บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด และทฤษฎี

การวัดประสิทธิภาพและผลิตภาพตามวิธีเส้นพรมแดน(Frontier Methods) แยกเป็น 2 แนวทางคือ(อัครพงศ์ อั้นทอง, 2546)

1) Data Envelopment Analysis (DEA) เป็นวิธีการคำนวณที่ใช้ Linear Programming ที่พัฒนาโดย Charnes, Cooper and Rhodes (1978)โดยแบบจำลองที่นำเสนอเป็นการพิจารณาทางด้านปัจจัยการผลิต(InputOrientation)และสมมุติให้แบบจำลองดังกล่าวมีลักษณะของผลตอบแทนจากขนาดคงที่ หรือ Constant Returns to Scale (CRS) ในขณะที่ Banker, Charnes and Cooper (1984) ได้เสนอแนะแบบจำลองที่มีลักษณะผลตอบแทนผันแปร หรือ Variable Returns to Scale (VRS) ในเวลาต่อมานักเศรษฐศาสตร์หลายท่านได้พัฒนาแบบจำลองที่พิจารณาทางด้านผลผลิต (Output Orientation)

2) Stochastic Frontiers Analysis (SFA) เป็นวิธีคำนวณที่ใช้หลักการทางเศรษฐมิติซึ่งวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parametric)ที่ได้รับความนิยมและใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันได้แก่วิธีการความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood) วิธีการนี้ถูกนำเสนอในปีค.ศ. 1977 โดย Aigner, Lovel and Schmidt (1977) และ Meeusen and Van den Broeck (1977) ซึ่งต่อมาได้มีนักเศรษฐศาสตร์หลายท่านได้พัฒนาและเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองเส้นพรมแดนเชิงเฟ้นสุ่ม (Stochastic Frontier Model)อย่างต่อเนื่องอีกหลายงานการศึกษาโดยงานที่นำเสนอมีทั้งการพัฒนาแบบจำลองและการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆเช่นการประมาณค่าฟังก์ชันการผลิต ฟังก์ชันกำไรเป็นต้น

DEA ประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานจากหลายปัจจัยนำเข้า (Multiple Inputs) และหลายปัจจัยผลผลิต (Multiple Outputs)ที่นิยมคือตัวแบบ CCR (Charnes, Cooper and Rhodes) ตัวแบบBCC (Banker, Charnes and Cooper) และตัวแบบ RCCR (Andersen and Petersen) ขึ้นอยู่กับการเพิ่ม หรือลดเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือเงื่อนไขของแต่ละตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (ประสพชัย พสุนนท์ และคณะ, 2551)

การวัดประสิทธิภาพถูกนำมาใช้พิจารณาผลการดำเนินงานของหน่วยผลิตค่าประสิทธิภาพที่วัดสามารถใช้เปรียบเทียบระหว่างหน่วยผลิตเพื่อประกอบการพิจารณาระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการดำเนินงานของหน่วยผลิตประสิทธิภาพของหน่วยผลิตสามารถประเมินตามสมการดังนี้(อัครพงศ์ อั้นทอง, 2547)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลผลิต (Outputs)}}{\text{ปัจจัยการผลิต (Inputs)}}$$

การวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานนิยมวัดด้วยประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้ในแต่ละหน่วยผลิตกับค่ามาตรฐานการเปรียบเทียบระหว่างหน่วยผลิตนั้นค่ามาตรฐานก็คือค่าที่ได้จากหน่วยผลิตที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยผลิตที่กำลังศึกษาทั้งหมดหรืออาจกล่าวได้ว่าหน่วยผลิตนั้นเป็นหน่วยผลิตที่อยู่ในระดับเส้นพรมแดนส่วนหน่วยผลิตอื่นๆจะมีศักยภาพหรือประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบของหน่วยผลิตสามารถประเมินได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ} = \frac{\text{ผลรวมผลผลิตถ่วงน้ำหนัก}}{\text{ผลรวมปัจจัยการผลิตถ่วงน้ำหนัก}}$$

ค่าประสิทธิภาพด้านเทคนิค (TechnicalEfficiency :TE) คำนวณจากสัดส่วนระหว่างระยะจากจุดเริ่มต้น ณ จุดที่ผลผลิตและปัจจัยการผลิตเป็นศูนย์ (ตามรูป 2-1) ไปถึงจุดบนเส้นพรมแดนที่อยู่ในแนวรัศกับหน่วยตัดสินใจที่กำลังพิจารณา หารด้วยระยะทั้งหมดตามเส้นรัศมีจากจุดเริ่มต้นไปถึงตำแหน่งปัจจุบันของหน่วยตัดสินใจที่กำลังพิจารณาประสิทธิภาพทางเทคนิคแยกเป็น 2 กรณีคือกรณีที่ 1 ผลตอบแทนจากขนาดคงที่ (Constant Returns to Scale:TE_{CRS}) ตามแนวคิดของ Charnes, Cooper and Rhodes (1978) และกรณีที่ 2 กรณีผลตอบแทนผันแปร (Variable Technical Efficiency:TE_{VRS})ตามแนวคิดของ Banker, Charnes and Cooper (1984)สำหรับประสิทธิภาพกรณีผลตอบแทนผันแปรอาจเรียกว่าประสิทธิภาพด้านวิทยาการเนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่แสดงถึงความสามารถดำเนินการตามวิทยาการความรู้ส่วนประสิทธิภาพจากขนาด(Scale Efficiency: SE) เป็นสัดส่วนระหว่าง TE_{CRS}/TE_{VRS}แสดงถึงความด้อยประสิทธิภาพอันเนื่องจากการใช้ส่วนผสมของปัจจัยการผลิตที่ไม่เหมาะสมและการผลิตในขนาดที่ไม่เหมาะสม เมื่อมองจากวิทยาการความรู้ในขณะนั้น (สุภศิว์สุวรรณเกสรและคณะ, 2552)

หน่วยธุรกิจที่มีค่า TE_{CRS}น้อยกว่า 1 หมายความว่าหน่วยธุรกิจนั้นด้อยประสิทธิภาพโดยรวมและไม่อยู่บนเส้นพรมแดนส่วนค่า TE_{VRS}คือค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคที่แท้จริงคำนวณได้จากค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคกรณีผลตอบแทนจากขนาดผันแปรจากการมีขนาดของหน่วยผลิตที่แตกต่างกัน(Variable Returns toScale) ค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้ประกอบด้วยประสิทธิภาพเชิงการผลิตเท่านั้นซึ่งหมายถึงระดับวิทยาการหรือเทคโนโลยีที่ใช้องค์ความรู้ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์กรการผลิตโดยใช้ปัจจัยนำเข้าในระดับที่เหมาะสมเป็นต้น ค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคที่แท้จริง (TE_{VRS})เท่ากับ 1หมายความว่าหน่วยธุรกิจมีการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพทางเทคนิคค่า TE_{VRS}น้อยกว่า 1 หมายความว่าหน่วยธุรกิจนั้นด้อยประสิทธิภาพทางเทคนิคเนื่องจากการใช้ส่วนผสมของปัจจัยนำเข้าที่ไม่เหมาะสม

ค่าประสิทธิภาพจากขนาดแสดงให้ทราบว่าเมื่อมีการใช้ปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนแล้วผลผลิตจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนมากน้อยเพียงใดหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพต่อขนาดแสดงว่าการเพิ่มปัจจัยนำเข้าอย่างเป็นสัดส่วนผลผลิตที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนในขนาดคงที่หรือที่เรียกกันว่ามีผลตอบแทนจากขนาดคงที่(Proportionate)หากหน่วยผลิตสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นแสดงว่าหน่วยผลิตนั้นมีการผลิตที่มีผลตอบแทนจากขนาดเพิ่มขึ้น (Increasing Returns to Scale) และในทางตรงกันข้ามหากหน่วยผลิตสามารถผลิตได้น้อยกว่าสัดส่วนของปัจจัยนำเข้าแสดงว่าการผลิตมีผลตอบแทนจากขนาดลดลง (Decreasing Returns to Scale) ค่า SE จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

ค่า SE เท่ากับ 1 หมายความว่าหน่วยผลิตมีผลการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพต่อขนาดและค่า SE น้อยกว่า 1 หมายความว่าหน่วยผลิตนั้นด้อยประสิทธิภาพต่อขนาดอันเนื่องจากมีการผลิตในขนาดที่ไม่เหมาะสม

สมชาย หาญหิรัญ(No date) ได้รวบรวมแนวคิดและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพการผลิตและกล่าวไว้ว่า ประสิทธิภาพของหน่วยผลิตคือความสามารถที่หน่วยผลิตจะเพิ่มผลผลิตภายใต้ทรัพยากรเท่าเดิม หรือความสามารถที่ประหยัดทรัพยากรลงโดยไม่เปลี่ยนแปลงผลผลิต การวัดประสิทธิภาพการผลิตของหน่วยผลิตในยุคปัจจุบันเริ่มต้นจากงานของFarrell (1957) จึงมองว่าประสิทธิภาพของหน่วยผลิตจะประกอบด้วยประสิทธิภาพ 2 ด้านคือ ประสิทธิภาพด้านเทคนิค และประสิทธิภาพด้านการจัดสรรทรัพยากร

การวัดประสิทธิภาพอาจกำหนดให้ปริมาณการผลิตสินค้าหนึ่งชนิด (y) เกิดจากปัจจัยการผลิตสองชนิดหรือมากกว่า เช่นปัจจัยด้านแรงงาน (x_1) และปัจจัยด้านเงินลงทุน (x_2) หรือกำหนดให้ปริมาณการผลิตสินค้าสองชนิดหรือมากกว่า(y_1 และ y_2) เกิดจากการใช้ปัจจัยการผลิตหนึ่ง (x) ภายใต้ตลาดสินค้าและปัจจัยการผลิตที่เป็นตลาดแข่งขันสมบูรณ์และการผลิตที่มีผลตอบแทนจากขนาดคงที่

เพื่อให้สอดคล้องกับความหมายของคำว่าประสิทธิภาพการผลิต การวัดประสิทธิภาพจะแยกออกเป็นสองแนวทางคือ ประสิทธิภาพที่มุ่งเน้นปัจจัยการผลิต (Input-Oriented)และประสิทธิภาพที่มุ่งเน้นปัจจัยด้านผลผลิต (Output-Oriented)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวัดประสิทธิภาพการผลิตด้านปัจจัยการผลิตจะตอบคำถามที่ว่า“ปัจจัยการผลิตสามารถลดลงได้มากเท่าใดโดยไม่เปลี่ยนแปลงจำนวนผลผลิต” ในขณะที่การวัดประสิทธิภาพการผลิตด้านผลผลิตเป็นการวัดเพื่อตอบคำถามที่ว่า “หน่วยผลิตสามารถเพิ่มผลผลิตมากเท่าใด โดยไม่เพิ่มจำนวนปัจจัยการผลิต”

ภายใต้ข้อสมมุติของการผลิตสินค้าที่มีผลตอบแทนจากขนาดคงที่และมีปัจจัยการผลิตสองชนิด เส้นผลผลิตเท่ากัน (Isoquant) ของหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพสามารถกำหนดขึ้นมาได้ หน่วยผลิตที่ใช้สัดส่วนปัจจัยการผลิตอยู่บนเส้นนี้แสดงถึงการใช้ปัจจัยการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของในการผลิตสินค้า ณ ปริมาณที่กำหนด แสดงด้วยเส้นSS′ในรูป 2-1 และเส้น ZZ′ ในรูป 2-2

ประสิทธิภาพที่มุ่งเน้นปัจจัยการผลิต

ตามรูป 2-1 ความไม่มีประสิทธิภาพด้านเทคนิคของหน่วยผลิต P คือ ระยะ QP ซึ่งแสดงถึงจำนวนของปัจจัยการผลิตที่สามารถลดลงหรือประหยัดได้โดยไม่ลดจำนวนปริมาณผลผลิต หากคิดเป็นร้อยละของปัจจัยการผลิตที่สามารถลดลงได้ก็คือสัดส่วนของระยะ QP/0P ประสิทธิภาพด้านเทคนิคของหน่วยผลิต P จึงคำนวณได้ดังนี้

Technical Efficiency = [1-(QP/0P)] = 0Q/0P

การวัดประสิทธิภาพด้านการจัดสรรทรัพยากรหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพด้านการใช้ทรัพยากรสูงสุดได้แก่หน่วยผลิตที่จุด Q′ซึ่งเป็นจุดที่เส้นราคาปัจจัยการผลิตA-A′สัมผัสกับเส้น Isoquant ที่ตำแหน่ง Q′และประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรของหน่วยผลิต P แสดงได้จากสัดส่วนของระยะ 0R/0Q ระยะRQ แสดงถึงความสามารถในการลดต้นทุนการผลิตรวมลงได้หากหน่วยผลิตสามารถเลือกใช้สัดส่วนปัจจัยการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ระดับราคาที่กำหนด คือที่จุด Q′แทนที่จะผลิตที่จุด Q

ประสิทธิภาพการผลิตรวม (Total Economic Efficiencyหรือ Total Cost Efficiency-CE) ของหน่วยผลิต P คือผลคูณของประสิทธิภาพด้านเทคนิคและประสิทธิภาพด้านการจัดสรรทรัพยากร ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

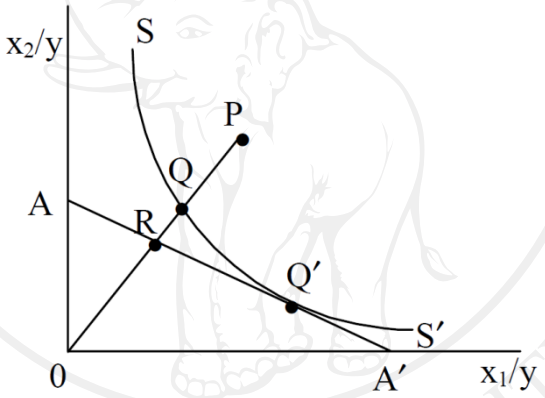
CE = (TE) x (AE) = (0Q/0P)x(0R/0Q) = (0R/0P)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

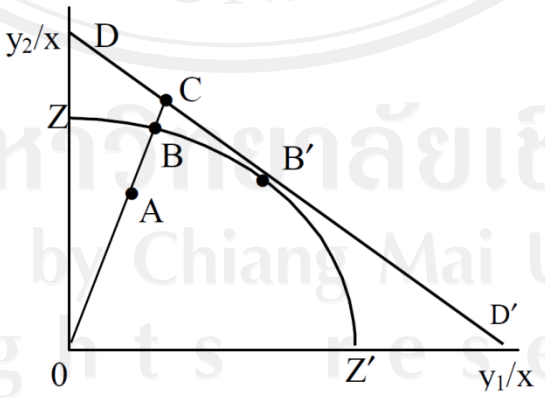
ประสิทธิภาพที่มุ่งเน้นผลผลิต

ตามรูป 2-2 ประสิทธิภาพทางด้านเทคนิคสามารถวัดได้จากสัดส่วนของปริมาณที่หน่วยผลิตผลิตได้เทียบกับที่ควรจะได้ ซึ่งก็คือ 0A/0B ซึ่งหากสามารถหาค่าของผลผลิตทั้งสองประเภทได้ ก็จะสามารถสร้างเส้นราคาผลผลิตออกมาเป็นเส้น Isorevenue D-D'เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรซึ่งก็คือรายได้ที่ควรจะเพิ่มขึ้นหากหน่วยผลิตเลือกสัดส่วนของผลผลิตที่ทำการผลิตได้อย่างถูกต้องภายใต้เงื่อนไขของราคาผลผลิตที่กำหนดโดยตลาดแข่งขันสมบูรณ์ ประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรคำนวณจากสัดส่วนระยะห่างของ0B/0Cและประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์โดยรวมคำนวณได้ดังนี้

$$CE = (TE)x(AE) = (0A/0B)x(0B/0C) = (0A/0C)$$



รูป 2-1 การวัดประสิทธิภาพแบบมุ่งเน้นปัจจัยการผลิต



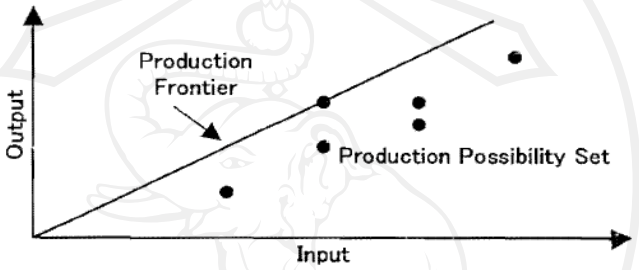
รูป 2-2การวัดประสิทธิภาพแบบมุ่งเน้นผลผลิต

(ที่มา : สมชาย หาญหิรัญ (No date). แนวคิดการวัดประสิทธิภาพการผลิตทางเศรษฐศาสตร์)

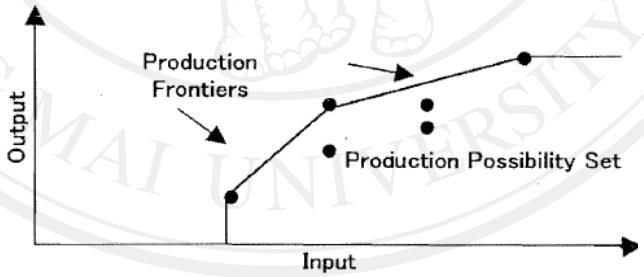
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การกำหนดเส้นพรมแดนแบบผลตอบแทนคงที่ และผลตอบแทนผันแปร

รูป2-3 แสดงถึงการกำหนดหน่วยผลิตเส้นพรมแดนโดยตัวแบบ CCRที่สร้างขึ้นตามสมมุติฐานผลตอบแทนจากขนาดคงที่(CRS) เส้นพรมแดนที่ได้เป็นเส้นที่ลากจากจุดกำเนิดผ่านตำแหน่งหน่วยตัดสินใจที่มีผลการดำเนินงานดีที่สุด การวิเคราะห์ตามแนวคิดนี้จึงทำให้จำนวนหน่วยตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเส้นพรมแดนมีมากกว่า เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์โดยตัวแบบ BCC ตามสมมุติฐานผลตอบแทนผันแปร (VRS)ดังรูป2-4เส้นพรมแดนกำหนดจากหน่วยตัดสินใจที่มีผลการดำเนินงานดีที่สุดในแต่ละระดับของการใช้ปัจจัยการผลิต



รูป2-3การกำหนดเส้นพรมแดนโดยวิธีผลตอบแทนคงที่



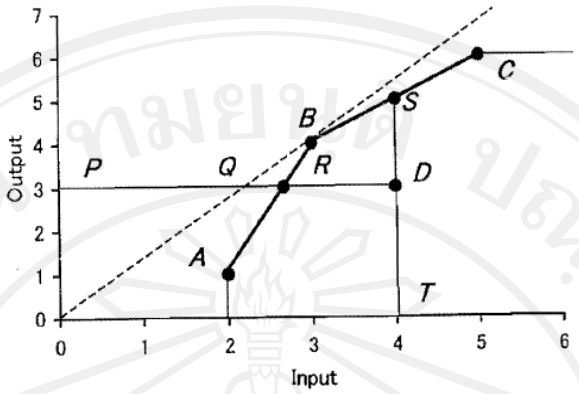
รูป2-4การกำหนดเส้นพรมแดนโดยวิธีผลตอบแทนผันแปร

(ที่มา : William W. Cooper *et al*.(2002). Data Envelopment Analysis Third Printingp.86)

ตามรูป 2-5เส้นประที่ลากจากจุดตั้งต้น 0,0 ผ่านจุด B ที่เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มตามแนวคิดการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ CCR ผลการดำเนินงานของหน่วยตัดสินใจที่อยู่บนแนวเส้นประ ถือเป็นหน่วยตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสูงในระดับเส้นพรมแดน(Efficient Frontier) กรณีนี้มีเพียงหน่วยตัดสินใจ B เพียงหน่วยเดียวที่มีประสิทธิภาพอยู่บนเส้นพรมแดน ส่วนเส้นทึบที่ลากผ่านจุด A, B และจุด C เป็นเส้นพรมแดนตามแนวคิดการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ BCCที่สร้างจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมมุติฐานผลตอบแทนผันแปร กรณีนี้จะมีหน่วยตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสูงในระดับเส้นพรมแดน 3 หน่วยคือ A B และ C



รูป 2-5การประเมินประสิทธิภาพตามโมเดลCCR และ BCC

(ที่มา : William W. Cooper *et al*. (2002). Data Envelopment Analysis Third Printingp.87)

การคำนวณประสิทธิภาพทำได้ดังนี้

ประสิทธิภาพทางเทคนิคกรณีผลตอบแทนคงที่ TE_{CRS} = PQ/PD

ประสิทธิภาพทางเทคนิคผลตอบแทนผันแปร TE_{VRS} = PR/PD

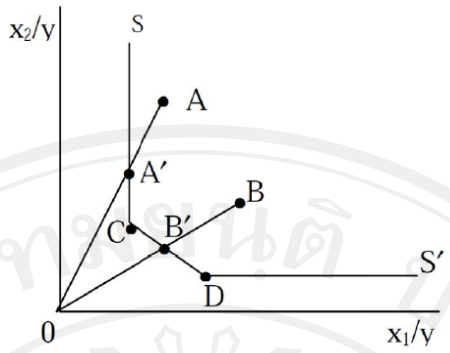
ประสิทธิภาพจากขนาด SE = TE_{CRS}/ TE_{VRS}

ประสิทธิภาพทางเทคนิคผลตอบแทนผันแปร (TE_{VRS})อาจเรียกอีกชื่อคือประสิทธิภาพด้านวิทยาการ (Pure Technical Efficiency) หมายถึงความสามารถในการใช้เทคนิควิทยาการต่างๆที่มีอยู่ ประกอบด้วยวิทยาการด้านการผลิตและการจัดการ เพื่อจัดสรรปัจจัยการผลิตให้เกิดผลผลิตสูงสุดและเหนือกว่าองค์กรอื่น

Slacks

Slacks แสดงถึงความไม่มีประสิทธิภาพที่หน่วยผลิตต้องหาทางลดหรือกำจัดออกไป ตัวอย่างเช่นตำแหน่ง A' ดังแสดงในรูป 2-6แม้เป็นตำแหน่งบนเส้นพรมแดนของDMU_Aแต่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ DMU_Aใช้ปัจจัยการผลิตสูงกว่า DMU_Cระยะ A'-C จึงเป็นInput Slacksซึ่งหมายถึงจำนวนปัจจัยการผลิตที่ DMU_Aสามารถลดลงได้โดยไม่จำเป็นต้องลดผลผลิต หรือในทางกลับกัน Output Slacks หมายถึงจำนวนผลผลิตที่ DMU สามารถเพิ่มผลผลิตได้โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มปัจจัยการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2-6 การวัดประสิทธิภาพการผลิตที่แสดงถึง Input Slacks

(ที่มา: Coelli T.J.(No date). A Guide to DEAP V.2.1:A Data Envelopment Analysis ComputerProgram p.13)

ตามรูป 2-6 เห็นได้ว่าหน่วยตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพอยู่บนเส้นพรมแดนที่อยู่ใกล้หน่วยตัดสินใจ B คือหน่วยตัดสินใจ C และ D ทั้งสองหน่วยจึงเป็นหน่วยตัดสินใจที่เป็นคู่เทียบ (Peers) ที่เหมาะสมของหน่วยตัดสินใจ B

การโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการวิเคราะห์ด้วย DEA

การวิเคราะห์ DEA เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หลักการวิเคราะห์สถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-ParametricApproach)และใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นในการสร้างผลผลิตสูงสุด (Product Maximization) จากข้อจำกัดของปัจจัยการผลิต หรือการลดปัจจัยการผลิต (Input Minimization) ที่ระดับผลผลิตหนึ่งเพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพการดำเนินงานและการใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด

การโปรแกรมเชิงเส้นกรณีผลตอบแทนคงที่(Coelli T.J.,No date)

สมมุติให้หน่วยผลิตN หน่วย (Decision Making Unit:DMU) ใช้ปัจจัยการผลิต K หน่วยที่ผลผลิต Mหน่วย กำหนดให้x_iและ y_iเป็นเวคเตอร์ปัจจัยการผลิต และผลผลิตของ DMU_iและ Input Matrix X=KxN และ Output Matrix Y=MxN

DEA เป็นการวิเคราะห์เพื่อระบุ DMU ที่มีประสิทธิภาพการดำเนินงานอยู่บนเส้นพรมแดนและ DMUที่ไม่มีประสิทธิภาพที่อยู่ห่างจากเส้นพรมแดนภายใต้สมมุติฐาน CRS สามารถกำหนดประสิทธิภาพในรูปสัดส่วนการผลิตดังนี้

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

St. $u'y_j/v'x_j \leq 1, \quad j=1,2,3,\ldots N$

$u,v \geq 0$(u :Mx1 vector of output weights, v : Kx1 vector of input weights)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพื่อตัดปัญหา infinite solution ในการคำนวณหาค่า u,v จึงกำหนดให้ $v'x_i = 1$ ดังนั้น

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

St. $v'x_i = 1$

$\mu'y_j - v'x_j \leq 0, \quad j=1,2,3,\ldots N$

$\mu, v \geq 0$ (μ,v:Transformation)

ด้วยการใช้ Duality กับ Linear Programming สามารถแปลงสมการข้างต้น ให้อยู่ในรูปของ Equivalent Envelopment ดังนี้

$$\min_{\theta\lambda}\theta,$$

St. $-y_i + Y\lambda \geq 0,$

$\theta x_i - X\lambda \geq 0,$

$\lambda \geq 0$

เมื่อθคือEfficiency score ของ DMU in scalar, λ เป็น Nx1 vector of constants

การโปรแกรมเชิงเส้นกรณีผลตอบแทนผันแปร

การแข่งขันที่ไม่สมบูรณ์อาจทำให้บางDMU ดำเนินการอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่า Optimum Scale เรียกสถานการณ์นี้ว่าผลตอบแทนจากขนาดผันแปรกรณีดังกล่าว Banker, Charnes and Cooper (1984) ได้แนะนำ DEA Model ที่เหมาะสมโดยนำ CRS Linear Programming มาปรับปรุงดังนี้

$$\min_{\theta\lambda}\theta,$$

St. $-y_i + Y\lambda \geq 0$

$\theta x_i - X\lambda \geq 0,$

$N1'\lambda = 1$ (โดย N1 คือ N x 1 vector ของแต่ละหน่วย)

$\lambda \geq 0$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสิทธิภาพทางเทคนิคผลที่มีต่อลักษณะของผลตอบแทน

เพื่อให้สามารถระบุได้ว่า DMU ที่กำลังพิจารณามีผลการดำเนินงานอยู่ในช่วงผลตอบแทนเพิ่มขึ้น (Increasing Returns to Scale) หรืออยู่ในช่วงผลตอบแทนลดลง (DecreasingReturns to Scale) สามารถหาคำตอบได้จาก Linear Programming ดังนี้

$\min_{\theta\lambda}\theta$,

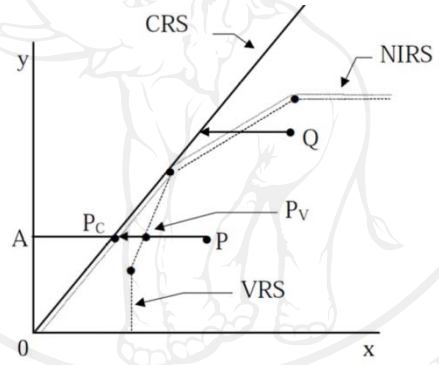
St. $-y_i + Y\lambda \geq 0$,

$\theta x_i - X\lambda \geq 0$,

$N1'\lambda \leq 1$

$\lambda \geq 0$

รูป 2-7 แสดงให้เห็นว่า DMU ที่มีค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค TE_{NIRS} ไม่เท่ากับ TE_{VRS} แสดงว่า DMU นั้นมีผลตอบแทนอยู่ในช่วง Increasing Returns to Scaleการดำเนินงานในช่วงนี้ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปัจจัยการผลิต ส่วน DMU ที่มีประสิทธิภาพทางเทคนิค TE_{NIRS} และ TE_{VRS}เท่ากันแสดงว่ามีผลตอบแทนอยู่ในช่วง Decreasing Returns to Scaleเป็นช่วงที่อัตราการเพิ่มผลผลิตจะลดลงหรือไม่เพิ่มขึ้นเลยแม้เพิ่มปัจจัยการผลิต



รูป 2-7 การวัดประสิทธิภาพต้นทุน ตามตัวแบบ CRS

(ที่มา: Coelli T.J.(No date). A Guide to DEAP V.2.1: A Data Envelopment Analysis Computer Program p.20)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษายังไม่พบว่ามีการใช้แนวคิด Data Envelopment Analysis เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดำเนินงานในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยแต่มีการเทียบเคียงผลการดำเนินงานกิจการผลิตไฟฟ้าตามแนวคิด Benchmarking ระหว่างองค์กรที่ดำเนินธุรกิจผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยดังนี้

ก. การเทียบเคียงผลการดำเนินงานของธุรกิจผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

H.Panda and K.Ramanathan (1997) ได้ประเมินความสามารถทางเทคโนโลยีเพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์ โดยใช้กรณีศึกษาระหว่างการไฟฟ้าแห่งประเทศฝรั่งเศส (Electricite de France:

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

EDF) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เป็นการศึกษาโครงร่างความสามารถในด้านเทคโนโลยีขององค์กรทั้งสองโดยพิจารณาถึงจุดแข็งและจุดอ่อนที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้วัฒธรรมองค์กร ขนาดขององค์กร กลยุทธ์ขององค์กร ระดับความสามารถของการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อการรวบรวมความรู้ความสามารถ อัตราการเติบโตทางเศรษฐศาสตร์ การเงินนโยบายรัฐและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานะทางการตลาด ข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณาเปรียบเทียบแยกรายประเด็นและแผนภูมิเรดาร์ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า EDFมีผลการดำเนินงานอยู่ในระดับสูงในด้านการสร้างสรรค์ การขายและการตลาด การให้บริการ การจัดหา การให้การสนับสนุน และความสามารถในการกำกับดูแลองค์กร ส่วนงานด้านการออกแบบและงานวิศวกรรม และความสามารถในการผลิตอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง สำหรับงานด้านการก่อสร้างอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง

ทางด้าน กฟผ. ผลการศึกษาพบว่าความสามารถด้านก่อสร้าง การออกแบบและวิศวกรรม รวมทั้งความสามารถในการจัดหามีระดับความสามารถต่ำถึงปานกลาง แต่ความสามารถด้านการผลิต การขายและการตลาดอยู่ในระดับสูง ความสามารถในด้านการให้การสนับสนุน และการกำกับดูแลองค์กรอยู่ระหว่างปานกลางถึงสูง

ฝ่ายประสิทธิภาพการผลิตการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(2548)ได้ทำ Benchmarking ระหว่างโรงไฟฟ้าเอกชน 2 แห่งโดยใช้แบบสอบถามเพื่อสำรวจประสิทธิภาพด้านการเดินเครื่องและบำรุงรักษาย้อนหลัง 1 รอบการบำรุงรักษาใหญ่ (Major Overhaul) ซึ่งมีระยะเวลาประมาณ 6 ปี นอกจากนั้นยังได้สอบถามข้อมูลด้านกลยุทธ์งานบำรุงรักษาซึ่งเป็นกระบวนการทำงานที่สำคัญต่อการแข่งขันในธุรกิจการผลิตไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้จะนำมาประมวลวิเคราะห์ ทำรายงานด้านสมรรถนะตามขอบเขตของการศึกษาซึ่งได้แก่ค่าความพร้อมจ่ายค่าความน่าเชื่อถือ อัตราการหยุดเครื่องฉุกเฉินตัวชี้วัดด้านต้นทุนการผลิต และบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย การวิเคราะห์ข้อมูลใช้แนวทางการแบ่งแยกระดับความสามารถด้วยกราฟ 4 Quadrants(QA/QB/QC/QD)เปรียบเทียบสมรรถนะทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์กันทีละคู่ และสรุปBenchmark ความสามารถที่เด่นกว่า หรือด้อยกว่าระหว่างโรงไฟฟ้าทั้งสอง

การเทียบเคียงด้วยแนวคิด Benchmarkingที่ดำเนินการข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง 2 กิจการ ซึ่งแม้จะทราบถึงสิ่งที่เด่นกว่าหรือด้อยกว่า แต่ก็ไม่ทราบว่าทั้ง 2 กิจการมีผลการดำเนินงานอยู่ในระดับใดในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกันหรือกิจการที่ประกอบธุรกิจคล้ายกัน จุดอ่อนสำคัญของการเทียบเคียงดังกล่าวคือการไม่ทราบที่มาอย่างชัดเจนว่ามีความเหมาะสมหรือถูกต้องอย่างไรที่จะนำกิจการทั้งสองมาเทียบเคียงกัน อาจมีกิจการอื่นที่ดีกว่าหรือเหมาะสมกว่าที่จะใช้เป็นคู่เทียบ(Peers) และผลการศึกษาควรทราบด้วยว่าปัจจัยที่ทำให้ผลการดำเนินงานของกิจการด้อยกว่านั้นคืออะไร และมีความอ่อนด้อยกว่ากันมากน้อยเพียงใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. การใช้ DEA เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าโดยปกติเป็นการผลิตตามคำสั่งของผู้ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การควบคุมผลผลิตจึงมีความยืดหยุ่นน้อย ดังนั้นโรงไฟฟ้าต่างๆจึงมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตเพื่อรักษาไว้หรือปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ผลการศึกษาต่อไปนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ DEA แบบมุ่งเน้นปัจจัยการผลิต

Pun-Lee Lam *et al*.(2001) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ DEA เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนในประเทศจีน ข้อมูลหน่วยผลิตโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่รวบรวมจาก 30 เขตมณฑลและจังหวัดต่าง ๆ ในปี 1995 และปี 1996 ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย DEA โดยกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นผลผลิต (Outputs)ขณะที่มีปัจจัยการผลิต (Inputs) 3 ตัวแปรคือเงินทุนโดยวัดจากกำลังการผลิตติดตั้ง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงวัดจากพลังงานความร้อนที่ใช้และจำนวนแรงงานที่ใช้ ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความแตกต่างประสิทธิภาพการดำเนินงานค่อนข้างสูงในกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา มีหน่วยผลิต 8 แห่งที่มีผลการดำเนินงานอยู่ในเส้นพรมแดนคือ Beijing, Hebei, Shanghai, Jiangsu, Shandong,Guangdong, Xizang และ Ningxia ส่วนใหญ่ของหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพตั้งอยู่ชายฝั่งทะเลตะวันออก รวมทั้งจังหวัดที่มีแหล่งถ่านหินเช่น Shangxi, Shandong, Hebei และ Henan หน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพต่ำสุดคือ Yunnan

นอกจากนี้ยังพบ Slacks การใช้เชื้อเพลิง7.85-8.54% และSlacks การใช้แรงงาน 11.10-26.13% ซึ่งหน่วยผลิตจะต้องเร่งปรับปรุง สำหรับ Slacks เงินลงทุนที่วัดจากกำลังการผลิตมีน้อยและไม่มีนัยสำคัญ

C.H.Liu *et al*.(2010) ประเมินสมรรถนะการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจำนวน 9 แห่งในประเทศไต้หวันโดยใช้ DEA และรายงานว่าการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้ตัวแบบ DEA อาศัยการโปรแกรมเชิงเส้นที่อยู่บนฐานข้อมูลตัวแปรปัจจัยการผลิตและผลผลิต ดังนั้นการแปลความและคะแนนประสิทธิภาพจะได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากการเลือกตัวแปร Input/output และ C.H.Liu *et al*. อ้างว่า Jamasb and Politt(2003), Barros (2008) ได้ชี้แนวทางการเลือกตัวแปรแนวทางที่หนึ่งคือพิจารณาตามความสามารถในการหาข้อมูลตามหลักเกณฑ์ที่ต้องการทดสอบ แนวทางที่สองโดยการสำรวจ และทบทวนวรรณกรรมเกณฑ์การกำหนดตัวแปรจากผลงานวิจัยที่มีอยู่ และ Jamasb and Politt(2001)เห็นว่าการกำหนดตัวแปรอาจกำหนดจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญหรือความเห็นขององค์กร การศึกษาของ C.H.Liu *et al*. ในครั้งนี้กำหนดตัวแปร Inputs หรือปัจจัยการผลิต 3 ตัวแปรคือกำลังการผลิตติดตั้ง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ ส่วนตัวแปร Outputsหรือผลผลิตคือพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ มีการทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเหมาะสมของการคัดเลือกตัวแปรโดยใช้เทคนิค Stability Test หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ DEA ที่ใช้ตัวแปรทั้งหมด กับโมเดลอื่นๆที่ลดจำนวนตัวแปรลง

ผลการศึกษาพบว่ามีโรงไฟฟ้า 2 แห่งคือ Hsiehho และ Talin มีประสิทธิภาพ BCC ค่อนข้างต่ำคือ 0.805 และ 0.737 ตามลำดับในช่วงปี 2004-2006 โรงไฟฟ้าทุกแห่งมีระดับการผลิตที่ดี กล่าวคือมีค่า Scale Efficiency เท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 และยังพบว่ามีโรงไฟฟ้าที่ผลการดำเนินงานที่เป็นแบบ Increasing Returns to Scale ถึง 5 แห่ง ส่วนที่เหลือมีผลการดำเนินงานเป็นแบบ Constant Returns to ScaleสำหรับSlacks ที่ตรวจพบเป็นส่วนใหญ่เป็น Slacks ที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงาน โดยโรงไฟฟ้า Talinมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในกลุ่มคือ 288,222 MWh ในปี 2005

นอกจากการศึกษาเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น ยังมีโรงไฟฟ้าแห่งอื่น ๆ ที่ใช้แนวทางการวิเคราะห์ด้วย Data Envelopment Analysis การประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าดังตาราง 2-1 ที่แสดงถึงวิธีการประเมิน ตลอดจนตัวแปรที่ใช้ที่เป็นปัจจัยการผลิต(Inputs)และผลผลิต (Outputs) เพื่อประเมินเปรียบเทียบผลการดำเนินงานโรงไฟฟ้า

ตาราง 2-1 ข้อมูลการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานโรงไฟฟ้า

ผู้ศึกษา	โรงไฟฟ้าที่ประเมิน	วิธีการศึกษา	ตัวแปรที่ใช้	
			Inputs	Outputs
Golany Roll and Rybak (1994)	โรงไฟฟ้าในประเทศอิสราเอล 21 โรง จาก 4 แหล่งผลิต	Preliminary Justmental Process, Regression Analyses, DEA Analyses, Input Oriented	1. กำลังผลิตติดตั้ง 2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 3. อัตรากำลัง	1. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 2. ความพร้อมจ่ายการผลิต 3.ค่าการเดินเครื่องที่เบี่ยงเบน 4. SO_2ที่ปล่อยทิ้ง
Park and Lesourd (2000)	โรงไฟฟ้าในประเทศเกาหลีใต้ 64 โรง	DEA, Stochastic Frontier Approach	1. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 2. กำลังผลิตติดตั้ง 3. อัตรากำลังทั้งหมด	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2-1 (ต่อ)

ผู้ศึกษา	โรงไฟฟ้าที่ประเมิน	วิธีการศึกษา	ตัวแปรที่ใช้	
Lam and Shiu (2001)	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนในประเทศจีน (30 เขตมณฑล และจังหวัด)	First, DEA Second, Tobit Regression Analysis, Input Oriented	1. แรงงาน 2. เชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด 3. กำลังการผลิต	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ
Nemoto and Goto (2003)	โรงไฟฟ้าเอกชนญี่ปุ่นจำนวน 9 โรง	Dynamic DEA Model	1. เชื้อเพลิง 2. แรงงาน	1. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม 2. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อที่อยู่อาศัย
Thakur (2006)	โรงไฟฟ้าของรัฐในประเทศอินเดียจำนวน 26 โรง	Constant Returns to Scale and Variable Returns to Scale DEA Models	1. ต้นทุนรวม 2. ต้นทุนปรับแก้ 3. จำนวนพนักงาน	1. พลังงานไฟฟ้าที่จำหน่าย 2. จำนวนลูกค้า 3. ขนาดความยาวของสายส่ง
Vaninsky (2006)	โรงไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกา	Input Minimization DEA with Variable Returns to Scale, Input Oriented	1. ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน 2. พลังงานสูญเสีย	การใช้งานจากความสามารถสุทธิ (Utilization of Net Capacity)
Sarica and Or (2007)	โรงไฟฟ้าเอกชนและสาธารณะในประเทศตุรกีจำนวน 65 โรง	Constant Returns to Scale, Variable Returns to Scale and Assurance Region DEA Models, Input Oriented	1. ต้นทุนเชื้อเพลิง 2. ต้นทุนสิ่งแวดล้อม 3. ปริมาณ CO ที่ปล่อย	1. ค่าความพร้อมจ่าย 2. ประสิทธิภาพความร้อน 3. ปริมาณการผลิต
Wang (2007)	โรงไฟฟ้าเพื่อการอุตสาหกรรม 2 โรงในประเทศฮ่องกง	DEA, Malmquist productivity index, PBR Model	1. งบประมาณค่าใช้จ่ายลงทุน 2. แรงงาน	1. ยอดขายพลังงานไฟฟ้า 2. ความหนาแน่นของลูกค้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2-1 (ต่อ)

ผู้ศึกษา	โรงไฟฟ้าที่ประเมิน	วิธีการศึกษา	ตัวแปรที่ใช้	
Nakano and Managi (2008)	บริษัทผู้ผลิตพลังงานไอน้ำในประเทศญี่ปุ่น จำนวน 9 บริษัท	DEA, Luenberger productivity indicator	1. จำนวนพนักงาน 2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 3. หุ้นทุนที่แท้จริง	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้
Liu, Lin and Lewis (2010)	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนในประเทศไต้หวัน จำนวน 9 โรง	DEA Analyses: CCR Efficiency Model, BCC Efficiency Model and Scale Efficiency,Input Oriented	1. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 2. ความร้อนจากเชื้อเพลิงทั้งหมด 3. กำลังการผลิตติดตั้ง	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ

ที่มา : Boaz Golany*et al*. (1994) และC.H. Liu *et al*. (2010)

สรุปข้อมูลการทบทวนวรรณกรรม

การประเมินประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์ DEA ทำได้ 2 แนวทางคือการวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นผลผลิต และการวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นปัจจัยการผลิต โมเดลการวิเคราะห์ยังแบ่งเป็นการวิเคราะห์แบบผลตอบแทนคงที่ และการวิเคราะห์แบบผลตอบแทนผันแปร ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงหน่วยตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสูงและอยู่บนเส้นพรมแดน ส่วนหน่วยตัดสินใจที่ไม่มีประสิทธิภาพนอกจากทราบถึงระดับประสิทธิภาพที่เป็นอยู่ ยังทราบถึงปัจจัยการผลิตที่ควรปรับปรุงเพื่อลดปริมาณการใช้ ทั้งนี้เพื่อเป้าหมายยกระดับประสิทธิภาพขึ้นไปสู่เส้นพรมแดน

การทบทวนวรรณกรรมพบว่าการประเมินประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามักประเมินโดยมุ่งเน้นปัจจัยการผลิต ผู้ศึกษาให้ความสำคัญกับการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาประเมิน เนื่องจากส่งผลต่อความถูกต้องของผลการประเมิน จึงต้องมีกระบวนการคัดเลือกตัวแปรผลผลิต และปัจจัยการผลิตโดยผู้เชี่ยวชาญ และทำการทดสอบทางสถิติเช่นการทดสอบเสถียรภาพ (Stability Test)

ตัวแปรที่นำมาเป็นข้อมูลเพื่อการประเมินด้วย DEA แยกเป็นตัวแปรผลผลิตที่นิยมได้แก่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ พลังงานไฟฟ้าที่จำหน่าย และความพร้อมจ่ายการผลิต ส่วนตัวแปรปัจจัยการผลิตแบ่งเป็นประเภทต่างๆดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การลงทุน ได้แก่กำลังการผลิตติดตั้ง งบประมาณค่าใช้จ่ายลงทุน หุ้นทุน ต้นทุนรวม ต้นทุนการปรับแก้
2. วัตถุดิบ ได้แก่ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้
3. อัตรากำลัง แรงงาน
4. ค่าใช้จ่าย ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน ต้นทุนเชื้อเพลิง ต้นทุนสิ่งแวดล้อม
5. อื่นๆ เช่น ปริมาณการปล่อย CO และพลังงานสูญเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved