

แบบจำลองปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Model)

เรียบเรียงโดย สมพจน์ กรรณนุช

พ.ศ. 2561

Wassily Leontief เป็นผู้ประดิษฐ์แบบจำลองปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Model: I-O Model) (Leontief 1936) สำหรับการใช้งานเป็นเครื่องมือสำหรับการพยากรณ์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยทั่วไป I-O Model มักใช้เป็นตัวแทนระบบเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงระหว่างสินค้าต่างๆ ในฐานะเป็นปัจจัยสำหรับการผลิตสินค้าอื่นๆ และในฐานะผู้ใช้สินค้าอื่นๆ เป็นปัจจัยการผลิต การเชื่อมโยงเช่นนี้ทำให้สินค้าที่ 1 เป็นปัจจัยทางตรงสำหรับการผลิตสินค้าที่ 2 และเป็นปัจจัยทางอ้อมสำหรับการผลิตสินค้าที่ 3 เพราะสินค้าที่ 3 เป็นปัจจัยสำหรับการผลิตสินค้าที่ 2 เป็นต้น I-O Model เป็นเครื่องมือสำหรับการแสดงบัญชี และการคำนวณปริมาณการใช้ประโยชน์สินค้าทั้งหมดในระบบเศรษฐกิจของประเทศ และสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสินค้าทั้งหมดซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณการบริโภคที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบเศรษฐกิจของประเทศ

ระบบข้อมูลสำหรับการใช้งาน I-O Model เรียกว่า ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Table: I-O Table) I-O Model ได้รับความนิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง และ I-O Table เป็นองค์ประกอบของระบบบัญชีประชาชาติตามมาตรฐานสหประชาชาติ (United Nations System of National Accounts)

การใช้งานแนวคิดและหลักการของ I-O Model เช่น การจำลองและวิเคราะห์การไหลของสสารและพลังงาน (Materials and energy flow analysis) ของการผลิตสินค้า

การประยุกต์ใช้งาน I-O Model โดยตรงทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น EIO LCA ซึ่งย่อมาจาก Economic Input-Output Life Cycle Analysis (Joshi 2000; Carnegie Mellon University 2016) ซึ่งใช้ I-O Model เป็นเครื่องมือสำหรับการคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลของ I-O Table และข้อมูลสัมประสิทธิ์มลพิษที่เกิดจากการผลิตสินค้าต่างๆ และการใช้งานในรูปแบบอื่นๆ (Munksgaard et al. 2005; Xue et al. 2007; Mathews et al. 2015) ทำให้มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของสินค้าต่างๆ ที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อม

การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับ I-O Table สำหรับประเทศต่างๆ เพื่อใช้งานกับ I-O Model มีหลักการเดียวกัน แต่มีโครงสร้าง จำนวน และการจำแนกสาขาสินค้า แตกต่างกัน เช่น สหรัฐอเมริกามีจำนวน 498 สินค้า ประเทศไทยมี 180 สินค้า

ตาราง 1 โครงสร้าง และการจำแนกสาขาสินค้าจำนวน 180 สาขาสินค้าสำหรับตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศไทย

	การผลิตสินค้า สดมภ์ที่ C1...C2...C180	การบริโภค ของครัวเรือน	การบริโภค ของรัฐ	การบริโภค ของการลงทุน	สินค้าคงคลัง	สินค้าส่งออก	สินค้าส่งออก พิเศษ	อุปสงค์รวม
สินค้าผลิตในประเทศ แถวที่ C1...C2...C180								
สินค้านำเข้า แถว C1...C2...C180						รวมสินค้านำเข้า		
ค่าตอบแทนแรงงาน								
ค่าตอบแทน ผู้ประกอบการ								
ค่าเสื่อมราคา								
ภาษีทางอ้อม								
อุปทานรวม								

ตาราง 2 แบบสาธิตตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Illustration of input-output table) สำหรับระบบเศรษฐกิจ 2 สินค้า อาหาร และ เนื้อเป็ด

	อาหาร	เนื้อเป็ด	ครัวเรือน	รัฐบาล	ลงทุน	คงคลัง	ส่งออก	ส่งออกพิเศษ	รวมนำเข้า	รวมอุปสงค์
สินค้าในประเทศ										
อาหาร	25	40	14	7	2	1	10	1		100
เนื้อเป็ด	18	22	30	24	4	2	30			130
สินค้านำเข้า										
อาหาร	3	6	1	2	4	2			18	
เนื้อเป็ด	8	14	23	6	2				53	
			68	39	12	5	40	1	71	GDP=94
ปัจจัยขั้นปฐม										
แรงงาน	27	10								37
เครื่องจักร	12	31								43
ค่าเสื่อมราคา	3	4								7
ภาษี	4	3								7
รวมอุปทาน	100	130								GDP=94

สำหรับประเทศไทยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) เป็นหน่วยงานรวบรวมข้อมูล จัดทำ และเผยแพร่ I-O Table ซึ่งมี 180 สินค้า ฉบับที่ 1 สำหรับระบบเศรษฐกิจประเทศไทย พ.ศ. 2518 และฉบับต่อๆมามีช่วงห่างเป็นเวลาฉบับละ 5 ปี ได้แก่ พ.ศ. 2523 พ.ศ. 2528 พ.ศ. 2533 พ.ศ. 2538 พ.ศ. 2543 พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2553

ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศไทยมีโครงสร้าง และการจำแนกสาขาสินค้าจำนวน 180 สาขาสินค้า แสดงใน ตาราง 1

ตาราง 2 สาธิตตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O table) ของระบบเศรษฐกิจซึ่งมีการผลิตสินค้า 2 ชนิด ได้แก่ อาหาร และ เชื้อเพลิง

I-O table ใช้หลักการของระบบเศรษฐกิจ ซึ่งประกอบด้วยผู้บริโภคนสินค้า เรียงตามแนวนอน ได้แก่ ผู้ผลิตสินค้าต่างๆ การบริโภคของครัวเรือน การบริโภคของรัฐ การบริโภคเพื่อการลงทุน คลังสินค้าคงเหลือ การบริโภคในต่างประเทศ (ส่งออก) การบริโภคในต่างประเทศช่องทางอื่นๆ และแสดงยอดรวมของการบริโภค (อุปสงค์) เป็นผลรวมของการบริโภคของบุคคลต่างๆในสังคมล่าสุด

การผลิตสินค้าต่างๆมีต้นทุนเกิดจากการใช้ปัจจัย เรียงตามแนวตั้ง ประกอบด้วยการใช้สินค้าต่างๆ เป็นปัจจัยการผลิต ปัจจัยแรงงาน ปัจจัยทุน (เครื่องจักร) ค่าเสื่อมของปัจจัยทุน (เครื่องจักร) และภาษีทางอ้อม และแสดงผลผลิต (อุปทาน) เป็นผลรวมของปัจจัยการผลิตในแถวล่างสุด

อุปสงค์ เท่ากับ อุปทาน เป็นคุณสมบัติของ I-O table ตามความเป็นจริงของระบบเศรษฐกิจทั่วไป ตามหลักการดุลยภาพของตลาด

แบบสาธิต I-O table สมมุติระบบเศรษฐกิจมีการผลิตสินค้า 2 ชนิด ได้แก่ อาหาร และ เชื้อเพลิง แสดงใน ตาราง 2 ข้อมูลแนวนอน แสดงลูกค้าของสินค้าอาหาร จึงพบว่า

$$\text{อุปสงค์อาหาร } Y_1 = 100 = 25 + 40 + 14 + 7 + 2 + 1 + 10 + 1$$

$$\text{อุปสงค์เชื้อเพลิง } Y_2 = 130 = 18 + 22 + 30 + 24 + 4 + 2 + 30 + 0$$

อุปสงค์ของสินค้าอาหาร ประกอบด้วย (1) การใช้สินค้าอาหารเป็นปัจจัยการผลิตสินค้าอื่น และ (2) การใช้สินค้าอาหารเพื่อการบริโภคขั้นสุดท้าย

$$\text{การใช้สินค้าอาหารเป็นปัจจัยการผลิตสินค้าอื่น ประกอบด้วย } X_{11} + X_{12} = 25 + 40$$

$$\text{การใช้สินค้าเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยการผลิตสินค้าอื่น ประกอบด้วย } X_{21} + X_{22} = 18 + 22$$

การใช้สินค้าอาหารเพื่อการบริโภคขั้นสุดท้าย ประกอบด้วย (1) การบริโภคของครัวเรือน (2) การบริโภคของรัฐบาล (3) การบริโภคเพื่อผลิตสินค้าทุน (4) สินค้าคงคลัง (5) บริโภคของต่างประเทศ และ (6) การบริโภคของต่างประเทศกรณีพิเศษ

การใช้สินค้าอาหารเพื่อการบริโภคขั้นสุดท้าย $F_1 = 35 = 14 + 7 + 2 + 1 + 10 + 1$

การใช้สินค้าเชื้อเพลิงเพื่อการบริโภคขั้นสุดท้าย $F_2 = 90 = 30 + 24 + 4 + 2 + 30 + 0$

ข้อมูลแนวตั้ง แสดงปัจจัยการผลิต จึงพบว่า

ยอดรวมปัจจัยการผลิตอาหาร $Y_1 = 100 = 25 + 18 + 3 + 8 + 27 + 12 + 3 + 4$

ยอดรวมปัจจัยการผลิตเชื้อเพลิง $Y_2 = 130 = 40 + 22 + 6 + 14 + 10 + 31 + 4 + 3$

การผลิตอาหารและเชื้อเพลิง รวบรวมปัจจัยการผลิต ประกอบด้วย (1) สินค้าอื่นๆ และ (2) ปัจจัยการผลิตขั้นปฐม (Primary factors) ประกอบด้วย แรงงานมนุษย์ แรงงานเครื่องจักร ต้นทุนค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร และต้นทุนภาษีทางอ้อม (Indirect taxes) ได้แก่ ภาษีมูลค่าเพิ่ม ภาษีการค้า ภาษีสรรพสามิต ค่าธรรมเนียมอื่นๆ

ในระบบการผลิตทั่วไปจะพบว่าปัจจัยการผลิตมีปริมาณเป็นส่วนหนึ่งกับผลผลิต ซึ่งจะทำให้ใช้ปัจจัยการผลิตต่างๆเพิ่มขึ้นตามปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น และใช้ปัจจัยการผลิตต่างๆลดลงตามปริมาณผลผลิตที่ลดลง เช่น การผลิตเค้กเนยขนาด 500 กรัม ใช้เนย 150 กรัม ใช้น้ำตาล 200 กรัม ใช้นม 1.5 ถ้วย แบ่ง 300 กรัม ถ้าต้องการผลิตเค้กเนยขนาดเพิ่ม เป็น 1000 กรัม ใช้เนย 300 กรัม ใช้น้ำตาล 400 กรัม ใช้นม 3 ถ้วย แบ่ง 600 กรัม

ให้ X แทนปริมาณสินค้าใช้เป็นปัจจัยการผลิต Y แทนปริมาณผลผลิตสินค้า และ a แทนสัมประสิทธิ์ของปัจจัยการผลิต ดังนั้น คำนวณสัมประสิทธิ์ของปัจจัยการผลิตที่ผลิตในประเทศ สำหรับสินค้าอาหาร ได้

$$a_{11} \quad a_{12} = X_{11}/Y_1 \quad X_{12}/Y_2$$

ได้

$$a_{11} \quad a_{12} = 25/100 \quad 40/130$$

คำนวณสัมประสิทธิ์ของปัจจัยการผลิตที่ผลิตในประเทศ สำหรับสินค้าเชื้อเพลิง ได้

$$a_{21} \quad a_{22} = X_{21}/Y_1 \quad X_{22}/Y_2$$

ได้

$$a_{21} \quad a_{22} = 18/100 \quad 22/130$$

รูปเมตริกซ์ของปัจจัยการผลิตประกอบด้วย

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{11}}{Y_1} \cdot Y_1 + \frac{X_{12}}{Y_2} \cdot Y_2 \\ \frac{X_{21}}{Y_1} \cdot Y_1 + \frac{X_{22}}{Y_2} \cdot Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} + X_{12} \\ X_{21} + X_{22} \end{bmatrix}$$

ใช้ข้อมูลใน ตาราง 2 ได้เมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{25}{100} \cdot 100 + \frac{40}{130} \cdot 130 \\ \frac{18}{100} \cdot 100 + \frac{22}{130} \cdot 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 + 40 \\ 18 + 22 \end{bmatrix}$$

เป็นที่มาของสมการตั้งต้นของระบบ Leontief

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

ใช้ข้อมูลใน ตาราง 2 จึงพบว่า

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.250 & 0.308 \\ 0.180 & 0.169 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 35 \\ 90 \end{bmatrix}$$

ได้

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

ใช้ข้อมูลใน ตาราง 2 ได้

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.250 & 0.308 \\ 0.180 & 0.169 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 35 \\ 90 \end{bmatrix}$$

ได้

$$\begin{bmatrix} [1 & 0] \\ [0 & 1] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.250 & 0.308 \\ 0.180 & 0.169 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 35 \\ 90 \end{bmatrix}$$

ได้

$$\begin{bmatrix} 0.750 & -0.308 \\ -0.180 & 0.831 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 35 \\ 90 \end{bmatrix}$$

ได้

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.750 & -0.308 \\ -0.180 & 0.831 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 35 \\ 90 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนการคำนวณ Inverse ของ $\begin{bmatrix} 0.750 & -0.308 \\ -0.180 & 0.831 \end{bmatrix}$

คำนวณ Determinant ของ $\begin{bmatrix} 0.750 & -0.308 \\ -0.180 & 0.831 \end{bmatrix}$

$$= (0.750 \times 0.831) - (-0.308 \times -0.180) = 0.568$$

หา Cofactor ของ $\begin{bmatrix} 0.750 & -0.308 \\ -0.180 & 0.831 \end{bmatrix}$

$$= \begin{bmatrix} 0.831 & -0.180 \\ -0.308 & 0.750 \end{bmatrix}$$

หา Ad joint Matrix ของ $\begin{bmatrix} 0.831 & -0.180 \\ -0.308 & 0.750 \end{bmatrix}$

จาก ค่า $-1 \times$ Transpose ของ $\begin{bmatrix} 0.831 & -0.180 \\ -0.308 & 0.750 \end{bmatrix}$

$$= \begin{bmatrix} 0.831 & 0.308 \\ 0.180 & 0.750 \end{bmatrix}$$

คำนวณ Inverse ได้จาก

$$= \frac{1}{0.568} \begin{bmatrix} 0.831 & 0.308 \\ 0.180 & 0.750 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1.463 & 0.542 \\ 0.317 & 1.321 \end{bmatrix}$$

พบว่า

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.463 & 0.542 \\ 0.317 & 1.321 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 35 \\ 90 \end{bmatrix}$$

ได้จากผลคูณ

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.463 \times 35 + 0.542 \times 90 \\ 0.317 \times 35 + 1.321 \times 90 \end{bmatrix}$$

ตาราง 2 ใช้สถิติ การคำนวณผลผลิตมวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Products: GDPs) จาก
ด้านอุปทานหรือรายได้ จึงได้ $GDP = 94 = 37 + 43 + 7 + 7$

ผลผลิตมวลรวมในประเทศคำนวณจากด้านอุปสงค์ $GDP = 94 = 68 + 39 + 12 + 5 + 40 + 1 - 71$

เพื่อสรุปที่มาของ I-O Model ให้

Y = เมตริกซ์ผลผลิตสินค้า ชนิด $i = 1..n$

X = เมตริกซ์อุปสงค์ของสินค้า ชนิด $i = 1..n$ ใช้เป็นปัจจัยการผลิตสินค้า ชนิด $j = 1..n$

F = เมตริกซ์อุปสงค์สำหรับการบริโภคขั้นสุดท้าย ชนิด $i = 1..n$

A = เมตริกซ์สัดส่วนของ X ใน Y

I = เมตริกซ์เอกลักษณ์

R = เมตริกซ์แรงสะพัด (Multiplier)

L^B = เมตริกซ์ดัชนีวัดการเชื่อมโยงด้านหลัง (Index of total backward linkage) หรือ ด้านปัจจัยการผลิต

L^F = เมตริกซ์ดัชนีวัดการเชื่อมโยงด้านหน้า (Index of total forward linkage) หรือ ด้านผู้บริโภค

สำหรับประเทศไทย $n = 180$ เนื่องจากมี 180 สินค้า

คุณภาพของระบบเศรษฐกิจ ได้แก่

$$Y = AY + F$$

$$Y - AY = F$$

$$(I - A)Y = F$$

$$Y = (I - A)^{-1}F$$

เมตริกซ์ $(I - A)^{-1}$ มีคุณสมบัติแสดงค่าแรงสะพัด (Multipliers) ซึ่งทำให้ $Y = (I - A)^{-1}F$ เป็นเครื่องมือสำหรับการคำนวณแรงสะพัดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง (ทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง) ของการบริโภคขั้นสุดท้าย F ของสินค้า 1 รายการ ไปยังการผลิตสินค้าทั้งหมดของระบบเศรษฐกิจซึ่งเชื่อมโยงเป็นห่วงโซ่

จึงพบว่า การเปลี่ยนแปลง F_1 ผูกพันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้ง Y_1 และ Y_2 และเช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลง F_2 ผูกพันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้ง Y_1 และ Y_2

แบบฝึกหัด การคำนวณ Inverse ของเมตริกซ์

$$(I - A) = \begin{bmatrix} 0.750 & -0.308 \\ -0.180 & 0.831 \end{bmatrix}$$

คำนวณ Determinant ของเมตริกซ์ $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ โดยวิธี $(a \times d) - (b \times c)$ ได้ $(0.750 \times 0.831) - (-0.308 \times -0.180) = 0.568$

จัด เมตริกซ์ Cofactor ของเมตริกซ์ $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ โดยวิธี $\begin{bmatrix} d & c \\ b & a \end{bmatrix}$ ได้

0.831	-0.180
-0.308	0.750

จัด เมตริกซ์ Ad joint ของเมตริกซ์ Cofactor $\begin{bmatrix} d & c \\ b & a \end{bmatrix}$ โดยวิธี $\begin{bmatrix} d & -1 \cdot b \\ -1 \cdot c & a \end{bmatrix}$ ได้

0.831	0.308
0.180	0.750

คำนวณ $(I - A)^{-1}$ โดยวิธี $\frac{1}{|(I-A)|} [\text{Ad joint } (I - A)]$ ได้

$$(I - A)^{-1} = \frac{1}{0.568} \begin{bmatrix} 0.831 & 0.308 \\ 0.180 & 0.750 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.463 & 0.542 \\ 0.317 & 1.321 \end{bmatrix}$$

บรรณานุกรม

- Carnegie Mellon University 2016. Economic Input-Output Life Cycle Assessment. Green Design Institute. <http://www.eiolca.net/Models/index.html>
- Joshi, Satish 2000. Product Environmental Life-Cycle Assessment Using Input-Output Techniques. Journal of Industrial Ecology. Volume 3, Number 2 & 3 PP 95-120.
- Leontief W. W. 1936. "Quantitative input and output relations in the economic system of the United States." Review of Economics and Statistics. Vol. 18, pp. 105-125.
- Mathews, H. Scott, Chris T. Hendrickson, and Deanna H. Mathews 2015. Life Cycle Assessment: Quantitative Approach for Decisions that Matter. Economic Input-Output Life Cycle Assessment, Green Design Institute, <http://www.lcatextbook.com/>
- Munksgaard, Jesper, Mette Wier, Manfred Lenzen, and Christopher Dey 2005. Using Input-Output Analysis to Measure the Environmental Pressure of Consumption at Different Spatial Levels. Journal of Industrial Ecology Volume 9, Number 1–2 PP 169-185
- Xue, H., V. Kumar and J.W. Sutherland 2007. Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input-output models. Journal of Cleaner Production 15 (2007) 1349-1358