

# 우리나라 서비스부문의 혁신효율성 분석에 관한 연구

최정인<sup>1</sup> · 권성훈<sup>1\*</sup> · 송성환<sup>2</sup> · 황석원<sup>3</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 기술경영학과 / <sup>2</sup>한국한의학연구원 연구정책팀 / <sup>3</sup>과학기술정책연구원 경제분석연구단

## A Study on Analyzing Innovation Efficiency in Service Sector of Korea

Joung-in Choi<sup>1</sup> · Seong-hoon Gwon<sup>1</sup> · Sung-hwan Song<sup>2</sup> · SeogWon Hwang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Management of Technology, Sungkyunkwan University

<sup>2</sup>R&D Policy Team, Korea Institute of Oriental Medicine

<sup>3</sup>Economic Analysis Research Division, Science and Technology Policy Institute

One of primary assumptions on DEA is that all DMUs for evaluation should be homogeneous. In comparative analysis among DMUs with relative efficiency measurement, it should be evaluated under identical conditions by ruling out external environmental influences. In this study, a measurement of innovation efficiency using the three-stage approach is performed. The approach employs DEA to measure relative efficiency and Tobit regressions to control external variables affecting innovation activity. The approach applied to firms in Korean Innovation Survey: Service Sector 2003 and 2006. Final efficiency scores of the approach represent net efficiency of the innovation.

This study found that there is a increasing on technical efficiency of third stage, and it has difference with first stage significantly. Besides, a decrease on standard deviation of third stage is found. It means DMUs biased lower due to unfavorable condition and ones biased higher due to favorable condition are fallen into an identical operating environment through the approach. A measurement of net efficiency, excluding external effects, ensures the homogeneity of DMUs so that improves the reliability in terms of its analysis results. This study is expected to provide a direction and to be a valuable reference to further evaluation of innovation performance in Korean service sector.

**Keyword:** services sector, innovation, efficiency, DEA

### 1. 서론

Farrell(1957)은 생산효율성(productive efficiency)을 분배효율성(allocative efficiency)과 기술효율성(technical efficiency)으로 나누고 비모수적 접근법을 이용한 효율성의 측정을 제안했다. 이는 이후 LP(linear programming) 문제로 적용되었고, 의사결정단위(decision making unit, 이하 DMU)의 효율성을 측정하는 Charnes *et al.*(1978)의 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, 이하 DEA) 모형(CCR모형)에 사용되었다(Byrnes *et al.*, 1984).

Banker *et al.*(1984)은 규모수익불변(constant returns to scale)을 가정한 CCR모형을 규모수익가변(variable returns to scale)의 경우로 확장시킨 BCC모형을 개발했다. DEA는 주어진 투입(input) 결합으로부터 달성할 수 있는 최대의 산출(output)을 계산하기 위한 변경생산함수(frontier production function)를 측정하는 데 널리 사용되어 왔다.

DEA의 주요 가정 중 하나는 평가하려는 모든 DMU가 동질적이어야 한다는 것이다(Kim *et al.*, 2008). 투입을 산출로 변환하는 능력은 DMU에 따라 상이한데, 효율성을 비교하기 위해

\*연락처 : 권성훈, 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300 성균관대학교 27409호, Fax : 031-290-7610, E-mail : seonghoonk@skku.edu  
투고일(2009년 07월 20일), 심사일(1차 : 2009년 09월 28일, 2차 : 2009년 11월 01일), 게재확정일(2009년 11월 04일).

서는 각 DMU의 상이한 시스템을 비슷하게 조정해야 한다. 그러나 이러한 시스템을 인위적으로 조정하는 것은 불가능하므로, 투입자료와 산출자료를 적절히 가공할 필요가 있다(Wang and Huang, 2007).

투입을 산출로 변환하는 능력은 DMU의 내적 역량과 외부 환경에 의해 영향을 받는다. 상이한 환경에 있는 DMU의 역량을 비교·평가하기 위해서는 효과적이고 객관적인 비교 관점이 필요하다(Fried *et al.*, 1999). 즉, 효율성 측정을 통한 다수의 DMU간 비교분석에서, 평가 대상인 DMU가 외부환경요인으로 인해 받는 불이익 또는 이익을 배제하여, 동일한 조건에서 효율성을 평가할 필요가 있다.

외부환경으로 인한 비효율성 요소는 자원배분 효율성을 개선하기 위한 정책에서 반드시 고려되어야 한다(Hsu and Hsueh, 2009). 효율성 분석에 관한 대부분의 선행연구에서는 외부환경요인을 투입이나 산출로 고려했는데, 이는 특정 경영환경이 유리한지를 알아내기 위한 연구에는 적합하지 않다(Fried *et al.*, 1999).

Fried *et al.*(1999)은 비효율적인 경영요소들을 외부환경요인(external environmental factor)들로부터 분리하기 위한 4단계 접근법을 제안했으며, Wang and Huang(2007)은 4단계 접근법에 기초하여 효율성 분석을 위한 3단계 접근법을 제안했다. 3단계 접근법은 4단계 접근법의 3단계와 4단계를 합쳐서 도출된 방법으로, 4단계 접근법과 유사한 과정을 거친다.

본 연구에서는 우리나라의 서비스업체를 대상으로 3단계 접근법을 적용하여, 혁신활동에 영향을 미치는 외부환경요인을 통제된 혁신효율성을 측정한다. 즉, 기업의 혁신효율성을 측정하고 외부환경요인을 정량화하여, 외부환경요인의 영향을 배제한 순(net) 혁신효율성을 도출한다. 본 연구에서 효율성은 모두 기술효율성을 의미한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 선행연구를 요약하고, 제 3장에서는 순 효율성 측정을 위한 3단계 접근법을 상술한다. 제 4장에서는 연구에 사용된 자료와 투입변수, 산출변수, 그리고 기업의 혁신과정을 둘러싼 외부환경변수를 설명한다. 제 5장에서는 3단계 접근법에 의한 분석 결과를, 제 6장에서는 연구의 요약과 시사점을 제시한다.

## 2. 선행연구

DEA는 상대적 효율성을 측정하는 방법 중 하나이다. DEA에서 효율적인 DMU는 변경(frontier)에 위치하고, 그렇지 않은 DMU, 즉 가능한 최대치보다 낮은 기술적 산출을 가진 DMU들은 변경의 아래에 위치한다(Hsu and Hsueh, 2009).

DEA는 효율성 측정 연구에 자주 활용되었으며, 전통적인 기법에서 복잡한 형식의 접근법으로 발전해왔다. Fried *et al.*(1999)은 기존의 효율성 측정법을 3가지로 분류했다: 변경 분류 접근법(frontier separation approach); all-in-one 접근법; 2단계 접근법. 이러한 접근법들은 각각의 개별 투입 혹은 산출의 효율적인

사용의 측정에서 외부환경요인의 영향을 배제하지 못한다는 한계가 있다(Fried *et al.*, 1999).

Fried *et al.*(1999)은 외부 경영환경의 영향을 배제하고 순 경영 효율성을 계산하기 위해 4단계 DEA 접근법을 제안했다. 4단계 접근법은 2단계 접근법과 변경 분류 접근법을 확장한 개념으로, 이를 기반으로 투입여유(input slack) 혹은 산출잉여(output surplus)를 사용하여 DMU를 둘러싼 제반 환경의 영향을 통제 한 상태에서 효율성을 재계산하는 방법이다. 이 접근법은 제조업(Chapelle and Plane, 2005), 은행(Drake *et al.*, 2006), 공공분야(Wang and Huang, 2007)를 포함한 수많은 분야에서 상대적인 효율성을 측정하는 데 사용되었다(Hsu and Hsueh, 2009).

4단계 접근법은 네 가지의 주요 장점을 가진다(Fried *et al.*, 1999). 첫째, 최종 결과는 경영 효율성의 방사적(radial) 측정으로 도출되어 이전의 전통적인 해석법의 적용이 가능하다. 둘째, 분석 전에 외부환경변수를 투입·산출변수로 분류할 필요가 없다. 셋째, 각 투입의 효율적인 사용(투입지향 모형에서) 혹은 각 산출의 효율적인 생산(산출지향 모형에서)에 미치는 외부환경변수의 영향을 측정할 수 있다. 넷째, 초기 모형을 적용하여 생성된 여유 혹은 잉여 정보를 효율성 측정에 사용할 수 있다.

Wang and Huang(2007)은 4단계 접근법에 기초한 3단계 접근법을 제안했다. 1단계에서는 DEA가 적용되어 각 DMU별 효율성 점수와 투입여유가 도출된다. 2단계에서는 종속변수(dependent variable)를 투입여유로, 독립변수(independent variable)를 외부환경요인들로 설정하여 토빗회귀분석(Tobit regression analysis)을 수행한다. 3단계에서는 2단계 결과를 바탕으로 도출된 새로운 투입 데이터와 기존의 산출 데이터를 이용하여 DEA를 다시 수행한다. 3단계에서 측정된 효율성 점수는 외부환경요인의 영향을 배제한 순 효율성을 나타낸다.

Hsu and Hsueh(2009)은 Wang and Huang(2007)의 3단계 접근법을 1997~2005년에 정부보조금을 지원받은 대만의 110개의 프로젝트에 적용했다. 이들은 기업규모, 산업, 그리고 R&D 국가 보조금 예산이 효율성에 유의한(significant) 영향을 미치는 것을 확인하고, 이를 외부환경변수로 간주하여 통제된 후 효율성을 측정했다. 그 결과 최종 효율성의 평균 점수는 증가했고 1단계의 점수와 비교하여 유의한 차이가 나타났다.

## 3. 효율성 측정의 3-단계 접근법

본 연구에서는 국내 서비스업체의 혁신효율성을 평가하기 위해 3단계 접근법을 사용한다. 이 접근법의 목적은 서비스업체들의 혁신성과 창출과정에 영향을 미치는 외부환경변수를 통제된 순 혁신효율성을 구하는 것이다.

### 3.1 1단계: DEA를 이용한 효율성 측정

첫 번째 단계는 생산모형의 설정으로 시작된다. N개의 투입

과 M개의 산출을 가진 기업의 혁신함수는 생산함수의 일반적인 특성을 가진다. 이 함수는 모든 투입과 산출이 동질적이고, 어떠한 형태로도 예산에 대한 제약이 없다고 가정되며, 규모 수익가변의 가능성도 포함한다(Wang and Huang, 2007). 규모 수익가변의 조건 하에서, 각각의 선형 투입 요구조건 집합(set)은 식 (1)과 같이 정의된다(Afriat, 1972).

$$L(y) = \{x : Yz \geq y, Xz \leq x, Iz = 1, z \in R_+^K\} \quad (1)$$

이때,  $y$ 는 산출 ( $M \times 1$ ) 벡터,  $x$ 는 투입 ( $N \times 1$ ) 벡터,  $Y$ 는 산출 ( $M \times K$ ) 행렬,  $X$ 는 투입 ( $N \times K$ ) 행렬,  $z$ 는 가중치 ( $K \times 1$ ) 벡터,  $I$ 는 가중치의 ( $1 \times K$ ) 벡터,  $K$ 는 DMU의 수를 의미한다.  $M$ 은 산출의 수,  $N$ 은 투입의 수이다. 산출 벡터가  $y$ 로 주어지면, 이를 생산가능하게 하는 모든 투입 결합은 투입 요건(requirement) 집합에 속한다. 투입 벡터의 모든 블록 결합은 투입  $x$ 와 같거나 적고, 최소한 산출 벡터  $y$ 를 생산할 수 있다. 이러한 블록 결합은 산출  $y$ 에 대한 등생산량곡선(isoquant) 또는 참고변경(reference frontier)을 구성하여 Farrell(1957)의 기술효율성 측정의 기반을 형성한다(Fried et al., 1999).

식 (1)에서 주어진 각각의 선형 투입 요건 집합을 바탕으로, Banker et al.(1984)이 정의한 투입지향(input-oriented) BCC모형의 DEA를 수행한다. DEA는 주어진 투입과 산출을 이용하여 최적의 변경을 도출하게 되고, DMU의 효율성은 이러한 최적의 변경에 대한 상대적인 위치로 정의된다(Charnes et al., 1978).

DEA의 강점은 비모수적 측정이 가능하고, 투입과 산출은 단일 범주가 아닌 다중 범주를 취하더라도 측정이 가능하며(Sohn and Joo, 2004), 생산 함수 형성에 있어서 어떠한 가정도 존재하지 않는다는 데 있다(Fu, 2008). 반면, 통계적 잡음 혹은 측정 오류에 대한 해결책이 없다는 단점도 있다. DMU  $k(k = 1, \dots, K)$ 에 대한 효율성을 도출하기 위한 LP모형은 식 (2)와 같이 표현된다(Wang and Huang, 2007).

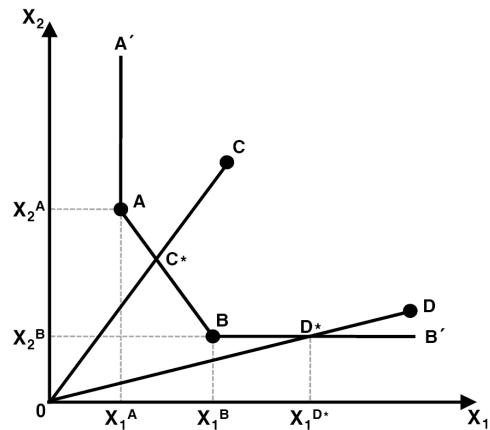
$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \lambda \\ & z, \lambda \\ & \text{subject to } Yz \geq y^k, \\ & \quad Xz \leq \lambda x^k, \\ & \quad Iz = 1, \\ & \quad z \in R_+^K. \end{aligned} \quad (2)$$

$y^k$ 와  $x^k$ 는 DMU  $k$ 에 대한 산출과 투입이고,  $z$ 는 가중치 벡터이다.  $\lambda$ 는 투입율과 산출 수준을 일정하게 유지하면서 모든 투입의 비례적 축소(proportional contraction)를 나타내는 스칼라 값이다(Fried et al., 1999). LP모형은 각 DMU마다, 즉  $k$ 개 구축된다. 모든 조건을 만족하는  $\lambda$ 의 최소값은 Farrell(1957)의 방사적 기술효율성 점수이다. 그런데, 이는 각 DMU에 대한 첫 번째 효율성 평가로서, 투입여유의 영향력을 무시한 값이다.

Fried et al.(1999)은 투입여유의 방사적, 그리고 비방사적(non-radial) 개념을 Figure 1을 이용해 설명한다. 동일한 양의 산출  $y$

를 생산하기 위한  $x_1$ 과  $x_2$ 의 두 개의 투입을 가진  $A, B, C$ , 그리고  $D$ 의 4개의 DMU가 있다고 가정하자. DMU  $A$ 와  $B$ 는 기술적으로(technically) 효율적이지만,  $C$ 와  $D$ 는 그렇지 않다.  $C$ 와  $D$ 의 방사적 기술효율성( $TE^C$ 와  $TE^D$ )은 각각  $OC^*/OC$ 와  $OD^*/OD$ 이다. 여기서  $(1 - TE^C)x^C$ 의 양이 방사적 투입 여유를 의미하며, 이는 모든 투입에 대해 동일한 비율이다(Fried et al., 1999).

DMU  $C$ 는 자신의 투입을  $C^*$ 로 비율적으로 감소시킨 후에는, 산출을 포기하지 않고서는 더 이상 투입을 감소시킬 수 없다. 반면, DMU  $D$ 는 방사적으로 효율적이기 위해,  $(1 - TE^D)$ 만큼 현재의 투입을  $D^*$ 까지 비율적으로 절감한 후, 투입  $x_1$ 을  $x_1^{D^*}$ 에서  $x_1^B$ 로 감소시킬 수 있다.  $x_1^B x_1^{D^*}$ 과 같은, 투입  $x_1$ 에서 잠재적 추가 절감은 투입  $x_1$ 의 비방사적 여유이다(Fried et al., 1999). 본 연구의 투입여유는 투입의 방사적, 그리고 비방사적 여유 모두를 포함하는 개념이다.



자료 : Fried et al., 1999.

Figure 1. 방사적 · 비방사적 투입여유

### 3.2 2단계: 투입여유에 영향을 미치는 외부환경요인 분석

두 번째 단계는 토빗회귀분석을 이용하여 투입여유에 영향을 미치는 외부환경요인을 분석하는 것이다. 종속변수는 1단계로부터 얻어낸 방사적 · 비방사적 투입여유( $IS_{j,k}^P$ )이고, 독립변수는 투입에 영향을 미칠 수 있는 외부환경요인의 측정치들이다. 2단계의 목적은 과용된 투입(excessive use of inputs) 중 외부환경요인에 의한 효과만을 정량화하는 것이다(Fried et al., 1999). 토빗회귀분석을 통해 얻어진 모수는 다음 단계에서 예측여유(predicted slack)를 도출하는 데 사용된다.

### 3.3 3단계: 투입데이터 조정 후 효율성 재측정

세 번째 단계에서는 토빗회귀분석에 의해 측정된 계수를 사용하여 외부환경요인의 효과를 고려한 투입여유를 예측한다. 예측된 투입여유  $IS_{j,k}^P$ 은 투입 데이터를 조정(adjustment)하는

데 사용된다. 조정에 필요한 값은 예측여유의 최대값과 각 DMU의 예측여유간 차에 의해서 구해진다. 외부의 영향을 배제한 조정된 투입은 식 (3)으로부터 도출된다(Wang and Huang, 2007).

$$\begin{aligned} x_{j,k}^a &= x_{j,k} + [Max_k\{IS_{j,k}^P\} - IS_{j,k}^P], \\ j &= 1, \dots, N, \\ k &= 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (3)$$

$x_{j,k}^a$ 은 DMU  $k$ 의 투입  $j$ 의 조정된 값을 나타낸다. 식 (3)은 투입여유가 낮은 DMU에게 불리한(unfavorable) 환경을 부여하는 것을 의미한다. 즉, 투입이 낮은 기업은 여유가 상향 조정된다. 투입은 증가하고 산출은 유지됨으로써, 혁신성과 측면에서 기업의 외부환경으로 인한 이점(advantage)은 제거된다. 식 (3)으로부터 도출된 조정된 투입 데이터 집합을 다시 DEA모형에 적용하면 새로운 효율성 점수가 도출되며, 이는 효율성의 순요소를 나타낸다.

예측여유의 최대값을 사용하는 목적은 모든 DMU를 외부환경이 가장 불리한 DMU와 같은 조건에 두는 데 있다(Fried *et al.*, 1999). 즉, 가장 불리한 수준의 외부환경변수를 가진 기업의 투입벡터는 조정되지 않는다. 반면, 예측여유보다 낮은 수준의 외부환경변수를 가진 기업의 경우, 불리한 외부환경을 가진 DMU와 조건을 동일하게 하기 위해 투입벡터가 수정된다.

이 방법으로 데이터를 조정하게 되면, 유리한(favorable) 상황 속에 있는 기업의 투입이 증가하는 쪽으로 조정된다. 그런데, 만약 가장 유리한 환경이 기준으로 사용된다면, 투입데이터는 불리한 상황 속에 있는 기업의 투입이 감소하는 쪽으로 조정된다. 이 경우 조정된 투입이 음(negative)의 값을 가질 수 있다는 문제점이 있으므로(Fried *et al.*, 1999), 가장 불리한 환경을 기준으로 투입벡터를 조정하는 것이 타당하다.

## 4. 자료와 변수

본 장에서는 분석에 활용된 자료와 선정된 제반 변수에 대해 상술한다.

### 4.1 자료

본 연구에서는 ‘과학기술정책연구원’의 2003년도와 2006년도 『한국의 기술혁신조사: 서비스부문(Korean Innovation Survey: Service Sector)』(이하, KIS2003과 KIS2006) 조사결과를 자료로 사용한다. 기술혁신조사는 우리나라 기업들의 혁신활동 전반에 대한 현황과 특성을 파악하여 국가 혁신정책 수립과 혁신연구에 필요한 데이터를 확보하고 기초 통계자료를 제공하는 데 그 목적이 있다(STEPI, 2006). KIS2003은 2003년 7~11월, KIS2006은 2006년 5~9월에 조사가 이루어졌다. 모집단은 상시종

업원 10인 이상의 서비스업체이다. 기술혁신조사는 기업별 설문조사를 통해 시행되며, 그 결과는 기업의 일반현황 뿐만 아니라 혁신활동과 관련된 자료까지 포함한다(STEPI, 2004; STEPI, 2006).

기술혁신조사 데이터는 종업원 규모, 지역 기준 등에 의해 업종별로 이미 편이 없이(unbiased) 선택되었으므로, 본 연구에서는 이 기업들을 각 DMU로 간주하여 분석한다. 단, 결측치가 있는 기업들을 제외하여, KIS2003과 KIS2006 각각의 분석대상 기업수는 466개와 497개이다.

### 4.2 변수

본 절에서는 투입변수, 산출변수, 그리고 외부환경변수에 대해서 설명한다. KIS2003과 KIS2006의 비교를 위해, 공통 변수를 먼저 추출하였으며, 그 중 혁신효율성 측정에 적합한 것으로 판단되는 변수를 선정했다.

#### (1) 투입변수

투입변수로는 ‘종업원수’, ‘석사비율’, ‘R&D비용’, 그리고 ‘혁신비용’을 고려했다. 먼저, 인력은 혁신 활동에 영향을 미치는 주요 변수 중 하나이다(Uzun, 2001; Sher and Yang, 2005). 본 연구에서는 인력의 양을 고려하기 위해 ‘종업원수’를 투입변수로 설정했다. 이는 각 조사의 3년간 평균 상시근로자의 수로서 혁신활동에 투입되는 양적 측면의 인력을 의미한다.

Hoffman *et al.*(1998)에 따르면 전문 과학자, 공학자, 그리고 관리자는 혁신성과를 창출하는 핵심원천이다. 따라서 전체 종업원수뿐만 아니라 고급인력의 비율도 고려할 필요가 있다. 인력의 질 측면을 고려하기 위해, ‘석사비율’을 투입변수로 설정했다. 이 변수는 석사 이상의 학위를 가진 인력의 평균 비율을 의미한다. 만약 비율이 아닌 석사학위 이상 인력의 수를 그대로 투입변수로 사용할 경우, ‘종업원수’와 상관관계가 높을 것으로 판단되므로 비율을 사용하는 것이 타당하다.

‘R&D비용’은 내·외부 연구개발업무와 관련한 총 지출액을 의미한다. 내부 연구개발과 외부 기술획득을 위한 지출은 일반적으로 기술혁신의 성과와 높은 상관관계를 가진다(Raggi, 1993; Chudnovsky *et al.*, 2006; Huergo, 2006). ‘혁신비용’은 연구개발 외 혁신업무와 관련된 비용으로, 구체적으로 다음과 같은 활동 관련 비용이다: 기기·장비(비IT) 도입; 하드웨어(IT장비)·소프트웨어 구매; 기술구매·컨설팅; 제품·공정혁신을 위한 다른 준비; 조직혁신의 준비업무; 마케팅활동; 직무훈련(STEPI, 2006). 단, ‘R&D비용’과 ‘혁신비용’의 경우, 시차(time lag)와 진부화율 등을 고려하여 저장(stock)변수로 변환하는 것이 일반적이나, 본 연구의 자료로는 이들의 추정이 어려우므로 유량(flow)변수를 그대로 사용했다.

#### (2) 산출변수

산출변수로는 제품혁신과 공정혁신에 대해 각각 4가지, 즉

총 8가지 변수를 고려했다. ‘혁신횟수’는 KIS2003의 경우 범주형 척도로 조사되었고 KIS2006의 경우 건수로 조사되었으므로, 비교분석을 위해서는 KIS2003의 범주형 척도를 건수로 변환할 필요가 있다. 변환을 위해 범주의 최대값과 최소값의 산술평균을 건수로 가정했다.

특허는 대부분의 연구에서 충분히 신뢰할 만한 기술지표로 간주된다(Raggi, 1993). 특허의 수는 기술혁신 역량의 가장 중요한 지표 중 하나이며(Chen *et al.*, 2009), 접근이 용이하다는 장점으로 인해 혁신을 측정하는 방법으로 가장 널리 활용되어 왔다(Nelson, 2009).

그런데, 특허의 출원통계와 등록통계 중에서 어떤 것이 R&D 산출을 잘 반영하는지는 학자마다 견해가 다르다(Park and Choi, 2009). 특허는 해당 발명이 새로운 기술적 요소를 갖추었을 때에만 등록될 수 있으므로, 등록특허는 출원특허보다 더 높은 기술적 가치를 나타낸다(Ernst, 1995). 따라서 등록특허를 고려할 경우 특허의 양적 측면뿐만 아니라 질적 측면을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 성과 산출을 위해 특허를 출원하는 경우도 많아, 등록특허가 R&D성과를 측정하기에 나은 지표라고 볼 수도 있다.

반면, R&D 산출로서 출원특허를 선호하는 학자들은 출원된 특허의 수가 등록된 특허의 수보다 많기 때문에, 출원통계가 등록통계보다 R&D의 전체 산출을 잘 반영한다고 주장한다(Park and Choi, 2009). 또한, 특허의 출원과 등록간의 시차는 기업 외부의 환경요인에 의해 주로 결정된다(Comanor and Scherer, 1969). 따라서 R&D와 특허출원은 상대적으로 그 시차가 비교적 짧고, 분산도 크지 않기 때문에 관계과약이 용이하다는 장점도 있다.

본 연구에서는 출원특허와 등록특허 모두를 고려한다. 그런데 출원건수와 등록건수를 고려할 경우, 다중공선성(multicollinearity) 문제가 발생할 가능성이 크다. 따라서 등록특허의 경우 건수가 아니라 그 비율을 산출변수로 설정했다. ‘특허등록율’은 특허 출원 건수 대비 등록 건수를 의미한다. 한편, ‘지재권 등록’은 상표권과 의장권 등 기타 지적재산권의 등록 건수를 나타낸다.

### (3) 외부환경변수

본 연구에서는 통제불가능한 외부환경요인은 제거하고, 통제가능한 변수를 이용하여 상대적 효율성을 측정하는 방법을 사용한다. 자료의 제약으로 모든 외부환경요인을 고려할 수는 없지만, 이러한 이 산출에 미치는 영향을 분석하여 투입자료를 적절히 가공할 필요가 있다. 외부환경변수로는 ‘기업규모’, ‘회사형태’, ‘벤처여부’, 그리고 ‘산업분류’의 4가지를 고려했다.

R&D의 성과에 대한 기업 규모의 영향의 정도에 대해서는 아직 논쟁 단계에 있다(Hsu and Hsueh, 2009). 일반적으로 기업의 규모와 혁신간에는 부의(negative) 관계가 있는 것으로 파악된다(Santarelli and Piergiovanni, 1996). 왜냐하면, 규모가 작은 기업은 유연하고 관료적이지 않아, 변화와 혁신의 적응속도가 빠

르기 때문이다. 그러나 규모가 큰 기업은 신기술에 대한 투자를 증대시킬 수 있는 역량이 있으며, 혁신의 사업화 성공을 위해 필요한 특정 보완재를 보유하고 있을 확률이 더 높다는 장점이 있다(Teece, 1986). 기업의 규모가 R&D성과에 정의(positive) 영향을 미칠지 부의(negative) 영향을 미칠지는 알 수 없지만, 영향 변수로 고려할 필요가 있다. 기업의 규모는 법정유형에 의해 대기업과 중소기업으로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 이를 ‘기업규모’를 나타내는 외부환경변수로 고려한다.

한편, 기업이 소속된 산업은 기업의 생존과 성장에 대한 위협과 기회로서 작용한다(Luukkonen, 2000). 또한, 혁신활동의 패턴에 있어서도 산업별로 상당한 차이가 있으며(Greenhalgh and Rogers, 2006), 특히 경쟁이 치열한 산업 내 기업들은 높은 혁신성과를 갖는 경향이 있다(Hsu and Hsueh, 2009). 산업 구분도 DEA의 동질성 문제와 관련이 있으므로, DEA의 산출변수로 사용되는 성과지표들은 산업별로 상이하게 설정하는 것이 합리적이다. 그런데 이러한 구분을 적용할 경우 산업간의 직접적인 비교가 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 산업을 외부환경변수로서 고려함으로써, 서비스업 전체의 효율성 비교를 가능하게 한다. 그런데 KIS2003과 KIS2006의 서비스업 산업분류는 18개와 20개로 상이하다. 두 조사의 자료를 함께 분석하기 위해, 본 연구에서는 「제9차 한국표준산업분류(2008. 2)」 기준으로 모든 기업을 6개 산업으로 재분류했다(<Appendix 1>).

이 외에도 외부환경변수로 ‘회사형태’와 ‘벤처여부’를 고려했다. ‘회사형태’는 해당기업이 독립기업인지 국내외 계열사인지를 구분하기 위한 변수이며, ‘벤처여부’는 벤처기업 여부를 구분하기 위한 변수이다. 이상의 외부환경변수는 모두 더미(dummy) 변수로, 토빗회귀분석의 독립변수로 사용된다. 변수에 대한 설명과 통계량을 요약한 결과는 <Appendix 2>와 같다.

## 5. 분석 결과

투입을 산출로 변환하는 기업 내적인 비효율성은 기업이 통제할 수 있는 요인인 반면, 외부환경요인으로 인한 비효율성은 기업이 단기적으로 통제할 수 있는 범위를 벗어나 있다(Wang and Huang, 2007). 3-단계 접근법의 목적은 이러한 외부환경의 특성을 제어한 후 순 효율성 측정치를 획득하는 것이다.

전통적인 DEA는 상대적 효율성을 측정하는 개념이므로 상이한 집단간 효율성 비교는 어렵다. 그러나 본 연구에서는 산업유형 등의 외부환경요인을 통제함으로써 상호간의 비교가 가능하다. 본 장에서는 3-단계 접근법에 의한 분석결과를 상술한다.

### 5.1. 1단계: 국내 서비스업체를 대상으로 DEA 적용

국내 서비스업체의 효율성을 평가하기 위한 1단계 DEA모형

은 4개의 투입변수와 8개의 산출변수로 구성된다. 8개의 산출변수의 절반은 제품혁신에, 나머지 절반은 공정혁신에 관련된 변수이다. 최적의 경계(best practice frontier)에 속한, 즉 효율성이 가장 뛰어난 기업에 대한 모든 기업의 상대적인 효율성 점수는 규모수익가변을 가정한 투입지향의 BCC모형인 식 (2)를 통해 측정되었다. 효율성 측정을 위한 소프트웨어로는 EMS(Efficiency Measurement System) 1.3을 이용했다.

1단계 결과는 국내 서비스업체의 효율성 점수가 대부분 낮게 편되어(biased) 있다는 것을 보여준다(<Table 1>). 효율성의 평균 점수는 KIS2003과 KIS2006 각각에 대해 0.304와 0.326으로 나타났다. 효율성 점수의 평균이 상대적으로 낮은 이유는, 환경적인 불리함으로 인해 효율성이 저평가된 기업이 많았기 때문으로 분석된다.

본 단계의 혁신효율성 점수는 순 혁신효율성과 외부환경요인으로 인한 비효율성 모두에 의해 나타난 결과이다. 즉, 본 단계의 효율성 점수는 기업의 외부환경의 영향력을 통제하지 않은 결과이므로, 불리한 외부환경조건에서 훌륭한 성과를 낸 기업은 낮게 평가되고, 유리한 외부환경조건에서 부족한 성과를 낸 기업은 높게 평가될 수 있다. 따라서 1단계의 효율성 점수는 혁신효율성의 정확한 측정치라고 보기 어렵다.

한편, KIS2003과 KIS2006의 효율성을 비교해보면, 그 점수의 평균과 분포 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나(<Table 1>), 이 결과에는 외부환경요인으로 인한 비효율성도 포함되어있으므로, 기업의 내적 역량으로 인한 비효율성만을 다시 측정할 필요가 있다.

Table 1. BCC모형을 사용한 1단계 DEA 결과

구분	KIS2003	KIS2006
평균	0.304	0.326
표준편차	0.397	0.395
최대값	1.000	1.000
최소값	0.000	0.000
도수		
1.000	95	103
0.900~0.999	3	7
0.800~0.899	6	4
0.700~0.799	5	6
0.600~0.699	7	8
0.500~0.599	9	10
0.400~0.499	11	16
0.300~0.399	13	21
0.200~0.299	26	22
0.100~0.199	44	51
0.000~0.099	247	249
계	466	497

5.2. 2단계: 토빗모형을 이용한 외부 영향의 정량화

1단계에서 투입여유가 도출되었는데, 이 투입여유에는 외부환경요인으로 인한 비효율성도 포함되어 있다. 본 단계에서

는 기업 혁신 활동의 효율성으로부터 외부환경요인의 영향력을 분리하기 위해 토빗모형을 적용한다. 이에, 투입변수의 여유율을 종속변수로, 외부환경변수를 독립변수로 갖는 4가지의 토빗모형을 구축했다.

토빗모형의 종속변수는 기업 k의 투입 j에 대한 방사적, 비방사적 총 여유, 즉  $IS_{j,k}$ 로 설정했다. 독립변수로 사용되는 외부환경변수는 ‘기업규모’, ‘회사형태’, ‘벤처여부’, 그리고 ‘산업분류’이다(Appendix 2).

<Table 2>와 <Table 3>은 KIS2003과 KIS2006에 대한 4가지 토빗회귀분석의 실증적(empirical) 결과를 요약한 것이다. 먼저, ‘기업규모(0: 대기업, 1: 중소기업)’는 KIS2003의 경우 ‘종업원수’ 투입의 비효율성에, KIS2006의 경우 ‘종업원수’, ‘R&D비용’, 그리고 ‘혁신비용’ 투입의 비효율성에 유의한 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 우리나라 서비스업에 속한 대기업은 중소기업에 비해 인력의 양적 투입 측면에서 비효율적이므로, 투입지향모형 측면에서 볼 때 일부 대기업들에게는 다운사이징(downscaling)이 필요할 수 있음을 시사한다. R&D와 비 R&D 활동 관련 혁신비용 투입 측면에서도, 2006년 기준으로 중소기업이 상대적으로 효율적인 것으로 나타났다.

‘회사형태(0: 독립기업, 1: 계열사)’는 모든 투입의 비효율성에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났는데, ‘종업원수’와 ‘R&D비용’에 대해서는 음의 회귀계수를, ‘석사비율’과 ‘혁신비용’에 대해서는 양의 회귀계수를 가졌다. 즉, 계열사가 독립기업에 비해 R&D지출과 인력의 양적 투입 측면에서는 효율적이거나, R&D를 제외한 혁신 관련 비용이나 인력의 질적 투입 측면에서는 비효율적인 것으로 나타났다.

Table 2. KIS2003 토빗회귀분석 결과

종속변수 <sup>1)</sup>	종업원수	석사비율	R&D비용	혁신비용	
Y 절편	321.6***	0.5***	82***	6.4	
기업규모	-233.1***	0.0	-4.1	19.7	
회사형태	-68.9***	0.1**	-16.7*	19.7*	
벤처여부	9.1	-0.1***	-2.4	-0.2	
산업분류 <sup>2)</sup>	산업D	-	-	41.0	
	산업G	-29.4	-0.2*	-38.2*	1.8
	산업H	13.5	-0.3**	-38.6*	-
	산업K	-49.3	-0.3***	-37.3*	10.1
	산업M	-13.2	-0.2**	-29.7	26.3*
Sigma	-44.0	-0.3	-42.7	7.1	
Log likelihood	94.1	0.1	21.3	27.0	

주) 1) 각 종속변수는 각 투입변수의 여유(slack).

2) 산업분류코드의 명칭은 <Appendix 1> 참조.

(-)는 분석에서 제외된 더미변수의 기준을 의미.

\*\*\* 유의수준 0.01에서 유의(양측).

\*\* 유의수준 0.05에서 유의(양측).

\* 유의수준 0.1에서 유의(양측).

‘벤처여부(0: 벤처기업, 1: 비벤처기업)’는 ‘석사비율’ 투입의

비효율성에 유의한 음의 영향을 미쳤으며, KIS2006의 경우 ‘혁신비용’ 투입의 비효율성에도 유의한 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 벤처기업의 경우 고급인력의 투입에 비효율성이 존재함을 의미하므로, 일부 서비스업 벤처기업에서는 고급 인력의 투입을 줄임으로써 효율성을 제고할 수 있음을 시사한다. 또한, 2006년 기준으로 벤처기업이 비벤처기업보다 혁신비용의 투입 측면에서도 비효율성이 높은 것으로 나타났다.

한편, ‘산업분류’ 측면에서는 2003년 기준으로, ‘전기, 가스, 증기 및 수도사업(산업D)’에 속한 기업들이 ‘석사비용’과 ‘R&D비용’의 투입 측면에서 비효율성이 가장 높은 것으로 나타났다. 다시 말해서, 이 산업에 속한 기업들의 경우, 인력의 질적 투입과 R&D지출 측면에서 외부환경으로 인한 불필요한 투입물이 존재하여, 상대적으로 비효율적인 것으로 나타났다.

Table 3. KIS2006 토빗회귀분석 결과

종속변수 <sup>1)</sup>	종업원수	석사비용	R&D비용	혁신비용
Y 절편	879.7***	0.2***	329.3***	382.2***
기업규모	-687.5***	0.0	-46.2**	-175.7***
회사형태	-141.5**	0.1**	-34.7*	118.6***
벤처여부	-22.3	-0.1***	3.6	-153.5***
산업D	n/a	n/a	n/a	n/a
산업G	-114.8	0.1**	-	81.6
산업H	-	0.0	7.4	-
산업K	-130.9*	-	-55.1**	148.7***
산업M	-16.3	0.0	-73.6*	140**
Sigma	-143.5	0.0	-34.4	117.8
Log likelihood	410.0	0.1	69.7	233.2

주) 1) 각 종속변수는 각 투입변수의 여유(slack).  
 2) 산업분류코드의 명칭은 <Appendix 1> 참조. KIS2006의 경우 산업 D에 해당하는 기업이 없음.  
 (-)는 분석에서 제외된 터미변수의 기준을 의미.  
 \*\*\* 유의수준 0.01에서 유의(양측).  
 \*\* 유의수준 0.05에서 유의(양측).  
 \* 유의수준 0.1에서 유의(양측).

5.3 3단계: 투입변수의 조정과 DEA 재적용

본 단계에서는 각 기업의 투입여유와 투입변수 값을 예측하기 위해, 토빗회귀분석 결과에 기반하여 투입변수의 값을 조정한다. 단, 본 단계의 투입여유 예측에는 통계적으로 유의한 외부환경변수들만이 사용된다.

조정된 데이터는 외부환경요인의 영향력을 통제한 결과를 나타낸다. 2단계에서 측정된 모수들(<Table 2>와 <Table 3>)을 이용하여 투입여유를 예측한 결과는 <Table 4>와 <Table 5>와 같다. 상대적으로 작은 여유값을 가진 것으로 예측된 기업은 식(3)에 의해 가장 불리한 외부환경을 가진 기업에 비해 투입 벡터가 더 높게 조정되었다.

Table 4. KIS2003의 예측여유와 조정된 투입

	종업원수	석사비용	R&D비용	혁신비용	
예측	평균	109	0.165	44	4
여유	표준편차	67	0.068	11	10
	최대값	322	0.500	82	46
	최소값	20	0.100	23	0
조정된 투입	평균	449	0.473	485	618
투입	표준편차	1,227	0.208	2,880	2,791
	최대값	23,902	1.400	58,577	44,102
	최소값	26	0.000	0	0

Table 5. KIS2006의 예측여유와 조정된 투입

	종업원수	석사비용	R&D비용	혁신비용	
예측	평균	193	0.154	257	247
여유	표준편차	266	0.058	33	119
	최대값	880	0.400	329	496
	최소값	-93	0.100	175	53
조정된 투입	평균	902	0.354	955	2,183
투입	표준편차	678	0.167	5,397	10,157
	최대값	12,808	1.229	100,108	200,009
	최소값	66	0.100	0	9

식 (3)에 의해 조정된 새로운 투입 데이터는 DEA에 의해 다시 평가된다. 본 단계에서 도출된 효율성 점수는 외부환경요인의 영향으로부터 순 효율성을 분리한 결과라고 볼 수 있다. 본 단계의 평균 순 혁신효율성 점수는 KIS2003과 KIS2006에 대해 0.620과 0.575로 나타났다(<Table 6>).

Table 6. BCC모형을 사용한 3단계 DEA 결과

구분	KIS2003	KIS2006	
평균	0.620	0.575	
표준편차	0.213	0.216	
최대값	1.000	1.000	
최소값	0.083	0.100	
도수	1.000	69	46
	0.900~0.999	15	15
	0.800~0.899	13	31
	0.700~0.799	26	36
	0.600~0.699	62	51
	0.500~0.599	132	111
	0.400~0.499	102	98
	0.300~0.399	35	72
	0.200~0.299	6	31
	0.100~0.199	5	5
	0.000~0.099	1	1
계	466	497	

3단계의 효율성 점수는 1단계의 결과와는 달리, KIS2006의 점수가 KIS2003에 비해 낮게 나타났다. 이를 통계적으로 검증하기 위해 ‘두 표본 t-검정(two sample t-test)’을 수행했다. 먼저,

‘두 표본 F-검정(two sample F-test)’을 수행한 결과, 1단계와 3단계 모두에서 등분산성을 가정할 수 있는 것으로 나타나, ‘등분산( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ) 가정 두 표본 t-검정’을 수행했다.

그 결과, 1단계의 효율성 점수 측면에서는 KIS2003과 KIS2006 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타난 반면, 3단계 결과의 경우 KIS2003과 KIS2006간에 유의한 차이가 나타났다(<Table 7>). 이 결과는 외부환경의 영향력을 배제한 경우, 2006년 시점에서 측정된 서비스업의 효율성이 더 낮음을 나타낸다. 다시 말해서, 불리한 외부환경으로 인한 비효율성까지 포함할 때에는 KIS2003의 기업들과 KIS2006의 기업들의 혁신효율성에 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 외부요인으로 인한 비효율성을 배제했을 때에는 2006년의 혁신효율성이 낮게 나타났다.

Table 7. KIS2003과 KIS2006의 효율성 점수 비교

구분	1단계	3단계
t	-0.85	3.21
유의확률(양측)	0.395	0.001

KIS2006의 경우 대체로 외부환경요인이 투입의 비효율성에 더 큰 영향을 미쳤으며(<Table 2>, <Table 3>), 투입변수가 더 높게 조정되었다(<Table 4>, <Table 5>). 이는 KIS2006에 유리한 외부환경을 가진 기업이 상대적으로 더 많았기 때문이며, 그 결과로 KIS2006의 효율성 점수가 낮아진 것으로 분석된다.

#### 5.4. 1단계와 3단계간 효율성 점수 비교

1단계와 3단계 효율성 점수의 비교를 위해, ‘대응표본 t-검정(paired sample t-test)’을 수행했다. 분석 결과, 1단계와 3단계의 효율성 점수는 KIS2003과 KIS2006 모두에 있어 유의한 차이를 보였다(<Table 8>). 이는 외부환경요인의 영향을 제어함으로써, 기업의 효율성 점수의 분포가 변화되었음을 의미한다.

Table 8. 1단계와 3단계의 효율성 점수 비교

구분	KIS2003		KIS2006	
	1단계	3단계	1단계	3단계
효율적인 기업수	95	69	103	46
평균	0.304	0.620	0.326	0.575
표준편차	0.397	0.213	0.395	0.216
최대값	1.000	1.000	1.000	1.000
최소값	0.000	0.083	0.000	0.100
t <sup>*)</sup>	-20.50(0.000)		-15.97(0.000)	

\*) 괄호 안의 값은 유의확률(양측).

<Table 8>을 보면, 외부환경요인을 통제한 결과, 효율성 점수는 증가하고 효율적인 기업의 수는 감소하였으며, 효율성

점수의 편의(bias)의 정도는 감소했다. 이는 Fried *et al.*(1999)과 Hsu and Hsueh(2009)의 연구결과와 일치한다.

Fried *et al.*(1999)에 따르면, 3단계의 평균 효율성 점수의 증가는 외부환경요인의 통제가 없을 경우, 불리한 상황의 평가대상이 받는 불이익이 유리한 상황의 이익보다 더 크다는 것을 의미한다. 다시 말해서, 외부환경요인을 통제함으로써, 불리한 환경에서 운영되던 많은 기업의 혜택이 유리한 환경에서 운영되는 기업의 수준으로 상향평준화되었다고 볼 수 있다. 반면, 효율성 점수가 하락한 기업은 혁신의 효율성 자체가 높다가보다는 유리한 외부환경 때문에 1단계에서 효율성이 높게 나타났던 것으로 해석될 수 있다.

상대적 효율성 점수의 편차 감소는 1단계의 효율성 측정 결과에서는 불리한 상황의 서비스업체의 효율성이 낮게 편이되었고, 유리한 상황의 서비스업체의 효율성 점수는 높게 편이되었다는 것을 의미한다. 반면, 3단계에서는 분석 대상 서비스업체들이 유사한 경영 환경에 놓이도록 투입자료를 조정함으로써, 효율성 점수에 대한 편의를 제거하는 결과를 가져왔다. 즉, 이러한 투입자료의 조정이 모든 기업을 동질적인 환경에 두어, 효율성에 관련한 이상의 편의를 제거함으로써, 산포를 감소시켰다고 볼 수 있다.

## 6. 결론

효율성을 측정하고 분석할 때, 평가대상이 외부환경요인으로 인해 받는 불이익 혹은 이익을 통제하여, 동일한 조건에서 효율성을 측정할 수 있는 관점이 필요하다. 이에 본 연구에서는 DEA와 토빗모형을 이용한 3-단계 접근법을 바탕으로 국내 서비스업 기업의 혁신성과에 대한 순 효율성을 측정했다.

산출변수로는 제품혁신과 공정혁신에 대한 성과지표, 즉 제품혁신과 공정혁신 측면에서의 혁신건수와 지식재산권 등록·출원건수를 설정했다. 투입변수로는 이러한 산출에 영향을 미치는 요인인 투입인력의 양과 질, 그리고 R&D와 비R&D 혁신비용으로 설정했다. 그리고 이러한 혁신성과의 산출과정에 영향을 미치는 기업의 규모와 형태, 산업분류 등의 환경요인을 통제변수로 고려했다.

1단계와 3단계에는 효율성 측정을 위해 DEA가 사용되었으며, 2단계에서는 1단계로부터 도출된 투입여유를 종속변수로 갖는 토빗모형을 통해 외부환경요인의 영향을 정량화했다. 토빗회귀분석 결과, 외부환경요인은 혁신성과 창출 과정에 대체로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 3단계에서는 외부환경요인의 영향을 제거한 투입자료를 추정하고, 조정된 투입자료는 혁신의 순 효율성을 평가하기 위한 분석의 투입변수 데이터로 사용되었다.

분석 결과, 외부환경변수를 통제한 3단계의 효율성 점수는 1단계와 비교하여 증가했으며 유의한 차이를 보였다. 한편, 표준편차는 감소했는데, 그 이유는 불리한 외부환경 때문에 낮



게 편이되었고 유리한 외부환경 때문에 높게 편이되었던 기업들이 외부환경요인을 제거함으로써 동질적인 환경에서 평가되었기 때문에 분석된다.

2003년과 2006년에 조사된 서비스기업의 혁신효율성을 비교한 결과, 외부요인으로 인한 비효율성을 배제했을 때에는 2006년에 조사된 서비스기업들의 혁신효율성이 상대적으로 낮게 나타났는데, 이는 2006년 시점에서는 유리한 외부환경을 가진 기업들이 2003년의 경우보다 많았기 때문에 분석된다.

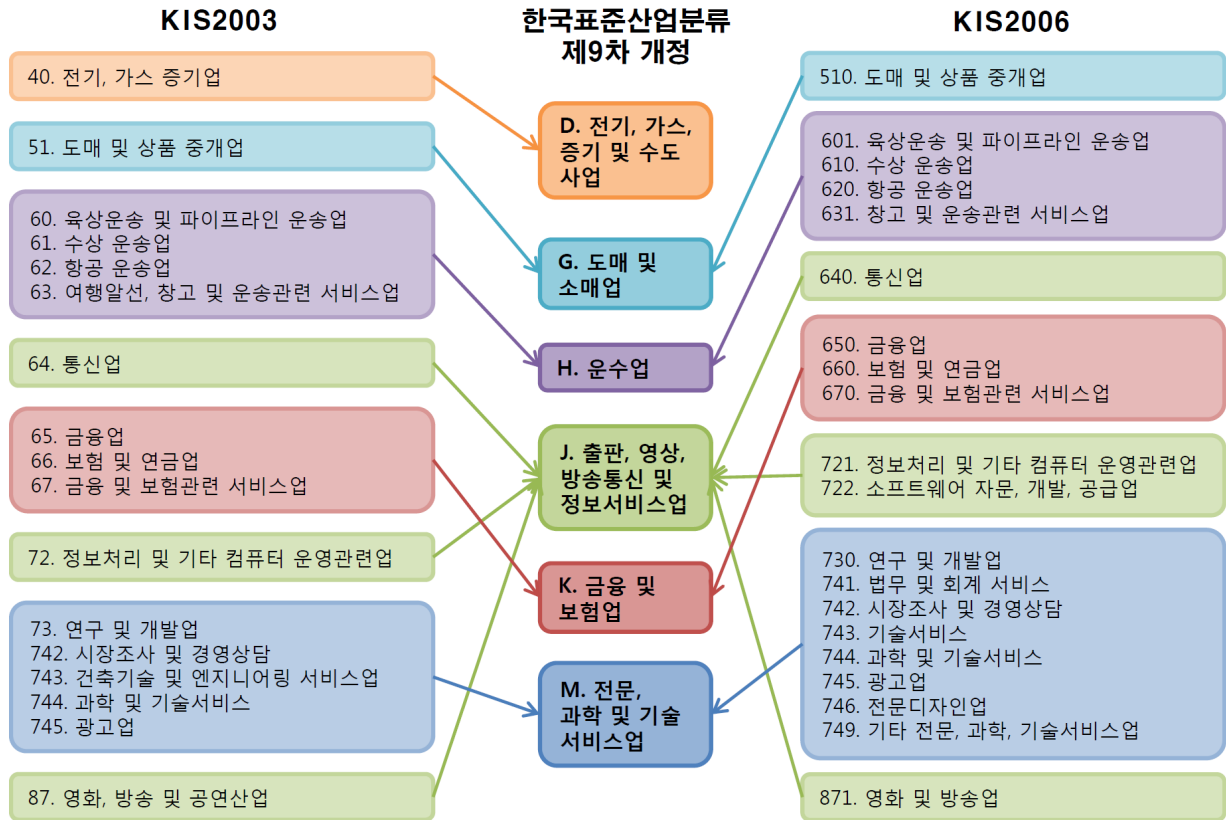
기존의 DEA는 상이한 외부환경을 가진 DMU들의 효율성을 비교할 수 없다는 치명적인 단점을 갖고 있다. 반면, 본 연구의 외부 영향을 배제한 순 효율성의 측정은 DEA의 기본 가정인 DMU의 동질성을 만족시킴으로써, 상이한 환경의 DMU의 효율성을 비교·분석할 수 있게 한다. 따라서 우리나라 서비스 부문의 성과 평가와 혁신성 제고를 위해 효율성 격차를 분석할 때, 기존의 DEA에 의한 효율성이 아닌 본 연구의 순 효율성을 근거자료로 활용하는 것이 타당하다.

본 실증연구는 몇 가지 한계점을 가진다. 첫째, DEA에 사용되는 투입지표와 산출지표의 객관적인 선정이 필요하다. 지표 간의 상관관계와 효율성과의 관계를 고려한 지표 선정 방법론을 적용하여 지표선정의 타당성을 확보할 필요가 있다. 둘째, 우리나라 서비스기업들은 전체적으로 2003년보다 2006년에 효율성이 더 낮게 나타났는데, 이에 대한 정확한 원인을 규명하기 위해서는 전문가 인터뷰 등을 활용한 심층적인 연구가 요구된다. 셋째, 우리나라 서비스업체의 성과에 대한 방대한 조사에도 불구하고, 투입과 산출 평가를 위한 지표와 종합적인 프레임워크가 아직 개발되지 않은 것으로 파악된다. 추후 조사와 연구에서는 서비스업의 외부환경요인을 대표할 수 있는 다양한 지표를 고려할 필요가 있다.

## 참고문헌

- Afriat, S. (1972), Efficiency Estimation of Production Functions, *International Economic Review*, 13(3), 563-598.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984), Models for Estimating Technical and Scale Efficiencies, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Byrnes, P., Färe, R., and Grosskop, S. (1984), Measuring Productive Efficiency: An Application to Illinois Strip Mines, *Management Science*, 30(6), 671-681.
- Chapelle, K. and Plane, P. (2005), Productive Efficiency in the Ivorian Manufacturing Sector: An Exploratory Study Using a Data Envelopment Analysis Approach, *The Developing Economies*, 43(4), 450-471.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), Measuring Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 1(6), 429-444.
- Chen, Y., Yang, Z., Shu, F., Hu, Z., Meyer, M., and Bhattacharya, S. (2009), A Patent Based Evaluation of Technological Innovation Capability in Eight Economic Regions in PR China, *World Patent Information*, 31(2), 104-110.
- Chudnovsky, D., Lopez, A., and Pupato, G. (2006), Innovation and Productivity in Developing Countries: A Study of Argentine Manufacturing Firms' Behavior (1992 ~ 2001), *Research Policy*, 35(2), 266-288.
- Comanor, W. S. and Scherer, F. M. (1969), Patent Statistics as a Measure of Technical Change, *The Journal of Political Economy*, 77(3), 329-398.
- Drake, L., Gall, M. J. B., and Simper, R. (2006), The Impact of Macroeconomic and Regulatory Factors on Bank Efficiency: A Non-parametric Analysis of Hong Kong's Banking System, *Journal of Banking and Finance*, 30(5), 1443-1466.
- Ernst, H. (1995), Patenting Strategies in the German Mechanical Engineering Industry and Their Relationship to Firm Performance, *Technovation*, 15(4), 225-240.
- Farrell, M. J. (1957), The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3), 253-290.
- Fried, H. O., Schmidt, S. S., and Yaisawarng, S. (1999), Incorporating the Operating Environment into a Nonparametric Measure of Technical Efficiency, *Journal of Productivity Analysis*, 12(3), 249-267.
- Fu, X. (2008), Foreign Direct Investment, Absorptive Capacity and Regional Innovation Capabilities: Evidence from China, *Oxford Development Studies*, 36(1), 89-110.
- Greenhalgh, C. and Rogers, M. (2006), The Value of Innovation: The Interaction of Competition, R&D and IP, *Research Policy*, 35(4), 562-580.
- Hoffman, K., Parejo, M., Bessant, J., and Perren, L. (1998), Small Firms, R&D, Technology and Innovation in the UK: A Literature Review, *Technovation*, 18(1), 39-55.
- Huergo, E. (2006), The Role of Technological Management as a Source of Innovation: Evidence from Spanish Manufacturing Firms, *Research Policy*, 35(9), 1377-1388.
- Hsu, F. M. and Hsueh, C. C. (2009), Measuring Relative Efficiency of Government-sponsored R&D Projects: A Three-stage Approach, *Evaluation and Program Planning*, 32(2), 178-186.
- Kim, J. B., Kim, W. J., and Cho, N. W. (2008), An Efficiency Evaluation among Manufacturing Processes using Hybrid DEA/AHP Model, *IE Interfaces*, 21(3), 302-311.
- Luukkonen, T. (2000), Additionality of EU Framework Programmes, *Research Policy*, 29(6), 711-724.
- Nelson, A. J. (2009), Measuring Knowledge Spillovers: What Patents, Licenses and Publications Reveal about Innovation Diffusion, *Research Policy*, 38(6), 994-1005.
- Park, S. and Choi, T. (2009), A Study on the analyzing impact factors on production of Korea S&T knowledge, *2009 Proceedings of Korea Technology Innovation Society*, 165-177.
- Raggi, A. (1993), Technological Growth in the Italian Economy: Some Indicators Compared, *Technovation*, 13(1), 3-15.
- Santarelli, E. and Piergiovanni, R. (1996), Analyzing Literature-based Innovation Output Indicators: The Italian Experience, *Research Policy*, 25(5), 689-711.
- Science and Technology Policy Institute (2004), *Korean Innovation Survey 2003 : Service Sector*, Seoul, Korea: STEPI.
- Science and Technology Policy Institute (2006), *Report on the Korean Innovation Survey 2006: The Services Sector*, Seoul, Korea: STEPI.
- Sher, P. J. and Yang, P. Y. (2005), The Effects of Innovative Capabilities and R&D Clustering on Firm Performance: The Evidence of Taiwan's Semiconductor Industry, *Technovation*, 25(1), 33-43.
- Sohn, S.-Y. and Joo, Y.-G. (2004), Data Envelopment Analysis and Logistic Model for BRAIN KOREA 21, *IE Interfaces*, 17(3), 249-260.
- Teecce, D. (1986), Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy, *Research Policy*, 15(6), 285-305.
- Uzun, A. (2001), Technological Innovation Activities in Turkey: The Case of Manufacturing Industry, 1995 ~ 1997, *Technovation*, 21(3), 189-196.
- Wang, E. C. and Huang, W. (2007), Relative Efficiency of R&D Activities: A Cross-Country Study Accounting for Environmental Factors in the DEA Approach, *Research Policy*, 36(2), 260-273.

<Appendix 1> 산업 재분류



<Appendix 2> 변수 설명

변수 구분	변수명	설명	KIS2003		KIS2006		단위
			평균	표준편차	평균	표준편차	
투입	종업원수	3년간 평균 종업원수	236.05	1,250.58	215.80	757.88	명
	석사비율	석사/전체 종업원수	0.14	0.20	0.11	0.16	%
	R&D비용	연구개발 비용	447.31	2,880.16	882.97	5,396.76	백만원
	혁신비용	연구개발 외 혁신비용	576.17	2,792.04	1,933.43	10,180.06	백만원
제품혁신산출	제품혁신횟수	제품혁신 횟수	7.26	11.87	6.41	41.56	회
	제품특허출원	제품특허 출원 건수	2.14	15.73	4.29	43.91	건
	제품특허등록율	제품특허 등록 / 출원 건수	0.15	0.33	0.09	0.26	%
	제품지재권등록	제품 지재권 등록 건수	3.34	46.62	1.27	5.38	건
공정혁신산출	공정혁신횟수	공정혁신 횟수	3.14	8.26	3.54	21.21	회
	공정특허출원	공정특허 출원 건수	0.24	1.15	0.21	1.35	건
	공정특허등록율	공정특허 등록 / 출원 건수	0.04	0.20	0.02	0.13	%
	공정지재권등록	공정 지재권 등록 건수	0.31	4.16	0.14	1.73	건
외부환경	기업규모	0: 대기업, 1: 중소기업	-	-	-	-	-
	회사형태	0: 독립기업, 1: 계열사	-	-	-	-	-
	벤처여부	0: 벤처기업, 1: 비벤처기업	-	-	-	-	-
	산업분류	6개 산업분류	-	-	-	-	-



**최정인**

성균관대학교 전자전기공학 학사  
현재: 성균관대학교 기술경영학과 석사과정  
관심분야: 기술이전, 개방형 혁신, 효율성  
분석



**권성훈**

성균관대학교 시스템경영공학 학사  
성균관대학교 산업공학 석사  
현재: 성균관대학교 기술경영학과 박사수료  
관심분야: 기술예측, 기술평가, 효율성 분석



**송성환**

성균관대학교 시스템경영공학 학사  
성균관대학교 산업공학 석사  
성균관대학교 산업공학 박사  
현재: 한국한의학연구원 연구정책팀 선임  
연구원  
관심분야: 기술예측, 수요예측, 시스템  
다이내믹스



**황석원**

서울대학교 전자공학 학사  
서울대학교 전자공학 석사  
서울대학교 경제학 박사  
현재: 과학기술정책연구원 경제분석연구단  
부연구위원  
관심분야: R&D 경제성 평가, R&D 효율성  
분석