

# Comparing Efficiencies of R&D Projects Using DEA : Focused on Industrial Technology Program

Heung-Kyu Kim\*<sup>†</sup> · Won-Jin Kang\*\* · Jin-Hee Bae\*\*\*

\*School of Business Administration, Dankook University

\*\*Management of Technology Division, TECHNOVALUE

\*\*\*Industry and Technology Policy Center, Korea Institute for Advancement of Technology

## DEA를 활용한 R&D 프로젝트의 효율성 비교 : 산업기술사업을 중심으로

김흥규\*<sup>†</sup> · 강원진\*\* · 배진희\*\*\*

\*단국대학교 경영학부

\*\*기술과가치 MoT본부

\*\*\*한국산업기술진흥원 산업기술정책센터

In this paper, scale efficiencies and relative efficiencies of R&D projects in Industrial Technology Program, sponsored by Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea, are calculated and compared. For the process, various DEA (Data Envelopment Analysis) models are adopted as major techniques. For DEA, two stage input oriented models are utilized for calculating the efficiencies. Next, the calculated efficiencies are grouped according to their subprograms (Industrial Material, IT Fusion, Nano Fusion, Energy Resources, and Resources Technology) and recipient types (Public Enterprise, Large Enterprise, Medium Enterprise, Small Enterprise, Lab., Univ., and etc.) respectively. Then various subprograms and recipient types are compared in terms of scale efficiencies (CCR models) and relative efficiencies (BCC models). In addition, the correlation between the 1st stage relative efficiencies and the 2nd stage relative efficiencies is calculated, from which the causal relationship between them can be inferred. Statistical analysis shows that the amount of input, in general, should increase in order to be scale efficient (CCR models) regardless of the subprograms and recipient types, that the 1st and 2nd stage relative efficiencies are different in terms of the programs and recipient types (BCC models), and that there is no significant correlation between the 1st stage relative efficiencies and the 2nd stage relative efficiencies. However, the results should be used only as reference because the goal each and every subprogram has is different and the situation each and every recipient type faces is different. In addition, the causal link between the 1st stage relative efficiencies and the 2nd relative efficiencies is not considered, which, in turn, is the limitation of this paper.

**Keywords** : DEA, R&D Project, Efficiency, Industrial Technology Program, Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea

### 1. 서 론

산업통상자원부에서는 R&D 프로젝트의 형태로 수행

되는 지원사업을 통하여 국가산업발전을 도모하고 있다. 또한 이러한 지원사업을 정기적으로 평가하여 이의 효율적인 운영방안을 강구하고 있다.

한편, R&D 프로젝트와 같이 다수의 투입과 다수의 산출이 복합적으로 존재하는 상황 하에서는 간단한 방법으로 상대효율성을 평가할 수 없다. 이러한 상황, 즉 다수의

Received 2 February 2015; Finally Revised 28 April 2015;

Accepted 2 September 2015

<sup>†</sup> Corresponding Author : heungkyu@dankook.ac.kr

투입과 다수의 산출이 있을 때 DEA(Data Envelopment Analysis)를 이용하면 단일한 상대효율성 값을 쉽게 도출할 수 있는 장점이 있다.

다수의 투입과 다수의 산출이 있는 R&D 프로젝트의 효율성 비교를 위하여 DEA를 이용한 사례로는, 군용차량에 장착되는 정보통신시스템의 설계·설치와 관련된 엔지니어링 프로젝트의 평가[5], 정부 R&D 프로젝트의 산출, 결과, 그리고 효과와 같은 단계적인 성과창출과정의 평가[9], 정부지원 110개 R&D 프로젝트의 성과평가[6], 공공연구기관의 기술이전관련 효율성분석[7] 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 각각의 관점에서 효율성을 분석한 기존의 연구와는 다르게 다양한 DEA 모형을 이용한 R&D 프로젝트의 총체적인 효율성평가 체계를 제안하고 이를 산업통상자원부 산업기술사업에 적용하고자 한다.

본 연구에서는 먼저 이론적 배경으로 다양한 DEA 모형을 살펴본다. 이후 산업통상자원부에서 주관하는 산업기술사업을 구성하는 R&D 프로젝트의 성과창출과정을 두 단계로 구분하여 각 단계별 규모효율성과 상대효율성을 계산한다. 다음 산업통상자원부에서 주관하는 산업기술사업은 산업소재산업원천기술개발사업(이하 산업소재), 산업융합기술원천기술(IT융합)개발사업(이하 IT융합), 산업융합기술원천기술(나노융합)개발사업(이하 나노융합), 에너지자원융합원천기술개발사업(이하 에너지자원), 그리고 자원기술개발사업(이하 자원기술)의 5개 사업 분야로 구분할 수 있고, 또한 공기업, 대기업, 중소기업, 소기업, 출연연, 대학, 그리고 기타의 7개 주관기관으로 구분할 수 있는데, 이러한 R&D 프로젝트의 단계별 규모효율성과 상대효율성을 사업분야별로 그리고 주관기관별로 비교하고자 한다. 또한 단계별 상대효율성 간의 상관관계를 살펴보고자 한다. 이를 통하여 향후 산업통상자원부에서 시행하는 사업의 효율성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 DEA란?

DEA는 동일한 목적을 가지고 운영되는 다수의 투입 요소와 다수의 산출요소를 갖는 ‘집합경쟁개체군’을 대상으로 각 개체, 즉 DMU(Decision Making Unit)의 상대효율성을 평가하는 방법이다. DEA는 생산가능집합을 정의하는 것으로부터 시작되며, 생산가능집합에 대한 가정에 따라 다양한 DEA 모형이 생성된다. 여기서 특정한 수준의 투입으로 특정한 수준의 산출을 만들어 낼 수 있으면, 이 투입과 산출의 조합은 생산가능하다고 하고, 생산가능한 투입과 산출의 조합을 모두 모아 놓은 것을 생

산가능집합이라고 한다.

한편, 생산가능집합의 가장 바깥쪽 경계를 생산변경(production frontier)이라고 하는데, 생산변경에 있는 관측점은 효율적인 상태에 있다고 하고 이는 다시 강효율적인(strongly efficient) 점과 약효율적인(weakly efficient) 점으로 구분된다. 강효율적인 점은 생산변경에 존재하면서 더 이상 투입을 줄이거나 산출을 늘릴 여지가 없는 상태를 나타내는 반면, 약효율적인 점은 생산변경에 존재하지만 단 하나의 산출물이라도 늘리거나 단 하나의 투입물이라도 줄일 수 있는 여지가 있는 상태를 나타낸다. 그리고 생산변경에 없는 점은 비효율적인(inefficient) 상태에 있다고 하고, 이 점과 생산변경과의 거리로 비효율성의 정도를 측정한다.

DEA는 1978년 CCR(Charnes, Cooper and Rhodes) 모형[3]을 시작으로 1984년 BCC(Banker, Charnes and Cooper) 모형[1]의 논문발표 이후 여러 분야의 상대효율성 평가에 이용되고 있다.

### 2.2 DEA 모형

**물량기준모형** DEA는 투입기준 혹은 산출기준, 불변규모수익(CCR)<sup>1)</sup> 혹은 가변규모수익(BCC)<sup>2)</sup> 등의 가정에 따라 여러 가지 모형으로 구분된다. 전술한 바와 같이 DEA에서는 분석대상 관측치와 생산변경과의 거리를 비효율성의 정도로 간주하는데, 이 때 거리는 산출을 고정시킨 채 투입이 생산변경까지 떨어져 있는 정도, 즉 투입기준으로, 혹은 투입을 고정시킨 채 산출이 생산변경까지 떨어져 있는 정도, 즉 산출기준으로 측정할 수 있다. 한편, 이와 같은 모형은 물리적인 투입과 산출에 관한 자료만으로 상대효율성을 도출하는 것으로 볼 수 있으므로 물량기준모형으로 부른다.

투입기준 BCC 모형은 모든 관측치로부터 자유가처분성(free disposability)<sup>3)</sup>과 볼록성(convexity)<sup>4)</sup>만을 만족하도록 생산가능집합을 구성한 다음 분석대상 관측치와 생산변경과의 거리로써 분석대상의 상대효율성을 평가하는 방법이다. 투입기준 BCC 모형을 식으로 나타내면 다음과

- 1) CCR 모형에서는 생산가능집합이 불변규모수익(constant returns to scale)을 만족한다.
- 2) BCC 모형에서는 생산가능집합이 가변규모수익(variable returns to scale)을 만족한다.
- 3) 자유가처분성은 어떤 투입과 산출이 생산 가능한 조합일 때, 그 보다 많은 투입이나 적은 산출을 가진 투입산출조합 또한 생산가능하다는 것을 의미한다.
- 4) 볼록성은 어떤 두 개의 투입산출조합이 생산가능하면, 두 관측치의 선형으로 조합된 내분점 역시 생산가능하다는 것을 의미하며, 이는 분석의 편의를 위하여 대부분의 경제 분석에서 기본적으로 전제되는 중요한 공리이다.

같다. 먼저  $M$ 개의 투입요소  $x_1, \dots, x_M$ 과  $N$ 개의 산출요소  $y_1, \dots, y_N$  을 갖는  $J$ 개의 관측치가 있다고 할 때 자유가처분성을 만족하는 생산가능집합  $P^D(x_1, \dots, x_M, y_1, \dots, y_N)$ 은 다음의 식과 같이 표현할 수 있다[1].

$$\{(x_1, \dots, x_M, y_1, \dots, y_N) \mid x_m \geq x_m^j (m = 1, 2, \dots, M), \\ y_n \leq y_n^j (n = 1, 2, \dots, N), \\ (j = 1, 2, \dots, J)\}$$

위의 식에 볼록성의 가정을 추가하면 다음의 식과 같은 가변규모수익을 만족하는 생산가능집합  $P^D(x_1, \dots, x_M, y_1, \dots, y_N)$ 을 얻게 된다[1]. 즉, 아래 수식에서  $\sum_{j=1}^J \lambda^j = 1, \lambda^j \geq 0$ , 조건에 의해  $\lambda^j$ 들의 합은 항상 1이므로 관측치들 간의 선형내분 조합만이 가능하다.

$$\{(x_1, \dots, x_M, y_1, \dots, y_N) \mid \\ x_m \geq \sum_{j=1}^M x_m^j \lambda^j (m = 1, 2, \dots, M), \\ y_n \leq \sum_{j=1}^N y_n^j \lambda^j (n = 1, 2, \dots, N), \\ \sum_{j=1}^J \lambda^j = 1, \lambda^j \geq 0, (j = 1, 2, \dots, J)\}$$

이 때  $J$ 개의 관측치 중 임의의 하나인  $k$ 번째 관측치가 생산가능집합  $P^D(x_1, \dots, x_M, y_1, \dots, y_N)$ 에 속해 있다는 가정 하에 이 관측치의 상대효율성  $\theta^k$ 는 산출을 고정시킨 상태에서 투입을 최대로 줄일 수 있는 비율로 표현되는데, 이를 선형계획모형(Linear Programming Model)으로 나타내면 <Figure 1>과 같다[1].

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta^k \\ \text{s.t.} \quad & \theta^k x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j (m = 1, 2, \dots, M) \\ & y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j (n = 1, 2, \dots, N) \\ & \sum_{j=1}^J \lambda^j = 1 \\ & \lambda^j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, J) \end{aligned}$$

<Figure 1> Input-based BCC Model

5) 여기서  $\lambda^j, j=1, 2, \dots, J$ , 는  $J$ 개 관측치들의 선형내분조합된 점을  $J$ 개 관측치들의 선형조합으로 표현할 때  $j$ 번째 관측치의 가중치를 나타낸다.

약효율적인 점은 상대효율성  $\theta^k$ 가 1이지만 추가적으로 투입요소를 줄이거나 산출요소를 늘리거나 할 여지가 있는데 이 추가적인 개선여지를 여유분(slack)이라고 하며, 이를 탐색하기 위한 선형계획모형은 <Figure 2>에 나타낸 바와 같다[1].

$$\begin{aligned} \max \quad & \left( \sum_{m=1}^M s_m^- + \sum_{n=1}^N s_n^+ \right) \\ \text{s.t.} \quad & \theta^k x_m^k = \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j + s_m^- (m = 1, 2, \dots, M) \\ & y_n^k = \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j - s_n^+ (n = 1, 2, \dots, N) \\ & \sum_{j=1}^J \lambda^j = 1 \\ & \lambda^j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, J) \\ & s_m^- \geq 0 (m = 1, 2, \dots, M) \\ & s_n^+ \geq 0 (n = 1, 2, \dots, N) \end{aligned}$$

<Figure 2> Linear Programming Model for Slacks

따라서  $k$ 번째 관측치가 더 효율적으로 되기 위해서는 다음의 식에 나타낸 바와 같이 각각의 투입요소  $x_m$ 을 상대효율성  $\theta^k$ 만큼 동일한 비율만큼 줄인 이후에 여유분  $s_m^-$ 만큼 투입을 더 줄이고, 여유분  $s_n^+$ 만큼 산출요소  $y_n$ 을 더 늘여야 한다.

$$(x_m^k, y_n^k) \rightarrow (\theta^k x_m^k, y_n^k) \rightarrow (\theta^k x_m^k - s_m^-, y_n^k + s_n^+)$$

한편, <Figure 1>의 선형계획모형에서 볼록성을 나타내는 제약식  $\sum_{j=1}^J \lambda^j = 1$ 을 제거하면 불변규모수익을 가정하는 생산가능집합을 얻게 되어 투입기준 CCR 모형이 된다[3]. 또한 투입기준 CCR 모형을 풀었을 때  $k$ 번째 관측치가 규모의 경제성을 보이면  $\sum_{j=1}^J \lambda^j < 1$ , 불변규모수익을 보이면  $\sum_{j=1}^J \lambda^j = 1$ , 그리고 규모의 불경제성을 보이면  $\sum_{j=1}^J \lambda^j > 1$ 이 된다[2, 4]. 여기서 규모의 경제성이 있다는 것은 투입요소의 규모를 1% 증가시킬 때 산출요소가 1% 이상 증가함을, 그리고 규모의 불경제성이 있다는 것은 투입요소의 규모를 1% 증가시킬 때 산출요소가 1% 이하 증가함을 의미한다. 따라서 규모의 경제성이 있다면 투입요소를 늘리고, 규모의 불경제성이 있다면 투입요소를 줄여서 규모의 효율성을 높일 수 있다.

**가상가격기준모형** 전술한 바와 같이 물량 기준 BCC 모형은 선형계획모형으로 나타낼 수 있으며, 이의 쌍대문제(dual problem)는 <Figure 3>에 나타난 선형계획모형과 같다[10]. 따라서 이 모형의 최적해(optimal solution)에서 목적함수의 값인  $\left(\sum_{n=1}^N \mu_n y_n^k - z^k\right)$ , 여기서  $z^k$ 는 물량 기준 BCC 모형에서 제약조건  $\sum_{j=1}^J \lambda^j = 1$ 에 해당하는 쌍대변수, 은 물량기준 BCC 모형의 최적해에서 목적함수의 값인 상대효율성  $\theta^k$ 와 같게 된다. 이는 가상가격(virtual price) 개념을 도입하여 집계된 가상투입(aggregated virtual input)과 집계된 가상산출(aggregated virtual output)의 비율로 상대효율성을 도출하는 모형이라고 할 수 있으므로 이를 가상가격 기준(virtual price-based) BCC 모형이라고 한다. 한편, 두 모형은 DMU의 효율성 상태에 대해 서로 다른 정보, 즉 물량 기준 BCC 모형은 투입요소의 여유분(slack)  $s_m^-$ 과 산출요소의 여유분  $s_n^+$ 를, 가상가격 기준 BCC 모형은 투입요소의 가상가격(virtual price)  $\nu_m$ 과 산출요소의 가상가격  $\mu_n$ 을 제공한다.

$$\begin{aligned}
 & \max \quad \sum_{n=1}^N \mu_n y_n^k - z^k \\
 & \text{s.t.} \quad \sum_{m=1}^M \nu_m x_m^k = 1 \quad (k=1, 2, \dots, J) \\
 & \quad \quad \sum_{n=1}^N \mu_n y_n^k - \sum_{m=1}^M \nu_m x_m^k - z^k \leq 0 \\
 & \quad \quad (k=1, 2, \dots, J) \\
 & \quad \quad \nu_m \geq 0 \quad (m=1, 2, \dots, M) \\
 & \quad \quad \mu_n \geq 0 \quad (n=1, 2, \dots, N)
 \end{aligned}$$

<Figure 3> Virtual Price-based BCC Model

<Figure 3>에 나타난 가상가격 기준 BCC 모형과 같이 DMU의 입장에서 가장 유리한 가상가격을 제한 없이 부여하는 것을 무제한 가상가격 모형(unrestricted virtual price model)이라고 한다. 그러나 투입요소의 가상가격  $\nu_m$  혹은 산출요소의 가상가격  $\mu_n$ 에 대해 분석자가 사전적으로 알고 있는 바가 있다면, 계산되는 가상가격이 이러한 주관적인 가치판단에 부합하도록 제약을 가할 수 있다. 또한 이러한 제약을 통하여 DEA 모형에 의한 식별력을 높일 수 있다. 이는 가상가격에 대한 제약이 추가됨에 따라 <Figure 4>에 나타난 선형계획모형의 실행가능영역(feasible region)이 줄어들어 보다 적은 수의 관측치가 효율적인 것으로 나타나기 때문이다[10].

가상가격에 대한 제약, 즉 AR(Assurance Range) 제약은 가상가격의 하한과 상한을 제한한다. 여기서 AR 제약은 여러 가지 유형이 있지만, 그 중에서 <Figure 4>에 나타난 바와 같이 가상가격에 대한 상대비율을 제약하는 방식이 가장 많이 이용된다[10].

$$\gamma_m^x \leq \frac{\nu_m}{\nu_{m+i}} \leq \mu_m^x, \quad \gamma_m^y \leq \frac{\mu_m}{\mu_{m+i}} \leq \mu_m^y$$

<Figure 4> Restrictions on Virtual Prices

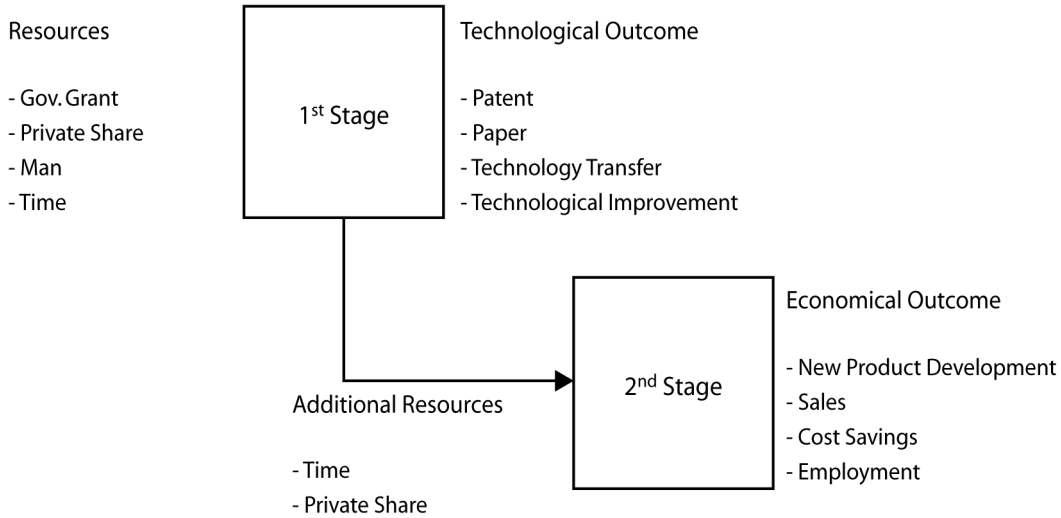
한편, 가상가격의 하한과 상한을 쉽게 구할 수 없는 경우에는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용할 수 있다. 여기서 AHP란 쌍쌍비교(pair-wise comparison)를 통해 여러 대안의 상대적 중요성을 체계적으로 도출하는 방법이다.

### 3. 분석절차

#### 3.1 분석개요

산업통상자원부 산업기술사업의 목적과 연계하여 DMU, 즉 개별 R&D 프로젝트의 투입·활동·산출에 관하여 설명하면 다음과 같다. 먼저 여타 정부 R&D 사업과 유사하게 정부출원금, 민간부담금, 연구인력 등이 일정기간 투입된다. 다음 투입된 다양한 R&D 자원을 활용하여 일정기간 R&D 프로젝트가 수행된다. 이후 R&D 프로젝트의 수행으로 특허, 논문, 기술이전, 기술수준향상 등과 같은 기술적 산출이 발생한다. 마지막으로 이러한 기술적 산출을 바탕으로 추가적인 민간부담금 등이 일정기간 투입되어 사업화가 진행되면서 제품화, 매출, 비용절감, 신규고용창출 등과 같은 경제적 산출이 발생한다. 이는 최종적으로 본 사업의 목적인 산업기술의 발전이란 결과로 연계될 것이다.

이러한 투입·활동·산출 단계별 성과지표를 도출하고 내적 타당성(측정 가능성, 구체성·명확성, 측정산식의 적절성, 기한성 등), 외적 타당성(측정 용이성, 성과 대표성, 성과 왜곡 가능성, 책임과 권한 적합성 등), 그리고 중복성 검토를 통하여 최종 성과지표를 선정, 이를 기술적 산출과 경제적 산출 두 단계로 구분, <Figure 5>에 나타난 바와 같이 각 단계의 투입과 산출로 정하여 상대효율성을 측정한다. 즉, 상대효율성 측정을 위하여 먼저 정부출원금(단위 : 백만 원), 민간부담금(단위 : 백만 원), 연구인력(단위 : 명), 그리고 과제수행기간(단위 : 월)을 1단



<Figure 5> Input-Output Transformation

계의 투입요소로, 특허성과(국내외 출원·등록 가중치 적용 자체 평가), 논문성과(국내외 가중치 적용 자체 평가), 기술이전건수, 그리고 기술수준향상도(100점 만점으로 환산)를 1단계의 산출요소로 정한다. 다음 1단계의 투입요소에 사업종료 후 경과기간(단위 : 월)과 추가 R&D 투자(단위 : 백만 원)를 2단계의 투입요소로, 제품화 실적(단위 : 건), 발생매출액(단위 : 백만 원), 비용절감액(단위 : 백만 원), 그리고 신규고용창출(단위 : 명)을 2단계의 산출요소로 정한다.

### 3.2 분석방법

먼저 각 DMU를 대상으로 1단계 규모의 효율성 상태를 파악하기 위하여 투입기준 CCR 모형을 이용한다. 여기서 투입기준 모형을 이용하는 이유는 DMU의 산출을 조정하는 것이 사실상 불가능하고 단지 투입을 줄임으로써 효율성을 개선할 수 있기 때문이다.

다음 각 DMU가 보다 효율적으로 되기 위하여 필요한 1단계의 투입요소 여유분과 산출요소 여유분을 파악하기 위하여 투입기준 BCC 모형을 이용한다. 여기서 BCC 모형을 이용하는 이유는 생산가능집합이 불변규모수익의 가정을 만족하지 않기 때문이다.

또한 각 DMU를 대상으로 1단계와 2단계의 상대효율성을 측정하기 위하여 AR 제약이 추가된 투입기준 BCC 모형을 이용한다. 한편, AR 제약은 AHP를 통하여 각 단계에서의 투입 및 산출요소간의 상대적 중요도를 파악하여 결정한다.

마지막으로 1단계와 2단계의 상대효율성 간의 상관관계를 살펴보고 기술적 산출과 경제적 산출 간의 인과관

계의 가능성을 파악한다.

산업통상자원부 산업기술사업에서 주관하는 R&D 프로젝트 중에서 최근 2008~2012년에 종료된 R&D 프로젝트를 분석의 대상으로 한다. 즉, R&D 프로젝트 776개를 이용하여 1단계 DEA를 위한 생산변경을 구하고 개별 R&D 프로젝트의 규모의 효율성(투입기준 CCR 모형), 투입요소 여유분과 산출요소 여유분(투입기준 BCC 모형), 그리고 상대효율성(AR 제약이 추가된 가상가격 기준 BCC 모형)을 계산한 후 <Table 1>에 나타난 바와 같이 5개 사업분야와 7개 주관기관별로 규모의 효율성, 투입요소 여유분과 산출요소 여유분, 그리고 상대효율성에 차이가 있는지를 분석한다. 이 경우에 투입기준 CCR 모형, 투입기준 BCC 모형, 그리고 AR 제약이 추가된 가상가격 기준 BCC 모형(투입기준)을 풀기 위하여 통계분석용 컴퓨터 언어인 R3.2를 이용한다.

다음 <Table 1>에 나타난 R&D 프로젝트 776개 중 2013년 현재 사업 종료 후 2년 이상이 경과한 627개를 이용하여 2단계 DEA를 위한 생산변경을 구하고 개별 R&D 프로젝트의 상대효율성을 계산한 후 <Table 2>에 나타난 바와 같이 5개 사업분야와 7개 주관기관별로 상대효율성에 차이가 있는지를 분석한다.

한편, 개별 R&D 프로젝트의 상대효율성을 계산하기 위한 가상가격 기준 BCC 모형(투입기준)에서는 산업통상자원부 산업기술사업 관련 전문가 8명을 대상으로 AHP를 이용하여 단계별 투입요소의 가상가격과 산출요소의 가상가격, 즉 상대적 중요도를 추정된 결과로부터 얻은 <Table 3>의 AR제약을 이용한다. 즉, 이러한 AR제약을 <Figure 3>의 가상가격 기준 BCC 모형에 추가하여 모형의 식별력을 높일 수 있으리라 기대된다.

<Table 1> R&D Projects(1st Stage)

(Unit : #)

	Enterprise				Lab.	Univ.	etc.	Total
	Public	Large	Medium	Small				
Industrial Material	0	46	9	55	18	5	9	142
IT Fusion	0	1	1	7	10	5	5	29
Nano Fusion	0	8	3	38	3	3	2	57
Energy Resources	22	56	0	178	183	33	2	474
Resources Technology	3	1	0	28	36	6	0	74
Total	25	112	13	306	250	52	18	776

<Table 2> R&D Projects(2nd Stage)

(Unit : #)

	Enterprise				Lab.	Univ.	etc.	Total
	Public	Large	Medium	Small				
Industrial Material	0	38	9	48	14	5	9	123
IT Fusion	0	1	0	5	7	5	5	23
Nano Fusion	0	5	2	24	2	2	1	36
Energy Resources	15	38	0	147	151	28	2	381
Resources Technology	2	1	0	24	31	6	0	64
Total	17	83	11	248	205	46	17	627

<Table 3> AR Restrictions

Stage	Factor	AR Restrictions
1st Stage Input	Gov. Grant(= $\nu_1$ )	$0.1 \leq \frac{\nu_2}{\nu_1} \leq 4.2$
	Private Share(= $\nu_2$ )	$0.1 \leq \frac{\nu_3}{\nu_1} \leq 10.7$
	Man(= $\nu_3$ )	$0.1 \leq \frac{\nu_4}{\nu_1} \leq 9.3$
	Time(= $\nu_4$ )	
1st Stage Output	Patent(= $\mu_1$ )	$0.0 \leq \frac{\mu_2}{\mu_1} \leq 1.1$
	Paper(= $\mu_2$ )	$0.1 \leq \frac{\mu_2}{\mu_1} \leq 5.5$
	Technology Transfer(= $\mu_3$ )	$0.1 \leq \frac{\mu_3}{\mu_1} \leq 5.6$
	Technological Improvement(= $\mu_3$ )	
2nd Stage Input	Gov. Grant(= $\nu'_1$ )	$0.1 \leq \frac{\nu'_2}{\nu'_1} \leq 2.6$
	Private Share(= $\nu'_2$ )	$0.1 \leq \frac{\nu'_3}{\nu'_1} \leq 4.4$
	Man(= $\nu'_3$ )	$0.1 \leq \frac{\nu'_4}{\nu'_1} \leq 3.6$
	Time(= $\nu'_4$ )	$0.1 \leq \frac{\nu'_5}{\nu'_1} \leq 0.8$
	Additional Time(= $\nu'_5$ )	$0.1 \leq \frac{\nu'_6}{\nu'_1} \leq 1.7$
	Additional Private Share(= $\nu'_6$ )	
2nd Stage Output	New Product Development(= $\mu'_1$ )	$0.4 \leq \frac{\mu'_2}{\mu'_1} \leq 21.0$
	Sales(= $\mu'_2$ )	$0.1 \leq \frac{\mu'_2}{\mu'_1} \leq 14.1$
	Cost Savings(= $\mu'_3$ )	$0.1 \leq \frac{\mu'_3}{\mu'_1} \leq 2.8$
	Employment(= $\mu'_4$ )	

### 4. 분석 결과

#### 4.1 1단계 상대효율성

투입기준 CCR 모형을 이용하여 개별 R&D 프로젝트별로 1단계 상대효율성을 계산하고, 규모의 효율성 상태를 평가하여, 사업분야별로 그리고 주관기관별로 이를 정리한 결과는 <Table 4>와 <Table 5>에 나타난 바와 같다. <Table 4>와 <Table 5>로부터 사업분야에 관계없이 규모의 효율성이 서로 같다는 귀무가설을 검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 있고(p-value = .000), 산업소재(63%), IT융합(72%), 나노융합(58%), 에너지자원(84%), 그리고 자원기술(84%)은 규모의 경제 상태에 있는 R&D 프로젝트가 상대적으로 많고, 주관기관에 관계없이 규모의 효율성이 서로 같다는 귀무가설을 검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 없고(p-value = .051), 공기업(96%), 대기업(69%), 중기업(69%), 소기업(80%), 출연연(80%), 대학(75%), 그리고 기타(61%)는 규모의 경제 상태에 있는 R&D 프로젝트가 상대적으로 많음을 알 수 있다. 사업분야별로 그리고 주관기관별로 다소 차이는 있지만 모든 경우 규모의 경제 상태에 있는 R&D 프로젝트가 그렇지 않은 R&D 프로젝트보다 많아 전반적으로 투입요소를 증가시킬 필요가 있다.

투입기준 BCC 모형을 이용하여 개별 R&D 프로젝트별로 1단계 상대효율성을 계산하고 투입요소의 여유분과 산출요소의 여유분을 집계한 다음 이를 사업분야별로 그리고 주관기관별로 정리한 결과는 <Table 6>, <Table 7>, <Table 8>, 그리고 <Table 9>에 나타난 바와 같다. <Table 6>, <Table 7>, <Table 8>, 그리고 <Table 9>로부터 투입요소의 여유분과 산출요소의 여유분 측면에서 산업소재는

<Table 4> 1st Stage Scale Efficiencies for Program Types (Unit : #)

	Scale Efficiency			Total
	Inc.	Cons.	Dec.	
Industrial Material (.4236)*	90	2	50	142
	63%	1%	35%	100%
IT Fusion (.6857)	21	1	7	29
	72%	3%	24%	100%
Nano Fusion (.4622)	33	2	22	57
	58%	4%	39%	100%
Energy Resources (.5389)	397	12	65	474
	84%	3%	14%	100%
Resources Technology (.5503)	62	1	11	74
	84%	1%	15%	100%
Total (.5187)	603	18	155	776
	78%	2%	20%	100%
$\chi^2$ -test**		$\chi^2 = 47.647, d.f. = 8, p\text{-value} = .000$		

\* Average of Relative Efficiencies(Input-based CCR Model).  
 \*\* See Mendenhall, et al.[8].

과제수행기간(.83개월)과 논문성과(.36편)에, IT융합은 정부출연금(774.08백만 원)과 민간부담금(598.01백만 원)에, 나노융합은 과제수행기간(2.21개월)과 논문성과(.43편)에, 공기업은 민간부담금(713.17백만 원)과 투입인력(6.19명)에, 대기업은 민간부담금(556.39백만 원), 투입인력(4.28명), 그리고 논문성과(.48편)에, 기타는 정부출연금(684.05백만 원), 민간부담금(818.53백만 원), 과제수행기간(.73개월), 그리고 논문성과(.54편)에 개선이 필요함을 알 수 있다.

<Table 5> 1st Stage Scale Efficiencies for Recipient Types (Unit : #)

		Scale Efficiency			Total
		Inc.	Cons.	Dec.	
Enter prise	Public (.4701)	24	1	0	25
		96%	4%	0%	100%
	Large (.4343)	77	2	33	112
		69%	2%	29%	100%
	Medium (.5596)	9	0	4	13
		69%	0%	31%	100%
	Small (.4890)	244	6	56	306
		80%	2%	18%	100%
	Lab. (.5607)	199	5	46	250
		80%	2%	18%	100%
	Univ. (.6422)	39	3	10	52
		75%	6%	19%	100%
Etc. (.6471)	11	1	6	18	
	61%	6%	33%	100%	
Total (.5187)	603	18	155	776	
	78%	2%	20%	100%	
$\chi^2$ -test		$\chi^2 = 20.986, d.f. = 12, p\text{-value} = .051$			

<Table 6> 1st Stage Input Slacks for Program Types

	Input Slack $s_m^-$			
	Gov. Grant (Unit : Mil.)	Private Share (Unit : Mil.)	Man (Unit : Man)	Time (Unit : Month)
Industrial Material (.4672)*	126.27**	263.21	.03	.83
	393.21***	378.89	.23	3.28
IT Fusion (.7119)	774.08	598.01	.00	.09
	2334.16	2066.02	.00	.34
Nano Fusion (.5622)	12.78	99.02	.01	2.21
	257.10	219.05	.05	9.97
Energy Resources (.5932)	169.59	195.64	2.90	.04
	415.59	567.74	9.08	.54
Resources Technology (.5947)	102.90	7.05	2.17	.00
	221.16	18.02	5.70	.04
Total (.5698)	174.31	203.97	1.98	.34
	595.28	626.57	7.42	3.11

\* Average of Relative Efficiencies(Input-based BCC Model).  
 \*\* Average.  
 \*\*\* Standard Deviation.

<Table 7> 1st Stage Output Slacks for Program Types

	Output Slack $s_n^+$			
	Patent (Unit : #)	Paper (Unit : #)	Tech. Trans. (Unit : #)	Tech. Improv. (Unit : Score)
Industrial Material (.4672)	.49	.36	.15	1.92
	.70	.84	.42	3.95
IT Fusion (.7119)	.17	.18	.09	2.22
	.42	.61	.36	4.84
Nano Fusion (.5622)	.50	.43	.14	2.86
	.74	1.02	.42	5.96
Energy Resources (.5932)	.22	.09	.07	5.06
	.34	.37	.28	5.22
Resources Technology (.5947)	.26	.03	.04	4.83
	.35	.11	.14	4.86
Total (.5698)	.29	.16	.09	4.20
	.48	.56	.32	5.18

<Table 8> 1st Stage Input Slacks for Recipient Types

		Input Slack $s_m^-$			
		Gov. Grant (Unit : Mil.)	Private Share (Unit : Mil.)	Man (Unit : Man)	Time (Unit : Month)
Enter prise	Public (.5179)	261.79	713.17	6.19	.00
		432.12	1591.50	9.55	.00
	Large (.4816)	253.04	556.39	4.28	.37
		486.73	582.52	13.69	2.11
	Medium (.5884)	103.08	124.24	.00	.17
155.99		218.36	.00	.60	
Small (.5510)	148.12	82.38	1.09	.45	
	684.06	375.45	2.86	4.34	
Lab. (.6063)	141.72	126.21	2.12	.16	
	416.52	397.39	7.87	1.36	
Univ. (.6783)	114.84	96.65	.76	.63	
	386.55	202.35	2.31	3.58	
etc. (.6787)	684.05	818.53	.00	.73	
	1603.84	2261.21	.00	2.80	
Total (.5698)	174.31	203.97	1.98	.34	
	595.28	626.57	7.42	3.11	

AR제약이 추가된 가상가격 기준 BCC 모형을 이용하여 개별 R&D 프로젝트별로 1단계 상대효율성을 계산한 다음 이를 사업분야별로 그리고 주관기관별로 집계한 결과는 <Table 10>과 <Table 11>에 나타낸 바와 같다. <Table 10>으로부터 가상가격에 관한 정보 하에 상대효율성은 사업분야에 관계없이 서로 같다는 귀무가설을 검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 있고( $p$ -value = .006), 이는 IT융합(.4438) > 자원기술(.3237) ≈ 에너지자원(.3102) ≈ 나노융합(.3008) > 산업소재(.2765)의 순임을 알 수 있다. 또한 <Table 11>로부터 가상가격에 관한 정보 하에 상대효율성은 주관기관에 관계없이 서로 같다는 귀무가설을

<Table 9> 1st Stage Output Slacks for Recipient Types

		Output Slack $s_n^+$			
		Patent (Unit : #)	Paper (Unit : #)	Tech. Trans. (Unit : #)	Tech. Improv. (Unit : Score)
Enter prise	Public (.5179)	.17	.06	.03	6.59
		.28	.22	.09	4.83
	Large (.4816)	.44	.48	.18	3.38
		.61	1.03	.51	5.41
	Medium (.5884)	.38	.25	.04	1.21
		.67	.47	.15	2.56
Small (.5510)	.28	.12	.08	5.25	
	.49	.39	.31	5.61	
Lab. (.6063)	.26	.06	.08	3.62	
	.37	.21	.26	4.51	
Univ. (.6783)	.23	.08	.05	2.91	
	.42	.40	.17	4.57	
etc. (.6787)	.40	.54	.03	1.86	
	.79	1.59	.09	3.76	
Total (.5698)	.29	.16	.09	4.20	
	.48	.56	.32	5.18	

<Table 10> 1st Stage Relative Efficiencies for Program Types

	Min.	Max.	Avg.	Std. Dev.
Industrial Material	.0382	1.0000	.2765	.2174
IT Fusion	.0247	1.0000	.4438	.3704
Nano Fusion	.0474	1.0000	.3008	.2341
Energy Resources	.0327	1.0000	.3102	.2042
Resources Technology	.0576	1.0000	.3237	.1889
Total	.0247	1.0000	.3096	.2173

Kruskal-Wallis test*	$\chi^2 = 14.578, d.f. = 4, p\text{-value} = .006$
----------------------	--

\*See Mendenhall, et al.[8].

<Table 11> 1st Stage Relative Efficiencies for Recipient Types

		Min.	Max.	Avg.	Std. Dev.
Enter prise	Public	.0327	1.0000	.2597	.2127
	Large	.0384	1.0000	.2211	.1636
	Medium	.0527	1.0000	.4209	.3207
	Small	.0247	1.0000	.3088	.2023
Lab.		.0420	1.0000	.3192	.2114
Univ.		.0723	1.0000	.4518	.2909
etc.		.0382	.8371	.3204	.2653
Total		.0247	1.0000	.3096	.2173

Kruskal-Wallis test*	$\chi^2 = 49.310, d.f. = 6, p\text{-value} = .000$
----------------------	--

검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 있고( $p$ -value = .000), 이는 대학(.4518) ≈ 중기업(.4209) > 기타(.3204) ≈ 출연연(.3192) ≈ 소기업(.3088) > 공기업(.2597) ≈ 대기업(.2211)의 순임을 알 수 있다.



### 4.2 2단계 상대효율성

AR제약이 추가된 가상가격 기준 BCC 모형(투입기준)을 이용하여 개별 R&D 프로젝트별로 2단계 상대효율성을 계산한 다음 이를 사업분야별로 그리고 주관기관별로 집계한 결과는 <Table 12>와 <Table 13>에 나타난 바와 같다. <Table 12>로부터 가상가격에 관한 정보 하에 상대효율성은 사업분야에 관계없이 서로 같다는 귀무가설을 검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 있고( $p\text{-value} = .000$ ), 이는 에너지자원(.1627)≈자원기술(.1606)≈산업소재(.1038) > 나노융합(.0729)≈IT융합(.0408)의 순임을 알 수 있다. 또한 <Table 13>으로부터 가상가격에 관한 정보 하에 상대효율성은 주관기관에 관계없이 서로 같다는 귀무가설을 검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 있고( $p\text{-value} = .000$ ), 이는 공기업(.2119) > 소기업(.1473) > 중기업(.1175)≈출연연(.1431)≈대학(.1370) > 기타(.0880)의 순임을 알 수 있다. 한편, 사업분야별, 그리고 주관기관별 2단계 상대효율성의 평균은 1단계 상대효율성의 경우보다 낮는데, 이는 2단계 산출이 전혀 없거나 거의 없는 경우가 1단계 산출의 경우보다 많기 때문이다.

<Table 12> 2nd Stage Relative Efficiencies for Program Types

	Min.	Max.	Avg.	Std. Dev.
Industrial Material	.0093	1.0000	.1038	.1289
IT Fusion	.0033	.2134	.0408	.0423
Nano Fusion	.0135	.2088	.0729	.0510
Energy Resources	.0152	1.0000	.1627	.1205
Resources Technology	.0523	.3677	.1606	.0602
Total	.0033	1.0000	.1413	.1177

Kruskal-Wallis test	$\chi^2 = 144.629, d.f. = 4, p\text{-value} = .000$
---------------------	---

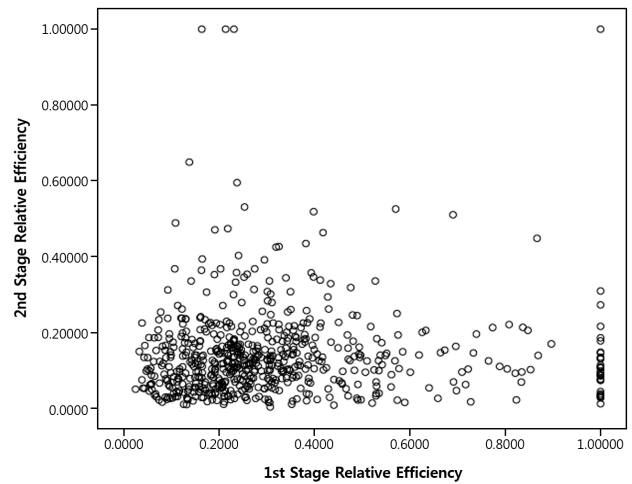
<Table 13> 2nd Stage Relative Efficiencies for Recipient Types

		Min.	Max.	Avg.	Std. Dev.
Enter prise	Public	.0154	1.0000	.2119	.2235
	Large	.0149	1.0000	.1175	.1685
	Medium	.0306	.6492	.1434	.1877
	Small	.0206	1.0000	.1473	.1078
Lab.		.0033	.5256	.1431	.0814
Univ.		.0117	.4706	.1370	.1006
etc.		.0093	.5951	.0880	.1431
Total		.0033	1.0000	.1413	.1177

Kruskal-Wallis test	$\chi^2 = 52.517, d.f. = 6, p\text{-value} = .000$
---------------------	--

### 4.3 두 상대효율성 간의 연계

1단계와 2단계의 상대효율성 간의 상관관계를 살펴본 결과는 <Figure 6>에 나타난 바와 같다. 즉, 1단계와 2단계의 상대효율성 간에는 아주 약한 정의 상관관계가 있다( $r = .032$ ). 그러나 두 상대효율성 사이에 상관관계가 없다는 귀무가설을 검정한 결과, 유의수준 5%에서 기각할 수 없다( $p\text{-value} = .424$ ). 따라서 산업소재, IT융합, 나노융합, 에너지자원, 그리고 자원기술을 포함한 전체 산업기술사업에서는 기술적 산출이 경제적 산출을 견인한다고 할 만한 통계적인 근거가 없다.



<Figure 6> Correlation between Efficiencies  
( $r = .032, p\text{-value} = .424$ )

## 5. 결론

본 연구에서는 DEA를 이용하여 산업기술 R&D 프로젝트의 상대효율성을 사업분야별로 그리고 주관기관별로 비교·분석하였다.

먼저 투입기준 CCR 모형을 이용하여 프로젝트의 1단계 규모의 효율성을 살펴본 결과, 사업분야와 주관기관에 관계없이 대부분의 프로젝트가 규모의 경제 상태에 있는 것으로 나타나 프로젝트의 효율을 높이기 위해서는 투입되는 자원의 양을 상대적으로 늘려야 함을 알 수 있다.

다음 투입기준 BCC 모형을 이용하여 프로젝트의 1단계 상대효율성을 살펴본 결과, 사업별로 보면 산업소재는 과제수행기간과 논문성과에, IT융합에서는 정부출연금과 민간부담금에, 나노융합에서는 과제수행기간과 논문성과에 개선이 필요한 것으로 나타났다. 주관기관별로 보면 공기업은 민간부담금과 투입인력에, 대기업은 민간부담금, 투입인력, 그리고 논문성과에, 기타는 정부출연금, 민간부

담금, 과제수행기간, 그리고 논문성과에 개선이 필요함을 알 수 있다.

또한 AR제약이 추가된 가상가격 기준 BCC 모형을 이용하여 프로젝트의 1단계 상대효율성을 살펴본 결과, 사업분야별 분석에서는 IT융합>에너지자원~자원기술~나노융합 > 산업소재의 순으로 효율성이 높은 것으로 나타났으며, 주관기관별로는 대학~중기업 > 기타~출연연~소기업 > 공기업~대기업의 순으로 효율성이 높은 것으로 나타났다. 한편, 2단계 상대효율성을 살펴본 결과는 사업분야별로는 에너지자원~자원기술~산업소재 > 나노융합~IT융합의 순이고, 주관기관별로는 공기업 > 소기업 > 중기업~출연연~대학 > 기타의 순으로 나타나 1단계 상대효율성 순위와는 다소 다르게 나타났다.

마지막으로 1단계 상대효율성과 2단계 상대효율성 간에는 상관관계가 존재한다고 할 수 없었다. 이러한 결과는 기술적 산출이 어느 정도 발생하더라도 구체적인 경제적 산출에의 기여도는 명확히 판단하기 어렵다는 것으로 해석될 수 있다. 이처럼 기술적 산출로 인한 경제적 산출과의 연계를 뚜렷하게 식별할 수 없는 것은 한편으로는 기술적 산출로부터 경제적 산출까지의 연결고리를 명확히 파악하기 어렵다는 점과 다른 한편으로는 본 연구에 사용된 분석 데이터의 시간적 제약에 기인하는 것으로 예상된다.

한편, 본 연구에서 사업분야 그리고 주관기관별로 상대효율성을 비교할 때 사업분야별로 목표가 다르고 주관기관별로 처한 환경이 다르다는 사항을 고려하지 못했다. 또한 R&D 프로젝트의 기술적 산출로부터 경제적 산출까지 이어지는 연계 고리를 규명하지 못하였다. 이는 본 연구의 한계이다.

따라서 산업기술 R&D 프로젝트의 기술적 산출로부터 경제적 산출까지를 포괄할 수 있는 세련된 모형을 개발하고 이를 활용하여 R&D 프로젝트의 상대효율성을 평가하는 체계를 구축하는 것은 추후 연구과제가 될 것이다.

## Acknowledgement

This study has been partially supported by R&D Evaluation Program of Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea in 2013.

## References

[1] Banker, R., Charnes, A., and Cooper, W., Some models

for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 1984, Vol. 30, pp. 1078-1092.

[2] Banker, R. and Thrall, R., Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 1992, Vol. 62, pp. 74-84.

[3] Charnes, A., Cooper, W., and Rhodes, E., Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1979, Vol. 2, pp. 429-444.

[4] Fare, R., Grosskopf, S., and Lovell, C.A.K., *The measurements of efficiency of production*. Boston, USA : Kluwer-Nijhoff, 1985.

[5] Farris, J.A., Groesbk, R.L., Aken, E.M.V., and Letens, G., Evaluating the relative performance of engineering design projects : A case study using data envelopment analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2006, Vol. 53, pp. 471-482.

[6] Hsu, F.M. and Hsueh, C.C., Measuring relative efficiency of Gov.-sponsored R&D projects : A three-stage approach. *Evaluation and Program Planning*, 2009, Vol. 32, pp. 178-186.

[7] Hyon, M.S. and Yoo, W.J., A Study on the Technology Transfer Efficiency for Public Institutes Using DEA Model. *Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2008, Vol. 31, pp. 94-103.

[8] Mendenhall, W., Wackerly, D., and Scheaffer, R., *Mathematical Statistics with Applications*, 4th ed. California, USA : Duxbury, 1989.

[9] Park, S.M., Two-staged DEA/AR-I Performance Evaluation Model for R&D Projects Efficiency Correlation Analysis and Programs Positioning Investigation. *Journal of the Korean Academic Association of Business Administration*, 2010, Vol. 23, pp. 3285-3303.

[10] Thompson, R.G., Brinkman, E.J., Dharmapala, P.S., Gonzales-Lima, M.D., and Thrall, R.M., DEA/AR profit ratios and sensitivity of 100 large U.S. banks. *European Journal of Operational Research*, 1986, Vol. 98, pp. 213-229.

## ORCID

Heung-Kyu Kim | <http://orcid.org/0000-0003-2506-6519>

Won Jin Kang | <http://orcid.org/0000-0003-0835-4316>

Jin Hee Bae | <http://orcid.org/0000-0002-3530-5061>