

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.3.143>

JIIBC 2021-3-20

길이 비율 효율성 측정법을 이용한 자료포락분석

Data Envelopment Analysis(DEA) using Length Rate-based Efficiency Measurement

이상운*

Sang-Un, Lee *

요약 본 논문은 자료포락분석의 핵심인 상대효율을 계산하는데 있어 길이비율 측정법을 제안하였다. 상대효율을 계산하는 유일한 방법으로 선형계획법이 알려져 왔다. 이 방법은 모든 의사결정단위들에 대한 단편적인 선형계획법을 풀어야 하는 문제점을 갖고 있었다. 본 논문에서는 단순히 입력-출력 관계를 2차원 그래프 작도로 효율적과 비효율적인 의사결정단위를 구별하고, 비효율적인 의사결정단위의 현재 달성한 효율성은 길이비율 측정법으로 구하였다. 제안된 방법을 다양한 실험사례들에 적용한 결과 선형계획법의 적용 오류로 인한 문제점도 해결할 수 있었으며, 항상 정확한 상대효율이 계산됨을 보였다. 또한, 이미 100% 효율성을 달성한 의사결정단위들을 제외하고, 단지 비효율적인 의사결정단위들에 대해서만 직선을 그려 기준 집합을 결정하고, 상대효율을 쉽게 구할 수 있었다.

Abstract This paper proposes length rate measurement for relative efficiency that is a core of data envelopment analysis(DEA). It has been said that the linear programming(LP) is a unique method to get the relative efficiency. This method has drawback that applies fractional LP focusing on each DMU in turn. This paper draws bi-dimensional input-output relational graph and distinguishes between efficient and inefficient DMU. The relative efficiency of inefficient DUM is solve using length rate measurement. As a result of various experimental data, the LP shows mistake of application, but this method gets the correct relative efficiency at all times. Also, this method only gets the relative efficiency for only inefficient DMUs without efficient DUMs that already achieved 100% efficiency. This method solves the relative efficiency of inefficient DUM draws the line to efficient frontier and decides the reference set easily.

Key Words : Data envelopment analysis, Efficient frontier, Reference set, Relative efficiency, Length rate

1. 서 론

$k=1,2,\dots,p$ 개의 동일 업종 의사결정단위(decision making unit, DMU)를 가진 조직(병원, 정부부서, 학교,

은행 등)에서 $i=1,2,\dots,m$ 개의 j 로 상이한 입력 X_i (직원 수, 관리자 수 등)를 투입하여 $j=1,2,\dots,n$ 개의 서로 다른 출력 Y_j (이득, 치료환자 수 등)를 산출하는 성과를 얻는 경우, 조직의 성과에 대한 합리적인 측정 및 평가의 중요

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 2021년 2월 19일, 수정완료 2021년 4월 5일
게재확정일자 2021년 6월 4일

Received: 19 February, 2021 / Revised: 5 April, 2021 /
Accepted: 4 June, 2021

*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr

Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University, Korea

성은 아무리 강조해도 지나치지 않는다.^[1] 이와 같은 조직의 성과 측정 및 평가에 가장 유용하게 적용되는 방법으로 자료포락분석(data envelopment analysis, DEA)^[2]가 일반적으로 적용되고 있다.^[3-5]

DEA는 효율성 경계(eficiency frontier) 또는 등생산량곡선(isoquant) 분석법이라고도 불리우며, 선형계획법(linear programming, LP)을 적용하여 조직 내의 최대 효율성을 갖는 효율성 경계에 위치한 DMU들을 기준으로 비효율성을 갖는 DMU들의 대한 상대효율성(relative efficiency)을 평가하는데 사용된다.^[1,6-8]

따라서 DEA를 적용하기 위해서는 최우선적으로 등생산량곡선 상의 DMU들을 결정해야 하며, 이들 DMU들에 기반하여 비효율성 DMU들의 상대효율성을 계산해야만 한다. 이를 위해서는 2축 그래프 상에 시각적으로 표현하여 효율성과 비효율성 DMU를 구분하는 방법과 LP를 적용하여 상대효율성을 계산하는 방법이 있다.^[2,6] LP법은 시각적으로 보여주지 않는 반면에 수치적으로 각 DMU의 상대 효율성을 계산하는 장점이 있지만 효율성을 갖는 등생산량곡선 상에 있는 DMU들을 포함하여 모든 DMU 각각에 대해 v_i 와 u_j 의 가중치를 조절해야만 하는 반복적인 과정을 거친다. 반면에, 그래프 표현법은 등생산량곡선 상의 DMU들(효율성='1')을 제외한 비효율성을 갖는 DMU들($0 \leq \text{효율성} < 1$)에 한정하여 상대효율성을 계산하는 장점을 갖고 있다.

2차원 그래프 표현법이 갖고 있는 최대 약점은 기껏해야 2-입력 1-출력 또는 1-입력 2-출력의 3변수까지만 2차원 그래프로 표현할 수 있다는 점이다.^[9,10] 다중-입력 다중-출력을 1-입력 1-출력의 2차원 그래프로 표현하는 방법에 대해 Costa et al.^[9]은 입력 가중치 합과 출력 가중치 합을 이용하는 방법을 제안하였고, Collier et al.^[10]은 회귀분석법을 제안하기도 하였다. 그러나 이들 방법 역시 선형계획법이나 회귀분석 도구의 도움을 받아야 하는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 2차원 그래프 표현법에서 비효율성을 갖고 있는 DMU들의 상대 효율성을 계산함에 있어 선형계획법(LP) 도구를 사용하지 않고 쉽게 계산하는 공식을 제안한다. 만약, 다중-입력 다중-출력을 2차원 그래프로 표현할 수 있다면 본 장에서 제안된 공식을 적용하면 LP를 이용하지 않고도 쉽게 효율성을 평가할 수 있을 것이다. 2장에서는 효율성의 정의와 측정법 연구동향을 살펴보고, 3장에서는 선형계획법 도구를 사용하지 않고도 상대효율성을 쉽게 계산하는 공식을 제안한다. 4장에서는 다양한 사례들에 대해 제안된 공식과 LP로 얻은 효율성을 비교하여 제안된 공식의 적합성을 검증하여 본다.

II. 효율성의 정의와 측정법 연구 동향

단일-입력 단일-출력의 효율성(eficiency)은 일반적으로 '출력/입력'으로 측정한다.^[6,7] 즉 최소의 입력을 투입하여 최대의 출력을 얻는 것이 효율성이다. 그러나 다중-입력 다중-출력의 경우 입력 변수들 간의 상관성과 출력 변수들 간의 상관성으로 인해 이 공식은 적합하지 못한다. 따라서 상대효율성(relative efficiency)인 '출력 가중치 합/입력 가중치 합'으로 측정한다.^[6,7]

경제와 생산이론에서, 생산(production)이란 입력(토지, 노동, 자산 또는 가치 있는 자원)과 같은 입력을 상품이나 서비스로 변환시키는 과정이다. 결합된 입력으로 어떤 출력을 얻는 효율성은 효율성 척도로 측정될 수 있다. 경제적 효율성(economic efficiency, EE)은 최소의 생산비용으로 소비자가 원하는 상품과 서비스를 생산할 경우 달성될 수 있다.

효율성에는 그림 1과 같이 비용효율(cost efficiency, CE) 또는 경제적 효율은 기술적 효율(technical efficiency, TE)과 배당효율(allocative efficiency, AE)로 구성되어 있다.^[3] TE는 입력의 낭비가 없는 상태에서 현재 보유한 기술과 물리적 입력(인력과 기계의 서비스)으로 최대의 출력을 생산하거나 기술과 출력을 생산하는데 요구되는 입력을 최소화시키는 것이다. 이는 최대의 기술적 효율을 달성한 모범경영(best practice, efficient frontier)에 대한 상대적 효율로 측정된다. AE는 조직이 이미 기술적으로 완전히 효율성을 달성한 상태에서, 주어진 입력 비용 집합과 출력 수준에서 생산에 소요되는 비용을 최소화 시킬 수 있는 입력으로 정의된다. TE와 AE 모두를 100% 달성하였을 경우 CE 또는 EE는 100%가 된다. DEA는 선형계획법 도구를 활용하여 단지 TE만을 측정한다.

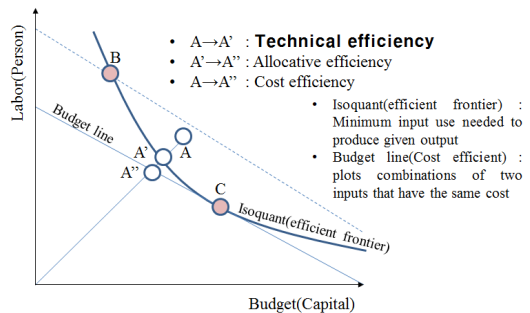


그림 1. 효율성
Fig. 1. Efficiency

$i=1,2,\dots,m$ 을 갖는 입력 변수 x_i 를 투입하여 $j=1,2,\dots,n$ 을 갖는 출력 변수 y_j 를 얻는 생산성을 평가함에 있어 $k=1,2,\dots,p$ 인 의사결정 단위(DMU)들을 대상으로 최대의 생산성을 나타내는 효율성 경계 또는 등생산량곡선상의 기준 집합(reference set)에 대한 비효율성을 갖는 DMU의 상대효율성은 식 (1) 또는 식 (2)의 선형계획법(LP)으로 얻는다. 즉, 특정 DMU o 의 상대적인 효율성은 o 를 제외한 모든 DMU의 출력 : 입력 효율성 차이 ≤ 0 , 또는 비율 ≤ 1 로 한정시킨 상태에서, DMU o 의 입력을 최대 효율적인 "1"을 투입하였을 경우 출력의 효율성이 최대가 되는 값인 Ef_o 를 얻는다. 이는 p 개의 모든 DMU들에 대해 각각 수행하여 모수 값 v_{i_o}, u_{j_o} 를 조절하면서 얻는다. 여기서 v_{ik} 는 k 번째 DMU의 i 번째 입력변수의 가중치를, u_{jk} 는 k 번째 DMU의 j 번째 출력변수의 가중치를, x_{ik} 는 k 번째 DMU의 i 번째 입력변수 값을, y_{jk} 는 k 번째 DMU의 j 번째 출력변수 값을 의미한다.

for $o=1$ to p

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i_o} = 1$$

adjust $v_i, u_j, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$

$$\begin{aligned} Ef_o = \text{Maximize } & \sum_{j=1}^n u_j y_{j_o} & (1) \\ \text{for } k=1 \text{ to } p & \\ & \sum_{j=1}^n u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \\ & v_i \geq 0, u_j \geq 0, \forall i, j \end{aligned}$$

end

or

$$\begin{aligned} Ef_o = \text{Maximize } & \sum_{j=1}^n u_j y_{j_o} / \sum_{i=1}^m v_i x_{i_o} & (2) \\ \text{for } k=1 \text{ to } p & \\ & \sum_{j=1}^n u_j y_{jk} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 1, \forall k \\ & v_i \geq 0, u_j \geq 0, \forall i, j \end{aligned}$$

end

end

이와 같은 DEA의 LP는 최대의 생산성('1')을 갖는 기준집합에 대한 각 DMU의 상대효율성을 얻으며, 입력 변수와 출력 변수의 개수에 제약을 받지 않는 장점을 갖고 있다. 그러나 이를 시각적으로 파악할 수 없는 평면좌표 그래프로 표현할 수 없는 단점을 갖고 있다. 따라서 비효율성을 갖는 DMU의 기준집합이 어떤 것인지에 대한 정보를 얻지 못한다.

반면에, DEA를 평면 그래프 형태로 표현하면 최대 효율성을 갖는 효율성 경계 DMU들과 비효율성을 갖는 DMU들을 쉽게 판별할 수 있다. 또한 0을 시작으로 비효율성을 갖는 DMU 지점을 통과하여 효율성 경계에서 만나는 직선을 그리면 특정 비효율성을 갖는 DMU의 기준 집합을 쉽게 판단할 수 있으며, LP를 적용하지 않고도 상대효율을 쉽게 계산할 수 있다.

따라서 3장에서는 LP를 적용하지 않고 특정 비효율성을 갖는 DMU의 상대 효율성을 쉽게 계산하는 방법을 제안한다.

III. 길이 비율 기반 효율성 계산

본 장에서 제안하는 비효율성 DMU의 상대 효율성을 쉽게 계산하는 방법은 입출력의 관계를 2차원의 평면 그래프 상에 시각적으로 표현해야 하는 관계로 주어진 데이터의 입력과 출력 변수의 개수에 제약을 받는다. 즉, 1-입력 1-출력(single-input single-output, SISO), 2-입력 1-출력(dual-input single-output, DISO), 1-입력 2-출력(single-input dual-output, SIDO)으로 총 변수의 개수는 3개까지 가능하다. 따라서 2-입력 2-출력(DIDO) 이상의 데이터인 다변량 다변량(multi-input multi-output, MIMO) 관계에 대해서는 이를 2차원 평면 그래프로 표현할 수 있는 방법만 제시된다면 본 장에서 제안하는 효율성 계산법을 적용할 수 있을 것이다.

제안된 방법은 그림 2와 같이 3개의 DMU의 입력 변수 값 X_i 에 대한 출력 변수 값 Y_j 를 2차원 직교좌표 상에 점으로 표현한다.

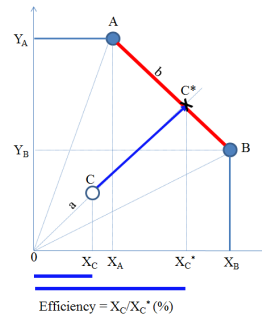


그림 2. 효율성 계산법
 Fig. 2. Efficiency computation method

이 그래프에서 비효율성 DMU인 C를 모두 커버하는 최대의 효율성(또는 생산성=출력/입력)을 갖는 두 DMU A와 B를 기준집합으로 하는 데이터 포락(data envelope)을 그리면, 비효율성 DMU C를 효율성을 갖는 C^* 로 생산성을 향상시키기 위해 현재의 입력(인력)을 감소시키거나 현재의 입력으로 생산성을 증대시키는 노력을 할 수 있다. 이와 같이 현재의 생산성 수준이 어느 정도인지 여부를 상대효율성이라 하며, DMU C의 상대 효율성은 $\overline{OC}/\overline{OC^*}$ 로 계산된다. 이에 대한 해를 얻기 위해서는 \overline{OC} 와 더불어 C^* 지점의 X_{C^*} 와 Y_{C^*} 를 결정하여 $\overline{CC^*}$ 길이를 계산해야 하는 어려움이 있다. 따라서 본 장에서는 식 (3)으로 단지 X축의 길이만을 사용하여 비효율 DMU의 현재 수준 효율성을 계산한다.

$$Ef_C = \frac{\overline{OC}}{\overline{OC^*}} = \frac{aX_C}{aX_{C^*}} = \frac{X_C}{X_{C^*}} \quad (3)$$

식 (3)의 해를 구하기 위해서는 C^* 지점의 X_{C^*} 를 결정해야 한다. 이를 쉽게 결정하는 방법으로 본 장에서는 식 (4)를 제안한다. 즉, C^* 는 기준집합 {A,B}의 Y_A 가 기울기 b 로 감소하는 직선과 비효율 DMU인 C 가 기울기 a 로 증가하는 직선이 교차하는 지점이 된다.

$$Y_A - ob = aX_A + oa \quad (4)$$

$$a = (Y_A - aX_A)/(a+b)$$

$$X_{C^*} = X_A + a$$

$$\text{such that. } a = \overline{OY_C}/\overline{OX_C} = Y_C/X_C$$

$$b = (Y_A - Y_B)/(X_B - X_A)$$

비효율 DMU 각각에 대해 기준점 '0'에서 비효율 DMU 지점을 관통하여 기준집합과 교차하는 직선을 그려 식 (3)과 식 (4)로부터 얻은 값을 이용하여 상대적 효율을 계산하는 방법은 그림 3과 같다.

본 장에서 제안된 길이비율 측정법(length rate measurement, LRM)은 최대효율성을 달성한 자료포락을 쉽게 결정할 수 있으며, 기준선('0')에서 시작하여 비효율성을 나타내는 각 DMU를 관통하는 직선이 교차하는 기준집합을 쉽게 결정할 수 있으며, 이에 따라 비효율성 DMU의 상대 효율성을 LP를 적용하지 않고도 쉽게 계산하는 장점을 갖고 있다.

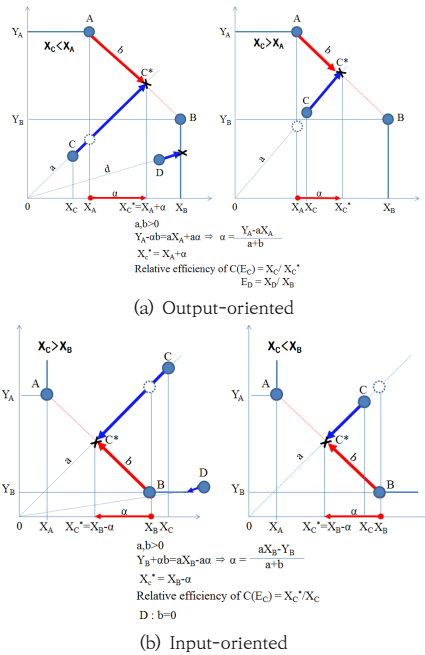


그림 3. 길이 비율 효율성 계산법
Fig. 3. Length rate efficiency measurement

IV. 적용 및 결과 분석

본 장에서는 표 1의 다양한 실험 데이터에 제안된 LRM을 적용하여 상대적 효율성을 정확히 구할 수 있는지 LP와 비교하여 고찰해 본다.

표 1의 실험 데이터를 2차원 그래프로 표현하면 그림 4와 같다. 여기서는 입력지향(I/O)과 출력지향(O/I) 방법을 혼용하여 적용하였다.

표 1. 실험 데이터

Table 1. Experimental data

(a) P01 Service Unit	Input		Output	H/T	S/T
	Teller hours(H)	Supply dollars(S)	Transactions processed(T)		
B1	20	300	1,000	0.002	0.3
B2	30	200	1,000	0.003	0.2
B3	40	100	1,000	0.004	0.1
B4	20	200	1,000	0.002	0.2
B5	10	400	1,000	0.001	0.4

(b) P02	Input	Output		P/S	B/S
Branches	# of Staff employed	Personal transactions (*1000)	Business Transaction processed (*1000)		
Birmingham	16	44	20	2.750	1.250
Cardiff	10	23	12	2.300	1.200
Glasgow	20	125	50	6.250	2.500
Leeds	22	80	52	3.636	2.364
London	30	140	40	4.667	1.333
Menchester	12	55	45	4.583	3.750

(c) P03	Input	Output		P/S	B/S
Branch	# of staff	Personal account transactions (x1,000)	Business account transactions (x1,000)		
Croydon	18	125	50	6.94	2.78
Dorking	16	44	20	2.75	1.25
Redhill	17	80	55	4.71	3.24
Reigate	11	23	12	2.09	1.09

(d) P04	Input		Output	S/L	S/M
Service unit	Labor-hours (L)	Material dollars(M)	Meal sold(M)		
B01	2	200	100	50.000	0.500
B02	4	150	100	25.000	0.667
B03	4	100	100	25.000	1.000
B04	6	100	100	16.667	1.000
B05	8	80	100	12.500	1.250
B06	10	50	100	10.000	2.000

(e) P05	Input	Output		O1/I	O2/I
DMU	I1	O1	O2		
D1	64.1	102	683	1.5913	10.6552
D2	60.8	171	545	2.8125	8.9638
D3	50.0	175	250	3.5000	5.0000
D4	60.0	210	192	3.5000	3.2000
D5	59.9	126	456	2.1035	7.6127
D6	70.8	46	604	0.6497	8.5311

(f) P06	Input		Output	N/T	B/T
DMU	Nurses	Beds	Treated cases		
H01	200	600	200	1.0	3.0
H02	600	1200	300	2.0	4.0
H03	200	200	100	2.0	2.0
H04	600	300	200	3.0	1.5
H05	500	200	100	5.0	2.0

그림 4에 표기된 그래프에 대해 모범적인 효율성을 갖는 효율성 경계 또는 등생산량곡선 상의 DMU들은 이미 상대적 효율성이 '1.0000'로 확정된 상태이므로, 비 효율성을 갖는 DMU들만을 대상으로 기준점('0')에서 해당 DMU를 관통하는 직선을 그려 등생산량곡선과 교차하는 점에 대한 상대적 효율성을 그려 LP로 얻은 상대효율과 비교한 결과는 표 2와 같다.

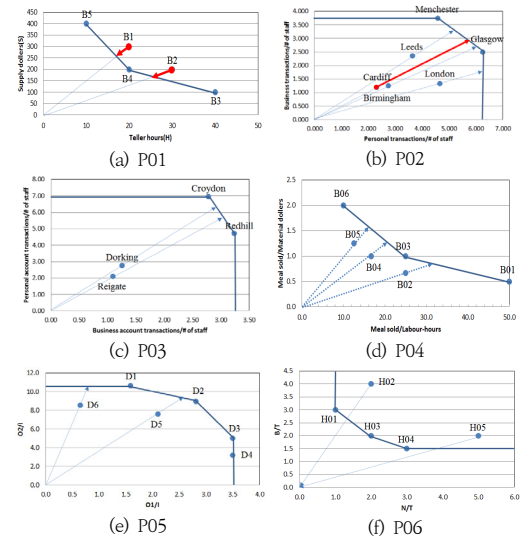


그림 4. 실험 데이터에 대한 그래프 표기
 Fig. 4. Graph representation for Experimental data

표 2. 성능 평가
 Table 2. Performance evaluation

(a) P01	DMU	B1	B2	B3	B4	B5
LP		0.8571	0.8571	1.0000	1.0000	1.0000
LRM		0.855	0.8567	-	-	-

(b) P02	DMU	Birmingham	Cardiff	Glasgow	Leeds	London	Manchester
LP		0.46	0.41	1.00	0.71	0.75	1.00
LRM		0.4609	0.4069	-	0.7082	0.7466	-

(c) P03	DMU	Croydon	Dorking	Redhill	Reigate
LP		1.0000	0.43	1.0000	0.36
LRM		-	0.4377	-	0.3611

(d) P04	DMU	B01	B02	B03	B04	B05	B06
LP		1.0000	0.857	1.0000	0.889	0.901	1.0000
LRM		-	0.7869	-	0.8125	0.7882	-

(e) P05	DMU	B01	B02	B03	B04	B05	B06
LP		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.82	0.81
LRM		-	-	-	-	0.8157	0.8086

(f) P06	DMU	H01	H02	H03	H04	H05
LP		1.0000	0.6675	1.0000	1.0000	
LRM		-	0.6650	-	-	0.7900

LP는 P04의 사례에서처럼 입력-출력 변수의 여러 모 수값을 조절하는 과정에서 오류로 인해 상대효율을 상대 효율의 오차를 유발시킬 수 있는데 반해, 제안된 공식은 상대효율을 항상 정확하게 계산하는 정점을 갖고 있음을 알 수 있다.

V. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 조직의 의사결정단위(DMU)들 성과에 대한 합리적인 측정 및 평가를 함에 있어 DEA를 이용하는 경우, 최대의 효율성을 효율성 경계 상의 DMU들을 기준으로 비효율성을 갖는 DMU들의 상대효율성을 쉽게 계산하는 공식을 제안하였다.

상대효율성을 계산함에 있어 지금까지는 조직의 모든 DMU들을 대상으로 선형계획법을 차례대로 적용하는 방법이 유일하게 제안되었다. 반면에, 본 논문에서는 입력-출력의 생산성을 2차원 그래프로 그려 시각적으로 효율성 경계를 결정하고, 단지 비효율성을 갖는 DMU에 대해서만 효율성 경계까지의 효율성을 달성하는 길이에 대한 현재 달성된 효율성 길이 비율로 상대효율성을 단순히 계산하는 방법을 제안하였다.

제안된 공식을 다양한 사례들에 적용한 결과, LP는 입-출력 변수의 여러 가중치들을 조절하는 오류로 인해 상대효율을 상대효율의 오차를 유발시킬 수 있는데 반해, 제안된 공식은 상대효율을 항상 정확하게 계산하는 정점을 갖고 있음을 보였다.

본 논문에서는 SISO, SIDO 또는 DISO의 3변수에 대한 DEA를 그래프 작도를 통해 상대효율성을 계산하는 공식을 제안하였다. 그러나 실제 조직의 성과를 측정함에 있어서는 DIDO 이상의 다중-입력 다중-출력 (MIMO)의 변수들을 보다 널리 활용하는 관계로, 추후 이들에 대한 2차원 그래프 작도법을 연구하여 본 논문에서 제안된 길이비율 계산법을 적용하여 일반화된 상대효율성 계산 공식으로 확대 발전시킬 예정이다.

Journal of Operational Research, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444, No. 1978,
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

- [3] Q. Zhu, J. Wu, and M. Song, "Efficiency Evaluation based on Data Envelopment Analysis in the Big Data Context," *Computers and Operations Research*, Vol. 98, pp. 291-300, Oct. 2018,
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.017>
- [4] H. Zhou, Y. Yang, Y. Chen, and J. Zhu, "Data Envelopment Analysis Application in Sustainability: The Origins, Development and Future Directions," *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 1, pp. 1-16, Jan. 2018,
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.023>
- [5] C. F. Chien, F. Y. Lo, and J. T. Lin, "Using DEA to Measure the Relative Efficiency of the Service Center and Improve Operation Efficiency through Reorganization," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, No. 1, pp. 366-373, Feb. 2003,
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2002.807081>
- [6] A. Emrouznejad and E. Cabanda, "Handbook of Research on Strategic Performance Management and Measurement Using Data Envelopment Analysis: Chap. 4. Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Applications," IGI Global, pp. 235-255, Jan. 2015,
<https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4474-8.ch004>
- [7] A. Emrouznejad, "Tutorial on Data Envelopment Analysis," <http://deazone.com/en/resources/tutorial>, 2012.
- [8] H. D. Sherman and J. Zhu, "Service Productivity Management: Improving Service Performance using Data Envelopment Analysis(DEA), Chap. 2: Data Envelopment Analysis Explained," pp. 49-89, 2006, Springer, <https://doi.org/10.1007/0-387-33231-6>
- [9] C. A. B. Costa, J. C. C. B. S. Mello, and L. A. Meza, "A New Approach to the Bi-Dimensional Representation of the DEA Efficient Frontier with Multiple Inputs and Outputs," *European Journal of Operational Research*, Vol. 255, No. 1, pp. 175-186, May 2016,
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.012>
- [10] T. Collier, A. L. Johnson, and J. Ruggiero, "Technical Efficiency Estimation with Multiple Inputs and Multiple Outputs using Regression Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol. 208, No. 2, pp. 153-160, Jan. 2011,
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.024>

References

- [1] J. E. Beasley, "OR-Notes: Data Envelopment Analysis," <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/or/dea.html>, Nov. 2012.
- [2] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European*

저 자 소 개

이 상 운(정회원)



- 1987년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
- 1997년: 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
- 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
- 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
- 2004년 ~ 2007.2 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
- 2007.3 ~ 2015.3 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
- 2015.4 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
- 관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 딥러닝 신경망, 빅데이터분석, 최적화 알고리즘
- e-mail : sulee@gwnu.ac.kr