

# DEA/AR-I을 활용한 IT 중소기업 정부자금지원정책 성과평가

정회원 박성민\*, 김현\*

## A Performance Evaluation of Governmental Funding Projects for IT Small and Medium-Sized Enterprises and Venture Business Using DEA/AR-I

Sungmin Park\*, Heon Kim\* *Regular Members*

요약

IT 중소기업에 대한 정부자금지원정책 성과를 적시에 객관적으로 평가할 수 있는 체계의 확립이 필요하다. 본 연구는, Data Envelopment Analysis (DEA) 모형을 활용한 IT 중소기업 정부자금지원정책 성과평가 체계를 제안하고, 실증자료를 이용한 사례분석을 제시한다. 특히, 도출된 최적해 신뢰도 제고를 위해, Acceptance Region (AR) Type I 제약식이 추가된 DEA/AR-I수정모형을 개발한다. 본 모형 및 절차를 활용, 후속 성과평가를 보다 신속히 진행할 수 있게 지원하는 유도지표 (guideline)로서의 '효율성지수' 계산이 가능하다고 판단된다. 'IT SMERP 2010 계획'에 포함된 정부자금지원정책 주요사업을 대상으로, 사업간 및 동일사업내 수혜기업간 성과평가가 논의된다.

**Key Words** : Acceptance region, Composite score, Data envelopment analysis, Efficiency score, Kruskal-Wallis test.

ABSTRACT

It is necessary to establish a systematic framework where the performance of governmental funding projects can be evaluated just-in-time as well as objectively regarding IT small and medium-sized enterprises and venture business. In this study, a framework is proposed for the performance evaluation using Data Envelopment Analysis (DEA) and a case study is illustrated with an empirical dataset. Especially, in order to enhance the reliability of optimal solutions, a DEA/AR-I revised model is developed by adding Acceptance Region (AR) Type I constraints into the DEA basic model. Based on the procedure and the models, it is considered that an 'efficiency score' can be calculated as a guideline for conducting successive performance evaluation processes fast. As for major governmental funding projects with respect to 'IT SMERP 2010 Plan', performance evaluations are discussed concerning between projects as well as between corporate entities within each project.

\* 백석대학교 경상학부 (smpark99@bu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-10-479, 접수일자 : 2007년10월26일, 최종논문접수일자 : 2007년11월27일

## I. 서 론

### 1.1 연구배경

국내 IT산업은 '90년대 이후 국가경제발전을 견인할 핵심동력으로 부각되면서, 그 중요성이 점차 증대되고 있다. 통계청 (NSO) 및 한국정보통신산업 협회 (KAIT)에 의하면, GDP 대비 국내 IT산업생산액 비중은, '97년 15.37%에서 '06년 29.26%로 꾸준한 상승세를 보인다<sup>11,12)</sup>. 한편, NSO (e-나라지표) 및 KAIT 제공 '분야별지표>경제>정보통신>IT 산업생산' 자료분석 결과, 1) '97년 통계제공시점부터 '06년까지 IT산업생산액 전년대비증가율 9개 모두 양(+)-값을 갖되; 2) 3년단위 평균치는, ① '98~'00년 26.73%, ② '01~'03년 9.23%, ③ '04~'06년 7.73% 하향추세가 확인된다<sup>12)</sup>. 이 같은 산업·경제상황 및 특히, 혁신적 아이디어와 창의성이 요구되는 IT산업 특성상, IT 중소·벤처기업 활성화가 절실히 요구되고 있으며, 이는 또한 IT산업 기업 생태환경 전진화와 글로벌 산업경쟁력 강화에 필수적이다<sup>8)</sup>.

정보통신부 (MIC)는 '04년을 필두로, '06년에 IT 중소·벤처기업의 건전한 기업생태계 조성을 위한 'IT Small and Medium-sized Enterprises Revitalization Program (SMERP) 2010 계획'을 발표한 바 있다. 이는 IT 중소·벤처기업 주무부처로서 정보통신부가 수립한 최초의 중장기 지원방안으로, 특히; 1) 자본 시장에서 IT산업분야에 대한 투자비중 감소 등 문제점 지적; 및 2) 정부 정책입안자가 IT 중소·벤처기업 관련정보를 종합, 지원성과 분석, 실효성 제고를 위한 체계의 확립 필요성 등을 제기한다<sup>8)</sup>. 한편, IT 중소·벤처기업이란, '중소기업기본법 제2조'에 규정된 중소기업 범위기준에 해당하면서, '벤처기업 육성'에 관한 특별조치법 제2조 각1호'에 해당하는 기업, 즉 벤처캐피탈 투자기업, 연구개발 투자기업, 신기술 기업 3가지 유형중 하나로서, 정보통신기술 (Information and Communication Technology) 산업에 포함되는 기업을 의미한다<sup>13)</sup>.

반면; 1) '05년1월~8월 국내 창업투자회사와 창업투자조합의 IT분야 투자비중이 '04년동기대비 60.2% (2,068억원)에서 45% (1,734억원)수준으로 감소하며; 2) IT산업전체 R&D투자액에서 IT 중소·벤처기업 비율이 8.1% ('01)→7.4% ('02)→6.4% ('03) 감소하는 추세이다. 이 같은 난관극복을 위해

맞춤형 출연, 투자 및 용자 등 정부차원 금융지원정책을 통한, IT 중소·벤처기업의 기술역량 육성, 경영성과 개선 등의 필요성이 제기된 바 있다<sup>8)</sup>. 이런 맥락하에, '93~'95년 정보통신진흥기금, '96~'04년 정보화촉진기금, 다시 '04년12월30일 정보화촉진기법 개정에 따른 정보통신진흥기금이 조성되어, IT 중소·벤처기업에 지원정책이 활발히 집행되고 있다<sup>9)</sup>. '06년 정보통신진흥기금사업 성과평가지침을 보면, '06년 기금사업 소계만으로도 9,634억원이 확인된다<sup>10)</sup>.

### 1.2 연구주제

미국이 이미 '93년 정부성과결과법 (Government Performance and Results Act, GPRA)을 제정, 매년 모든 정부업무에 대한 성과평가를 실시하는 것처럼, 우리나라 정부도 IT 중소·벤처기업에 대한 지속적 지원정책을 전개하고 있는 바, 이에 대한 객관적, 합리적 성과평가 체계를 개발, 활용할 필요가 있다<sup>8,13)</sup>. 'IT SMERP 2010 계획'에 제시된 것처럼; 1) IT 중소·벤처기업 현황과 지원정책 성과를 실시간 측정하여, '선택과 집중' 원칙하에 한정자원을 효율적으로 배분하고; 2) 지원정책으로 유발되는 IT 중소·벤처기업 성장과정을 진단, 분석할 수 있는 정성·정량적 의사결정모형이 정책입안자 입장에서 요구된다. 이는 궁극적으로, 정보통신부가 지향하는 '시장밀착형 지원정책을 수립→집행→평가하는 지속 가능한 체계' 확립이라는 목표에 부합된다고 판단된다<sup>8)</sup>.

본 연구는; 1) Data Envelopment Analysis (DEA, 자료포락분석) 모형을 활용한 IT 중소·벤처기업에 대한 정부자금지원정책 성과평가 체계를 제안; 및 2) 실증자료를 이용한 사례분석을 제시한다. 즉, 정책입안자가 지원정책 성과평가를 1차선별 (screening)함으로써, 향후 세부적인 2차후속 (follow-up) 성과평가를 지원하는 유도지표 (guideline) 도출이 가능하다고 판단된다. 특히, 도출된 최적해 신뢰도 제고를 위해, Acceptance Region (AR) Type I 제약식이 추가된 DEA/AR-I수정모형을 개발한다. 정보통신부가 추진하는 'IT SMERP 2010 계획'의 IT 중소·벤처기업 정부자금지원정책 주요사업 대상, 사업간 및 동일사업내 수혜기업간 성과평가가 논의된다<sup>1,8,13)</sup>. 제II절에서는 기존연구에 대한 고찰을 하고 제III절에서 구체적으로 적용될 모형을 수립한 후, 이어 사례분석을 실시한다. 마지막으로 연구내용에 대한 종합의견을 제시한다.

## II. 기존연구고찰

### 2.1 기본개념

DEA는, ‘input-orientation’ 관점에서 설명하면, 동일한 목적을 갖고 운영되는 다수개체들의 상대적 효율성 (efficiency)을 [0,1] 범위 ‘효율성지수’ (efficiency score, rating or index)로 평가하는 최적 화수리모형이다.

동일한 multiple-output/multiple-input 자료구조를 갖는 DEA 평가대상개체를 Decision Making Unit (DMU)으로 지칭한다. 1개집합 경쟁개체군 (a set of peer entities) 대상, DMU마다 선형계획모형이 수립·풀이되는 효율성지수 계산과정이 반복된다<sup>3,34</sup>. ‘firms’ 혹은 ‘industries’ 대신 DMU’s라는 용어를 정의하게 된 동기처럼, 시장가격 및 비용 (market price and cost)으로써 자료 가중치 혹은 중요성을 명확히 파악하기 어려운 비영리 (not-for-profit) 개체에 대한 효율성 연구에 DEA 개발초점이 있다<sup>23</sup>.

회귀분석 (regression analysis) 등 전형적 통계분석방법론이 자료 중심경향 (central tendency)을 탐색하는 것과는 달리, DEA는 자료 외곽표면 (extremal surface)을 탐색하는 것으로 이해될 수 있다. 즉, 통계분석은 자료중심으로부터 개별자료의 상대위치 파악이 관심인 반면, DEA는 자료표면으로부터 개별자료의 상대위치 파악이 초점이다. 자료 외곽표면을 지칭하는; 1) production function; 2) transformation function; 3) frontier; 4) envelope 등은; 1) input-orientation 관점에서는, 주어진 출력을 달성하기 위한 최소입력; 2) output-orientation 관점에서는, 주어진 입력으로 달성가능한 최대출력을 의미한다<sup>25,31,35</sup>.

DEA모형을 CCR 및 BCC 2가지로 구분하면; 1) CCR모형은 multiple-output/multiple-input 자료구조를 single-‘virtual’-output/single-‘virtual’-input 자료구조로 정리 (reduction), 정리된 자료구조로 표현된 nonlinear fractional programming 모형을 자료변환을 통해 선형계획모형으로 전환한 것<sup>20,23</sup>; 2) BCC모형은 Constant Returns to Scale (CRS) 가정을 완화 (relaxation), 현실적인 Variable Returns to Scale (VRS) 모형 제시에 연구기여도가 있다. CRS, VRS모형의 hybrid모형인 Decreasing Returns to Scale (DRS) 및 Increasing Returns to Scale (IRS) 모형도 활용가능하게 된다<sup>16,17</sup>.

### 2.2 강·약점<sup>(3,14,15,25,27,31,34,35)</sup>

- 강점: 1) 자료처리능력, ① multiple-output/ multiple-input 자료구조를 취급할 수 있다. ② 자료간 단위가 상이하더라도 분석가능하다. ③ 시장가격 및 비용 같은 추가자료 없이, 오직 정량적 (quantitative) 자료만을 이용, 영리·비영리 DMU 효율성평가에 활용될 수 있다; 2) 모형가정, ① 특정 분석형태 (analytic form)와 같은 frontier에 대한 선형적 (a priori) 가정이 필요없다. ② 4개 Returns To Scale (RTS)에 대한 조건만 모형에 명시한다; 3) 선형계획모형 활용에 따른 편리성, ① 수립된 DEA 모형을 컴퓨터로 계산구현 (computational implementation)하기 용이하다. ② 선형계획모형 최적해로써 DMU 효율성이 평가된다.

- 단점: 1) 통계해석, ① ‘extreme point technique’ 이므로, 예를 들어 측정오차 (measurement error) 같은 잡음 (noise) 등이 유의한 문제를 초래할 수 있다. ② ‘nonparametric technique’이므로, 분석결과에 대한 통계적 가설검정이 어렵다; 2) 효율성 평가, 임의의 DMU 효율성지수가 ‘1’로 계산된 경우라도, 이 DMU가 상대적으로 효율적이란 결론을 내리기 보다는, 다만 비효율적이라는 결론을 내릴 수 없다고 해석하는 것이 더 바람직하다; 3) 계산복잡도, DMU별 선형계획모형이 수립·풀이되는 과정이 반복되므로, 문제크기에 따른 계산복잡도 (computational complexity)가 악화될 수 있다.

### 2.3 활용문헌

’78년 CCR모형을 필두로 관련논문이 발표된 이후, DEA를 활용한 효율성평가가 광범위한 분야에 적용된다. 공공기관운영 효율성평가 관련, 기초자치단체 지방행정 정보화수준<sup>2</sup>, 도시지역 경찰서 업무 성과<sup>30</sup> 등이 DEA로 평가된 바 있다. R&D 효율성평가에 대한 DEA 강점, 연구사례를 확인할 수 있다<sup>14,15</sup>. 또한, DEA의 활발한 적용분야로 교육내용, 학교운영 효율성평가 등을 참고할 수 있다<sup>16,19,21,24</sup>. 은행지점운영 DEA 효율성지수를 비교하고 비효율 유발요인을 판정한 연구결과<sup>32</sup> 및 병원운영 효율성평가 관련, 계량경제학 비용함수와 DEA간 비교연구가 제시된 바 있다<sup>18</sup>. 최근 적용분야를 넓혀; 1) 군사, 탄약중대 효율성평가<sup>15</sup>; 2) 금융, 헤지펀드 (hedge fund) 및 상품거래전문가 (commodity trading advisors) 효율성평가<sup>27</sup>; 3) 부동산, 주택가격평가<sup>4</sup>; 및 4) 스포츠, 프로야구선수 성과측정<sup>7</sup> 등에 DEA 활용사례가 보고된다.

### Ⅲ. 모형수립

#### 3.1 DEA기본모형

본 연구 DEA기본모형으로, input-oriented envelopment infinitesimal VRS model ( $PI_3$ )을 택한다<sup>[31,35]</sup>; 1) 모형선택시, input-, output-orientation 2가지 관점이 있다. 본 연구는, 임의의 DMU에 대해 출력은 자신의 성능이상을 유지하면서 입력을 축소할 수 있는 가상복합 (hypothetical composite) 또는 가상생산자 (virtual producer)를 구성할 수 있는지에 초점을 둔다. 그럼으로써, 효율성지수는 [0,1] 범위를 갖고, 그 값이 작을수록 비효율이 크다고 판단한다; 2) 모형에서 도출한 최적해로써, DMU간 비교가 편리한 ‘envelopment model’이 선호될 수 있다. 특히, envelopment model은 ‘implicit price and cost’를 이용하는 ‘multiplier model’과 비교할 때, DMU별 benchmark 및 이에 상응하는 가중치가 도출되어 세부적 추가분석이 용이하다; 3) 정확한 효율성평가를 위해서는, multiplier model에서의 implicit price and cost가 반드시 ‘0’ 초과값을 취해야 한다. 즉, ‘0’ 값을 허용하면 ‘free good’ 개념의 출력-입력요소를 허용하는 것이 되므로, 이 경우 ‘efficiency’와 ‘weak efficiency’ 구별이 불가능하다. 하지만, infinitesimal 개념이 도입되면 모형이 복잡해져, noninfinitesimal model이 현실적으로 많이 활용된다; 그리고 4) 본 연구의 DMU 효율성평가, 입력요소증가에 따른 출력요소증가 비율이 일정치 않다고 가정, VRS model을 채택한다.

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

식(1)은 본 연구의 DEA기본모형이다.  $n$ 개 DMU 집합에서 DMU $k$ 의 효율성지수  $\theta_k$ 를 계산하는  $PI_3$  모형으로서, 임의의 DMU $j$ 의 가중치  $\lambda_j$ ,  $r^{th}$  출력요소  $y_{rj}$ ,  $i^{th}$  입력요소  $x_{ij}$  및 DMU $k$ 의  $r^{th}$  출력요소기준

출력요소부족 slack variable  $s_r^+$ ,  $i^{th}$  입력요소기준 입력요소초과 slack variable  $s_i^-$ 로 정의된다. 식(1)의 결정변수는  $\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j$ 이며, ① efficient, ② weakly efficient, ③ inefficient, ④ DMU별 benchmark 및 그에 상응하는 가중치를 1차검토할 수 있다<sup>[20,25,31,35]</sup>.

식(1) 제약식중; 1) 출력요소제약식은 가상복합출력  $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}$ 가 DMU $k$ 출력수준이상 되도록; 2) 입력요소제약식은 가상복합입력  $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}$ 를 DMU $k$ 입력의 일정비율로써 축소된 수준이하가 되도록 유도한다. 식(1) 목적함수는; 1) DMU $k$ 를 제약식을 만족하는 가상복합과 비교해, 자신의 입력수준을 어느 수준까지 일정비율로써 축소가능한지; 및 2) multiple-output/multiple-input 자료구조이체에 양(+)값을 취할 수 있는  $s_r^+, s_i^-$  또한 얼마만큼 확대가능한지를 계산하는 것으로 이해될 수 있다.

#### 3.2 DEA/AR-I수정모형

DEA기본모형의 출력-입력요소 수가 증가하면, DMU간 효율성평가 결과의 신뢰도가 감소할 수 있다. 즉, 출력-입력요소 수가 증가할수록, 더 많은 DMU의 효율성지수가 ‘1’ 값을 취할 수 있다. 이 같은 ‘공간차원’ (space dimensionality) 문제는, 출력-입력요소에 의해 구성되는 공간차원  $s+m$ 과 DMU수  $n$ 과의 상대적 크기에 대한 직접적 결과라고 이해하는 것이 바람직하다<sup>[25,31]</sup>.  $n \gg s+m$ 조건이 공간차원 문제해결의 근본책은 아니지만 완화조건으로는 판단된다. 한편, 출력-입력요소 ‘multiplier’ (즉, 식(1)의 쌍대변수)가 ‘0’에 가까운 작은 값 또는 상대적으로 큰 값을 취함으로써, 비효율적 DMU가 효율적 DMU로 평가될 수 있는 문제점이 지적된다<sup>[4,7,25,31]</sup>.

이 같은 문제해결방법으로; 1) Cone Ratio (CR) model<sup>[22]</sup>; 2) Assurance Region (AR) method<sup>[33]</sup> 등이 제안된다. 이 방법들은 multiplier값을 제약함으로써 신뢰도가 제고된 효율성지수를 유도한다. 식(1)을 보완, DEA/AR-I수정모형 식(2)를 수립한다. 즉, 식(1)의 쌍대모형 ( $DI_3$ ) 최적해를 도출한 다음, frontier를 구성하는 DMU의 multiplier를 추출, 식(2)의 AR-I 제약식 (즉, ‘relative weights restrictions’)이 추가된 DEA/AR-I수정모형으로 효율성지수를 2차검토할 수 있다<sup>[25,31,33]</sup>.

$$\begin{aligned}
 & \max_{\mu_r, \mu_i, \nu_i} z_k(\mu_*, \mu_r) \\
 & = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} + \mu_* \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij} + \mu_* \leq 0 \quad \forall j \\
 & \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ik} = 1 \\
 & \mu_r \geq \epsilon \quad \forall r \\
 & \nu_i \geq \epsilon \quad \forall i \\
 & \mu_* \text{ free in sign} \\
 & L^{r/1} \leq \mu_r / \mu_1 \leq U^{r/1}, \quad r=2,3,\dots,s \\
 & L_{i/1} \leq \nu_i / \nu_1 \leq U_{i/1}, \quad i=2,3,\dots,m
 \end{aligned} \tag{2}$$

#### IV. 분석자료

##### 4.1 출력-입력요소

‘IT SMERP 2010 계획’에 포함된 IT 중소·벤처기업 정부자금지원정책 14개 세부사업중 4개를 대상으로 분석자료를 수집한다. KAIT에서 실시한 ‘05년상반기 IT 3대업종별 기업역량, 업력 조사결과에 기초하면 절대적 편차는 존재하지만<sup>18,12)</sup>, 가능한 기업역량, 업력이 유사한 기업이 세부사업 수혜대상으로 선정된다고 가정하고, 수혜 ① 금액, ② 기간, ③ 건수 3개 입력요소에 의한, ① 매출액증가율, ② 영업이익익률증가율 2개 출력요소에 대한 효율성평가로 범위를 한정하여 출력-입력요소를 선정한다. 물론, 포괄적 범위에서의 입력요소로서 자금지원, 기술지원, 창업/인력지원 및 경영지원 등을, 출력요소로서 업계문화, 기술혁신성과, 시장성과, 재무성과 및 경제파급효과 등이 고려될 수 있다. ‘07년초시점 KAIT IT통계정보센터 DB를 출처로 하여 입수가능한 자료인지 여부도 선정시 함께 고려된다<sup>19,12,13)</sup>.

최종정리된 분석자료는; 1) Sb사업, 280.530억원, 21기업, 22건수, 2) Sc사업, 2,601.686억원, 213기업, 213건수, 3) Sd사업, 842.828억원, 329기업, 396건수, 4) Se사업, 181.359억원, 160기업, 160건수로 추출된다. 기업 (DMU<sub>j</sub>)별 입력요소(i=1,2,3)로 금액(z<sub>1j</sub>,억원), 기간(z<sub>2j</sub>,년), 건수(z<sub>3j</sub>,건)를 고려하고, 출력요소(r=1,2,3,4)로 ‘03년대비 ‘04년매출액증가율(y<sub>1j</sub>), ‘04년대비 ‘05년매출액증가율(y<sub>2j</sub>), ‘03년대비 ‘04년영업이익률증가율(y<sub>3j</sub>), ‘04년대비 ‘05년영업이익률증가율(y<sub>4j</sub>)을 고려한다.

##### 4.2 입력요소 합성점수 (composite score)

입력요소로 고려된 기간(z<sub>2j</sub>), 건수(z<sub>3j</sub>) 범위는; 1) Sb사업, 1-3년 (3년이하 100%), 1-2건; 2) Sc사

업, 1-8년 (3년이하 34%), 1건; 3) Sd사업, 1-7년 (3년이하 24%), 1-3건; 4) Se사업, 1-10년 (3년이하 24%), 1건으로 조사된다. 다수 수혜건수인 경우, ‘05년말기준 최장기간을 z<sub>2j</sub>로 정의한다. z<sub>2j</sub>, z<sub>3j</sub>를 직접 이용해, 식(1) 최적해를 도출하면, 대부분의 DMU 효율성지수가 ‘1’로 계산되어 성과평가가 무의미해진다. z<sub>2j</sub>, z<sub>3j</sub>를 포함한 3개 입력요소 합성점수 (composite score, x<sub>1j</sub>)<sup>19)</sup> 식(3)을 제안한다. 식(3)에서, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>는 기간조정가중치, 건수조정가중치를, z<sub>2</sub><sup>max</sup>, z<sub>3</sub><sup>max</sup>는 기간상한, 건수상한을 각각 순서대로 표시한다.

선행된 예비분석에 기초하여, z<sub>2</sub><sup>max</sup> = 5, z<sub>3</sub><sup>max</sup> = 3으로 정의하고자 한다; 1) ‘99년 19개, ‘00년 26개, ‘01년 38개 과제 누적매출액 조사결과, 과제별 자금 투입에 따른 누적매출액 성장은 투입시점기준 순서대로 ‘7’, ‘5’, ‘4’년차에 정점에 도달하고; 2) 본 연구의 총723개 기업별 최대건수는 ‘3’이다. 단, a<sub>2</sub> = 0.40, 0.50, 0.60, a<sub>3</sub> = 0.20, 0.25, 0.30 총3×3=9개 가중치조합에 따른 효율성지수 민감도분석은 §V에 제시된다.

$$x_{1j} = z_{1j} (1 + a_2 (\min(z_2^{max}, z_{2j}) - 1)) \times (1 + a_3 (\min(z_3^{max}, z_{3j}) - 1)) \tag{3}$$

##### 4.3 AR-I 제약식 생성

일반적 AR-I 제약식 식(4)를 고려한다; 1) D<sub>11</sub> (p<sub>1</sub>×s), 0<sub>12</sub> (p<sub>1</sub>×m) null, 0<sub>21</sub> (p<sub>2</sub>×s) null, C<sub>22</sub> (p<sub>2</sub>×m), F((p<sub>1</sub>+p<sub>2</sub>)×(s+m)) 행렬; 2) μ(s×1) output multiplier, ν(m×1) input multiplier, w((s+m)×1), 0<sub>p</sub>((p<sub>1</sub>+p<sub>2</sub>)×1) null 열벡터; 3) p<sub>1</sub> = 2(s-1), p<sub>2</sub> = 2(m-1)이다<sup>33)</sup>. 그럼으로, 본 분석자료의 AR-I 제약식은 식(5) D<sub>11</sub> (6×4) 만을 취하는 행렬식으로 축소된다.

$$Fw \geq 0_p \tag{4-1}$$

$$F = \begin{bmatrix} D_{11} & 0_{12} \\ 0_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \tag{4-2}$$

$$w = \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \end{bmatrix} \tag{4-3}$$

식(5) 생성과정은 다음과 같다; 1) DI<sub>3</sub>모형의 최적해에서 효율성지수 ‘1’인 benchmark DMU를 추출, →2) 출력요소별 ‘0’을 초과하는 multiplier μ<sub>1</sub><sup>\*</sup>, μ<sub>2</sub><sup>\*</sup>, μ<sub>3</sub><sup>\*</sup>, μ<sub>4</sub><sup>\*</sup>를 각각 m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>, m<sub>4</sub>개 추출, →3)

$\mu_2^*/\mu_1^*, \mu_3^*/\mu_1^*, \mu_4^*/\mu_1^*$ 를 각각  $m_1m_2, m_1m_3, m_1m_4$ 개 계산,  
 →4) 각 비율별 100 $\alpha\%$ , 100(1- $\alpha$ )% 백분위수로  $L^r/1, U^r/1$ ( $r=2,3,4$ )를 설정한다<sup>[7,25,33]</sup>. §V에서  $\alpha=0.25$ 로 설정된 AR-I 제약식을 고려한다.

$$D_{11} = \begin{bmatrix} -L^{2/1} & 1 & 0 & 0 \\ U^{2/1} & -1 & 0 & 0 \\ -L^{3/1} & 0 & 1 & 0 \\ U^{3/1} & 0 & -1 & 0 \\ -L^{4/1} & 0 & 0 & 1 \\ U^{4/1} & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

V. 사례분석

5.1 ( $a_2, a_3$ )조합별 민감도분석

$z_{2j}, z_{3j}$  산포를 고려해, Sd사업을 대상으로 ( $a_2, a_3$ ) 조합별 식(1)로 도출된 DMU 효율성지수 민감도분석 결과를 그림 1에 제시한다. 그림 1은 가중치조합 중심점 ( $a_2, a_3$ ) = (0.50, 0.25)에서의 효율성지수를 기준으로, 나머지 8개 가중치조합에서의 효율성지수를 정렬한 plots이다. ( $a_2, a_3$ ) 조합별 효율성지수 상관계수 36개 모두 0.99이상으로 확인된다. 그림 1과 상관계수 분석결과에 근거, ( $a_2, a_3$ ) 조합에 따른 효율성지수의 급격한 변화는 유도되지 않은 것으로 판단하고, 이후 분석은 ( $a_2, a_3$ ) = (0.50, 0.25) 가중치조합 중심점에서의 효율성지수만을 이용한다. 한편, 본 사례분석 모든 효율성지수는 외부공개가 승인되지 않기에, [0,1]이 아닌 임의의 범위를 갖도록 가공되어 설명된다. 본 연구에서 제안된 모형, 절차는; 1) Microsoft<sup>R</sup>, Office Excel 2003; 2) Frontline Systems, Premium Solver Platform v7.1; 3) DEAfrontier.com, DEA Excel Solver Add-In 2002; 및 4) Microsoft Visual Basic 6.0<sup>C</sup> '87-'99로 구현된다<sup>[26,35]</sup>.

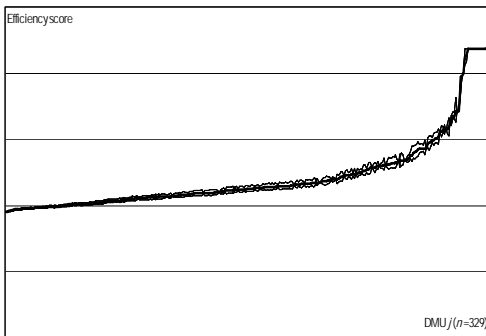
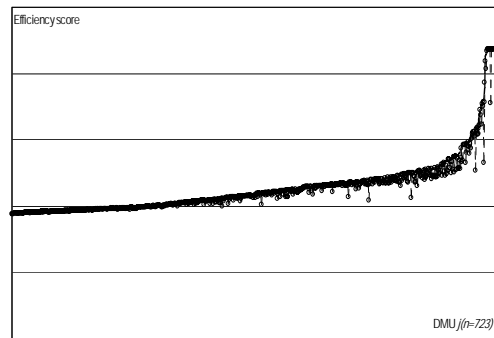


그림 1. Sd, ( $a_2, a_3$ ) 조합별 DMU 효율성지수 plots

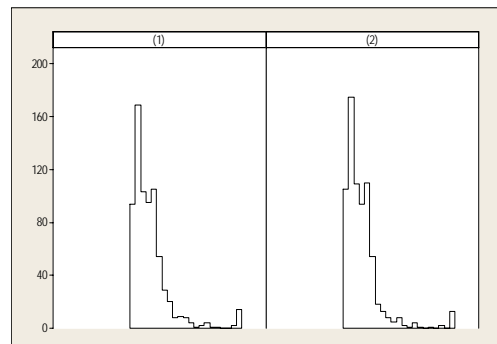
5.2 사업간 평가

분석대상 전체사업자료  $n=723$ 개 DMU를 동시에 고려하여 도출한 효율성지수가 그림 2에 제시된다. 지원형태가, ① Sb, 용자, ② Sc, 투자, ③ Sd, Se, 출연 등으로 상이하지만, 분석기간동안 수혜기업이 갖는 현금유출입 (cash flow)에서의 자금사용은 동일하다고 가정한다. 그림 2.(a)에서, 식(1) DEA기본모형 효율성지수 (실선) 기준, 식(2) DEA/AR-I수정모형 효율성지수 (점선) 정렬결과,  $n=723$ 개 DMU 모두, 식(1)보다 식(2) plot이 아래에 위치하며, 이 현상은 AR-I 제약식 효과로 해석된다. 식(1), (2) 효율성지수 상관계수는 0.98786으로, AR-I 제약식에 따른 급격한 효율성지수 변화는 유도되지 않는다. 그림2.(b)는, 소수 frontier DMU가 나머지 다수 DMU를 포락하는 우변사향 모양을 보여준다.

그림 3은 그림 2 DMU 효율성지수를 사업별로 분리하여 작성된다. 그림 3.(a), 3.(b)는 식(1), (2) 및 Sb, Sc, Sd, Se사업 조합별 효율성지수

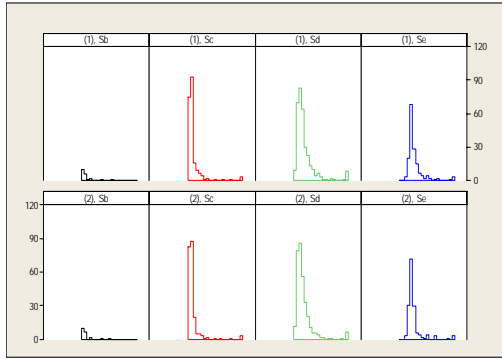


(a)

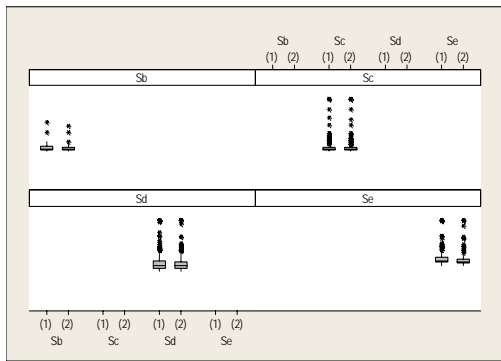


(b)

그림 2. DEA기본모형 식(1) (실선) vs. DEA/AR-I수정모형 식(2) (점선), DMU 효율성지수, 전체사업자료  $n=723$  이용; (a) plots; (b) histograms



(a)



(b)

그림 3. 그림 2 DMU 효율성지수, 사업별 분리; (a) histograms; (b) boxplots

histogram, boxplot이다. 그림 3.(a) histogram 세로축은 빈도를, 그림 3.(b) boxplot 세로축은 효율성지수를 표시한다. 분포 ① 중심, ② 산포, ③ 모양, ④ 이상점 유무 등을 고려하면, 대략적으로 Se→Sd→Sc,Sb순서로 분포중심은 낮아지고, 우변사향 모양이 강해지는 것으로 파악된다. 한편, Intel<sup>R</sup> Pentium Mobile 1.60GHz, 컴퓨터 runtime 측정결과,  $n = 723, s = 4, m = 1$ 인 아래 DEA/AR-I수정모형의 최적해 도출시간은 약 35분 소요된다.

DEA/AR-I수정모형,  
(변수개수×제약식개수)

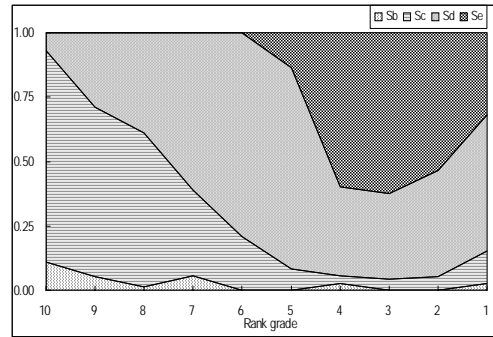
$$\begin{aligned} &= (2 \times 1 + s + m) \times (n + 1 + 2(s - 1)) \\ &= (2 \times 1 + 4 + 1) \times (723 + 1 + 2 \times 3) \\ &= 7 \times 730 \end{aligned}$$

그림 2에 제시된 식(2) DMU 효율성지수의 사업별·순위등급별 점유빈도·비율 및 분포를 표 1, 그림 4에 제시한다. 그림 4.(a) 점유비율 및 사업별

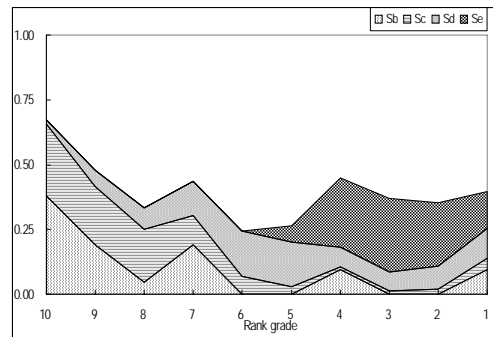
DMU수 차이가 보정된 그림 4.(b) 분포에서 확인되는 것처럼, Se→Sd→Sc,Sb순서로 순위구성이 저하되는 현상을, 그림 3과 비교해 보다 선명히 파악할 수 있다.

그림 2, 3에서 확인되는 것처럼, DMU 효율성지수 모집단에 대한 특정분포 가정에 무리가 있다. 그림 2.(b) 효율성지수의 정규성을 검정하면; 1) 식(1) DEA 기본모형 효율성지수는,

- ① Anderson-Darling 검정통계량 (test statistic)  $AD = 45.853$ , 유의확률 ( $p$ -value)  $< 0.005$ ,
- ② Kolmogorov-Smirnov 검정통계량  $KS = 0.184$ ,  $p$ -value  $< 0.010$ ; 2) 식(2) DEA/AR-I수정모형 효율성지수는,
- ① Anderson-Darling 검정통계량  $AD = 48.797$ ,  $p$ -value  $< 0.005$ ,
- ② Kolmogorov-Smirnov 검정통계량  $KS = 0.190$ ,  $p$ -value  $< 0.010$ 으로 정규성 확보가 매우 미흡하다.



(a)



(b)

그림 4. 그림 2, DEA/AR-I수정모형 식(2), DMU 효율성지수, 사업별·순위등급별; (a) 점유비율; (b) 분포

비모수적 단일인자 분산분석법 (nonparametric single-factor ANOVA)인 Kruskal-Wallis 검정을 실

표 1. 그림 2, DEA/AR-I수정모형 식(2), DMU 효율성지수, 사업별·순위등급별, 점유빈도·비율, 분포

	Bad←									→Good	Sum	
Rank grade	10 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	4 <sup>th</sup>	3 <sup>rd</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>		
Highest rank(H)	652	579	507	435	363	290	218	146	73	1		
Lowest rank(L)	723	651	578	506	434	362	289	217	145	72		
Frequency	Sb	8	4	1	4	0	0	2	0	0	2	$n_1=21$
	Sc	59	48	43	24	15	6	2	3	4	9	$n_2=213$
	Sd	5	21	28	44	57	57	25	24	30	38	$n_3=329$
	Se	0	0	0	0	0	10	43	45	39	23	$n_4=160$
	Sum	72	73	72	72	72	73	72	72	73	72	$n=723$
Proportion	Sb	0.11	0.05	0.01	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	
	Sc	0.82	0.66	0.60	0.33	0.21	0.08	0.03	0.04	0.05	0.13	
	Sd	0.07	0.29	0.39	0.61	0.79	0.78	0.35	0.33	0.41	0.53	
	Se	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.60	0.63	0.53	0.32	
	Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Distribution	Sb	0.38	0.19	0.05	0.19	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	1.00
	Sc	0.28	0.23	0.20	0.11	0.07	0.03	0.01	0.01	0.02	0.04	1.00
	Sd	0.02	0.06	0.09	0.13	0.17	0.17	0.08	0.07	0.09	0.12	1.00
	Se	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.27	0.28	0.24	0.14	1.00

시하여, 사업간 통계적 유의차를 확인한다. 연속확률분포 가정만을 요구하는 Kruskal-Wallis 검정의 동순위조정 검정통계량은 식(6)과 같다<sup>[28,29]</sup>.

4개사업 (즉,  $a=4>3$ ) 및 각 사업별 DMU수가 충분하므로 (즉,  $n_i \geq 5, i=1,2,\dots,a$ ),  $h \geq \chi_{\alpha,a-1}^2$  기각역을 갖는다. 계산결과,  $h = 310.31, s^2 = 43,621.00, h \geq \chi_{0.01,3}^2 = 11.34$ 로써 귀무가설  $H_0: \eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta_4$  가 기각되어 (단,  $\eta_i$ 는  $i^{th}$  사업 효율성지수 모집단 중위수), 사업간 효율성지수에 차이가 있다고 판단된다.

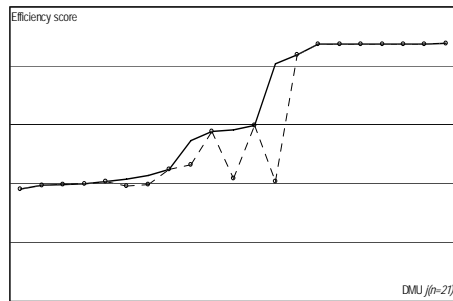
$$H = \frac{1}{S^2} \left[ \sum_{i=1}^a \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad (6-1)$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad (6-2)$$

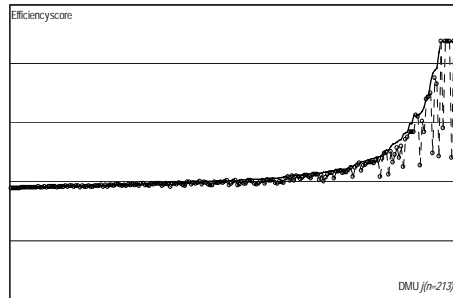
표 2에 전체사업, 사업별 (Level별) 순위평균  $\bar{R}_i, \bar{R}_i$  및  $\bar{R}_i$  표준화값 ( $z$ -value)이 정리된다<sup>[28]</sup>; 1) 유의확률이 작고 ( $p$ -value = 0.000), 표준화값 모두  $\pm 3$ 을 벗어나므로, 사업별 효율성지수에 유의한 차이가 있고; 2) 표준화값을 보면, Se→Sd→Sb→Sc 순서로 효율성지수가 저하됨이 판정된다.

표 2. 그림 2, DEA/AR-I수정모형 식(2), DMU 효율성지수, 사업간 평가 Kruskal-Wallis 검정결과

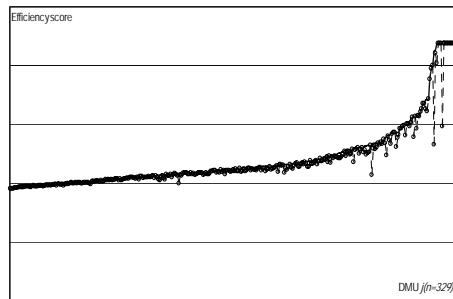
$i$	Level	$n_i$	$\bar{R}_i$	$z$ -value
1	Sb	21	199.80	-3.61
2	Sc	213	184.20	-14.80
3	Sd	329	394.00	3.77
4	Se	160	554.20	13.19
		$N=723$	$\bar{R}=362.00$	
$H=310.31, df=3, p\text{-value}=0.000$				



(a)

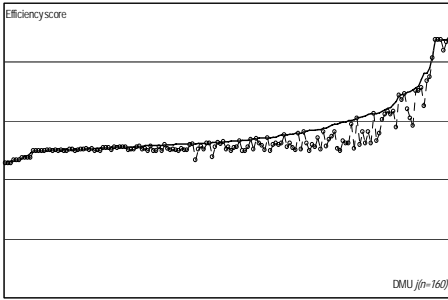


(b)



(c)





(d)

그림 5. DEA기본모형 식(1) (실선) vs. DEA/AR-I수정모형 식(2) (점선), DMU 효율성지수, 개별사업자료 이용 plots; (a) Sb; (b) Sc; (c) Sd; (d) Se

### 5.3 동일사업내 수혜기업간 평가

각 사업별로 자료를 분리한 후, 식 (1), (2)로 도출된 DMU 효율성지수를 그림 5의 4개 panel에 요약한다. 그림 2.(a)처럼; 1) AR-I 제약식 효과; 2) 식(1), (2) 효율성지수 상관관계수 ① Sb, 0.91099, ② Sc, 0.91528, ③ Sd, 0.97544, ④ Se, 0.95191; 3) 그림 5.(a)를 제외한 그림 5.(b)-(d)에서, 소수 frontier DMU에 의한 포락현상 등이 관찰된다. 그림 6은, 그림 5 효율성지수 histograms이다. 그림 5, 6 개별사업자료를 이용한 분석결과 역시, 그림 2, 3 전체사업자료를 이용한 분석결과와 유사한 특징을 보인다.

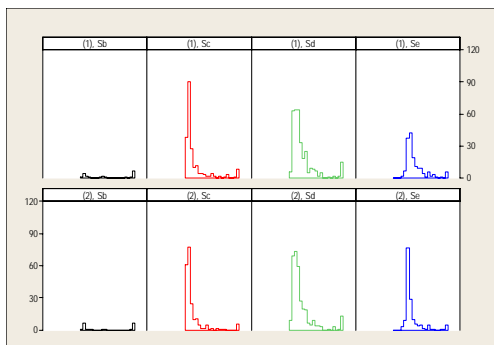


그림 6. DEA기본모형 식(1) vs. DEA/AR-I수정모형 식(2), DMU 효율성지수, 개별사업자료 이용 histograms

## VI. 종합

본 연구는, IT 중소·벤처기업 정부자금지원정책 성과평가 관련, 사업간 및 동일사업내 수혜기업간 평가를 위한 효율성지수를 정량적 수치로 계산하는 DEA/AR-I 모형, 절차 및 사례분석 체계를 제안한

다. 한편, 사례분석 대상 사업간 및 동일사업내 수혜기업간 평가결과는 연구관계자에게 참고자료로 보고된다. 향후, 분석결과의 설득력 제고를 위한 출력-입력자료 보강이 필요하다. 즉, 예시된 사례분석은 분석자료 및 그에 따른 한계에 대한 이해가 선행되어야 함을 밝힌다. 아래는 본 연구내용의 항목별 종합이다.

첫째, 정량적 출력-입력자료를 이용, 의사결정자 주관을 배제한 수리모형에 의한 DMU 효율성지수를 계산한다. 둘째, 분석자료가 DB로부터 취합된 후, 제안된 모형, 절차를 컴퓨터 프로그램으로 처리해 의사결정을 위한 초기 유도지표를 신속히 도출한다. 셋째, 입력요소 합성점수 산정식을 정의함으로써, 입력요소 선택의 폭을 넓힌다. 넷째, DMU 효율성지수를 이용한 사업별·순위등급별 점유빈도·비율, 분포 분석 및 kruskal-Wallis 검정으로; 1) 사업간 평가, 2) 동일사업내 수혜기업간 평가를 시도한다. 다섯째, 소수 benchmark DMU 존재가 발견된다. 즉, 상대적으로 효율성을 발휘한 소수 benchmark DMU 특징이 구체적으로 무엇인지를 파악하고, benchmark DMU 강점을 정리하여, 다수 상대적으로 비효율적인 DMU에게로 전파·공유시킴으로써, 전체 DMU의 전반적 효율성 향상을 도모할 기회를 제공할 수 있다고 판단된다. 더불어, 시장성과 창출에 대한 성장한계기업으로 최종판단될 경우, 전략적 대안으로 M&A유도, 업종전환, 조기 폐업 등 다양한 출구를 마련할 필요성도 있다고 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 과학기술부 (MOST), 2007년도 정부연구개발사업 종합안내서, 과학기술부 과학기술혁신본부, 2007.
- [2] 김건위, DEA를 통한 지방행정 정보화, 한국학술정보(주), 2006.
- [3] 김세현, 경영과학개론, 개정판, 영지문화사, 2006.
- [4] 김재관, 김승권, “DEA-AR 기반의 부동산 가격 평가모형”, 주택연구, 15권, 1호, pp.29-61, 2007.
- [5] 배영민, 김재희, 김승권, “IDEA를 이용한 탄약중대의 효율성 평가”, IE Interfaces, 19권, 4호, pp.291-299, 2006.
- [6] 손소영, 주용규, “분류모형과 DEA를 이용한 두뇌한국(BK)21 사업단 효율성 분석”, IE Interfaces, 17권, 3호, pp.249-260, 2004.

- [7] 이덕주, 양원모, “DEA/OERA를 이용한 프로야구 선수들에 대한 성과 측정”, *IE Interfaces*, 17권, 4호, pp.440-449, 2004.
- [8] 정보통신부 (MIC), *IT 중소·벤처기업의 건전한 생태계 조성을 위한 IT SMERP 2010 계획 최종 수정본*, 정보통신부 정책홍보관리실 보도자료, 2006.
- [9] 정보통신부 (MIC)·정보통신연구진흥원 (IITA), *정보통신진흥기금 성과분석 (VIII) (기술개발투자사업)*, 연구수행기관: (주)에스아이미디어, 2006.
- [10] 정보통신부 (MIC)·정보통신연구진흥원 (IITA), *2006년도 정보통신진흥기금사업 성과평가 지침*, 정보통신진흥기금 평가자문단, 2007.
- [11] 통계청 (NSO) KOSIS국가통계포털, <http://www.kosis.kr/>, 2007.
- [12] 한국정보통신산업협회 (KAIT) IT통계정보센터, <http://www.iti.or.kr/website/index.aspx>, 2007.
- [13] 한국정보통신산업협회 (KAIT), *IT중소벤처 생태계 조성 정책지원 사업 보고서*, 한국정보통신산업협회 IT통계정보센터, 2007.
- [14] 황석원, *STEPI 정책연구 2006-12, R&D 프로그램의 유형별 경제성 평가 방법론 구축: 이론 및 실물업선을 이용한 경제적 가치 선정의 사례 연구*, 과학기술정책연구원, 2006.
- [15] 황용수, 황석원, *STEPI 정책연구 2004-20, 정부 R&D 성과평가시스템의 진단 및 발전방향*, 과학기술정책연구원, 2005.
- [16] Banker, R. D., Bardhan, I. and Cooper, W. W., “A Note on returns to scale in DEA”, *European Journal of Operational Research*, Vol.88, No.3, pp.583-585, 1996.
- [17] Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W., “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”, *Management Science*, Vol.30, No.9, pp.1078-1092, 1984.
- [18] Banker, R. D., Conrad, R. F. and Strauss, R. P., “A comparative application of data envelopment analysis and translog methods: an illustrative study of hospital production”, *Management Science*, Vol.32, No.1, pp.30-44, 1986.
- [19] Bessent, A., Bessent, W., Kennington, J. and Reagan, B., “An application of mathematical programming to assess productivity in the Houston independent school district”, *Management Science*, Vol.28, No.12, pp.1355-1367, 1982.
- [20] Callen, J. L., “Data envelopment analysis: partial survey and applications for management accounting”, *Journal of Management Accounting Research*, Vol.3, Fall, pp.35-56, 1991.
- [21] Charnes, A. and Cooper, W. W., “Auditing and accounting for program efficiency and management efficiency in not-for-profit entities”, *Accounting, Organizations and Society*, Vol.5, No.1, pp.87-107, 1980.
- [22] Charnes, A., Cooper, W. W., Huang, Z. M. and Sun, D. B., “Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial banks”, *Journal of Econometrics*, Vol.46, No.1-2, pp.73-91, 1990.
- [23] Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6, pp.429-444, 1978.
- [24] Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., “Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through”, *Management Science*, Vol.27, No.6, pp.668-697, 1981.
- [25] Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Zhu, J., *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Boston:Springer (Kluwer Academic Publishers), 2004.
- [26] Frontline Systems, Inc., *Premium Solver Platform Version 7.1 for Microsoft Excel*, <http://www.solver.com/Default.htm>, 2007.
- [27] Gregoriou, G. N. and Zhu, J., *Evaluating Hedge Fund and CTA Performance*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [28] Minitab<sup>R</sup>, *Minitab<sup>R</sup> Release 14.20 StatGuide*, State College: Minitab Inc., 2005.
- [29] Montgomery, D. C. and Runger, G. C., *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [30] Parks, R. B., “Technical efficiency of public decision making units”, *Policy Studies Journal*, Vol.12, No.2, pp.337-346, 1983.

- [31] Seiford, L. M. and Thrall, R. M., “Recent development in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis”, *Journal of Econometrics*, Vol.46, No.1-2, pp.7-38, 1990.
- [32] Sherman, H. D. and Gold, F., “Bank branch operating efficiency: evaluation with data envelopment analysis”, *Journal of Banking and Finance*, Vol.9, No.2, pp.297-315, 1985.
- [33] Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. T., Lee, E. and Thrall, R. M., “The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming”, *Journal of Econometrics*, Vol.46, No.1-2, pp.93-108, 1990.
- [34] Winston, W. L., *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4th ed., Belmont California: Thomson Brooks/Cole, 2004.
- [35] Zhu, J., *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis With Spreadsheets and DEA Excel Solver*, Boston: Springer (Kluwer Academic Publishers), 2003.

**박 성 민 (Sungmin Park)**

정회원



건국대학교 산업공학과(학사)  
고려대학교 산업공학과(석사)  
미국 Arizona State University  
Industrial Engineering, Ph.D.  
현재 백석대학교 경상학부 조교수  
<관심분야> 품질경영, 응용통계,  
생산관리, 경영성과 분석·평가

**김 현 (Heon Kim)**

정회원



연세대학교 경영학과(학사)  
연세대학교 경영학과(석사)  
연세대학교 경영학과(박사)  
현재 백석대학교 경상학부 조교수  
<관심분야> 경영전략, 기술혁신,  
생산관리, 경영성과분석·평가