัยการผลิต N ชนิด เพื่อผลิตสินค้า 1 ชนิด สำหรับผู้ผลิตจำนวน I ราย ตัวแบบเส้นพรมแดนการผลิต (Production Frontier Model) ดังแสดงในสมการที่ 4.1.1

$$y_i = f(x;\beta)\cdot TE_i \qquad (4.1.1)$$

โดยที่ y_i คือ ผลผลิตของผู้ผลิต i โดยที่ i เท่ากับ 1 ถึง I

x_i คือ เวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตจำนวน N ชนิดที่ใช้โดยผู้ผลิต i

$f(x;\beta)$ คือ เส้นพรมแดนการผลิต (Production Frontier or Maximum Feasible Output)

β คือ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า

เนื่องจากสมการที่ 4.1.1 แสดงประสิทธิภาพการผลิตที่เน้นทางด้านผลผลิต (Output-oriented Technical Efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคนิค เท่ากับ

$$TE_i = \frac{y_i}{f(x;\beta)} \qquad (4.1.2)$$

ซึ่งสมการที่ 4.1.2 แสดงอัตราส่วนของผลผลิตที่เป็นอยู่กับผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (เส้นพรมแดนการผลิต) ถ้า TE_i เท่ากับ 1 แสดงว่า y_i สามารถบรรลุระดับการผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด ถ้า TE_i น้อยกว่า 1 จะแสดงถึงการให้ค่าการวัดของจำนวนผลผลิตที่ขาดเมื่อเทียบกับระดับการผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด แต่เนื่องด้วยผลผลิตอาจจะได้รับผลกระทบจากผลกระทบจากภายนอก

(Random Shock) ซึ่งผู้ผลิตไม่สามารถควบคุมได้ เมื่อนำผลกระทบภายนอกเข้าสู่ตัวแบบจึงเรียก $f(x;\beta)\cdot\exp\{v_i\}$ ว่า Stochastic Production Frontier เขียนสมการที่ 4.1.1 ใหม่ได้ดังสมการที่ 4.1.3

$$y_i = f(x;\beta)\cdot\exp\{v_i\}\cdot TE_i \qquad (4.1.3)$$

ถ้าสมมติว่า $f(x;\beta)$ อยู่ในรูป Log-linear Cobb-Douglas และในรูป Translog ดังนั้นจะได้สมการที่ 4.1.4 และ สมการที่ 4.1.5 ตามลำดับ

$$\ln y_i = \beta_0 + \sum_n \beta_n \ln x_{ni} + v_i - u_i \qquad (4.1.4)$$

$$\ln y_i = \beta_0 + \sum_n \beta_n \ln x_{ni} + \frac{1}{2}\sum_n\sum_k \beta_{nk} \ln x_{ni} \ln x_{ki} + v_i - u_i \qquad (4.1.5)$$

โดยที่ n, k = 1, 2,..., N หมายถึงปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการผลิต จากสมการที่ 4.1.4 และสมการที่ 4.1.5 หากมีปัจจัยการผลิต 4 ชนิด สมการที่ 4.1.4 และสมการที่ 4.1.5 สามารถเขียนใหม่ได้ตามลำดับดังนี้

$$\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln x_{1i} + \beta_2 \ln x_{2i} + \beta_3 \ln x_{3i} + \beta_4 \ln x_{4i} + v_i - u_i \qquad (4.1.6)$$

$$\begin{aligned}\ln y_i = {} & \beta_0 + \beta_1 \ln x_{1i} + \beta_2 \ln x_{2i} + \beta_3 \ln x_{3i} + \beta_4 \ln x_{4i} \\ & + \frac{1}{2}\beta_5(\ln x_{1i})^2 + \frac{1}{2}\beta_6(\ln x_{2i})^2 + \frac{1}{2}\beta_7(\ln x_{3i})^2 + \frac{1}{2}\beta_8(\ln x_{4i})^2 \\ & + \beta_9 \ln x_{1i} \ln x_{2i} + \beta_{10} \ln x_{1i} \ln x_{3i} + \beta_{11} \ln x_{1i} \ln x_{4i} \\ & + \beta_{13} \ln x_{2i} \ln x_{4i} + \beta_{14} \ln x_{3i} \ln x_{4i} + v_i - u_i\end{aligned} \qquad (4.1.7)$$

สามารถนำสมการที่ 4.1.6 และสมการที่ 4.1.7 ไปประมาณค่าเพื่อหาค่าพารามิเตอร์และสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของผู้ผลิตแต่ละรายได้

4.2 วิธีเส้นพรมแดนต้นทุน (Cost Frontier)

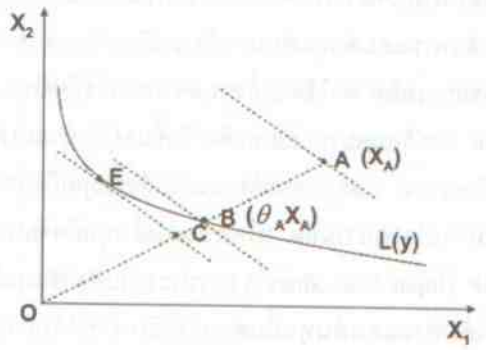
วิธีเส้นพรมแดนการผลิตในหัวข้อที่แล้วเป็นการวัดประสิทธิภาพที่เน้นทางด้านผลผลิต (Out-put-oriented Approach) ส่วนกรณีของวิธีเส้นพรมแดนต้นทุนจะเป็นการวัดแบบเน้นทางด้านปัจจัยการผลิต (Input-oriented Approach) สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างวิธีเส้นพรมแดนการผลิตกับวิธีเส้นพรมแดนต้นทุนก็คือวิธีเส้นพรมแดนต้นทุนต้องการข้อมูลเกี่ยวกับราคาของปัจจัยการผลิต ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจากการใช้ปัจจัยการผลิต และข้อมูลปริมาณผลผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ และอาจจะต้องรวมไปถึงข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณปัจจัยการผลิต หรือส่วนแบ่งต้นทุนปัจจัยการผลิต (Input Cost Shares) การประมาณฟังก์ชันกรณีวิธีเส้นพรมแดนต้นทุนนั้นสามารถวิเคราะห์กับกรณีของผลผลิตได้หลายชนิด แต่วิธีเส้นพรมแดนการผลิตใช้กับผลผลิตเพียงชนิดเดียว ประการที่สามวิธีเส้นพรมแดนต้นทุนพิจารณาถึงปัจจัยการผลิตกึ่งคงที่ (Quasi-fixed Inputs) นั่นคือปัจจัยการผลิตบางชนิดจะไม่ถูกนำมาใช้ในบางช่วงเวลาของการผลิต ประการสุดท้ายวิธีเส้นพรมแดนต้นทุนถือว่าเป็นความพยายามที่จะทำให้ต้นทุนต่ำที่สุดซึ่งมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในสภาพแวดล้อมที่มีการแข่งขันกันซึ่งราคาปัจจัยการผลิตและความต้องการผลผลิตถูกกำหนดจากตลาด ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยภายนอก ดังนั้นสภาพที่มีการแข่งขันมากเท่าไร วิธีเส้นพรมแดนต้นทุนก็มีความเหมาะสมมากเท่านั้น อุตสาหกรรมที่มีการควบคุมโดยรัฐก็มีความเหมาะสมกับวิธีดังกล่าว เช่น การผลิตไฟฟ้า เนื่องจากผลผลิตในอุตสาหกรรมดังกล่าวไม่สามารถจะเก็บสำรองเป็นสินค้าคงคลังเหมือนกับผลผลิตทั่วไปได้

กรณีของเส้นเส้นพรมแดนต้นทุนนั้นเป็นเส้นที่มีลักษณะที่แตกต่างจากเส้นพรมแดนการผลิต โดยที่เส้นพรมแดนต้นทุนจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับผลผลิต รวมทั้งราคาปัจจัยการผลิตด้วย สามารถแสดงเส้นพรมแดนต้นทุน (ปัจจัยการผลิต 2 ชนิดและผลผลิต 1 ชนิด ตามลำดับ) ดังภาพที่ 7 และ 8

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงต้นทุนนั้น

ภาพที่ 7

เส้นพรมแดนต้นทุน (Cost Frontier) กรณีปัจจัยการผลิต 2 ชนิด และการวัดประสิทธิภาพเชิงต้นทุน



จะสมมติว่าผู้ผลิตเผชิญกับราคาปัจจัยการผลิต $w \in R^N_{++}$ และมุ่งที่จะทำให้ต้นทุน $w^T x$ ต่ำที่สุด เพื่อผลิตผลผลิต $y \in R^M_+$ ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพเชิงต้นทุนจึงเท่ากับอัตราส่วนของต้นทุนที่ต่ำสุดต่อต้นทุนที่เป็นอยู่ และประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรปัจจัยการผลิตเท่ากับอัตราส่วนของต้นทุนที่ต่ำสุดต่อต้นทุนที่เป็นอยู่ภายหลังมีการลดการใช้ปัจจัยการผลิต แสดงด้วยสมการที่ 4.2.1 และสมการที่ 4.2.2 ตามลำดับ

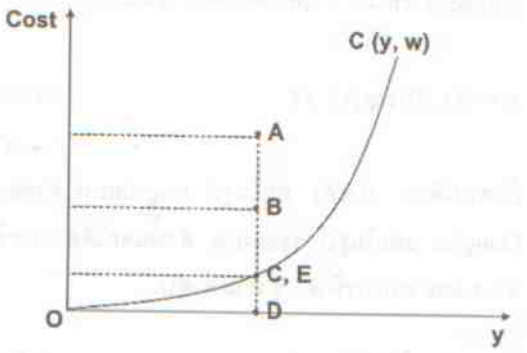
Cost Efficiency ; $CE(y,x,w) = c(y,w) / w^T x$ หรือ $c(y,w) / E$ (4.2.1)

Allocative Efficiency ; $AE_I(y,x,w) = c(y,w) / w^T(\theta x)$ (4.2.2)

โดยที่ θ คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ต่ำที่สุดที่ทำให้การใช้ปัจจัยการผลิตลดลงมา ณ ระดับเส้นเส้นพรมแดน ซึ่งค่า θ ก็คือ TE_I นั่นเอง จากภาพที่ 8 Cost Efficiency ; $CE = CD/AD$ และ $AE_I = CD / BC$ หรือ AE_I = Cost Efficiency$(CE) / TE_I$ ค่า CE เท่ากับ 1 หมายถึง ผู้ผลิตสามารถผลิต ณ ต้นทุนที่ต่ำที่สุดบนเส้นพรมแดนต้นทุน ค่า CE น้อยกว่า 1 หมายถึง ผู้ผลิตผลิต ณ ต้นทุนที่สูงกว่าเส้นพรมแดนต้นทุน

ภาพที่ 8

เส้นพรมแดนต้นทุน (Cost Frontier) กรณีผลผลิต 1 ชนิด และการวัดประสิทธิภาพเชิงต้นทุน



จากแนวคิดข้างต้นเมื่อกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันต้นทุนก็สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์และสามารถคำนวณค่าการวัดประสิทธิภาพเชิงต้นทุนออกมาได้ สมมติว่ารูปแบบเส้นพรมแดนต้นทุนเป็นแบบ Cobb-Douglas ดังนั้นจะได้ตัวแบบดังสมการที่ 4.2.3

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_y \ln y_i + \sum_{n=1} \beta_n \ln\left(\frac{w_{ni}}{w_{Ni}}\right)_i + v_i + u_i \qquad (4.2.3)$$

จากสมการที่ 4.2.1 ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของผู้ผลิต i คือ $CE_i = C(Y_i,W_i;\beta) / E_i$ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เป็นอยู่สูงกว่าเส้นพรมแดนต้นทุนนั้นส่งผลให้เกิดความไม่มีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากผลกระทบภายนอก (Random Shock) ซึ่งผู้ผลิตไม่สามารถควบคุมได้ดังนั้น การวัดประสิทธิภาพเชิงต้นทุนที่เหมาะสมจึงแสดงด้วยสมการที่ 4.2.4

$$CE_i = \frac{c(y_i, w_i; \beta) \cdot \exp\{v_i\}}{E_i} \qquad (4.2.4)$$

โดยใช้สมการที่ 4.2.4 การวัดประสิทธิภาพเชิงต้นทุนก็จะได้

$$CE_i = \exp\{-u_i\} \qquad (4.2.5)$$

กรณีที่ผลผลิตมากกว่าหนึ่งชนิดรูปแบบเส้นพรมแดนต้นทุนแบบ Cobb-Douglas จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ถ้าโครงสร้างของเทคโนโลยีการผลิตมีความซับซ้อน การนำเสนอรูปแบบ Cobb-Douglas ก็จะทำให้ความซับซ้อนนั้นรวมไว้ในค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความลำเอียงของการประมาณค่าต้นทุนของความไม่มีประสิทธิภาพได้ ดังนั้นรูปแบบ Translog ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก Christensen, Jorgenson และ Lau (1971) จึงเป็นรูปแบบที่เหมาะกับกรณีที่ผู้ผลิตมีผลผลิตมากกว่าหนึ่งชนิด ดังแสดงด้วยสมการที่ 4.2.6

$$\ln E = \beta_0 + \sum_m \alpha_m \ln y_{mi} + \sum_n \beta_n \ln w_{ni} + \frac{1}{2}\sum_m \sum_j \alpha_{mj} \ln y_{mi} \ln y_{ji} + \frac{1}{2}\sum_n \sum_k \beta_{nk} \ln w_{ni} \ln w_{ki} + \sum_n \sum_m \gamma_{nm} \ln w_{ni} \ln y_{mi} + v_i + u_i \quad (4.2.6)$$

รูปแบบดังกล่าวสามารถแยกต้นทุนของความไม่มีประสิทธิภาพออกเป็นต้นทุนของความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคกับต้นทุนของความไม่มีประสิทธิภาพเชิงจัดสรรปัจจัยการผลิต ซึ่งรูปแบบทั่วไปของเส้นพรมแดนต้นทุนสามารถแสดงด้วยสมการที่ 4.2.7

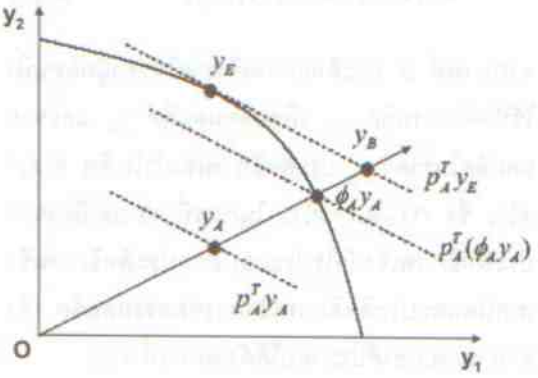
$$\ln E = \ln c(y, w; \beta) + v + u_T + u_A \quad (4.2.7)$$

เพื่อที่จะให้ได้องค์ประกอบสองประเภทข้างต้น รูปแบบ Translog นั้นต้องอยู่ในรูปแบบของสมการร่วม (Simultaneous Equation) และต้องมีข้อมูลปริมาณปัจจัยการผลิตหรือข้อมูลส่วนแบ่งต้นทุนปัจจัยการผลิต (Input Cost Share) สำหรับรายละเอียดรูปแบบของสมการร่วมจะไม่กล่าวในที่นี้

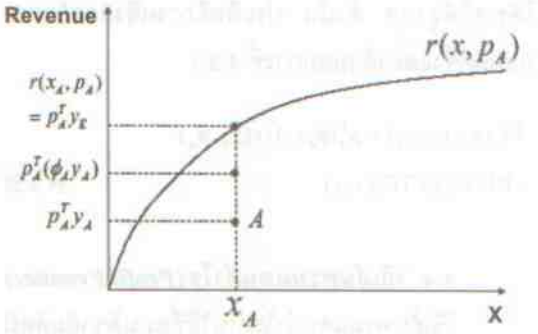
4.3 วิธีเส้นพรมแดนรายได้ (Revenue Frontier)

วิธีนี้มีลักษณะคล้ายกับหัวข้อ 4.2 เพียงแต่วิธีการนี้เน้นจากปัจจัยการผลิตเป็นการเน้นที่ผลผลิต โดยวิธีการนี้รวมทั้งจากหัวข้อ 4.2 จะเป็นพื้นฐานสำหรับของหัวข้อ 4.4 ต่อไป

ภาพที่ 9
เส้นพรมแดนรายได้และการวัดประสิทธิภาพเชิงรายได้ กรณีผลผลิต 2 ชนิด



ภาพที่ 10
เส้นพรมแดนรายได้และการวัดประสิทธิภาพเชิงรายได้ กรณีปัจจัยการผลิต 1 ชนิด



สมมติว่าผู้ผลิตเผชิญกับราคา $p \in R_{++}^M$ และพยายามที่จะทำให้รายได้ $P^T y$ มีค่าสูงสุด ซึ่งมาจากการใช้ปัจจัยการผลิต $x \in R_+^N$ มาตรฐานที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ผลิต คือ เส้นพรมแดนรายได้และความไม่มีประสิทธิภาพเชิงรายได้อาจจะมาจากความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและ/หรือความไม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรผลผลิต การวัดประสิทธิภาพเชิงรายได้สามารถคำนวณจากอัตรา

ส่วนรายได้ที่เป็นอยู่ต่อรายได้สูงสุด ดังสมการที่ 4.3.1 และวิธีการวัดสามารถดูได้จากภาพที่ 9 และภาพที่ 10

$$RE(x,y,p) = p^T y / r(x,p) \qquad (4.3.1)$$

จากภาพที่ 9 ประสิทธิภาพเชิงรายได้ของผู้ผลิตหนึ่งใช้ปัจจัยการผลิต x_A เพื่อผลิตผลผลิต y_A และขายผลผลิตในราคา p_A ประสิทธิภาพเชิงกำไร คือ $p_A^T y_A / p_A^T y_E$ ซึ่ง $r(x_A, p_A) = p_A^T y_E$ ในภาพที่ 10 แต่เนื่องจากประสิทธิภาพเชิงกำไรประกอบด้วยประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรผลผลิต จึงสามารถแยกองค์ประกอบได้ดังสมการที่ 4.3.2

$$TE_o(x_A, y_A) = p_A^T y_A / p_A^T(\phi_A y_A) = \phi_A^{-1} \qquad (4.3.2)$$

แต่จุดดังกล่าวยังไม่ใช่จุดที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงรายได้ ผู้ผลิตยังสามารถจัดสรรผลผลิตใหม่เพื่อให้ได้รายได้สูงสุด ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรผลผลิตจึงแสดงด้วยสมการที่ 4.3.3

$$AE_o(x_A, y_A, p_A) = p_A^T(\phi_A y_A) / r(x_A, p_A)$$
$$= \mathrm{RE(x,y,p)/TE}_o(x,y) \qquad (4.3.3)$$

4.4 วิธีเส้นพรมแดนกำไร (Profit Frontier)

วิธีเส้นพรมแดนกำไรเป็นวิธีที่สมมติว่าผู้ผลิตมีความมุ่งหวังกำไรสูงสุด ในสภาพแวดล้อมที่ราคาผลผลิตและราคาปัจจัยการผลิตเป็นตัวแปรภายนอก และส่วนผลผลิตและปัจจัยการผลิตเป็นตัวแปรภายใน กรณีของผู้ผลิตที่มุ่งหวังกำไรสูงสุดนั้น ผู้ผลิตไม่เพียงแต่ตัดสินใจในการใช้ปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เท่านั้น แต่ยังตัดสินใจเกี่ยวกับผลผลิตต่าง ๆ ที่จะผลิตด้วย ดังนั้นผู้ผลิตจึงพยายามที่จะทำให้ต้นทุนต่ำสุดและมีรายได้สูงสุดด้วย การวิเคราะห์วิธีเส้นพรมแดนกำไรจึงพิจารณาถึงประสิทธิภาพเชิงเทคนิค ประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรปัจจัยการผลิตและประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรผลผลิตด้วย

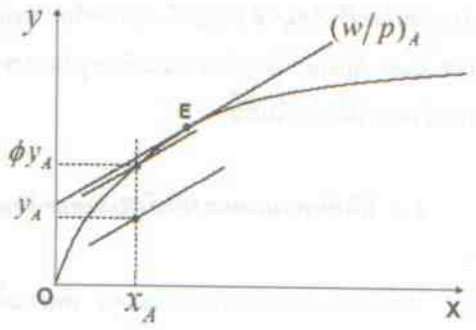
ในสภาพที่ผู้ผลิตเป็นผู้ยอมรับราคาซึ่งกำหนดจากตลาดที่มีการแข่งขันสมบูรณ์ มักจะเกิดคำถามเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องกำไรสูงสุด กล่าวคือ ผู้ผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพนั้นสามารถที่จะอยู่รอดในตลาดได้หรือไม่ คำตอบก็คือ ไม่สามารถจะอยู่อย่างนั้นได้ในระยะยาว ในระยะยาวนั้นกำไรปกติ (Normal Profit) จะเป็นศูนย์ และมีเพียงผู้ผลิตที่มีประสิทธิภาพเท่านั้นที่จะอยู่รอดได้ อย่างไรก็ตามในระยะสั้นนั้นผู้ผลิตสามารถที่จะยอมรับกับการขาดทุนได้เท่าที่การขาดทุนนั้นยังน้อยกว่าต้นทุนคงที่ ดังนั้นหากจะมีการวัดประสิทธิภาพเชิงกำไรในสภาพแวดล้อมที่มีการแข่งขันหรือเป็นผู้ยอมรับราคาแล้ว ก็สามารถจะทำได้ในระยะสั้น ซึ่งปัจจัยการผลิตบางอย่างก็ยังถูกกำหนดจากภายในดังนั้นมาตรฐานที่เหมาะสม สำหรับการประเมินประสิทธิภาพเชิงกำไรในระยะสั้นก็คือแบบวิธีเส้นพรมแดนกำไรผันแปร (Variable Profit Frontier)

สมมติว่าผู้ผลิตเผชิญกับราคาผลผลิต $p \in R_{++}^M$ และราคาปัจจัยการผลิต $w \in R_{++}^N$ และมุ่งหวังที่จะทำให้ $p^T y - w^T x$ (กำไร) สูงสุด โดยใช้ปัจจัยการผลิต $x \in R_+^N$ เพื่อผลิตผลผลิต $y \in R_+^M$ แนวคิดวิธีเส้นพรมแดนกำไรแสดงด้วยภาพที่ 9 และการวัดประสิทธิภาพเชิงกำไร (πE) สามารถคำนวณจากอัตราส่วนกำไรที่เป็นอยู่ต่อกำไรสูงสุด ดังสมการที่ 4.4.1

$$\pi E = (p^T y - w^T x) / \pi(p,w) \qquad (4.4.1)$$

ภาพที่ 11

เส้นพรมแดนกำไรและการวัดประสิทธิภาพเชิงกำไร



และค่าดังกล่าวจะมีค่าน้อยกว่าและเท่ากับ 1 สำหรับในภาพที่ 11 ผู้ผลิตคนหนึ่งเผชิญกับราคา $P_A W_A$ ซึ่งทำให้ค่าประสิทธิภาพกำไรเท่ากับ 1 ณ จุด E ส่วนจุดอื่น ๆ นั้นจะแสดงชุดของผลผลิตและปัจจัยการผลิตอยู่ ณ ระดับที่ไม่มีประสิทธิภาพเชิงกำไร

การแยกองค์ประกอบของประสิทธิภาพกำไรเป็นแบบต่าง ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพเชิงเทคนิค ประสิทธิภาพการจัดสรรปัจจัยการผลิตและประสิทธิภาพการจัดสรรผลผลิตนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้วิธีการวัดแบบเน้นทางด้านผลผลิตหรือปัจจัยการผลิต ในภาพที่ 11 จะพบว่า ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคที่เน้นทางด้านผลผลิตสามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยการเพิ่มผลผลิตจาก y_A ไปสู่ ϕY_A แต่ความไม่มีประสิทธิภาพของการจัดสรรผลผลิตยังอยู่ที่ ϕY_A รวมทั้งความไม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรปัจจัยการผลิตยังอยู่ที่ X_A ซึ่งยังคงได้กำไรที่ต่ำกว่าเส้นเส้นพรมแดนกำไรที่จุด E ในภาพที่ 11 $(\phi Y_A, X_A)$ เกิดขึ้น ณ จุดที่ขนาดการผลิตมีขนาดเล็ก (Small Scale) และไม่มีประสิทธิภาพซึ่งนำไปสู่ความไม่มีประสิทธิภาพเชิงกำไร กรณีของประสิทธิภาพเชิงเทคนิคแบบเน้นทางด้านปัจจัยการผลิตก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือจะนำไปสู่ความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิค ความไม่มีประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรปัจจัยการผลิต และความไม่มีประสิทธิภาพของขนาดการผลิต อย่างไรก็ตามก็ได้มีแยกองค์ประกอบของการวัดประสิทธิภาพเชิงกำไรโดยพิจารณาวิธีเน้นผลผลิตและปัจจัยการผลิตไปพร้อม ๆ กัน ดังแสดงในสมการที่ 4.4.2 ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ 4.4.1

$$PE(y,x,p,w)=\frac{\left(TE_o(x,y)\cdot AE_o(x,y,p)\cdot\left[\frac{r(x,p)}{p^T y(p,w)}\right]\cdot p^T y(p,w)\right)-\left(AE_I^{-1}(y,x,w)\cdot\frac{c(y/TE_o(x,y),w)}{w^T x(p,w)}\cdot w^T x(p,w)\right)}{\pi(p,w)} \quad (4.4.2)$$

จากแนวคิดข้างต้น จะพิจารณาการหาค่าประสิทธิภาพเชิงกำไรจากตัวแบบ โดยสามารถพิจารณากรณีผลผลิตชนิดเดียวซึ่งตัวแบบจะอยู่บนพื้นฐานของ Primal Production Frontier และ Dual Variables Profit Frontier โดยสมมติว่าราคาผลผลิต ราคาปัจจัยผันแปร ปริมาณปัจจัยการผลิตกึ่งคงที่ถูกกำหนดจากภายนอก และสามารถพิจารณาจากกรณีผลผลิตหลายชนิด โดยใช้แนวคิดฟังก์ชันระยะทาง (Primal Distance Function) และ Dual Profit Frontier โดยสมมติว่าราคาผลผลิตและราคาปัจจัยการผลิตถูกกำหนดจากภายนอก รวมทั้งยังสามารถจะคำนวณหาความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและความไม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรปัจจัยการผลิต และความไม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรผลผลิตอีกด้วย

จากแนวคิดข้างต้นสามารถประมาณการประสิทธิภาพเชิงกำไรและแยกประสิทธิภาพเชิงกำไรออกได้เป็นความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและความไม่มีประสิทธิภาพเชิงจัดสรรทรัพยากรอันประกอบด้วยผลผลิตและปัจจัยการผลิต กรณีของตัวแบบที่เป็นผลผลิตชนิดเดียวจะใช้วิธี Primal Production Frontier กล่าวคือ Production Frontier และวิธี First-order Condition เพื่อให้ Variable Profit มีค่าสูงสุด จะนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ รวมทั้งการคำนวณหาค่าความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิค ความไม่มีประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรทรัพยากร และความไม่มีประสิทธิภาพเชิงกำไรผันแปร นอกจากนี้วิธี Dual Variable Profit Frontier ยังนำมาใช้หา Variable Profit Frontier โดยสามารถใช้ได้ทั้งสมการเดี่ยวและแบบระบบสมการ ข้อสังเกตกรณีของ Primal Production Frontier นั้น ได้สมมติว่าผู้ผลิตที่มีประสิทธิภาพนั้นมีแนวโน้มที่จะผลิตเพิ่มขึ้นและใช้ปัจจัยการผลิตมากขึ้นภายใต้ราคาปัจจัยการผลิตและราคาผลผลิตหนึ่ง ๆ นั้นคือ ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคมีความสัมพันธ์กับปริมาณ

การใช้ปัจจัยการผลิตซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการประมาณค่าพารามิเตอร์ในสมการเดี่ยว อย่างไรก็ตาม สามารถลดปัญหานี้ลงได้โดยการทำให้ปัจจัยการผลิตผันแปรเป็นตัวแปรภายใน

กรณีที่ตัวแบบเป็นรูปแบบ Cobb-Douglas จากสมการที่ 4.4.3 ซึ่งแสดงเส้นพรมแดนการผลิตและผู้ผลิตพยายามที่จะทำให้ Variable Profit (ภายใต้เงื่อนไขที่ขึ้นกับ u) มีค่าสูงสุด โดยการ Fist-order Condition จะได้สมการที่ 4.4.4

$$y = f(x,z;\beta)\cdot\exp\{-u\} \qquad (4.4.3)$$

โดยที่ $y \geq 0$ เป็นผลผลิตสเกลาร์ $x = (x_1,...,x_N) \geq 0$ เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตผันแปร $z = (z_1,...,z_q) \geq 0$ เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตกึ่งคงที่ $u \geq 0$ แสดงความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคแบบเน้นทางด้านผลผลิต และ $f(x,z;\beta)$ เป็นฟังก์ชันหลักที่แสดงถึงความแน่นอน (Deterministic Kernel) ของ Stochastic Production Frontier ซึ่งแสดงถึงการนำความไม่แน่นอนเข้าไปพิจารณาในตัวแบบด้วย

$$f_n(x,z;\beta)\cdot\exp\{-u\} = \frac{w_n}{p}\cdot\exp\{-\xi_n\} \qquad (4.4.4)$$

โดยที่ $n = 1,..., N$ และ $w = (w_1,...,w_N) > 0$ คือเวกเตอร์ของราคาปัจจัยการผลิต

$f_n(x,z;\beta) = \partial f(x,z;\beta)/\partial x_n$. $\frac{w_n}{p}$ เป็นราคาปัจจัยการผลิตที่ถูก Normalized และ $p > 0$ เป็นสเกลาร์ของราคาผลผลิต, ξn แสดงถึงความไม่มีประสิทธิภาพในเชิงจัดสรรทรัพยากร เป็นการชี้ให้เห็นถึงการใช้ปัจจัยการผลิตที่ต่ำหรือมากเกินไป ภายใต้ราคาปัจจัยการผลิตที่ถูก Normalized และปริมาณปัจจัยการผลิตกึ่งคงที่ ความไม่มีประสิทธิภาพเชิงการจัดสรรทรัพยากรอาจจะเนื่องมาจากข้อจำกัดหลายประการ (ยกเว้นด้านเทคโนโลยีการผลิต) ซึ่งผู้ผลิตไม่สามารถจะนำไปรวมเข้าไว้ในปัญหาการหาจุดที่เหมาะสมได้ จากสมการที่ 4.4.3 และสมการที่ 4.4.4 และกรณีรูปแบบของ Cobb-Douglas สามารถแสดงดังในสมการที่ 4.4.5 และ 4.4.6

$$\ln y = \beta_0 + \sum_n \beta_n \ln x_n + \sum_q \beta_q \ln z_q + v - u \qquad (4.4.5)$$

$$\ln x_n = \beta_0 + \ln\beta_n + \sum_k \beta_k \ln x_k + \sum_q \gamma_q \ln z_q - \ln\frac{w_n}{p} - u + \xi_n,\ n = 1,...,N \qquad (4.4.6)$$

กรณีของรูปแบบ Translog แสดงด้วยสมการที่ 4.4.7, 4.4.8 และ 4.4.9 ตามลำดับ

$$\ln y = \beta_0 + \sum_n \beta_n \ln x_n + \sum_q \gamma_q \ln z_q + \frac{1}{2}\sum_n\sum_k \beta_{nk} \ln x_n \ln x_k + \frac{1}{2}\sum_q\sum_r \gamma_{qr} \ln z_q \ln z_r + \sum_n\sum_q \delta_{nq} \ln x_n \ln z_q + v - u \qquad (4.4.7)$$

$$S_n = \varepsilon_n\cdot\exp\{\xi_n\} = \left[\beta_n + \sum_k \beta_{nk} \ln x_k + \sum_q \delta_{nq} \ln z_q\right]\cdot\exp\{\xi_n\},\ n = 1,...,N \qquad (4.4.8)$$

$$\ln x_n = \ln y_{/v=0} + \ln\frac{w_n}{p} - \ln\left[\beta_n + \sum_k \beta_{nk} \ln x_k + \sum_q \delta_{nq} \ln z_q\right] + \xi_n\ ,n = 1,...,N \qquad (4.4.9)$$

เนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพสองประการข้างต้นทำให้กำไรผันแปรลดลง จึงพยายามที่จะวัดความไม่มีประสิทธิในกำไรผันแปรออกมาโดยใช้วิธี Dual Variable Profit Frontier ดังแสดงในสมการที่ 4.4.10

$$v\pi = v\pi(pe^{-u}, w^t, z;\beta)$$
$$= v\pi(p,w,z;\beta)\cdot h(p,w,z,u,\beta,\xi) \qquad (4.4.10)$$

โดยที่ $w^* = (w_1^*,...,w_N^*) = (w_1 \cdot \exp\{-\xi_1\},...,w_N \cdot \exp\{-\xi_N\})$, $v\pi(pe^{-u}, w^*, z; \beta)$ คือ กำไรผันแปรสูงสุดกรณีมีความไม่มีประสิทธิภาพทั้งสองแบบ $v\pi(p,w,z;\beta)$ คือ กำไรผันแปรสูงสุดกรณีมีประสิทธิภาพทั้งสองแบบ ดังนั้นกำไรที่สูญเสียไปอันเนื่องมาจากความไม่มีประสิทธิภาพ จึงกำหนดโดยฟังก์ชัน $h(p,w,z,u;\beta,\xi)$ รูปแบบฟังก์ชันนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบฟังก์ชันของ $v\pi(p,w,z;\beta)$ สำหรับรายละเอียดของวิธีเส้นพรมแดนกำไรสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Kumbharkar และคณะ (Kumbharkar et al, 2000 : 185-215)

5. จุดเด่นและจุดด้อยของวิธีการวัดประสิทธิภาพ

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นกรณีวิธี DEA หรือ SFA ก็มีแนวคิดการวัดประสิทธิภาพที่อยู่บนพื้นฐานแนวคิดเดียวกัน แต่อาจจะแตกต่างกันไปตามตัวแบบของการวัด ซึ่งความแตกต่างในหลาย ๆ ประเด็นก็ทำให้ผลของการวัดประสิทธิภาพแตกต่างกันได้ ดังนั้นการเข้าใจถึงจุดเด่นจุดด้อยในแต่ละวิธีก็จะทำให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมหรือตามความมุ่งหมาย

5.1 จุดเด่นและจุดด้อยของ DEA

5.1.1 จุดเด่นของ DEA

ประการแรก วิธี DEA นั้นมีข้อได้เปรียบกว่า SFA ก็คือไม่ต้องมีการสมมติฟังก์ชันของเส้นพรมแดนว่าจะเป็นแบบใด แต่ DEA จะใช้เงื่อนไขของ Piecewise Linear ที่ต่ำที่สุดก็เพียงพอแล้ว ด้วยเหตุนี้ข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันจึงไม่เกิดขึ้น

ประการที่สอง วิธีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพมีความซับซ้อนน้อยกว่า SFA จึงทำให้วิธี DEA นิยมกันมากในงานวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Operation Research) เช่น การวัดประสิทธิภาพกรณีผลผลิตหลายชนิด

ประการสุดท้าย วิธี DEA ไม่ต้องมีการสมมติรูปแบบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนของความไม่มีประสิทธิภาพหรือรูปแบบการกระจายของ u

5.1.2 จุดด้อยของ DEA

ประการแรก เนื่องจาก DEA ไม่มีการประมาณค่าพารามิเตอร์จึงทำให้เกิดข้อเสียเปรียบกว่า SFA ก็คือ ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบหรือโมเดลที่เหมาะสม

ประการที่สอง การวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี DEA อาจได้รับผลกระทบจากตัวรบกวนซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ผลผลิตมีความผันแปรอันเนื่องมาจากผลกระทบภายนอก เช่น ความคลาดเคลื่อนของการวัดสภาพแวดล้อมของการผลิต เป็นต้น ส่งผลให้เกิดความครุมเครือในการตีความในค่าประสิทธิภาพ

ประการที่สาม ไม่สามารถจะทำการทดสอบทางค่าสถิติได้ เนื่องจาก DEA ใช้วิธีการของโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์

ประการที่สี่ หากจำนวนกลุ่มตัวอย่างน้อยอาจจะทำให้ตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจำนวนผลผลิตมีขนาดใหญ่

ประการสุดท้าย ในการวัดประสิทธิภาพจะต้องใช้ตัวอย่างจำนวนมากเพื่อทำให้ค่าที่ได้จากการวัดมีถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น

5.2 จุดเด่นและจุดด้อยของ SFA

5.2.1 จุดเด่นของ SFA

ประการแรก วิธี SFA ได้ให้ความสำคัญแก่องค์ประกอบของความคลาดเคลื่อน ซึ่งได้แก่ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวรบกวนและความไม่มีประสิทธิภาพ แต่ในทางปฏิบัติแล้วความไม่มีประสิทธิภาพนั้นมักจะเป็นสัดส่วนเพียงเล็กน้อยของความผันแปรในผลผลิตทั้งหมด

ประการที่สอง วิธี SFA สามารถใช้การอนุมานทางสถิติสำหรับรูปแบบของฟังก์ชันของเส้นพรมแดนและแสดงระดับนัยสำคัญของตัวแปรอิสระได้

ประการที่สาม วิธี SFA นั้นอยู่บนพื้นฐานทางทฤษฎี โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแบบเส้นพรมแดนที่พยายามอธิบายถึงโลกของความเป็นจริงของการเปรียบเทียบระหว่างกันในกลุ่มตัวอย่าง โดยพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ และความไม่มีประสิทธิภาพของข้อมูล จากปัญหาข้างต้นจึงมีการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันของความไม่มีประสิทธิภาพรูปแบบการกระจายที่นิยมใช้กัน คือ Half-Normal Distribution และ Exponential Distribution รูปแบบการกระจายเหล่านี้ได้สมมติว่ามีผู้ผลิตหรือธุรกิจจำนวนมากที่มีประสิทธิภาพและมีเพียงจำนวนน้อยที่ไม่มีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ลักษณะของเส้นพรมแดนส่วนใหญ่จึงได้รับผลกระทบจากกลุ่มตัวอย่างในทางปฏิบัติผู้ผลิตหรือธุรกิจโดยส่วนมากอาจจะไม่มีประสิทธิภาพ ในกรณีนี้รูปแบบการกระจายที่ได้กล่าวข้างต้นอาจจะไม่เหมาะสม และหากให้ความสำคัญกับความมีประสิทธิภาพและความไม่มีประสิทธิภาพเท่า ๆ กัน ก็จะต้องมีการพัฒนารูปแบบการกระจายต่อไป ส่วนรูปแบบการกระจาย เช่น Truncated-Normal และ Gamma Distributions ถึงแม้จะมีความยุ่งยากซับซ้อนแต่ก็สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้ แต่อย่างไรก็ตามก็มีการศึกษาในเรื่องการกระจายดังกล่าว เช่น Greene (1990) ซึ่งได้ให้คำแนะนำว่าการเลือกรูปแบบการกระจายนั้นไม่ใช่สาระสำคัญ

ประการสุดท้าย วิธีเส้นพรมแดนต้นทุนสามารถใช้ได้กับกรณีผลผลิตหลายชนิดได้เช่นเดียวกับวิธี DEA แต่มีความซับซ้อนกว่า

5.2.2 จุดด้อยของ SFA

ประการแรก การแยกองค์ประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นตัวรบกวนและความไม่มีประสิทธิภาพอาจจะได้รับผลกระทบจากรูปแบบของการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านั้น และอาจได้รับผลกระทบจากข้อสมมติที่ว่าความเบ้ของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวชี้วัดของความไม่มีประสิทธิภาพ

ประการที่สอง หากมี Outliers เกิดขึ้นในกลุ่มตัวอย่างจะทำให้ตัวแบบเส้นพรมแดนการผลิตสะท้อนถึงตัวรบกวนที่มีมากเกินไป ดังนั้นจะพบว่าความไม่มีประสิทธิภาพนั้นจะมีเพียงจำนวนน้อยหรือความมีประสิทธิภาพของตัวอย่างนั้นมีมากเกินไป ปัญหาของ Outliers อาจจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่กลุ่มของตัวอย่างมีความแตกต่างกันมาก

ประการสุดท้าย ถึงแม้สามารถจะนำสถิติมาใช้ในวิธี SFA แต่ก็อาจจะพบกับปัญหาทางด้านสถิติอันได้แก่ ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ การละทิ้งตัวแปรสำคัญ ค่าความคลาดเคลื่อนไม่กระจายอย่างปกติ ค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ จำนวนค่าองศาความเป็นอิสระมีจำนวนน้อย เป็นต้น นอกจากนี้กรณีกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อย วิธี Maximum Likelihood ก็ไม่สามารถรับประกันได้ว่าสุดท้ายแล้วตัวประมาณต่าง ๆ จะเป็นไปตามคุณสมบัติทางสถิติหรือไม่ เช่น ความไม่ลำเอียงของตัวประมาณ ความมีประสิทธิภาพของตัวประมาณ เป็นต้น

6. แนวทางการเลือกใช้วิธีการวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพเป็นเครื่องที่มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยกัน (Benchmarking) อย่างไรก็ตามการเลือกวิธีการวัดประสิทธิภาพก็มีความสำคัญ เพราะแต่ละวิธีก็มีเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าของการวัดที่ได้แตกต่างกันด้วย

นักวิจัยบางท่านพยายามที่จะจำลองสถานการณ์เพื่อตรวจสอบถึงสมรรถนะของวิธี SFA กับ DEA ซึ่งพบว่าถ้าหากใช้รูปแบบของฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกับของจริงมากก็จะทำให้วิธี SFA มีสมรรถนะที่ดีกว่าวิธี DEA แต่ถ้าหากการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันผิดพลาดและระดับความสัมพันธ์ระหว่างของตัวแปรอิสระกับความไม่มีประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นแล้ววิธี DEA ก็จะได้รับการพิจารณามากกว่า นอกจากนี้

กรณีที่ตัวรบกวน (Noise) มีความสำคัญต่อข้อมูล DEA ก็จะมีความด้อยกว่าวิธี SFA สำหรับแนวทางในการเลือกใช้วิธีการวัดพอจะสรุปได้ดังนี้

1. หากผลของค่าความคลาดเคลื่อนและตัวรบกวนทางสถิติมีผลอย่างมากต่อข้อมูล

2. รูปแบบของฟังก์ชันมีการกำหนดอย่างถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริง

3. การละทิ้งตัวแปรมีความสำคัญต่อค่าวัดประสิทธิภาพที่ได้ และ

4. การทดสอบสมมติฐานทางสถิติมีความสำคัญ

วิธี SFA ก็จะมีความเหมาะสมกว่า แต่ในทางตรงกันข้าม หากพิจารณาแล้วว่า

1. ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันสูง

2. ผลของความคลาดเคลื่อนและตัวรบกวนทางสถิติมีความสำคัญน้อย

3. มีความลำบากในการกำหนดรูปแบบการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนของความไม่มีประสิทธิภาพ และ

4. มีความลำบากในการกำหนดพฤติกรรมที่แน่ชัดของหน่วยการผลิต เช่น ต้นทุนต่ำสุด เป็นต้น

วิธี DEA ก็จะมีความเหมาะสมกว่า

7. บทสรุป

ตามที่ได้นำเสนอสาระข้างต้น ซึ่งประกอบด้วยแนวคิดพื้นฐานของการวัดประสิทธิภาพ วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ จุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละวิธี ตลอดจนแนวทางการเลือกใช้ ซึ่งท้ายที่สุดแล้วต้องพิจารณาว่าการนำวิธีการวัดมาใช้ในแต่ละครั้งซึ่งเผชิญสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันนั้น จะมุ่งเน้นและให้ความสำคัญในประเด็นใดเป็นลำดับสำคัญก่อนหลัง จากนั้นจึงนำวิธีการวัดแต่ละวิธีมาใช้ให้สอดคล้องกับปัญหาที่เผชิญอยู่ได้อย่างเหมาะสมต่อไป อย่างไรก็ตามวิธีการวัดข้างต้นเป็นการกล่าวถึงเฉพาะกรณีที่ข้อมูลเป็นแบบภาคตัดขวางและค่าการวัดประสิทธิภาพเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนั้นหากการวัดที่พิจารณาเรื่องเวลาเข้าไปด้วยก็จะแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเมื่อเวลาเปลี่ยนไปและสามารถนำค่าการวัดค่าประสิทธิภาพนั้นไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านขนาดของเนื้อหา บทความนี้จึงไม่ได้นำตัวอย่างการศึกษาเชิงประจักษ์มาแสดงให้เห็นภาพที่ชัดเจน ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ www.nitiphong. com หรือติดต่อสอบถามที่ econ555@gmail.com

นอกจากนี้ผู้ที่สนใจในการวัดประสิทธิภาพเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้กับการวัดประสิทธิภาพของผลผลิตทางด้านการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาประสิทธิภาพของผู้ผลิตสินค้าการเกษตร เช่น ข้าว ไหม ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง ชา กาแฟ เป็นต้น เพื่อเตรียมความพร้อมกับการเปิดเขตการค้าเสรี (FTA) รวมไปถึงอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

เอกสารอ้างอิง

Afriat, S.N. 1972. Efficiency Estimation of Production Functions. *International Economic Review*, 13 : 3 (October), 568-98.

Aigner, D., C.A.K. Lovell, P. Schmidt. 1977. Formulation .and Estimation of Stochastic Frontier Production Models. *Journal of Econometrics*, 6 : 21-7.

Ali, A.I. and L.M. Seiford. 1993. *The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis*, in Fried, H.O. C.A.K. Lovell and S.S. Schmidt (Eds), The Measurement of Productive Efficiency, Oxford University Press, New York, 120-59.

Battese, G.E., G.S. Corra. 1997. Estimation of a Production Frontier Model : With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21 : 169-79.

Charnes, A. and W.W. Cooper. 1962. Programming with Linear Fractional Functional. *Naval Research Logistics Quarterly*, 9 : 181-85.

Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes. 1978. Measuring the Inefficiency of Decision-Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2 : 429-44.

Christensen, L. R., D.W. Jorgenson and L.J. Lau. 1971. Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Functions. *Econometrica*, 39 : 255-56.

Coelli, T. 1997. *Total Factor Productivity Growth in Australia Coal-Fired Electricity Generation : A Malmquist Index Approach*. Working Paper, Department of Econometrics, University of New England, Armidale, Australia.

Debreu, G. 1951. The Coefficient of Resource Utilisation. *Econometrica*, 19 : 273-92.

Farrell, M.J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society* (A, general) 120, pt.3 : 253-81.

Färe, R. and C.A.K. Lovell. 1978. Measuring the Technical Efficiency of Production. *Journal of Economic Theory*, 19 : 150-62.

Färe, R., S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell. 1985. *The Measurement of Efficiency of Production*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Ferrier, G.D. and C.A.K. Lovell. 1990. Measuring Cost Efficiency in Banking: Econometric and Linear Programming Evidence. *Journal of Econometrics*, 46 : 1/2 (October/November), 229-45.

Forsund, F.R., C.A.K. Lovell. and P. Schmidt, 1980. A Survey of Frontier Production Functions and of Their Relationship to Efficiency Measurement. *Journal of Econometrics*, 13 : 1 (May), 5-25.

Greene, W.H. 1980. Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Productions. *Journal of Econometrics*, 13 : 27-6.

Greene, W.H. 1990. A Gamma-Distributed Stochastic Frontier Model. *Journal of Econometrics*, 46 : 1/2 (October/November) : 141-64.

Jondrow, J., C.A.K. Lovell, I.S. Materov and P. Schmidt. 1982. On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics*, 19 : 233-38.

Koopmans, T.C. 1951. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities, in T.C. Koopmans. (Eds.). *Activity Analysis of Production and Allocation*. Cowles Commission for Research in Economics. Monograph No. 13. New York : Wiley.

Kumbhakar, S.C. and C.A.K. Lovell. (Eds.). 2000. *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge : Cambridge University Press.

Lee, L.F.1983. A Test for Distributional Assumptions for the Stochastic Frontier Functions. *Journal of Econometrics*, 22 : 3 (August), 245-67.

Meeusen, W. and Van der Broeck, J. 1977. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 18 : 435-44.

Richmond, J. 1974. Estimating the Efficiency of Production. *International Economic Review*, 15 : 2 (June), 515-21.

Shephard, R.W. 1953. *Cost and Production Functions*. Princeton University Press.