

R&D 프로젝트 성과평가를 위한 DEA모형의 타당성 실증분석 : 정규화지표와의 순위상관을 중심으로

박성민[†]

백석대학교 경상학부

Empirical Analysis of DEA models Validity for R&D Project Performance Evaluation : Focusing on Rank Correlation with Normalization Index

Sungmin Park

Department of Business Administration, Baekseok University, Cheonan, Chungnam-Do, 330-704

This study analyzes a relationship between Data Envelopment Analysis(DEA) efficiency scores and a normalization index in order to examine the validity of DEA models. A normalization index concerned in this study is 'sales per R&D project fund' which is regarded as a crucial R&D project performance evaluation index in practice. For this correlation analysis, three distinct DEA models are selected such as DEA basic model, DEA/AR-I revised model(i.e. DEA basic model with Acceptance Region Type I constraints) and Super-Efficiency(SE) model. Especially, SE model is adopted where efficient R&D projects(i.e. Decision Making Units, DMU's) with DEA efficiency score of unity from DEA basic model can be further differentiated in ranks. Considering the non-normality and outliers, two rank correlation coefficients such as Spearman's ρ_s and Kendall's τ_B are investigated in addition to Pearson's r . With an up-to-date empirical massive dataset of $n = 482$ R&D projects associated with R&D Loan Program of Korea Information Communication Promotion Fund in the year of 2011, statistically significant (+) correlations are verified between the normalization index and every model's DEA efficiency scores with all three correlation coefficients. Especially, the congruence verified in this empirical analysis can be a useful reference for enhancing the practitioner's acceptability onto DEA efficiency scores as a real-world R&D project performance evaluation index.

Keyword: DEA, non-normality, normalization index, performance evaluation, rank correlation, R&D

1. 서론

자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)은 R&D 프로젝트 성과평가를 위해 활용될 수 있는 경영과학(Operations Research/Management Science, OR/MS) 모형이다(Henriksen and Traynor, 1999;

Bitman and Sharif, 2008). DEA모형은 R&D 프로젝트 성과평가의 일반적인 5가지 관점 중 특히 투입(input) 대비 성과(performance)의 비율을 나타내는 효율성(efficiency)의 측정에 적합한 것으로 판단된다(Zhu, 2003; Cooper *et al.*, 2004; Cooper *et al.*, 2007). 한편 R&D 프로젝트 성과평가의 나머지 4가지 관점은 효과성(effecti-

[†]연락처 : 박성민 교수, 330-704 충청남도 천안시 안서동 115번지 백석대학교 경상학부

Fax : 041-550-9172, E-mail : smpark99@bu.ac.kr

투고일(2011년 07월 09일), 심사일(1차 : 2011년 10월 11일, 2차 : 2011년 10월 21일), 게재확정일(2011년 10월 25일).

veness), 적절성(relevance), 지속성(sustainability), 효용성(utility)으로 정의된다(Ko *et al.*, 2004; MIC and KAIT, 2007). 또한 성과(performance)는 창출되는 시간적 순서에 따라 (단기)기술적 산출(technical output), (중기)사업화 결과(business outcome), (장기)사회·경제적 (과급)효과(socio-economic impact)와 같이 3단계로 분류된 바 있다(Hwang and Hwang, 2005; Hwang, 2006; Park *et al.*, 2011).

일반적인 R&D 사업 또는 R&D 사업에 속한 하위 R&D 프로젝트(project, 과제)의 성과평과와 관련된 고전적인 연구문헌으로서 Oral *et al.*(1991)은 자체평가(self-evaluation), 교차평가(cross-evaluation), 선택(selection) 총 3개 R&D 프로젝트 성과평가·선택모형을 제안하였다. McLaughlin and Jordan(1999)은 R&D 프로젝트의 사전수립·사후평가를 위한 순서도(flow chart) 형식을 취하는 논리모형(logic model)을 제안하였다. R&D 프로젝트 성과평가를 위해 특화된 모형은 아니지만 1998년과 2004년에 공개된 바 있는 W. K. Kellogg Foundation 논리모형 역시 그 활용의 범위가 넓어 R&D 프로젝트 성과평가 관련 연구에서 자주 참고된다(Kellogg Foundation, 2004).

DEA모형을 활용한 R&D 성과평가 관련 해외문헌을 고찰하면, Hsu and Hsueh(2009)는 정부지원 110개 R&D 프로젝트를 대상으로 한 성과평가를 통해 수혜기업에 대한 정부지원 금액의 적정 상한선이 필요함을 강조하였다. Lee *et al.*(2009)은 이질적(heterogeneous) 사업목표를 갖는 6개 정부지원 R&D 사업 간 성과평가를 위해 Acceptance Region(AR) 제약식을 갖는 DEA모형을 수립하고 그 계산결과를 비모수적(non-parametric) 통계방법론인 Mann-Whitney *U* 검정, Kruskal-Wallis 검정으로 분석했다. Farris *et al.*(2006)은 운용차량에 장착되는 정보통신시스템 설계·설치와 관련된 15개 R&D 프로젝트를 대상으로 초기 23개에서 최종 5개로 DEA 효율성 입력·출력항목이 축소되는 과정을 설명하였다.

국내문헌을 고찰하면 Park(2010)은 정부지원 R&D 프로젝트의 1단계 단기적·기술적 산출의 DEA 효율성지수와 2단계 중기적·경제적 결과의 DEA 효율성지수 간 상관분석과 이 2개 DEA 효율성지수를 이용한 R&D 사업 포지셔닝(positioning)을 검토한 바 있다. Sohn and Joo(2004)는 DEA모형과 분류모형을 이용하여 두뇌한국(Brain Korea, BK) 21사업단의 효율성을 평가했다. Rhim *et al.*(1999)은 R&D 사업 성과평가·선택을 위한 DEA/AHP 통합모형을 개발하여 DEA 효율성지수의 신뢰도를 제고하였다.

CCR(Charnes, Cooper and Rhodes, 1978)모형, BCC(Banker, Charnes, Cooper, 1984)모형 등이 제안된 이래로 DEA모형의 초창기 활용은 교육내용·학교운영(Charnes and Cooper, 1980; Charnes *et al.*, 1981; Bessent *et al.*, 1982), 은행운영(Sherman and Gold, 1985), 병원 운영(Banker *et al.*, 1986), 경찰서운영(Parks, 1983) 등에서 다양한 사례가 확인된다. 최근에는 군사(Bae *et al.*, 2006), 금융(Gregoriou and Zhu, 2005), 부동산(Kim and Kim, 2007), 스포츠(Lee and Yang, 2004) 등으로 활용 폭이 확대되고 있다.

문헌고찰을 통해 DEA모형은 R&D 프로젝트 성과평가를 위한 유용한 도구임이 확인되지만 반면 DEA 효율성지수를 R&D

프로젝트 성과평가지수로 최종 채택·활용할지 여부에 대한 의사결정권자인 R&D 사업 추진·관리기관의 현장실무자는; 1)DEA모형의 이론적·수학적 복잡성으로 인해 이해의 어려움을 호소하거나; 2)R&D 프로젝트의 다수 투입·성과지표들이 과연 현실적 타당성(validity)을 갖는 단일 DEA 효율성지수로 요약될 수 있을지에 대한 의구심을 표출할 수 있다고 판단된다(MIC and KAIT, 2007; MKE and KEIT, 2009; MKE and KEIT, 2010).

반면 DEA모형을 활용한 기존 R&D 프로젝트 성과평가 관련 문헌에서는 그 분석결과인 DEA 효율성지수를 현장으로 환류(feedback)시켰는지 그리고 현장실무자는 이에 대한 적극적인 수용성(acceptability)을 갖고 R&D 프로젝트의 성과평가지수로 실제 활용했는지 등에 대해서는 상대적으로 아직까지 명확하고 충분한 사례를 보고하지 못한 것으로 파악된다.

이와 같은 현실적 이유 때문에 현장실무자는 R&D 프로젝트 성과평가, 그 중에서도 효율성 평가 시 관례적으로 단순하고 직관적인 비용-편익(Benefit-Cost) 개념을 내포한 정규화지표(normalization index)를 신뢰·활용하는 경향이 강하다. 대표적인 핵심·공통 정규화지표로는 ‘과제비 1억 원당 특허·논문수’, ‘과제비 1억 원당 매출액’ 등이 확인된다. 과제비 1억 원당 특허·논문수, 과제비 1억 원당 매출액은 순서대로 각각 기술적 산출, 경제적 결과 성과평가지수를 대표한다. 정규화지표가 현장실무자에 의해 선호되는 가장 큰 이유는; 1)서로 다른 투입·성과지표가 단일 복합지수로 표현 가능한 점; 2)표준화됨으로써 R&D 프로젝트 간 비교가 용이한 점 등이다(MKE and KEIT, 2009; MKE and KEIT, 2010; STEPI, 2010).

참고로 국가 R&D 사업에 의해 창출된 성과로서 국가과학기술 지식정보 서비스(NTIS, National Science and Technology Information Service)에 의해 매년 정기적으로 등록·관리되는 핵심·공통 성과지표 6개는 ①특허, ②논문, ③기술료, ④사업화여부, ⑤인력양성, ⑥학술·기술연수이며 이와는 별도로 ⑦장비·설비구축정보도 함께 조사되어 7개 성과지표가 등록·관리되고 있다(KISTI, 2008).

즉 R&D 프로젝트 성과평가를 포함한 다양한 분야에서 DEA모형을 활용한 연구사례들은 많이 보고되고 있지만 앞서 언급한 바와 같이 DEA 효율성지수가 실제 성과평가지수로 이용했는지에 대해서는 충분히 파악되지 않는다. 이러한 맥락에서 DEA 효율성지수가 실제 R&D 프로젝트 성과평가에 환류되어 후속 정부지원 주기로 가능한 연계될 수 있는데 도움이 될 수 있는 DEA 효율성지수의 타당성을 실증적으로 검증할 필요성이 있다.

한편 Cooper *et al.*(2004)은 은행 효율성 분석과 관련된 문헌을 정리하면서 DEA 효율성지수의 타당성 검증의 중요성을 언급한 바 있는데 이를 위한 기초적인 2가지 방법으로서 첫째, 현장실무자들이 기존에 활용하고 있는 효율성 성과평가 지수와와의 비교, 둘째, Monte Carlo 시뮬레이션에 기초한 DEA 효율성지수의 민감도에 대한 통계적 검정 등을 제시한 바 있다.

본 연구는 최근의 대규모 실증자료를 이용한 분석에 기초하

여 DEA 효율성지수의 타당성을 검토하되 특히 R&D 프로젝트의 DEA 효율성지수와 상기 핵심·공통 정규화지표 중 과제비 1억 원당 매출액과의 합치도를 상관분석을 통해 검토한다. 본 연구에서 논의되는 DEA 효율성지수의 타당성은 앞서 언급된 것처럼 R&D 프로젝트의 다수 투입·성과지표들이 과연 현실적인 수용성을 갖는 단일 DEA 효율성지수로 요약될 수 있는지에 그 의미가 한정되며 이러한 맥락 하에 현장실무자의 수용성이 크다고 알려진 핵심·공통 정규화지표인 과제비 1억 원당 매출액과의 합치도가 검토되는 것이다. 또한 DEA모형의 입력·출력항목으로서 ‘과제비’, ‘매출액’ 등이 선정될 경우 DEA 효율성지수와 과제비 1억 원당 매출액과의 합치도가 존재할 수 있다는 가정을 취할 수 있다. 하지만 실제로 그러한지에 대한 검증 등이 쉽게 확인되지 않기에 본 연구에서는 실증분석을 통해 이를 확인한다. 단 이후 설명될 자료의 비정규성(non-normality)과 이상점(outlier)을 고려하여 상관분석 시 Pearson’s 상관계수 r , Spearman’s 순위상관계수(rank correlation coefficient) ρ_s , Kendall’s 순위상관계수 τ_B 를 검토한다. ‘DEA 기본모형’ 및 DEA 기본모형에 AR Type I(AR-I) 제약식이 추가된 ‘DEA/AR-I수정모형’과 함께 DEA 효율성지수의 최대값이 1로 제한되므로 수반되는 DEA 효율성지수 차별화의 한계를 완화하기 위해서 Super-Efficiency(SE)모형을 분석하고자 한다. 제 2장 연구방법론, 제 3장 DEA 자료구조, 제 4장 분석 그리고 제 5장에서 연구내용이 종합된다.

2. 연구방법론

2.1 DEA모형

식 (1)은 input-oriented envelopment infinitesimal VRS(Variable Returns to Scale) DEA모형으로 n 개 Decision Making Unit(DMU) 집합에서 k^{th} DEA 효율성 분석대상 DMU, 즉 DMU_k 의 DEA 효율성지수 $z_k(\theta_k, s_r^+, s_i^-)$ 를 계산하며 임의의 DMU_j 의 가중치 λ_j , r^{th} 출력항목 y_{rj} , i^{th} 입력항목 x_{ij} , DMU_k 의 r^{th} 출력항목기준 출력항목부족 slack variable s_r^+ , i^{th} 입력항목기준 입력항목초과 slack variable s_i^- , infinitesimal 양수 ϵ 이 정의된다. 식 (1)에서의 사결정변수는 $\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j$ 이다(Seiford and Thrall, 1990; Callen, 1991; Cooper et al., 2004; Cooper et al., 2007).

$$\begin{aligned} \min_{\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j} \quad & z_k(\theta_k, s_r^+, s_i^-) = \theta_k - \epsilon \left(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (1) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad \forall r \\ & \theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = 0 \quad \forall i \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \theta_k \text{ free in sign}; s_r^+, s_i^-, \lambda_j \geq 0 \quad \forall r, i, j \end{aligned}$$

식 (2)는 식 (1)의 쌍대(dual) 모형으로서 DMU_k 의 DEA 효율성지수 $z_k(\mu_*, \mu_r)$ 을 계산하며 $\mu_r (r=1, \dots, s)$, $\nu_i (i=1, \dots, m)$ 는 순서대로 출력·입력항목 DEA가중치(multiplier), μ_* 는 입력항목 증가에 따른 출력항목 증가의 비율이 일정치 않음을 나타내는 VRS 가정에 대응하는 scalar이다. 식 (2)의 의사결정변수는 $\mu_*, \mu_r (r=1, \dots, s)$, $\nu_i (i=1, \dots, m)$ 이다.

$$\begin{aligned} \max_{\mu_*, \mu_r, \nu_i} \quad & z_k(\mu_*, \mu_r) = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} + \mu_* \quad (2) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij} + \mu_* \leq 0 \quad \forall j \\ & \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ik} = 1 \\ & \mu_r \geq \epsilon \quad \forall r \\ & \nu_i \geq \epsilon \quad \forall i \\ & \mu_* \text{ free in sign} \end{aligned}$$

식 (2) DEA 기본모형으로부터 추출 가능한 AR-I제약식 식 (3)이 포함된 DEA/AR-I수정모형을 수립할 수 있는데 $U^{r/1}, L^{r/1}$ 은 r^{th} 출력항목 DEA가중치의 1st출력항목 DEA가중치에 대한 비율의 AR-I제약식 상하한 값, $u_{i/1}, l_{i/1}$ 은 i^{th} 입력항목 DEA가중치의 1st입력항목 DEA가중치에 대한 비율의 AR-I제약식 상하한 값을 나타낸다(Thompson et al., 1990). Cooper et al.(2004)은 DEA가중치가 극단적인 값을 취하는 것을 방지할 필요가 있으며 DEA가중치 제약식 중 AR-I제약식이 일반적·효과적인 것으로 언급한 바 있다.

$$L^{r/1} \leq \mu_r / \mu_1 \leq U^{r/1}, \quad r=2, 3, \dots, s \quad (3.1)$$

$$l_{i/1} \leq \nu_i / \nu_1 \leq u_{i/1}, \quad i=2, 3, \dots, m \quad (3.2)$$

식 (4)는 식 (1)로부터 유도된 SE모형으로 DMU_k 의 DEA 효율성지수 $z_k(\theta_k, s_r^+, s_i^-)$ 계산 시 제약식 좌변, 즉 준거집합(reference set)에서 DMU_k 가 제외되어 식 (1)의 DEA 효율성지수 1인 효율적(efficient) DMU들의 순위를 좀 더 차별화할 수 있는 모형이다(Andersen and Petersen, 1993; Zhu, 2003; Cooper et al., 2007).

$$\begin{aligned} \min_{\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j} \quad & z_k(\theta_k, s_r^+, s_i^-) = \theta_k - \epsilon \left(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (4) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad \forall r \\ & \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_k x_{ik} \quad \forall i \\ & \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j = 1 \\ & \theta_k \text{ free in sign}; s_r^+, s_i^-, \lambda_j \geq 0 \quad \forall r, i, j \end{aligned}$$

2.2 상관계수

이변량(bivariate) 상관계수는 2개 확률변수(random variable) 사이의

관계성, 즉 상관성을 측정하되 계산 전 자료의 선형성(linearity) 및 이상점을 산점도(scatter plot)로 확인할 필요가 있다. Pearson's r 은 이변량 정규분포를 가정하며 선형성 측도이므로 이들 조건이 만족되지 않을 경우에는 적합한 통계량이 아닐 수 있다. 반면 이변량 정규분포를 벗어난 비대칭적 분포를 취하거나 극단적(extreme) 이상점이 존재할 경우에는 Log_{10} 변환 자료의 Pearson's r 을 구하는 것도 조연될 수 있지만 그 보다는 비모수적, 즉 분포무관(distribution-free) 통계량인 Spearman's ρ_s , Kendall's τ_B 를 활용하여 [-1, +1] 사이 값으로 요약되는 순위상관계수를 검토하는 것이 더욱 바람직하다(Montgomery and Runger, 1999; Minitab^R, 2005; PASW Statistics, 2009).

식 (5)는 Spearman's ρ_s 정의식으로 n 개 원자료 순서쌍 중 i^{th} 순서쌍 (X_i, Y_i) 의 순위자료 (x_i, y_i) 를 이용하여 계산되므로 결국 식 (5)는 순위자료를 이용한 Pearson's r 로 정의된 것이며 동점 원자료의 순위는 그 자신들 순위의 평균으로 대체된 후 계산된다.

$$\rho_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

식 (6.1)은 Kendall's τ_B 정의식으로 n_c 는 부합(concordant) 순서쌍 경우의 수, n_d 는 비부합(discordant) 순서쌍 경우의 수이다. 식 (6.3)에서 t_i 는 X 에서 i^{th} 동점군에 속한 원자료 수, n_i 는 X 에서 동점군 수이고, 식 (6.4)에서 u_j 는 Y 에서 j^{th} 동점군에 속한 원자료 수, n_j 는 Y 에서 동점군 수이다.

단 $X_i \geq X_j$ and $Y_i \geq Y_j$ 또는 $X_i \leq X_j$ and $Y_i \leq Y_j$ 이면 (X_i, Y_i) 와 (X_j, Y_j) 는 부합, $X_i \geq X_j$ and $Y_i \leq Y_j$ 또는 $X_i \leq X_j$ and $Y_i \geq Y_j$ 이면 (X_i, Y_i) 와 (X_j, Y_j) 는 비부합으로 판정하고 $X_i = X_j$ or $Y_i = Y_j$ 이면 부합 · 비부합 어느 쪽으로도 판정하지 않는다.

$$\tau_B = \frac{n_c - n_d}{\sqrt{(n_0 - n_1)(n_0 - n_2)}} \quad (6.1)$$

$$n_0 = n(n - 1)/2 \quad (6.2)$$

$$n_1 = \sum_{i=1}^{t_i} t_i(t_i - 1)/2 \quad (6.3)$$

$$n_2 = \sum_{j=1}^{u_j} u_j(u_j - 1)/2 \quad (6.4)$$

3. DEA 자료구조

2011년도 정보통신진흥기금 융자사업 ‘융자사업성과조사 · 분석’ 대상 R&D 프로젝트 중 휴 · 폐업, 소재불명 기업과 관련된 R&D 프로젝트 및 기업설립년도, 벤처기업 · Innobiz 기업등록여부 등 기본적인 설문조사 문항에 대한 미응답한 경우를 제외한 559개 R&D 프로젝트가 추출된다(MKE and NIPA, 2011). 한편 559개 R&D 프로젝트 중 지적재산권인 특허 · 논문을 창출한 R&D 프로젝트는 128개, 22.9%(= 128/559×100)에 불과한 것을 집계된다. 이는 융자사업이 초기 기술적 산출의 창출단계에 경유한 후 후속 경제적 결과의 창출단계로 어느 정도 진입한 것으로 검토된 R&D 프로젝트를 선택 · 집중적으로 지원하는 사업목표 등에 기인된 것으로 판단된다.

<그림 1>은 DEA 효율성 분석을 위한 자료구조이다. DEA 효율성 입력 · 출력항목 선정은 2011년도 ‘융자사업성과조사 · 분석’ DB를 이용하되 측정가능성과 객관성을 충분히 만족한다고 인정된 계량적 투입 · 성과지표들로 구성되게끔 설계된 것이다(MIC and KAIT, 2007; MKE and KEIT, 2009; MKE and KEIT, 2010). <표 1>에 DEA 효율성 입력 · 출력항목 구성이 자세히 설명된다. 단 일반적으로 DEA 효율성 출력항목으로서 경제적 결과, 경제 · 사회적 파급효과와 함께 기술적 산출

표 1. DEA 효율성 입력 · 출력항목 정의

구분	항목명	하위구성 항목명	단위	계산
입력항목	과제사업비합계(x_1)	정보통신진흥기금융자지원금(x_{11})	백만원	
		기업자체기금(x_{12})		
		정보통신진흥기금외타차입금(x_{13})		
참여인력(자체)(x_2)	자체기술인력(x_{21})	명		
	자체비기술인력(x_{22})			
	전체사업기간(x_3)		년	
출력항목	신(제품/서비스)매출액(y_1)	국내(y_{11})	백만원	합계
		수출(y_{12})		
	기존(제품/서비스)매출기여액(y_2)	국내(y_{21})	백만원	합계
		수출(y_{22})		
	연구개발비투자비율(y_3)		-	평균
	신규고용인력(y_4)		명	합계

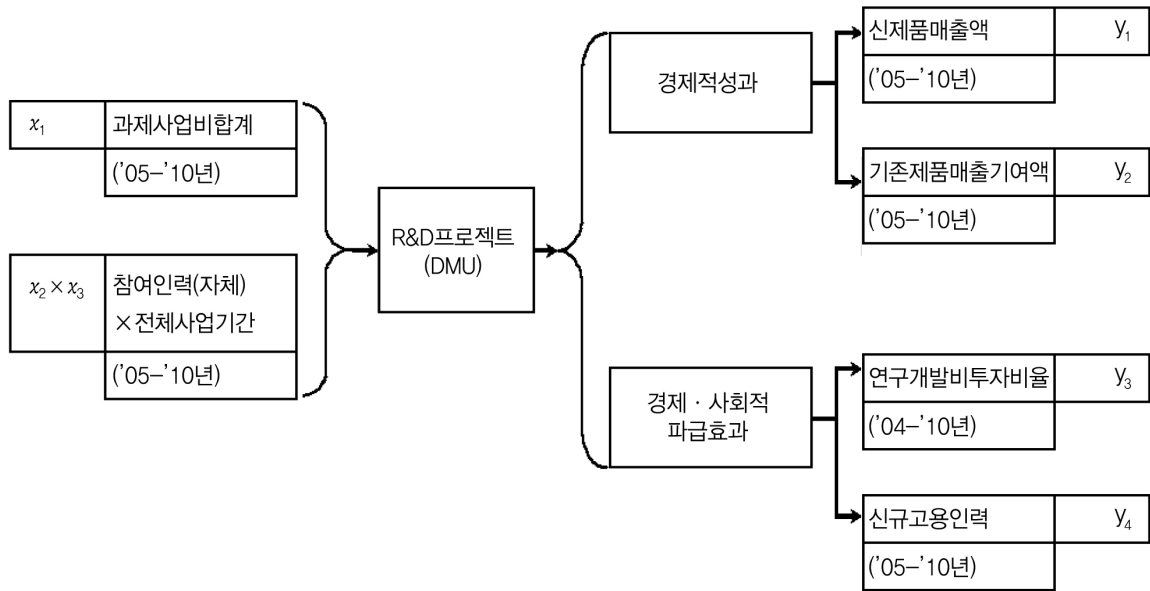


그림 1. DEA 효율성 분석을 위한 자료구조

을 대표하는 특허·논문과 같은 지적재산권 수를 함께 고려하는 것이 바람직하지만 전술된 것처럼 본 용자사업의 경우 사업목표의 고유한 특성상 이와 같은 지적재산권을 창출한 DMU는 소수인 것으로 확인되어 기술적 산출과 관련된 성과 지표는 제외된다.

한편 <그림 1>, <표 1>에 제시된 DEA 효율성 분석을 위한 자료구조와 DEA 효율성 입력·출력항목 구성은 Hsu and Hsueh(2009)가 문헌고찰을 통해 정리한 정부지원 R&D 프로젝트 성과평가를 위한 주요 투입·성과지표 즉, 투입지표로서의 과제사업비, 참여인력, 전체사업기간 및 성과지표로서의 특허·논문, 기술혁신, 매출액 등이 골고루 반영되어 설계된 것임을 알 수 있다.

분석기간과 관련하여 2011년도 ‘용자사업성과조사·분석’의 경우는 2005년부터 2009년까지 총 5개 사업년도 R&D 프로젝트를 대상으로 분석기간은 2005년부터 2010년까지로 설정되어 있어 <그림 1>, <표 1>의 DEA 효율성 입력·출력항목 정의 시에도 이 분석기간이 반영된 것이다. 단 연구개발비투자비율(y_3)은 2011년도 ‘용자사업성과조사·분석’에 명시된 2004년부터의 연별 평균의 이용을 준용한다.

한편 DEA 효율성 출력항목 중 전체사업기간(x_3)은 사업년도를 시점으로 한 경과기간으로 계산되는데 본 분석의 경우 2005년부터 2009년까지 총 5개 사업년도가 확인되어 DMU별 전체사업기간(x_3)에 따른 큰 차이는 없을 것으로 가정하고 참여인력(자체)(x_2)와 전체사업기간(x_3)을 곱한 ‘인년’(Man-Year, MY) 형식의 입력항목을 갖는 자료구조를 이용하고자 한다. DEA 효율성 입력·출력항목별 이상점을 상자그림(box-plot)의 기술통계량(descriptive statistics)에 기초한 용자사업 내 자체 판정기준에 의해 제거한 후 추출된 $n = 482$ R&D 프로젝트가 최종 분석대상이 된다.

4. 분석

<그림 2>는 정규화지표와 3개 DEA 효율성지수의 히스토그램(histogram)이다. 단 정규화지표는 과제사업비합계($x_1 = x_{11} + x_{12} + x_{13}$)에 대한 신(제품/서비스)매출액($y_1 = y_{11} + y_{12}$)과 기존(제품/서비스)매출기여액($y_2 = y_{21} + y_{22}$) 합계의 비율로 계산되며 단 축약해서 과제비 1억 원당 매출액으로 표기한 것이며 이후 정규화지표는 이를 지칭하는 것이다.

<그림 2>(a)는 $n = 482$ R&D 프로젝트의 정규화지표(단위, 백만 원) 히스토그램(histogram)이다. <그림 2>(a)처럼 사업화에 성공하여 일정량 이상 매출액을 창출한 R&D 프로젝트는 소수이며 극단적인 우변사향(skewed to the right) 분포를 보인다. 또한 [0,11391] 사이의 넓은 범위에 산포되어 있고 극단적 이상점 역시 존재하여 중심화 경향(central tendency)이 쉽게 파악되지 않는다.

<그림 2>(a)와 비교할 때 다수 계량적 투입·성과지표를 반영하여 계산된 3개 DEA 효율성지수의 히스토그램인 <그림 2>의 나머지 3개 패널(panel)은 상대적으로 정규분포, 즉 좌우대칭분포에 보다 근사해진 것이 시각적으로 판단된다. <그림 2>(a)부터 <그림 2>(d)까지 4개 히스토그램의 왜도(skewness), 첨도(kurtosis)를 계산하면 순서대로 (6.6265, 53.6929), (1.5786, 1.9888), (1.9513, 4.3609), (3.1585, 14.9658)로서 전술된 설명과 일치한다.

<그림 2>(c) DEA/AR-I 수정모형의 2차 DEA 효율성지수의 히스토그램을 <그림 2>(b) DEA 기본모형의 1차 DEA 효율성지수의 히스토그램과 비교할 때 그 분포가 약간 좌측으로 치우친 양상을 보이는데 이는 AR-I 제약식에 의해 DEA 가중치가 극단적인 값을 취하지 못하도록 제한된 영향으로 해석된다. <그림 2>(b)는 [0.07955, 1], <그림 2>(c)는 [0.07220, 1] 범위에 산포되어 있다.

한편 Rhim *et al.*(1999), Park *et al.*(2008) 등이 AR-I제약식 상하한 값 생성절차를 구체적으로 제안한 바 있는데 본 분석에서는 Cooper *et al.*(2004)의 개념에 기초하여 Park *et al.*(2008)이 제안한 방법을 활용하여 식 (7), 식 (8)이 생성된 것이며 $\alpha_{AR-I} = 0.25$ 사분위범위(InterQuartileRange, IQR)가 추출된 것이다. DEA/AR-I 수정모형의 2차 DEA 효율성지수는 식 (7), 식 (8)을 이용하여 계산된 것이다.

$$0.72157(=L^{2/1}) \leq \mu_2/\mu_1 \leq 2.46304(=U^{2/1}) \quad (7.1)$$

$$16788.14282(=L^{3/1}) \leq \mu_3/\mu_1 \leq 73261.20378(=U^{3/1}) \quad (7.2)$$

$$189.74231(=L^{4/1}) \leq \mu_4/\mu_1 \leq 1762.50698(=U^{4/1}) \quad (7.3)$$

$$16.38064(=l_{2/1}) \leq \nu_2/\nu_1 \leq 206.61171(=u_{2/1}) \quad (8)$$

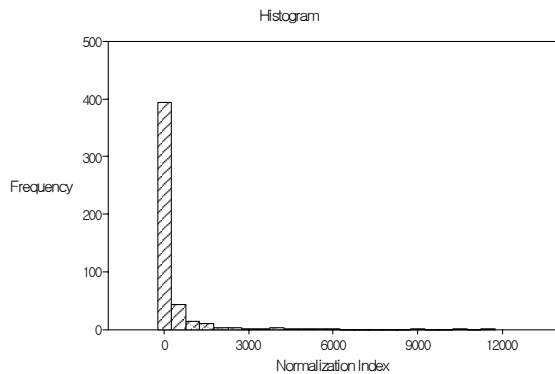
<그림 2>(d) SE모형의 SE효율성지수의 히스토그램은 [0.07955, 2.60413] 범위에서 <그림 2>(b), <그림 2>(c)와 비교할 때 상대적으로 넓게 산포되어 있는데 $n = 482$ R&D 프로젝트 중 DEA 기본모형의 1차 DEA 효율성지수 1을 갖는 21개 효율적 DMU의 순위가 좀 더 차별화된 것으로 이해된다. <그림 2>의 4개 패널에서 확인할 수 있듯이 정규화지표와 비교할 때 DEA 효율성지수의 분포는 상대적으로 정규분포에 보다 근사하므로 DEA 효율성지수의 추가적인 활용은 기존 정규화지표에만 의존한 R&D 프로젝트 성과평가의 낮은 변별력의 개선·보완에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

<그림 3>은 3개 DEA 효율성지수의 산점도(scatter plot)로 <그림 3>(a) $r = 0.9068$ 에 기초할 때 AR-I제약식에 의한 비정상적인 DEA 효율성지수의 축소는 야기되지 않은 것으로 판단된다. <그림 3>(b)에서 전술된 DEA 기본모형의 1차 DEA 효율성지수 1을 갖는 21개 효율적 DMU의 SE 효율성지수가 2.60413까지 상승한 것이 시각적으로 확인된다. <그림 3>(c)는 <그림 3>(b)의 점(plot) 일부가 오른쪽에서 왼쪽으로 x 축에 평행 이동(shifting)한 양상을 보인다(Zhu, 2003; Frontline Systems, 2007). <표 2>에 3개 DEA 효율성지수 간 Pearson's r 과 이 값의 p -value가 정리된다.

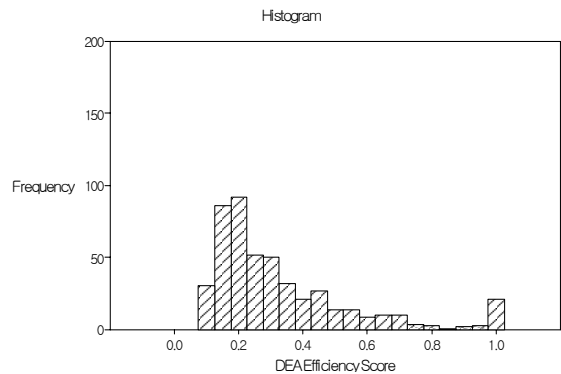
표 2. Pearson's r 상관분석(1)

		NORM	DEA	DEA/AR-I
(r)	DEA	0.3955		
(p -value)		0.0000		
	DEA/AR-I	0.3646	0.9068	
		0.0000	0.0000	
	SE	0.3210	0.9339	0.8580
		0.0000	0.0000	0.0000

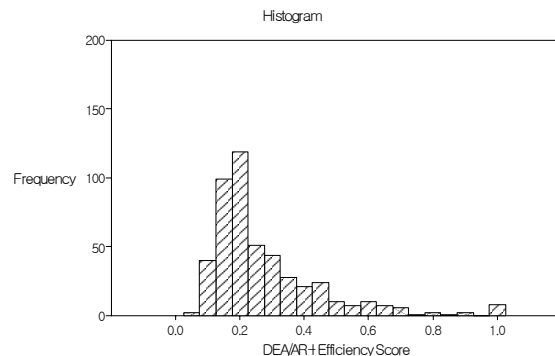
주) NORM : Normalization Index.
 DEA : DEA Efficiency Score.
 DEA/AR-I : DEA/AR-I Efficiency Score.
 SE : Super Efficiency Score.



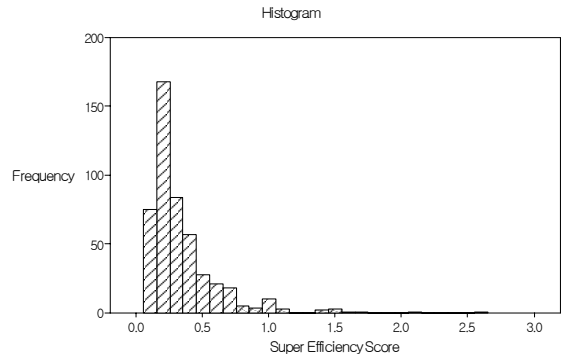
(a) 정규화지표(Normalization Index; 단위, 백만원)



(b) DEA 기본모형의 1차 DEA 효율성지수(DEA Efficiency Score)

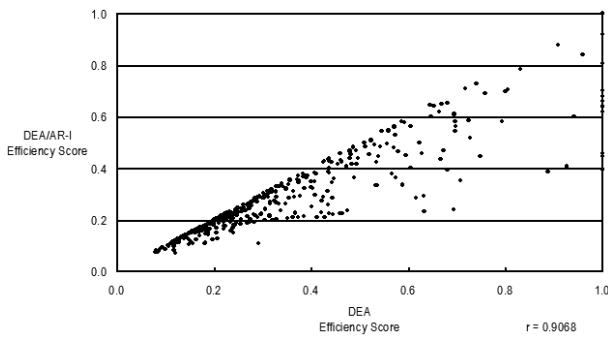


(c) DEA/AR-I 수정모형의 2차 DEA 효율성지수 (DEA/AR-I Efficiency Score)

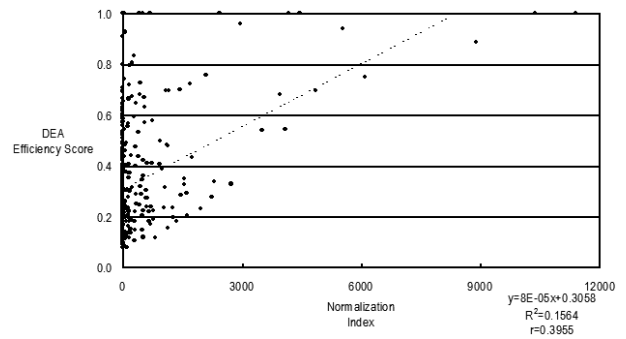


(d) SE모형의 SE 효율성지수(Super Efficiency Score)

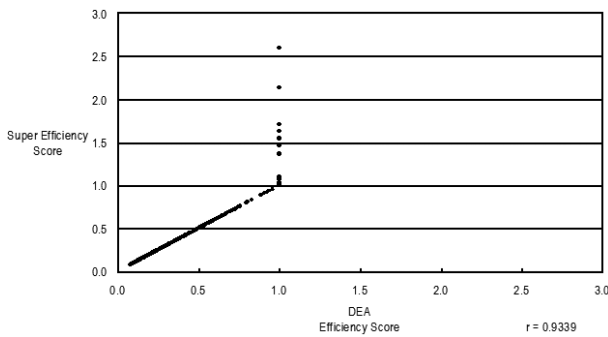
그림 2. 히스토그램(histogram)



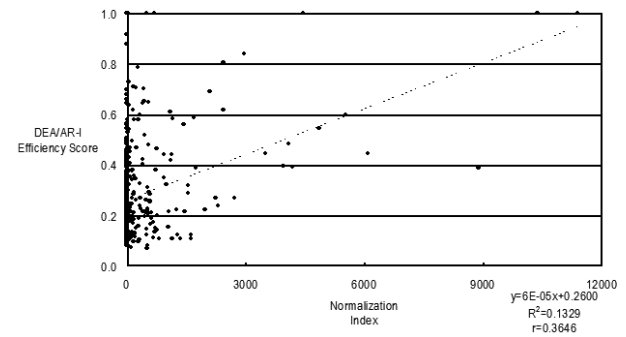
(a) DEA Efficiency Score vs. DEA/AR-I Efficiency Score



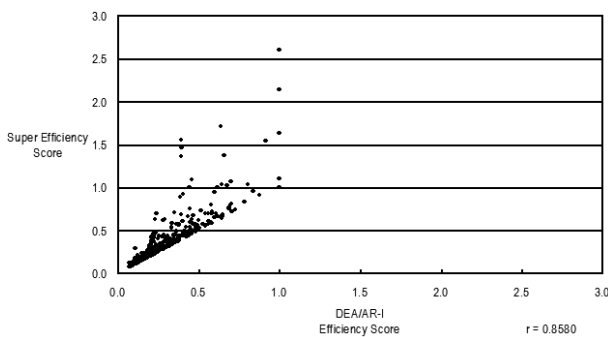
(a) DEA Efficiency Score



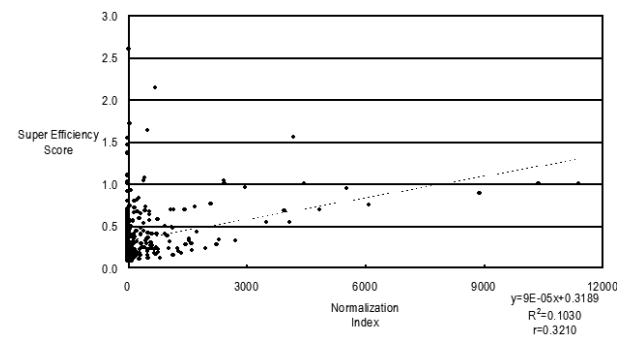
(b) DEA Efficiency Score vs. Super Efficiency Score



(b) DEA/AR-I Efficiency Score



(c) DEA/AR-I Efficiency Score vs. Super Efficiency Score



(c) Super Efficiency Score

그림 3. 산점도(scatter plot)

그림 4. 산점도(scatter plot); Normalization Index vs

<그림 4>는 정규화지표와 3개 DEA 효율성지수의 산점도이다. <표 2>에 정규화지표와 3개 DEA 효율성지수 간 Pearson's r 과 이 값의 p -value가 정리되는데 이에 기초할 때 <그림 4>의 3개 패널 모두에서 $H_0: \rho = 0$ (ρ 는 두 계열 모집단 간 상관계수)가 기각되어 통계적으로도 유의한 양(+)의 상관성이 존재한다고 판단된다. 시각적 이해를 돕기 위해 <그림 4>의 각 패널에 단순선형회귀분석모형(simple linear regression analysis model) 추정식을 이용한 추세선이 점선으로 표시된다.

반면 <그림 4>의 3개 패널 모두에서 대부분의 점이 왼쪽-아래 부분에 집중되는 유사한 형태(pattern)가 확인된다. <그림 2>와 관련하여 전술된 비정규성과 이상점을 고려할 때 Pearson's r 과 함께 순위상관계수인 Spearman's ρ_s , Kendall's τ_B 를 추가로 검토할 필요가 있다. <표 3>은 정규화지표와 3개 DEA 효율성지수 간

Spearman's ρ_s , <표 4>은 Kendall's τ_B 를 정리한다(PASW, 2009). <표 3>, <표 4>의 2개 순위상관계수 역시 절대적 크기에 있어 약간의 차이는 있지만 정규화지표와 3개 DEA 효율성지수 간 모두 양(+)의 상관성이 p -value = 0.0000으로 통계적 유의성을 갖고 확인된다. 즉 융자사업 추진·관리기관 현장실무자가 실제 R&D 프로젝트 성과 평가 시 준용하는 대표적인 정규화지표와 이들 DEA 효율성지수 사이에 합치도가 확인되어 이들 DEA 효율성지수의 타당성이 검증된다.

단 <표 2>부터 <표 4>까지를 종합할 때 특이한 사항으로; 1)AR-1제약식의 생성·활용에 따른 상관계수의 증가는 확인되지 않았고; 2)정규화지표와 SE효율성지수의 Spearman's ρ_s , Kendall's τ_B 가 정규화지표와 DEA/AR-1 수정모형의 2차 DEA 효율성지수의 경우보다 더 큰 값을 갖기에 SE효율성지수는 비모수적 순위상관분석에 더 적합한 것으로 해석될 수 있다.

표 3. Spearman's ρ_s 상관분석(2)

		NORM	DEA	DEA/AR-I
(ρ_s)	DEA	0.2581		
	(p-value)	0.0000		
	DEA/AR-I	0.2005	0.9495	
		0.0000	0.0000	
	SE	0.2577	1.0000	0.9495
		0.0000	0.0000	0.0000

표 4. Kendall's τ_B 상관분석(3)

		NORM	DEA	DEA/AR-I
(τ_B)	DEA	0.1938		
	(p-value)	0.0000		
	DEA/AR-I	0.1498	0.8348	
		0.0000	0.0000	
	SE	0.1932	0.9992	0.8339
		0.0000	0.0000	0.0000

5. 결론

지금까지 R&D 프로젝트 성과평가가 비용-편익 개념의 특정 정규화지표에만 의존한 개별적이고 단편적인 체계에 한정되어 있었다면 다수의 계량적 투입·성과지표를 (0, 1) 사이 DEA 효율성지수로 요약할 수 있는 DEA모형은 매력적인 경영과학 방법론 중 하나라고 인식된다. 또한 DEA 효율성지수로 기존 정규화지표의 태생적 한계인 R&D 프로젝트 성과평가의 낮은 변별력을 개선할 수 있다는 점에서도 DEA모형의 활용은 고무적이다. 하지만 현장에서의 DEA 효율성지수 수용성 제고에 반드시 필요한 DEA 효율성지수의 타당성 검증과 관련된 다양한 연구결과는 쉽게 확인되지 않는 실정이다.

본 연구는 특히 R&D 프로젝트 성과평가지수로서 DEA 효율성지수에 대한 현장실무자의 수용성 제고에 도움을 주고자 R&D 프로젝트 성과평가의 대표적인 정규화지표인 과제비 1억 원당 매출액과 DEA 효율성지수의 합치도를 분석하였다. 자료의 비정규성과 이상점을 고려하여 Pearson's r 과 함께 Spearman's ρ_s , Kendall's τ_B 가 검토되었다. 또한 DMU 순위의 추가적인 차별화를 위해 DEA 기본모형, DEA/AR-I 수정모형과 함께 SE모형을 분석하였다. 최근의 대규모 실증자료를 이용하여 분석한 결과 Pearson's r 뿐만 아니라 비모수적 순위상관계수 Spearman's ρ_s , Kendall's τ_B 모두에서 정규화지표와 3개 DEA 효율성지수 간 양(+)의 상관성이 통계적 유의성을 갖고 확인되었기에 DEA 효율성지수의 타당성이 검증되었다고 판단된다. 또한 정규화지표와 비교할 때 DEA 효율성지수의 분포는 상대적으로 정규분포, 즉 좌우 대칭분포에 보다 근사함이 확인되어 DEA 효율성지수의 활용이 기존 정규화지표에만 의존한 R&D 프로젝트

성과평가의 낮은 변별력의 개선·보완에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

본 분석결과는 DEA모형을 포함한 다양한 경영과학 방법론의 현장에서의 보다 적극적인 채택·활용에도 긍정적 역할을 하리라 기대된다. 향후 다양한 실증분석 사례를 발굴하여 본 분석결과를 좀 더 일반화할 필요성이 있다고 판단된다. 또한 본 연구의 R&D 프로젝트 성과평가에서는 자원 투입시점과 성과창출의 시차(time-lag)를 정확히 보정하지 못한 만큼 이에 대한 후속 연구도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- Andersen, P. and Petersen, N. (1993), A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 39(10), 1261-1264.
- Bae, Y., Kim, J., and Kim, S. (2006), Assessment of Ammunition Companies Using the IDEA Model, *IE Interfaces*, 19(4), 291-299.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Banker, R. D., Conrad, R. F., and Strauss, R. P. (1986), A Comparative Application of Data Envelopment Analysis and Translog Methods : An Illustrative Study of Hospital Production, *Management Science*, 32(1), 30-44.
- Bessent, A., Bessent, W., Kennington, J., and Reagan, B. (1982), An Application of Mathematical Programming to Assess Productivity in the Houston Independent School District, *Management Science*, 28(12), 1355-1367.
- Bitman, W. R. and Sharif, N. (2008), A Conceptual Framework for Ranking R&D Projects, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(2), 267-278.
- Callen, J. L. (1991), Data Envelopment Analysis : Partial Survey and Applications for Management Accounting, *Journal of Management Accounting Research*, 3, 35-56.
- Charnes, A. and Cooper, W. W. (1980), Auditing and Accounting for Program Efficiency and Management Efficiency in Not-for-Profit Entities, *Accounting, Organizations and Society*, 5(1), 87-107.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1981), Evaluating Program and Managerial Efficiency : An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through, *Management Science*, 27(6), 668-697.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K. (2007), *Data Envelopment Analysis : A Comprehensive Text With Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2nd edn, Springer, New York.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Zhu, J. (2004), *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Springer, Boston.
- Farris, J. A., Groesbeck, R. L., Aken, E. M. V., and Letens, G. (2006), Evaluating the Relative Performance of Engineering Design Projects : A Case Study Using Data Envelopment Analysis, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53(3), 471-482.
- Frontline Systems, Inc. (2007), *Premium Solver Platform Version 7.1 for Microsoft Excel*, <http://www.solver.com/Default.htm>.
- Gregoriou, G. N. and Zhu, J. (2005), *Evaluating Hedge Fund and CTA Performance*, John Wiley and Sons, New Jersey.
- Henriksen, A. D. and Traynor, A. J. (1999), A Practical R&D Project-Selection Scoring Tool, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 46(2), 158-170.
- Hsu, F. M. and Hsueh, C. C. (2009), Measuring Relative Efficiency of Govern-

- ment-Sponsored R&D Projects : A Three-Stage Approach, *Evaluation and Program Planning*, 32(2), 178-186.
- Hwang, S. (2006), *STEPI Policy Study 2006-12, Methodology of Economic Assessment for Classified R&D Programs*, STEPI, Korea.
- Hwang, Y. and Hwang, S. (2005), *STEPI Policy Study 2004-20, An Assessment of the Performance Evaluation System for Government R&D*, STEPI, Korea.
- Kellogg, W. K. Foundation (2004), *W. K. Kellogg Foundation Logic Development Guide*, MI Battle Creek.
- Kim, J. and Kim, S. (2007), A Real Estate Price Appraisal Model Based on the Data Envelopment Analysis-Assurance Region(DEA-AR), *Housing Studies Review*, 15(1), 29-61.
- Ko, Y., Yoon, H., and Lee, J. (2004), *KDI Research Report 2004-02 : Performance Management of Public Sector*, KDI, Korea.
- Korea Institute of Science and Technology Information(KISTI) (2008), *Law-Enforcement Ordinance-Enforcement Regulations*, <http://www.ntis.go.kr/ThMain.do>, KISTI-NTIS, Korea.
- Lee, H., Park, Y., and Choi, H. (2009), Comparative Evaluation of Performance of National R&D Programs With Heterogeneous Objectives : A DEA Approach, *European Journal of Operational Research*, 196(3), 847-855.
- Lee, D. and Yang, W. (2004), Performance Evaluations of Professional Baseball Players Using DEA/OERA, *IE Interfaces*, 17(4), 440-449.
- McLaughlin, J. A. and Jordan, G. B. (1999), Logic Models : A Tool for Telling Your Program's Performance Story, *Evaluation and Program Planning*, 22(1), 65-72.
- Ministry of Information and Communication (MIC) and Korea Association of Information and Telecommunication (KAIT) (2007), *A Study on the Performance Evaluation Method of Public Policy for the Small and Medium Size IT Firms*, MIC and KAIT, Korea.
- Ministry of Knowledge Economy (MKE) and Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) (2009), *Industry and Technology Development Program Performance Investigation and Analysis Report*, MKE and KEIT, Korea.
- Ministry of Knowledge Economy (MKE) and Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) (2010), *Knowledge and Economy and Technology Innovation Program Performance Investigation and Analysis Report*, MKE and KEIT, Korea.
- Ministry of Knowledge Economy (MKE) and National IT Industry Promotion Agency (NIPA) (2011), *Information and Communication Promotion Fund-Loan Program Performance Investigation and Analysis*, MKE and NIPA, Korea.
- Minitab[®] (2005), *Minitab[®] Release 14.20 StatGuide*, Minitab Inc., State College.
- Montgomery, D. C. and Runger, G. C. (1999), *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2nd edn, John Wiley and Sons, New York.
- Oral, M., Kettani, O., and Lang, P. (1991), A Methodology for Collective Evaluation and Selection of Industrial R&D Projects, *Management Science*, 37(7), 871-885.
- Park, S. (2010), Two-Staged DEA/AR-I Performance Evaluation Model for R&D Projects Efficiency Correlation Analysis and Programs Positioning Investigation, *DAEHAN Journal of Business*, 23(6), 3285-3303.
- Park, S., Kim, H., and Baek, D. (2008), Design of DEA/(AR-I, ARGM) Models and Sensitivity Analysis for Performance Evaluation on Governmental Funding Projects for IT Small and Medium-sized Enterprises, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 34(2), 190-204.
- Park, S., Kim, H., Sul, W., Baek, D., and Khoe, K. (2011), *Handbook on R&D Performance Evaluation*, Korean Studies Information, Korea.
- Parks, R. B. (1983), Technical Efficiency of Public Decision Making Units, *Policy Studies Journal*, 12(2), 337-346.
- PASW Statistics (2009), *PASW Statistics Release 18*, IBM SPSS.
- Rhim, H., Yoo, S., and Kim, Y. (1999), A DEA/AHP Hybrid Model for Evaluation and Selection of R&D Projects, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 24(4), 1-12.
- Science and Technology Policy Institute (STEPI) (2010), *Standard Performance Indices of Information and Communication Promotion Fund R&D Program*, STEPI, Korea.
- Seiford, L. M. and Thrall, R. M. (1990), Recent Development in DEA : The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis, *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 7-38.
- Sherman, H. D. and Gold, F. (1985), Bank Branch Operating Efficiency : Evaluation With Data Envelopment Analysis, *Journal of Banking and Finance*, 9(2), 297-315.
- Sohn, S. and Joo, Y. (2004), Data Envelopment Analysis and Logistic Model for BRAIN KOREA 21, *IE Interfaces*, 17(3), 249-260.
- Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. T., Lee, E., and Thrall, R. M. (1990), The Role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis With Application to Kansas Farming, *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 93-108.
- Zhu, J. (2003), *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking : Data Envelopment Analysis With Spreadsheets and DEA Excel Solver*, Springer, Boston.



박성민

건국대학교 산업공학과 학사
 고려대학교 산업공학과 석사
 미국 Arizona State University 산업공학과 박사
 현재 : 백석대학교 경상학부 조교수
 관심분야 : 생산관리, 품질관리, 응용통계,
 경영성과분석 · 평가