

ตอนที่ 2

พลังงานกับการพัฒนาเศรษฐกิจ

บทที่ 4 พลังงานและการผลิต (Energy and Production)

บทบาทของพลังงานในการผลิต

ตามปกติ นักเศรษฐศาสตร์มักจะเรียกความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับผลผลิตที่ได้รับว่า "ฟังก์ชันการผลิต" (Production Function) แซมูเอลสัน (Samuelson) ได้อธิบายความหมายของฟังก์ชันการผลิตว่า เป็นความสัมพันธ์ทางเทคนิคที่บอกให้ทราบถึงผลิตภาพที่สูงสุดของผลผลิต ซึ่งผลิตขึ้นมาได้ด้วยวัตถุดิบจำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่ง ภายใต้สภาวะของความรู้ทางเทคนิคที่มีอยู่ระดับหนึ่ง¹⁾ นักเศรษฐศาสตร์มักจะสร้างฟังก์ชันการผลิตที่สามารถอธิบายสภาพการผลิตตลอดทั้งระบบ ซึ่งมักจะเป็นฟังก์ชันการผลิตในรูปของทุนกับแรงงาน เราพบว่าถึงแม้ว่าแรงงานจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลิตก็ตาม แต่ถ้าหากขาดแคลนทุนแล้วก็ไม่สามารถเกิดการผลิตขึ้นมาได้ นักเศรษฐศาสตร์ได้ชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการปรับปรุงผลิตภาพของแรงงานอยู่ที่การใช้ทุน และผลิตภาพของทุนนี้ขึ้นอยู่กับ การปรับปรุงเทคโนโลยี นั่นคือ การขยายตัวของทุนมักจะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของผลิตภาพของแรงงาน

ในทางปฏิบัติแล้ว ฟังก์ชันการผลิตดังกล่าวยังเป็นที่ยังสงสัยเกี่ยวกับความเป็นไปได้จริง ๆ ทั้งนี้เพราะฟังก์ชันการผลิตดังกล่าวได้มองข้ามปัจจัยที่สำคัญยิ่งบางตัวไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง "พลังงาน" ด้วยเหตุนี้ ฟังก์ชันการผลิตทางวิศวกรรม ซึ่งนักเศรษฐศาสตร์เรียกว่า

1)

P.A. Samuelson, "Economics", (Mcgraw-Hill : N.Y., 9th. edn.), 1900, p. 243.

"ฟังก์ชันกระบวนการ" (process function) จะไม่สามารถเขียนขึ้นมาได้โดยปราศจากองค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการ นั่นคือ "พลังงาน"²⁾

ลองยกตัวอย่างการผลิตน้ำมันดิบซึ่งถูกดูดขึ้นมาจากบ่อน้ำมันใต้ทะเล บริเวณทะเลเหนือของบริษัท British Petroleum Company ณ แหล่ง Forties Field ของสกอตแลนด์ น้ำมันดิบที่ดูดขึ้นมาได้แล้วจะต้องลำเลียงไปตามท่อใต้ทะเลขึ้นสู่เกาะอังกฤษ แล้วต่อท่อนบกกอีก 200 ไมล์ไปทางใต้ โดยลำพังกุน และแรงงานที่ใช้ ไม่สามารถนำน้ำมันให้ไหลไปตามท่อถึงโรงกลั่นที่ Grangemouth ได้ เหตุผลก็คือ น้ำมันจะต้องไหลไปในอัตราที่กำหนดเพื่อผลทางด้านเศรษฐกิจ และตามกฎหมายฟิลิคส์ที่อัตราการไหลของน้ำมันดิบขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมัน แรงดันของน้ำมัน ความขรุขระของผิวภายในเส้นท่อ อุณหภูมิของน้ำมันดิบ อุณหภูมิของบริเวณที่เส้นท่ออยู่ และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งมีผลทำให้น้ำมันไหลช้าลงเมื่อระยะทางของเส้นท่อยาวขึ้น ด้วยเหตุนี้วิศวกรจึงต้องหาทางเพิ่มความดันให้กับน้ำมันดิบในเส้นท่อ เพื่อให้ น้ำมันดิบไหลไปได้ในอัตราที่ต้องการ ซึ่งในการนี้วิศวกรจะต้องคำนวณอัตราการไหลของน้ำมันในเส้นท่อ โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำมันในเส้นท่อดังกล่าวออกมาในรูปของอัตราความดันที่ลดลงต่อหน่วยความยาวของเส้นท่อ ดังนี้

$$\text{อัตราการไหล} = f (\text{ความดันของน้ำมัน/ความยาวของเส้นท่อ})$$

เราไม่จำเป็นต้องสนใจเกี่ยวกับรูปแบบที่แน่นอนของสมการนี้ ปล่อยให้เป็นที่หน้าของวิศวกรทางด้านไฮดรอลิก แต่สิ่งที่เราต้องการทราบต่อจากนั้นก็คือ เราจะต้องใช้พลังงานเท่าใดในการทำงาน เพื่อเพิ่มความดันให้กับน้ำมันดิบแล้วทำให้มันไหลไปในอัตราที่เราต้องการ โดยก่อนอื่นเราต้องคำนวณหาปริมาณงานที่ต้องการในการขับเคลื่อนน้ำมัน ดังกล่าวโดยที่

2)

M. Slesser, "Energy In The Economy", (The Macmillan Press Ltd : Hong Kong), 1978. p.39.

ปริมาณงาน = $f'(P)$ (อัตราการใช้)

ให้ P เป็นอัตราความดันที่ต้องการให้เพิ่มขึ้น

จากนั้นเราก็จะสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องจักร ซึ่งจะสามารถ
 ชักดันน้ำมันดังกล่าวได้ โดยคำนวณพลังงานที่ต้องการสำหรับชั้บตัน

พลังงานที่ต้องการ = $f'(j \times n \times \text{ปริมาณงาน})$

โดยที่ j = ความร้อน (mechanical equivalent of heat)

n = ประสิทธิภาพในเชิงเทอร์โมไดนามิก (system efficiency in a
 thermodynamic sense)

ด้วยวิธีการเช่นนี้ วิศวกรจึงสามารถสร้างฟ้งชั้นต้นทุน

ซึ่งจะทำให้ทราบถึงจำนวนทุนที่ต้องใช้ ปริมาณแรงงานที่ต้องการ และปริมาณของพลังงานที่
 บริโภคในกระบวนการผลิตได้

ปกติการบริโภคพลังงานมักจะ เป็นส่วนที่น้อย เมื่อเทียบกับต้นทุนทั้งหมด แต่อาจ
 ถือได้ว่ามัน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์
 ของพลังงานใหม่ ๆ เกิดขึ้น พลังงานไม่ใช่ทรัพยากรราคาถูกตลอดไป และในบางสถานการณ์
 อุปทานของพลังงานอาจขาดแคลนได้ เช่นเดียวกับการขาดแคลนแรงงานและทุนได้เช่นกัน
 ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้ย่อมมีผลกระทบต่อฟ้งชั้นการผลิต

ในอดีต ช่วงก่อนปี พ.ศ. 2516 โลกอยู่ในสถานะการณ์ที่อุปทานของพลังงาน
 เหลือเฟือ ๗ ระดับราคาที่ต่ำ เราจะมองเห็นความสำคัญของพลังงานในจุดนี้ได้ยาก แต่เมื่อ
 สถานะการณ์เช่นที่ว่่านั้นผ่านพ้นไป นับตั้งแต่เดือนตุลาคม 2516 เป็นต้นมา การเปลี่ยนแปลง
 ราคาของพลังงานเกิดขึ้นโดยการตัดสินใจของ OPEC ได้ทำให้รูปแบบของฟ้งชั้นการผลิต
 แบบง่าย ๆ ที่ใช้แรงงานกับทุนเป็นตัวแปรในการผลิตถูกทิ้งไป ยกตัวอย่างในประเทศอังกฤษ
 NEDO (the National Economic Development Office) ได้สร้างตัวแบบขึ้นมาใหม่

เพื่อที่จะวัดผลของการที่ราคาพลังงานสูงขึ้น จะมีผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของต้นทุนในการผลิตสินค้าของอุตสาหกรรมในประเทศอังกฤษอย่างไรบ้าง ในตารางที่ 4.1³⁾ ซึ่งแสดงถึงการคาดคะเน สำหรับในปี พ.ศ.2520 เทียบกับรายงานที่เสนอขึ้นมาในกลางปี 2518 แต่กลับปรากฏว่า ตัวเลขทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยตัวเลขของ NEDO ได้ทอนราคาลงจากการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงาน ฉะนั้นความแตกต่างที่เหลืออยู่ระหว่างราคาจริงกับราคาที่คาดคะเนนี้คงจะ เนื่องมาจากการขึ้นราคาในส่วนที่ไม่ใช่พลังงาน แต่อย่างไรก็ตาม ตัวเลขดังกล่าวไม่เป็นที่น่าพอใจนัก ดูตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเพิ่มขึ้นของราคาใน UK เปรียบเทียบระหว่างที่เป็นจริงกับการคาดคะเนตามการขึ้นราคาน้ำมันของโอเปก ราคาจริงจากกลางปี 2516-2518 เทียบกับราคาที่คาดคะเน

	Actual mid-1975 % price increase over mid-1973	NEDO prediction 1977
(1) Agricultural prices (all products)	50.3	11.4
(a) Farm crops	65.5	-
(b) Fatstock	23.8	-
(c) Livestock products and poultry	44.6	-
(d) Vegetables and fruit	65.8	-
(2) Fertilizers	77.6	55.6
(3) Food manufacturing industries	51.5	10.3
(4) Steel industry	77.1	24.1
(5) Chemicals and allied industries	61.3	17.4
(6) Engineering and allied industries	55.4	-
(7) Textile industries	35.5	8.3
(8) Clothing and footwear	35.6	6.0
(9) Timber industry	44.0	5.9
(10) Paper industry	81.8	19.5
(11) Transport	55.2	6.8*
(12) Building materials	48.7	13.7
(13) Aluminium	62.3	12.1
(14) Fuel oil, heavy	113.0	-
(15) Synthetic yarn	37.4	19.1
(16) Coal mining	126.2	136.8

* Mean of road and rail

Nos. (1)-(11) are calculated from data presented in H.M.S.O., *Monthly Digest of Statistics* (December 1975).

Nos. (12)-(15) are calculated from data presented in U.N., *Monthly Bulletin of Statistics* XXIX (1975) No. 12.

3)

National Economic Development Office, "The Increased Cost of Energy-Implications for UK Industry", (London : HMSO, 1974)

นิยามของการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม

Hollis Chenery นักเศรษฐศาสตร์คนแรกที่ยอมรับเห็นบทบาทสำคัญของพลังงานได้ให้ทัศนะว่า "สำหรับนักเศรษฐศาสตร์ คำว่า การผลิต หมายถึง การกระทำใด ๆ ก็ตามที่เกิดขึ้นกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือหลายสิ่ง ซึ่งทำให้มูลค่าของมันเพิ่มขึ้น ด้วยผลของการกระทำอันนี้ มักจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบ แต่ก็อาจมีการเปลี่ยนแปลงของที่ว่าง หรือ เวลาได้เช่นกัน เชื่อนไขหลักพื้นฐานที่จำเป็นอันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้คือ พลังงาน จะต้องถูกใช้เข้าไปในวัตถุ การใช้พลังงานเป็นองค์ประกอบในการผลิต เช่นนี้ เป็นความหมายร่วมกันทั้งของนักเศรษฐศาสตร์ และวิศวกร"⁴⁾

Chenery พยายามที่จะสร้างฟังก์ชันการผลิตจากข้อมูลทางวิศวกรรมที่นำเอาพลังงานเข้ามาพิจารณา ถึงแม้ว่านักเศรษฐศาสตร์ผู้มีชื่อเสียงบางท่านอย่างเช่น P.A. Samuelson ไม่ได้กล่าวถึงพลังงานเลย ยิ่งกว่านั้น Samuelson ยังเน้นไว้ในหนังสือของเขา⁵⁾ หน้า 243 ว่า "ในทางสังคมศาสตร์ไม่มีกฎของการอนุรักษ์พลังงาน"

ในปัจจุบันนี้แทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะซื้อของสักสิ่งหนึ่งที่ผ่านระบบการผลิตแบบใช้แรงงานคนล้วน ๆ แม้กระทั่งการปลูกมันฝรั่งในไร่ ก็จำเป็นต้องใส่ปุ๋ย ฉีดยาฆ่าแมลง การเกี่ยวเกี่ยว ตลอดจนการคัดเกรด และแยกคุณภาพ ซึ่งในปัจจุบันนี้กระบวนการดังกล่าวต้องใช้เครื่องจักร เครื่องมือ ที่ต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนทั้งสิ้น นอกจากกระบวนการเดียวเท่านั้น คือ การสังเคราะห์แสง (photosynthetic) ที่ใช้พลังงานจากแสงแดด ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงปริมาณพลังงานที่ต้องการในแต่ละขั้นตอนของการปลูกมันฝรั่ง

4)

H. Chenery, "Process and production functions from engineering data," in W.W.Leontief (Editor), Studies in Structure of the American Economy, (Oxford University Press : London), 1953.

5)

P.A. Samuelson, "Economics"; *op.cit.* p.354.

ในประเทศไทย

ตารางที่ 4.2 พลังงานในการปลูกมันฝรั่งใน UK (เฉลี่ยปี 2511-2515)

	พลังงาน ต่อปี (GJ/ha)
การใส่ปุ๋ย	16.7
การไถด้วยแทรกเตอร์	14.1
การฉีดยาฆ่าแมลงและศัตรูพืช	1.2
การหว่านเพาะ	1.6
การเก็บเกี่ยว	0.6
รวม	34.2

ที่มา : G. Leach, Energy and Food Production , (International Institute for Environment and Development, 27 Mortianer Street : London), 1976.

หมายเหตุ : ผลผลิต = 17.9 ตัน/เฮกตาร์ ; ใช้พลังงาน = 2 MJ ต่อกิโลกรัม

ปัจจุบันนี้ ถึงแม้ว่าเราอาจจะเชื่อว่าเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ที่จะมีสังคมซึ่งไม่ต้องบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil energy) เพียงแต่ใช้พลังงานจากแสงแดดเท่านั้น แต่สังคม เช่นนี้ ณ ระดับเทคโนโลยีในปัจจุบันนี้ จะไม่สามารถผลิตสินค้าอื่นใดได้นอกจากผลผลิตธรรมชาติ และสิ่งที่สร้างขึ้นด้วยมือสิ่งมีชีวิตจะดำรงอยู่ได้ด้วยตัวของมันเอง ภายใต้สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และสามารถทำเช่นนี้ได้ ณ ความหนาแน่นของประชากรต่ำมาก

ในขณะที่เราต้องการสินค้าที่สร้างขึ้นจากสภาพการณ์ที่นอกเหนือจากธรรมชาติ

และประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นมากกว่า 5 คนต่อตารางกิโลเมตร เช่นนี้ เราจึงตกอยู่ในยุคแห่งธุรกิจพลังงาน (the energy business) แม้กระทั่งเครื่องมือง่าย ๆ พวกจอบ เสียม และพลั่วที่ทำด้วยโลหะเหล็ก แร่เหล็กอาจจะได้มาโดยไม่ยุ่งยากมากนัก แต่การจะได้โลหะเหล็กมาทำเป็นเครื่องมือต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานในการถลุงแร่เหล็ก ฉะนั้นการผลิตไม่ว่าจะเป็นอาหาร หรือสิ่งอุปโภคบริโภคต่าง ๆ จึงต้องอาศัยพลังงานในกระบวนการผลิตมากน้อยต่างกัน ตารางที่ 4.3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการผลิตสินค้าแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เพื่อให้มองเห็นตัวตนของพลังงานที่ใช้ในลักษณะต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความต้องการพลังงานในการผลิต
สินค้าชนิดต่าง ๆ ในประเทศที่พัฒนาแล้ว

	Energy Intensity ^a (MJ/) (1968)	Griss Energy requirement ^b (MJ/kg)	kg hard coal kg product
Sugar ^c	42	4	0.13
Milk ^c	210	50	1.66
Paint	530	200	6.7
Fertilizer	950	35	1.16
Steel	370	50	1.66
Aluminium	620	190	6.3
Footwear	160	-	-
Cement	1,500	8	0.27
Electricity (distributed)	1,500	14.0 (per k Wh)	0.47 (per k Wh)

^a Those values will change as money inflates and technology changes.

^b These values are independent of money, but subject to changes in technology.

^c Function of intensity of cultivation.

ที่สุดของกระบวนการผลิตจะมีอะไรเกิดขึ้น? วัตถุดิบ เช่น แร่เหล็ก ทราย ดิน บ็อกไซต์ ไม้ ได้เปลี่ยนมาเป็นผลผลิตที่มีมูลค่าเป็นตัวเงินที่สูงขึ้น แต่โมเลกุลดั้งเดิมของวัตถุดิบ ถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปอื่นเสียแล้ว ออกซิเจนถูกแยกออกจากแร่เหล็ก เหลือไว้แต่เหล็กซึ่ง เป็นส่วนที่มีประโยชน์ ส่วนเจ้าออกซิเจนที่แยกออกมานั้นรวม เข้ากับโมเลกุลของคาร์บอน เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มีถ้าเราสมมติว่าการเปลี่ยนรูป (ก็คือการผลิตนั่นเอง) ผลผลิตในตารางที่ 4.3 ในช่วงขวามือ ถ่านหินซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน เป็นจำนวนมากถูกเปลี่ยนเป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ตามกฎของการอนุรักษ์ของสาร

โมเลกุลจะไม่หายไปไหนแต่จะถูกปลดปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม และเกิดเป็นความร้อนขึ้นมาจำนวนมาก องค์ประกอบที่เป็นประโยชน์ของถ่านหินไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้อีกแล้ว เราเรียกองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์ของถ่านหินที่เกิดขึ้นในรูปของความร้อนที่สามารถแปรสภาพแร่เหล็กให้เป็นเหล็กได้นี้ว่า "งาน" นั่นเอง

พลังงานในกระบวนการผลิต

ถ้าจะถามว่าพลังงานน้ำมีส่วนในกระบวนการผลิตอย่างไรบ้าง? เราก็คงพอจะตอบได้ว่า ในกระบวนการผลิตนั้น พลังงานถูกนำมาใช้ในสามลักษณะคือ

1. ใช้ในการปรับอุณหภูมิให้สภาพแวดล้อม เหมาะแก่การทำงาน
2. ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของวัตถุดิบจากรูปหนึ่งไป เป็นอีกรูปหนึ่ง
3. เป็นแหล่งของพลังงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน

การปรับอุณหภูมิ ในการทำให้สภาพแวดล้อม เหมาะสมกับสภาพของการทำงาน ทางหนึ่งก็คือ การปรับอุณหภูมิของสถานที่ทำงาน ด้วยวิธีการทำให้อบอุ่นขึ้นหรือทำให้เย็นลง

ในตอนที 4.4 แสดงให้เห็นถึงการใช้เชื้อเพลิงในอเมริกา ซึ่งมีการใช้พลังงานในการปรับอุณหภูมิของสถานที่ทำงานในอุตสาหกรรมและพาณิชย์กรรม อยู่ในอัตราระหว่าง 7-20% ของการบริโภคพลังงานทั้งหมดในอเมริกา จากรายงานของ NEDO เราพบว่าตัวเลขของการใช้พลังงานในการปรับอุณหภูมิของสถานที่ทำงานในประเทศอังกฤษอยู่ในอัตรา 6% ในปี 1970 เราไม่อาจพูดได้อย่างเต็มปากนักว่าการใช้พลังงาน ในลักษณะนี้จะถูกนับรวมเป็นปัจจัยการผลิตเช่นเดียวกับการใช้พลังงานในการทำงาน โดยเปลี่ยนพลังงานที่บริโภคเข้าไปให้เป็นการใช้พลังงานในการขุดเจาะ เป็นต้น

ตารางที่ 4.4 การใช้เชื้อเพลิงใน USA. 1960 - 1968

<i>Sector and end use:</i>	<i>Consumption</i> 1960 1968 {10 ⁶ GJ}		<i>Annual rate</i> <i>of growth</i> {%}	<i>Percentage of</i> <i>national total</i> 1960 1968	
Residential:					
Space heating	5,115	7,042	4.1	11.3	11.0
Air conditioning	141	450	15.6	0.3	.7
Clothes drying	98	218	10.6	0.2	0.3
Water heating	1,222	1,831	5.2	2.7	2.9
Cooking	586	672	1.7	1.3	1.1
Refrigeration	390	730	8.2	0.9	1.1
<i>Total</i>	7,552	10,943	4.8(Au)	18.6	19.2
Commercial					
Space heating	3,282	4,412	3.8	7.2	6.9
Other	2,776	4,836		6.0	7.5
<i>Total</i>	6,058	9,248	5.4(Au)	13.2	14.4
Industrial:					
Non-electric work	8,066	10,690	3.6	17.8	16.7
Electric work	3,344	5,057	5.3	7.4	7.9
Electrolytic transformation processes	512	743	4.8	1.1	1.2
Direct heat	5,855	7,310	2.8	12.9	11.5
Feed stock (potential heat content)	1,445	2,323	6.1	3.2	3.6
<i>Total</i>	19,222	26,123	3.9(Au)	42.7	41.2
Transportation:					
Fuel	11,471	15,865	4.1	25.2	24.9
Raw materials	148	153	0.4	0.3	0.3
<i>Total</i>	11,619	16,018	4.1(Au)	25.5	25.2
NATIONAL TOTAL	44,451	62,332	4.3	100.04	100.0

(Note: This is not primary energy use)

Source: Stanford Research Institute

การปรับอุณหภูมิในสถานที่ทำงานไม่ได้ก่อให้เกิดพลังงานขึ้นโดยตรง ดังนั้นการปรับอุณหภูมิของสถานที่ทำงานจึงน่าจะสร้างขึ้นจากพลังงานชั้นต่ำ (Low-grade energies) ในขณะที่งานทางด้านการผลิตควรจะสร้างขึ้นมาจากพลังงานชั้นสูง (high grade energies)⁶⁾

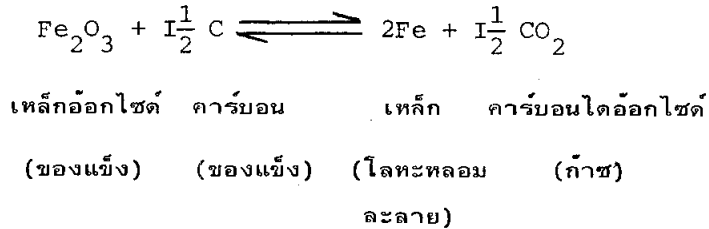
พลังงานในการแปรรูป เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การผลิตเหล็กจากแร่เหล็กต้องใช้เตาหลอมเหล็กที่ใช้ถ่านเป่า ซึ่งให้ความร้อนสูงมากทำให้เหล็กละลายได้ เราสามารถทำให้เกิดความร้อนภายในเตาหลอมโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่ดูดความร้อน (heat-absorbing chemical reaction) ซึ่งจะเกิดผล 2 ประการคือ ประการแรก "งาน" ซึ่งพลังงานความร้อนได้เปลี่ยนแร่เหล็กให้เป็นเหล็ก และประการที่สอง ปฏิกิริยาดังกล่าวจะต้องเกิดขึ้นเร็วพอสมควรจึงจะก่อให้เกิดความสนใจในทางเศรษฐกิจ เราไม่มีทางเลือกที่ต้องใช้พลังงานในการแปรสภาพวัตถุ แต่เรามีทางเลือกมากมายว่าจะต้องการความเร็วเท่าไรในการแปรรูปนี้ โดยที่ความเร็วนี้ขึ้นอยู่กับความร้อนที่ใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเชื้อเพลิงในเตาหลอม และขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่จะทำให้เกิดพลังงานเข้าไปเร่งปฏิกิริยาในการหลอมได้มากน้อยแค่ไหน

พิจารณาได้จากการแปรรูปเป็นอันดับแรก เมื่อแร่เหล็กถูกขุดขึ้นมาจากพื้นดินมันจะประกอบด้วยสิ่งเจือปนมากมาย แต่ด้วยการผ่านกระบวนการทำให้มีความบริสุทธิ์ซึ่งไม่ถึงกับต้องใช้พลังงานมากนัก มันก็จะกลายเป็นแร่บริสุทธิ์พร้อมที่จะแปรเปลี่ยนไปเป็นเหล็กได้แล้ว ในลักษณะนี้แร่เหล็กจะประกอบด้วยอะตอมของเหล็ก 2 ตัว เชื่อมอยู่กับอะตอมของออกซิเจน 3 ตัว เราเขียนเป็นสูตรทางเคมีได้ดังนี้ Fe_2O_3 (รูปของแร่เหล็กที่พบจะอยู่ในรูปนี้เสมอ ซึ่งเป็นรูปที่มี entropy⁷⁾ สูงที่สุด

6) M.Slesser; "Energy in the Economy", OP cit, p.44.

7) entropy ทางด้านพลังงานหมายถึงระดับแห่งความกระจัดกระจายไร้ระเบียบและไร้ประโยชน์ของพลังงานซึ่งจะสังเกตได้จากการเปรียบเทียบภาวะเดิมกับภาวะสุดท้ายของกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

กระบวนการต่อไป ถ่านหินจะถูกเผาจนกลายเป็นถ่านโค้ก (coke)⁸⁾ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ปฏิกิริยาเคมีนี้ตามทางทฤษฎี เราต้องใช้ความร้อนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 2.2 MJ ต่อการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม) แต่เหล็กออกไซด์และถ่านหิน เรานำมาวางไว้ด้วยกันในท้องที่มีอุณหภูมิปกติโดยไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ อันนี้เราอาจอธิบายได้ด้วยเหตุผลสองประการคือ ประการแรก ถ่านหินและแร่เหล็กไม่มีโอกาสอยู่ชิดกันมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้ และประการที่สอง ถ้ามันเกิดวางอยู่ชิดกันในท้องที่มีอุณหภูมิปกติแล้ว อัตราของการเกิดปฏิกิริยาได้นั้นจะเกิดขึ้นช้ามากจนไม่มีผลทางเศรษฐกิจ (Uneconomically slow)

ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ การเพิ่มอุณหภูมิในส่วนผสมของเหล็กออกไซด์กับถ่านหินอีก 1,200 °C แล้วเติมเหล็กหลอมละลายลงไปเป็นตัวเร่ง ในทางทฤษฎีจึงกำหนดว่าต้องใช้พลังงานเท่ากับ 2.2 MJ/Kg ตามหลักแล้วความร้อนที่ได้จากการหลอมละลายของเหล็กจะถูกใช้เพื่อหลอมแร่เหล็กในรุ่นต่อไปได้ แต่ในทางปฏิบัติเป็นเรื่องยาก และเครื่องจักรที่จะทำเช่นนั้นได้ต้องลงทุนมาก จึงขึ้นอยู่กับมูลค่าของความร้อนที่เราจะทำขึ้นมาใหม่ โดยการคำนวณตามหลักเศรษฐศาสตร์ ถึงความคุ้มค่าระหว่างการลงทุน ไม่ใช่เพียงปัญหาทางพลังงานอย่างเดียว

ตามตัวอย่างการหลอมแร่เหล็กให้เป็นโลหะเหล็ก เราทราบแล้วว่าปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นต้องดูดเอาความร้อนเข้าไป 2.2 MJ/Kg เท่านั้น แต่ถ้านับรวมเอาความร้อน

8)

Coke คือถ่านหินที่ถูกเผาจนหมดควัน ประกอบด้วยคาร์บอนบริสุทธิ์กับเถ้าของถ่านหิน

สิ้นเปลืองทุกอย่างในทุก ๆ ขั้นตอนของการผลิตเข้ามาแล้ว จะพบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ต้องใช้พลังงานถึง 53 MJ การผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการหลอมโลหะจากวัตถุดิบหรือแร่ ต้องใช้กระบวนการที่บริโภคพลังงานทั้งสิ้น ดูตารางที่ 4.3

พลังงานกับการทำงาน ไม่มีสถิติแน่ชัดที่จะบอกให้ทราบถึงปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการทำงานร่วมกับคนงานในการผลิต มีข้อมูลจากบางแห่งได้คะเนว่า สำหรับประเทศพัฒนาแล้ว พลังงานที่ถูกใช้ไปในการทำงานร่วมกับแรงงานมีอยู่ถึงประมาณ 50% ของพลังที่ใช้ไปทั้งหมด แต่ถ้าเราจะพิจารณาจากตารางที่ 4.4 คงจะไม่เป็นการถูกต้องที่จะเหมาเอาว่าพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นพลังงานที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมบางส่วนเป็นความร้อนซึ่งใช้ในการแปรรูปวัตถุเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งไม่ใช่เป็นองค์ประกอบของการทำงาน ข้อมูลทางด้านการใช้ไฟฟ้าของชาติน่าจะเป็นข้อมูลที่ใช้วัดการใช้พลังงานในการทำงานได้ดีกว่า เพราะว่าไฟฟ้านั้นสามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้เกือบ 100% แต่กระนั้นก็ตาม เราได้มีการใช้ไฟฟ้ากันในแบบต่าง ๆ อย่างกว้างขวางมากมาย ซึ่งบางครั้งก็ไม่ได้ใช้เป็นองค์ประกอบของการทำงาน เช่น ใช้เพื่อให้ความอบอุ่นในอาคารสถานที่ แทบทุกประเทศใช้ไฟฟ้าในการส่องสว่าง และการบรรเทาเสียงรบกวน ซึ่งเป็นการยากที่จะแยกออกมาได้อย่างชัดเจนในส่วนนี้ อย่างไรก็ตามบทบาทของการใช้พลังงานกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ในการทำงานสามารถแสดงให้เห็นในรูปง่ายและชัดเจนจากผลงานวิจัยสำนักวิจัยเครื่องจักรอุตสาหกรรมในประเทศอังกฤษ ในตารางที่ 4.5 และ 4.6⁹⁾

๙)

ที่มา A.E. De Barr, "British Machine Tool Industry Research Association", 1976.

ตารางที่ 4.5 แสดงถึงความต้องการพลังงานของการทำงานในขั้น
ต่าง ๆ ของการผลิตเหล็กกล้าด้วยเครื่องจักร

	Joules/mm ³ of metal
Turning	0.3
Grinding	3.0
Plasma jet	60
Sperk erosion	120
Electrochemical	420
Ultrasonic	540
Electron beam	22,000
Laser	162,000

ที่มา : DeBarr^{๑)}

ตารางที่ 4.6 แสดงถึงความต้องการพลังงานในการดัดตีเหล็ก
และขึ้นรูปเหล็กกล้าโดยใช้กำลังไฟฟ้า

	Joules/mm ³ of metal
Metal cutting	24
Drop-forging at 1,250 C	
heating	20
forging	4.5
Cold-forming	10
(actual manufacture of steel from ore 300)	

ที่มา : De Barr^{๑)}

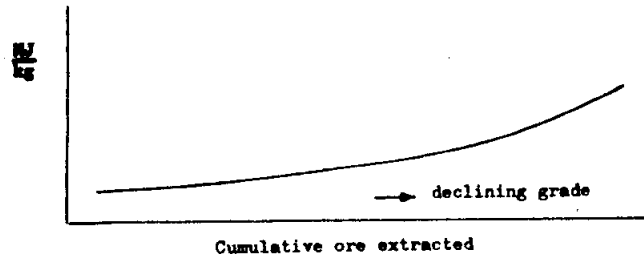
^{๑)} ที่มา A.E. De Barr, "British Machine Tool Industry Research Association". 1976.

งานในการแปรรูปวัสดุ

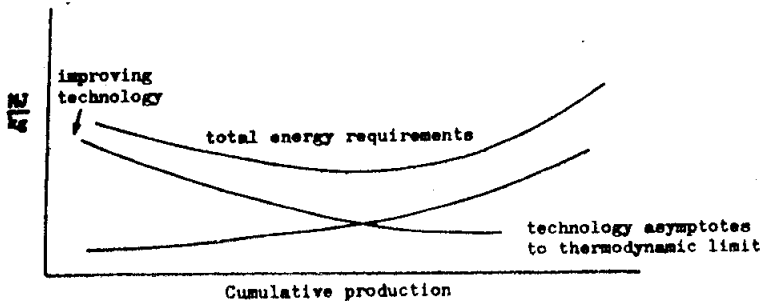
เราได้กล่าวถึงความร้อนในการแปรรูปวัสดุไปบ้างแล้ว แต่ปัจจัยที่เป็นตัวการที่แท้จริงก็คือ งานในการแปรรูปซึ่งเราเรียกมันว่า "พลังงานอิสระของการแปรรูป" (Free Energy of Transformation) ที่จริงแล้วมันไม่ได้เป็นอิสระ เหมือนชื่อ คำว่าอิสระหรือ Free ในที่นี้หมายถึง จำนวนพลังงานที่ทำงานจริง ๆ ในการแปรรูปวัสดุ และเราใช้ Free Energy นี้เป็นตัววัดปริมาณงาน ยกตัวอย่าง การหลอมเหล็ก พลังงานส่วนที่ทำให้เหล็กหลอมเหลวได้พอดีก็คือพลังงานอิสระที่ทำงานให้กับเรา พลังงานส่วนที่เหลืออาจเป็นพลังงานที่สูญเสียไปในระหว่างปฏิกิริยา รวมทั้งพลังงานความร้อนของเหล็กหลอมละลายที่เราไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ หรือใช้ประโยชน์ไม่ได้ เราเรียกว่า เอนโทรปี (entropy) ซึ่งเป็นส่วนกลับของพลังงานอิสระ

ไม่มีอะไรที่จะสามารถทำให้พลังงานแปรรูปนี้ลดลงไปต่ำกว่าที่กล่าวในทฤษฎีได้ จำนวนพลังงานอิสระดังกล่าวนี้เราคำนวณได้โดยใช้ความรู้ทาง thermo-dynamics สิ่งเดียวที่เราจะทำได้ก็คือ พยายามทำให้เกิดปฏิกิริยาในการแปรรูปโดยควบคุมการสูญเสียพลังงานให้เกิดขึ้นได้น้อยที่สุด จึงจะทำให้การใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตมีแนวโน้มลดลงในทางกลับกันถ้าหากว่าทรัพยากรของโลกถูกใช้ให้สิ้น เปลืองไปจนกระทั่ง เหลือแต่ทรัพยากรที่มีคุณภาพด้อยกว่า ซึ่งการนำทรัพยากรเหล่านี้มาใช้ เราต้องสิ้น เปลืองพลังงานมากขึ้นในการขุดค้นและในการเตรียมแร่เพื่อให้ได้แร่บริสุทธิ์ รูปที่ 4.1 แต่ความสิ้น เปลืองพลังงานจะลดลงได้ด้วยการปรับปรุง เทคนิคการผลิตที่ลดการสูญเสียของการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิต รูปที่ 4.2 ทำให้ปริมาณความต้องการพลังงานลดลงจนถึงระดับต่ำสุดระดับหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่าที่ระดับคุณภาพของทรัพยากรระดับใดจะทำให้มีการใช้พลังงานต่ำที่สุด ได้มีผู้ศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูลความต้องการพลังงานต่อหน่วยของผลผลิตในสหรัฐอเมริกา ระหว่างช่วงปี 1880-1960 ปรากฏชัดว่าในช่วง 1940-1960 ปริมาณการ

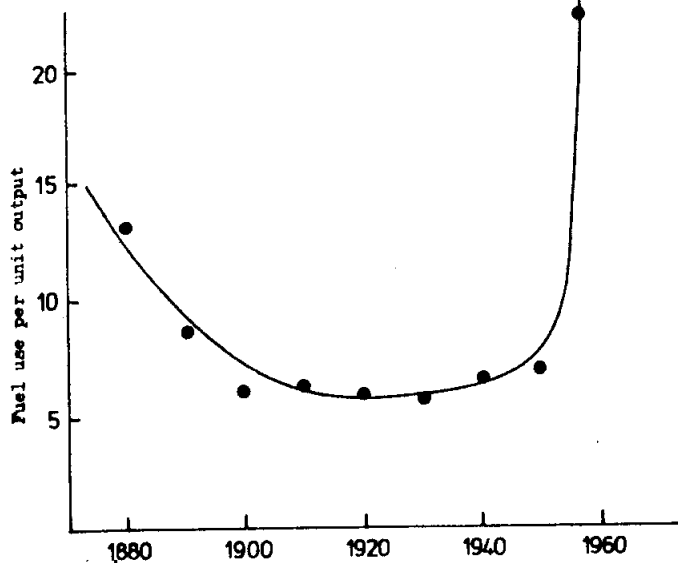
การใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยของผลผลิตสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด¹⁰⁾ รูป 4.3 ประกอบ ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีมาเป็นเทคโนโลยีที่ประหยัดแรงงาน



รูปที่ 4.1 Energy Requirements to Extract Ores



รูปที่ 4.2 Total Energy Requirements to Produce Metal at the Market-place



รูปที่ 4.3 Total Energy Requirements for US Metal Production
Source: Chapman¹⁰⁾

10)

P.F. Chapman, "Fale of energy in waste management policies". Open University Research Group paper. (1976)

Kellog ได้ประเมินถึงความต้องการเชื้อเพลิงของการผลิตทองแดงในปัจจุบันและคาดคะเนในอนาคต ในหนังสือเกี่ยวกับวิศวกรรมเหมืองแร่เล่มหนึ่ง¹¹⁾ และได้แสดงให้เห็นว่าจะต้องใช้พลังงานมากเท่าใดในการผลิตทองแดง ซึ่งเกรดของแร่ทองแดงจะเลวลงตามการคาดคะเนในอนาคต ดูตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความต้องการพลังงานในการผลิตทองแดง (เปรียบเทียบปี 2513, 2543 และอนาคตข้างหน้า)

	2513	2543	อนาคตข้างหน้า
		(แร่เกรดต่ำ)	(หินพื้นฐาน)
เกรดของแร่ทองแดง (% Cu)	0.7	0.2	0.01
การแยกทองแดงออกจากแร่ %	82	80	80
จำนวนตันของกากหินต่อ 1 ตันของทองแดง	355	940	6,300
จำนวนตันของหางแร่ต่อ 1 ตันของทองแดง	145	620	12,500
จำนวนตันของกากแร่ต่อ 1 ตันของทองแดง	500	1,560	18,800
ปริมาณการใช้พลังงานต่อ 1 ตันของทองแดง (วัดเป็น GJ)			
- for mining	25.1	93	1,875
- for beneficiation	33.0	127	2,543
- for smelting and refine	30.5	30	30
พลังงานรวม	88.6	250	4,448
รวมพลังงานที่ใช้ (MJ/Kg ของทองแดง)	97	275	5,000
คิดเทียบกับพลังงานที่ได้จากถ่านหิน (จำนวนปอนด์ของถ่านหินต่อแร่ผลิตทองแดง 1 ปอนด์)	3.5	10.1	178

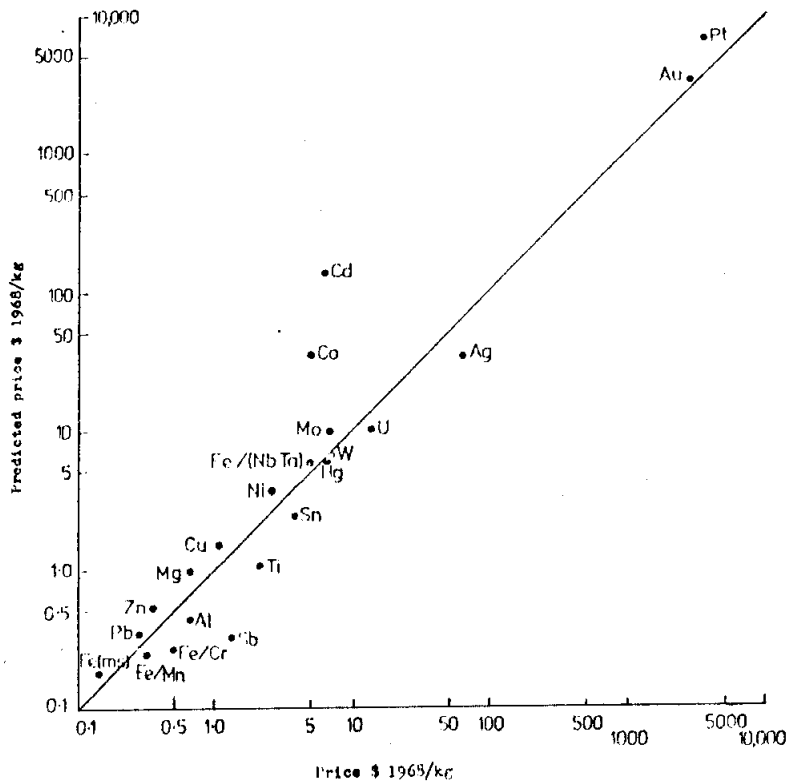
ที่มา : H.Kellog 1973¹¹⁾

11)

H.Kellog (1973) quoted in P.A. Bailly, "Mining Engineering", (Jannary, 1976). p.34.

เมื่อเราทราบจำนวนพลังงานที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนแร่ให้เป็นโลหะดังกล่าว ย่อมหมายถึง พลังงานอิสระซึ่งรวมเอาพลังงานทุก ๆ ขั้นตอนตั้งแต่ต้นจนกระทั่งได้ผลผลิตออกมา ซึ่งมูลค่าของพลังงานอิสระนี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับราคาของโลหะแต่ละชนิดอย่างมาก Edwards และ Phillips ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างราคาโลหะในตลาดลอนดอนเทียบกับ Gibbs Free Energy ในการผลิตของโลหะนั้น ๆ ในปี 2511 ผลปรากฏว่าราคาที่คาดคะเนจากพลังงานอิสระมีความใกล้เคียงกับราคาจริงอย่างมาก ดูรูป 4.4

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของราคาคาดคะเนกับราคาจริงของโลหะแต่ละชนิด



ที่มา : W.G.B. Edwards and D.P. Phillips, "Metal Pricesasa Function of Ore Grade", (September, 1976), pl67-178.

พลังงานอิสระจึงใช้เป็นตัววัดได้อย่างดี ในความยากของการที่จะได้มาและการแปรรูปวัตถุดิบ ความแตกต่างทางด้านราคาขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตราคาของพลังงานที่ใช้ แต่ถ้าเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเหมือน ๆ กันและพลังงานที่ใช้มีราคาเท่า ๆ กันแล้วในช่วง เวลาที่กำหนดให้ จุดที่แสดงความสัมพันธ์ของราคาจะคล้ายคลึงกัน

พลังงานในฟังกชันการผลิต

จากที่ได้อธิบายมาแล้วจะ เห็นได้ชัด เจนว่า พลังงานมีบทบาทต่อการผลิต ๓ ประการได้แก่ ให้ความร้อน เป็นตัวการในการแปรรูป และใช้ทำงาน สองประการหลังนี้ เราไม่สามารถวัดได้อย่างถูกต้องในหน่วยของความร้อน เนื่องจากการใช้พลังงานในแต่ละส่วนนั้น ต้องการพลังงานต่างประ เภทกัน และพลังงานแต่ละประ เภทยังมีหน่วยในการวัดที่แตกต่างกัน จึงเป็นการยากยิ่งที่จะรวบรวมเอาพลังงาน เข้าไปในฟังกชันการผลิต แต่เราก็สามารถจะประมาณได้โดยแปลงค่าของพลังงานทั้งหมดไปเป็นงาน และตีมูลค่าของงานนี้ได้ หรือในรูปที่เป็นตัว เงิน เราอาจตีค่าของงานในรูปของค่าไฟฟ้า ดังนั้นถ้าสมมติว่าราคาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.20 บาท (2.20 บาทต่อ 1 kWh) โดยที่ 1 kWh = ๓.6 MJ ฉะนั้นงาน 1 MJ จึงมีค่าเป็น $\frac{2.2}{3.6} = 0.61$ บาท

ในอดีตเราอาจจะคุ้นเคยกับฟังกชันการผลิตในรูปง่าย ๆ โดยอาศัยหลักการแบบคลาสสิกซึ่งอาศัยปัจจัย 2 ตัวคือ แรงงานและทุน ดังนี้

$$q = f(K, L) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ในทุกวันนี้ เรามีทรัพยากรที่เกี่ยวข้องมากขึ้น ฟังกชันการผลิตจึงควรขยายกว้างออกไปครอบคลุมไปถึงปัจจัยที่สำคัญอีก 2 ตัว นั่นคือ วัตถุดิบ (M) และพลังงาน (E) ดังเช่น

$$q = f(K, L, E, M) \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ q เป็นอัตราการผลิต (rate of production) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของทุน (K) แรงงาน (L) พลังงาน (E) วัตถุดิบ (M)

ทุนในที่นี้หมายถึง เงินที่จ่ายไปเพื่อ ที่ดิน ลิขสิทธิ์ต่าง ๆ เครื่องจักร และโรงงานต่าง ๆ เครื่องและโรงงานถูกสร้างขึ้นโดยใช้กระบวนการผลิตก่อน (prior production process) ซึ่งขั้นตอนของการผลิตนี้ย่อมหลีกเลี่ยงไม่พ้นที่จะต้องใช้ส่วนแรกของแรงงาน, ความรู้, วัตถุ และพลังงาน วัตถุดิบได้มาจากแร่ธาตุใต้ดิน โดยอาศัย ทุน แรงงาน และพลังงาน

วัตถุถึงแม้ว่าจะมีบทบาทมาก ที่จริงแล้ววัตถุดิบได้ถูกบริโภค เป็นเพียงแต่ว่ามันถูกเปลี่ยนรูปไปเท่านั้น การที่เราพูดถึงการขาดแคลนทรัพยากรที่จริงแล้ว เป็นเพียงความขาดแคลนในทางเศรษฐกิจ¹²⁾ ทางด้านสภาพภพนั้นเราไม่ได้ขาดแคลน ทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ ที่เรานำมาใช้แล้วเท่ากับมันได้ถูกเปลี่ยนรูปไป และในที่สุดจะกระจุกกระจายทั่วไป ซึ่งการนำมันกลับมาใช้อีกจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น แร่เหล็กถูกเปลี่ยนไปเป็นโลหะ และทำเป็นเหล็กกล้าแล้วในที่สุด สมมติว่าเราทำเป็นเครื่องซักผ้ามันก็ยังคงเป็นเหล็ก และยังคงเป็นเหล็กอยู่จนกระทั่งในที่สุด เครื่องซักผ้ากลายเป็น เศษเหล็กทับถมกันอยู่ในดิน "ดิน" จึงมีทรัพยากรอยู่เหลือเพื่อซึ่งการนำแร่ธาตุเหล่านี้มาใช้ก็ต้องใช้เทคโนโลยี และพลังงานในอัตราที่สูงมาก ดังเช่นที่ Earl Cook กล่าวว่า ทรัพยากรจะหายากหรือง่ายอยู่ที่ว่าเรามีพลังงานพอที่จะเอาชนะมันหรือไม่ (Whether a resource is available or not is simply a question of whether there is energy to win if)¹³⁾

12)

M. Slesser, "Energy in the Economy", op.cit. p.52.

13)

A. Weinberg, H.Goeller, "A Strategy for Resources", Ed. Goldsmith, (Amsterdam : North Holland, 1977), quoted in Malcolm Slesser, 'Energy in the Economy', p.52.

ตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของแร่ธาตุที่มีอยู่ในทรัพยากร ซึ่งมีอยู่เกือบไม่จำกัดในปัจจุบันและในอนาคต แร่ธาตุต่าง ๆ นี้เป็นแร่ธาตุที่ใช้กันมากที่สุด

ตารางที่ 4.9 แสดงถึงแร่ธาตุที่สำคัญในทรัพยากรต่าง ๆ เปรียบเทียบกับความต้องการต่อปี

Element	Resource	Maximum % in Resource	World Resource (tons)	R/D Ratio ^a (Years)
Si	Sand, Sandstone	45	1.2×10^{16}	5×10^6
Ca	Limestone	40	5×10^{15}	4×10^6
H	Water	11	1.7×10^{17}	1×10^{10}
Fe	Basalt ^b , Laterite	10	1.8×10^{15}	4.5×10^6
N	Air	80	4.5×10^{15}	1×10^8
Na	Rock Salt, Seawater	39	1.6×10^{16}	3×10^8
O	Air	20	1.1×10^{15}	3.5×10^7
S	Gypsum, Seawater	23	1.1×10^{15}	3×10^7
Cl	Rock Salt, Seawater	61	2.9×10^{16}	4×10^8
P	Phosphate Rock	14	1.6×10^{10}	1,300
K	Sylvite, Seawater	52	5.7×10^{14}	4×10^7
Al	Clay (Kaolin)	21	1.7×10^{15}	2×10^8
Mg	Seawater	0.012	2×10^{15}	4×10^8
Mn	Seafloor Nodules	30	1×10^{11}	13,000
Ar	Air	1	5×10^{13}	2×10^8
Br	Seawater		1×10^{14}	6×10^8
Ni	Peridotite	0.2	6×10^{11}	1.4×10^6

R/D = economic Resource to annual Demand ratio

^a 'We realise that as demand grows, these values will be reduced; however, we also anticipate that population must eventually level off, followed by an ultimate levelling off of demands for energy and non-renewable resources.'

^b 'It must be noted that no process now exists for obtaining iron from basalt or nickel from the ultrabasic rock peridotite; however, given a century for development of such processes, the likelihood for success seems quite high.'

Source: Weinberg and Goeller

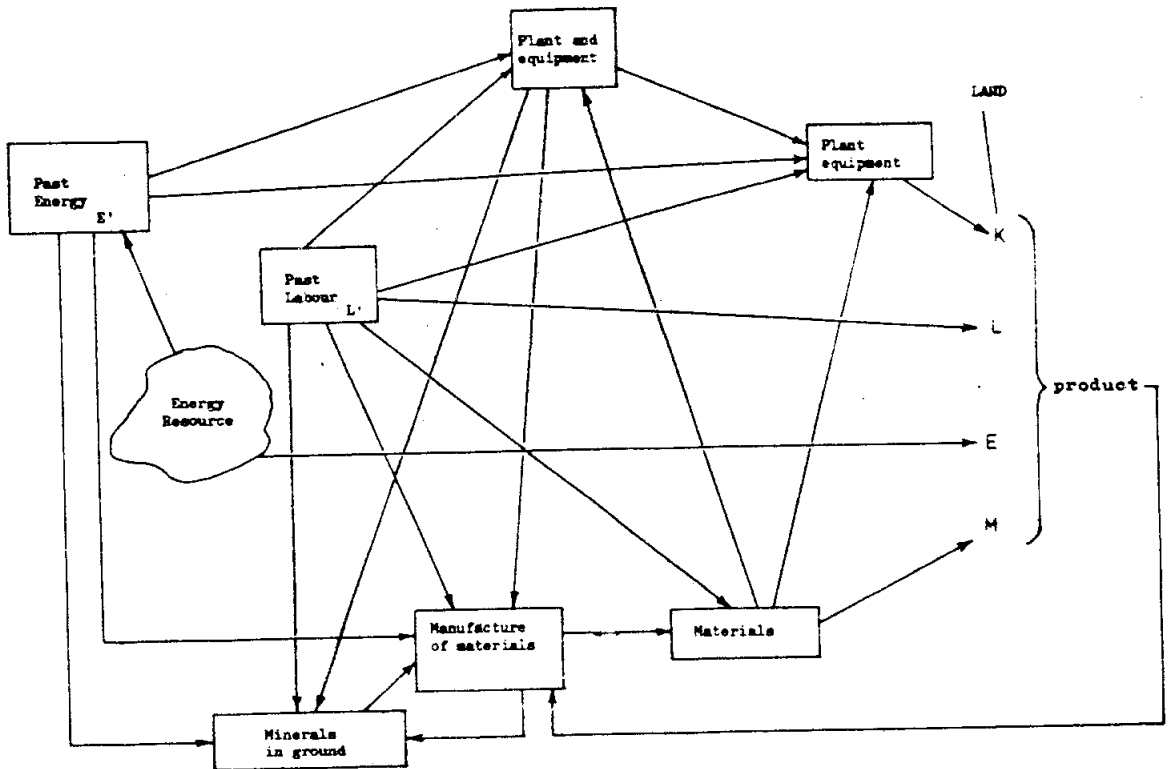
ด้วยเหตุดังกล่าว ทั้งทุนและวัตถุดิบ ที่ใช้ในการผลิตสินค้าจะได้มาต้องอาศัยแรงงานและพลังงานทั้งสิ้น ซึ่งในการผลิตปัจจัยประเภททุน และวัตถุดิบนี้แรงงานที่ใช้เราเรียกว่า "องค์ประกอบของแรงงานในประวัติศาสตร์" (historical labour element, L') พลังงานที่ใช้เราเรียกว่า "พลังงานก่อนผลิต" prior energy, E') ดังนั้นใน พหุคูณการผลิต อัตราการผลิตสินค้าจึงขึ้นอยู่กับแรงงานปัจจุบัน L แรงงานในประวัติศาสตร์

L' พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต E และพลังงานก่อนกระบวนการผลิตสินค้า E'

สมการ 4.2 จึงอาจเขียนใหม่เป็น

$$q = f(E, E', L, L') \dots\dots\dots(4.3)$$

รูปที่ 4.5 แสดงถึงองค์ประกอบของทุน แรงงาน พลังงาน และวัตถุดิบ
ในห้วงชั้นการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับแรงงาน (L + L') และพลังงาน (E + E')



ขอบเขตของการผลิต (Production Frontiers)

ในทางเศรษฐศาสตร์ ขอบเขตของการผลิตก็คือ ความจำกัดของทรัพยากร

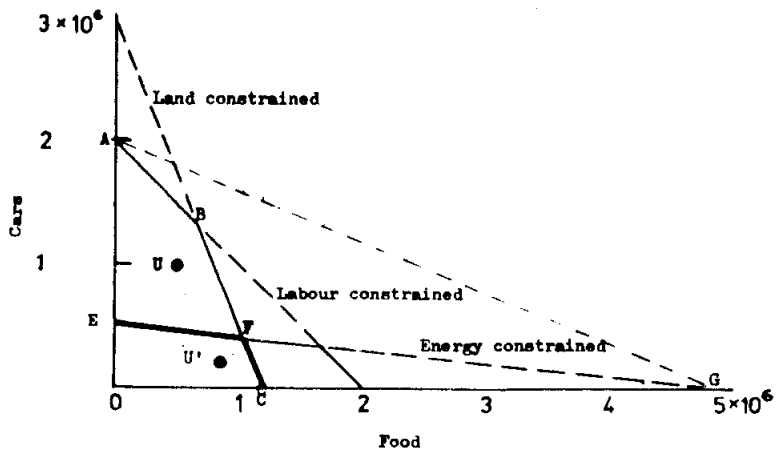
และระดับเทคโนโลยีระดับหนึ่ง สมมติว่าในเบื้องต้นเราใช้ แรงงาน และที่ดิน เป็นปัจจัยการผลิต โดยเรามีทางเลือกว่าจะผลิตรถยนต์ (C) หรือจะผลิตอาหาร (F) ซึ่งการผลิตแต่ละอย่างต้องใช้แรงงานหนึ่งหน่วย แต่การผลิตอาหารใช้ที่ดินมากกว่า คือ 5 หน่วย โดยที่การผลิตรถยนต์ใช้ที่ดินเพียง 1 หน่วย ถ้าระบบเศรษฐกิจเรามีแรงงานสองล้านหน่วย และมีที่ดินหกล้านหน่วย ณ ระดับเทคโนโลยีในปัจจุบัน ขอบเขตของการผลิตจะเป็นดังนี้

$$1F + 1C \leq 2,000,000 \text{ Labour} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$5F + 1C \leq 6,000,000 \text{ Land} \dots\dots\dots(4.5)$$

สมการทั้งสอง เป็นสมการของข้อจำกัดทางด้านแรงงาน และข้อจำกัดทางด้านที่ดิน เราสร้างรูปซึ่งแสดงถึงขอบเขตของการผลิตได้ ดังรูปที่ 4.6 ขอบเขตของการผลิตอยู่ในพื้นที่ OABC ทั้งจุด U และ U' ต่างก็อยู่ในขอบเขตของการผลิตนี้

รูปที่ 4.6 แสดงขอบเขตของการผลิตที่ถูกจำกัดโดยแรงงาน, ที่ดิน และพลังงาน



แต่ถ้าเราเพิ่มปัจจัยการผลิตอีกตัวหนึ่งซึ่งได้แก่ พลังงาน โดยที่พลังงานมีข้อจำกัดทางด้านปริมาณที่ห้าล้านหน่วย และสมมติต่อไปว่าการผลิตอาหารหนึ่งหน่วย ต้องใช้พลังงานหนึ่งหน่วย เช่นกัน ในขณะที่การผลิตรถยนต์หนึ่งหน่วยต้องการพลังงานสิบหน่วย เราจะสามารถ เพิ่ม เติม เป็นข้อจำกัดของการผลิต เป็นสมการ (4.6) ดังนี้

$$1F + 10C \leq 5,000,000 \text{ Energy} \dots\dots\dots(4.6)$$

จากข้อจำกัดทางด้านพลังงานนี้ทำให้ขอบเขตในการผลิตสินค้าแคบลงเป็นด้วยเหตุนี้จุด ซึ่งแต่เดิมอยู่ในขอบเขตการผลิต บัดนี้ เมื่อได้พิจารณาถึงพลังงานด้วยแล้ว ทำให้ระดับการผลิตที่จุด B อยู่นอกขอบเขตการผลิตไป ซึ่งกรณีนี้เป็นกรณีที่ถูกทานของพลังงานมีจำกัด

แต่ถ้าในกรณีที่พลังงานมีไม่จำกัด (ดัง เช่นในกรณีที่เราค้นพบแหล่งพลังงานใหม่ที่มีไม่จำกัด) หรือ เทคโนโลยีในการใช้พลังงานเปลี่ยนไป ย่อมจะมีผลทำให้เส้นขอบเขตของพลังงานเปลี่ยนแปลงไป ยังผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น หรือขอบเขตการผลิตจะขยายกว้างขึ้น ดังเช่นในรูป 4.6 เส้น AG เป็นเส้นขอบเขตของพลังงาน เส้นใหม่ที่เกิดจากการใช้พลังงานในการผลิตรถยนต์ได้ลดลงจาก 10 หน่วยต่อคัน มาเป็น 2.5 หน่วยต่อคัน ในขณะที่การใช้พลังงานในการผลิตอาหารอยู่ในอัตราคงที่ ย่อมหมายความว่า จำนวนพลังงานที่เรามีอยู่ 5,000,000 หน่วย จะผลิตรถยนต์ได้มากขึ้นเป็น 2 ล้านคันที่จุด A

โดยสรุป พลังงานมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตดังนี้คือ

- 1) พลังงานการผลิตในส่วนที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนแสดงได้ด้วยจำนวนการใช้ทรัพยากรซึ่งได้แก่ พลังงาน และแรงงาน
- 2) พลังงานมีบทบาทต่อการผลิต 3 ประการคือ ให้ความร้อน เป็นตัวการในการแปรรูปวัสดุและเป็นองค์ประกอบในการทำงาน

- 3) การขาดแคลนวัตถุดิบ สะท้อนให้เห็นในรูปของความต้องการพลังงานในการแปรรูป ยกตัวอย่างเช่น ราคาของโลหะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับพลังงานอิสระ (หรือปริมาณงานทางเทอร์โมไดนามิก) ที่ต้องการในการผลิตโลหะนั้นขึ้นมา
- 4) พลังงานร่วมกับที่ดินและแรงงาน เป็นตัวการในการกำหนดขอบเขตของการผลิต
-



คำถามท้ายบทที่ 4

1. เพราะเหตุใด จึงกล่าวว่า "ในปัจจุบันนี้ พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญมากในการผลิต"
2. พลังงานถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตในลักษณะต่าง ๆ อย่างไรบ้าง? จงอธิบายให้ชัดเจน
3. พลังงานอิสระที่ใช้ในการแปรรูปวัตถุ (Free Energy of Transformation) คืออะไร? แตกต่างจากพลังงานในเชิงการค้าอย่างไรบ้าง?
4. ปริมาณการใช้พลังงานในการผลิต, คุณภาพของวัตถุดิบ, และเทคโนโลยี มีความสัมพันธ์กันอย่างไร ในกระบวนการผลิต?
5. พลังงานอิสระมีความสัมพันธ์กับราคาของโลหะอย่างไรบ้าง?
6. ที่กล่าวว่า "ทรัพยากรจะหายากหรือง่ายอยู่ที่ว่า เรามีพลังงานพอที่จะเอาชนะมันหรือไม่" หมายความว่าอย่างไร?
7. พลังงานมีบทบาทอย่างไรบ้างในพียงชั้นการผลิต?
8. พลังงานมีส่วนในการกำหนดขอบเขตของการผลิตได้อย่างไร?

บรรณานุกรม

- Bailly, P.A. Mining Engineering, N.Y. 1976.
- Chapman, P.F. Role of Energy in Waste Management Policies. Open University Group paper. (1976).
- Chenery, H. "Process and Production from Engineering Data", in W.W. Leontief, Studies in Structure of the American Economy. London, 1953.
- DeBarr, A.E. British Machine Tool Industry Research Association. London, 1976.
- National Economic Development Office. The Increased Cost of Energy - Implication for UK Industry. London, 1974.
- Samuelson, Paul. Economics. McGraw - Hill : New York, 1980.
- Slessor, Malcolm. Energy in the Economy. Mcmillan Press. HangKang, 1978.