

기업역량을 고려한 외생고정변수를 갖는 IT중소기업 정부자금지원정책 성과평가를 위한 DEA모형 및 활용절차

정회원 박성민*, 김헌*

DEA Models and Application Procedure for Performance Evaluation on Governmental Funding Projects for IT Small and Medium-sized Enterprises with Exogenously Fixed Variables of Corporate Competency

Sungmin Park*, Heon Kim* *Regular Members*

요 약

Data Envelopment Analysis(DEA) 모형은 다수출력/다수입력을 갖는 IT중소기업 정부자금지원정책 성과평가에 활용가능하다. DEA효율성지수의 정확성 제고를 위해 기업역량을 반영한 외생고정변수를 DEA모형에서 고려할 수 있다. 또한, 다수 DEA기본모형과 확장모형을 활용한 성과평가를 시도함으로써, 단일 DEA모형에 의존하는 성과평가의 한계를 완화할 수 있다. 본 연구는, IT중소기업 정부자금지원시점에서의 기업자산, 매출액, 종업원수를 외생고정변수로 갖는, 1)DEA자료구조 정립; 2)DEA기본모형과 확장모형 수립; 3)실증자료를 이용한 사례분석을 예시한다. DEA기본모형으로 CCR, BCC, Super-efficiency모형, DEA확장모형으로 비제어변수(noncontrollable variables), 비자유변수(nondiscretionary variables)를 갖는 모형을 수립한다. DEA모형 비교 및 Analytic Hierarchy Process(AHP) 가중치를 이용한 통합·활용절차가 설명된다. 모수·비모수분산분석에 의한 기술분야별 DEA효율성지수로써의 성과유의차를 판정한다.

Key Words : Corporate competency, Data envelopment analysis, Exogenously fixed variables, Governmental funding projects for IT enterprises, Performance evaluation.

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis(DEA) models can be used for performance evaluation on governmental funding projects for IT small and medium-sized enterprises associated with multiple-outputs/multiple-inputs. In order to enhance the accuracy of DEA efficiency scores, DEA models with exogenously fixed variables are required where the corporate competency is taken into account. Additionally, it is necessary to use multiple DEA basic as well as extended models so as to relax the restriction on the performance evaluation to relying on a single DEA model.

* 백석대학교 경상학부 (smpark99@bu.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-01-025, 접수일자 : 2008년 01월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 04월 25일

In this study; 1)a DEA data structure is designed including exogenously fixed variables representing corporate asset, revenue and the number of employees at the point in time that the governmental funding project concerned is initiated; 2)DEA basic as well as extended models are established according to the DEA data structure presented abovementioned; and 3)a case study is illustrated with an empirical testbed dataset. As for the DEA basic models, CCR, BCC, Super-efficiency model are adopted. The DEA extended models are developed based on the models associated with noncontrollable and nondiscretionary variables. In the case study, it is explained a comparison of DEA models and also major numerical outcomes such as efficiency scores, ranks derived from each DEA model are integrated using Analytic Hierarchy Process(AHP) weights. Performance significance with DEA efficiency scores between technical categories are tested based not only on parametric but also nonparametric single-factor analysis of variance method.

I. 서론

1.1 연구배경

대한민국 정부는 정보통신부(MIC) 주도로 '93년부터 IT중소·벤처기업 활성화 및 자금지원 유도를 위해 정보통신진흥기금을 조성하고, 정보통신연구진흥원(IITA)을 관리기관으로 기금운용 및 지원사업에 대한 정책수립·집행→성과평가→추진방향개선 등을 수행하고 있다^[12,14,15].

이와 연계하여, 정보통신부는 '04년과 '06년 IT중소·벤처기업의 전전한 기업생태계 조성을 위한 'IT Small and Medium-sized Enterprises Revitalization Program(SMERP) 2010 계획'을 입안·수정한 바 있다^[12]. 또한, '04년과 '06년 'IT839 전략'을 입안·수정하여 IT산업의 8대서비스↔3대 인프라↔9대신성장동력을 재조정 한 바 있다^[11]. 국내 IT산업은 국가경제성장을 견인하는 주력산업으로 자리매김하여; 1)'98-'05년 8개년 연평균 경상 GDP증가율 7.5%를 상회하는 IT생산증가율 15.7%를 기록; 2)'05년 IT수출액은 총수출액의 36.0%, '05년 IT수지흑자액은 483.8억US로서 총무역수지 흑자액의 2배를 상회; 3)GDP대비 IT산업의 비중과 성장기여율은 순서대로 각각 '00년 9.5%, 32.1%에서 '05년 15.0%, 46.5%로 증가한다^[11].

최근 정보통신부 중점추진 정책과제로서, 'IT산업의 글로벌 경쟁력강화'가 5대 전략목표중 하나로, '혁신형 IT중소기업 지원'이 21개 주요정책과제중 하나로 설정된다^[13]. '혁신형 IT중소기업 지원'은 ①수요자중심 정책지원, ②기술·시장 연계 강화, ③동반성장여건 조성에 초점이 있다. 정보통신부 IT중소기업 지원사업은; 1)직접자금지원사업 (중소기업기술개발 ①출연, ②투자, ③융자);

및 2)간접지원사업 (①기술지원, ②인력·창업지원, ③판로·수출·정보화지원)으로 구성된다. '06년 정보통신부 IT중소기업 지원예산은 직접자금지원사업 3,211억원(70%), 간접지원사업 1,364억원(30%)이며, 세부적으로는 중소기업기술개발 출연 260억원, 투자 200억원, 융자 2,751억원, 기술지원 901억원, 인력·창업지원 136억원, 판로·수출·정보화지원 327억원이 확인된다^[2,10].

반면; 1)IT산업전체 R&D투자액에서 IT중소·벤처기업 비율이 8.1%('01)→7.4%('02)→6.4%('03)로 감소; 2)최근 정보통신진흥기금 R&D투자액이 7,839억원('06년)에서 7,641억원('07년)으로 198억원(2.53%) 감소; 3)'05년1월~8월 국내 창업투자회사와 창업투자조합의 IT분야 투자비중이 '04년동기대비 60.2%(2,068억원)에서 45%(1,734억원)로 감소하였다^[1,12,15]. 또한, 'IT839전략' 등 기금수요는 증대되나, 기금조성은 정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT) 서비스시장의 매출액 정체에 따라 감소해 '02년이후 매년 당기순조성금액이 (-)값으로 전환된 상태를 벗어나지 못하고 있다. IT중소기업 정부자금지원정책이 현시점까지는 비약적 성과를 획득했지만, 향후; 1)직접자금지원사업 지양; 2)과제선정 및 성과평가지 기술혁신·시장창출에 기초한 경제원리 강화; 3)장기적으로는 기금조성감소→기금지출축소에 따른 정부자금지원정책 통폐합을 통한 기금운용 효율화의 추진가능성이 예상된다^[2].

'IT SMERP 2010 계획'에 제시된 것처럼; 1)IT중소·벤처기업 현황과 지원정책 성과를 실시간 측정하여, '선택과 집중' 원칙하에 한정자원을 효율적으로 배분하고; 2)지원정책으로 유발되는 IT중소·벤처기업 성장과정을 진단, 분석할 수 있는 과학적·정량적 의사결정자료가 정책입안자에게

요구된다^[12,19]. 특히, IT중소기업에 대한 지원정책의 유효성을 확인·제시함으로써, 정부주도 직접자금지원사업중 중소기업기술개발 출연사업을 지속적으로 시행하기 위한 근거를 확보할 필요성이 있다. 현재, 정보통신연구진흥원에서는 지원정책 관리과제별 및 연도별 기술적성과, 경제적성과, 경제·사회적과급효과 등을 기업역량 관련지표와 함께 추적·조사하고 있다^[17].

1.2 연구주제

IT중소기업 정부자금지원정책 성과평가지, 관리과제별 정부자금지원정책의 효율성을 정확하게 측정하기 위해서는, 출력(output)→결과(outcome)→효과(impact)로 연계될 수 있는 다수출력요소뿐만 아니라 지원금액 등을 포함한 다수입력요소가 함께 고려되는 것이 바람직하다^[14,16,18]. 또한, 성과평가를 적시·객관적으로 1차선별(screening)함으로써, 세부적 2차후속(follow-up) 성과평가를 지원하는 유도지표(guideline)가 요구될 수 있다. Data Envelopment Analysis(DEA, 자료포락분석)는 다수출력/다수입력을 갖는 IT중소기업 정부자금지원정책 성과평가에 활용될 수 있다. 한편, DEA효율성지수(efficiency score, ES)의 정확성 제고뿐만 아니라, 현장실무자, 정책입안자 혹은 의사결정자가 갖는 DEA효율성지수에 대한 신뢰도 향상을 위해 적합한; 1)DEA자료구조 설계; 2)DEA모형 및 활용절차 정립이 요구될 수 있다.

•첫째, DEA효율성지수의 정확성 제고를 위해 지원정책 수혜기업의 기업역량을 입력요소로 반영하는 것을 고려할 수 있다. 동일수준 효율성을 갖는 임의의 관리과제(즉, Decision Making Unit, DMU)에 동일수준 입력이 투입되더라도, 지원시점 수혜기업의 기업역량에 따라 출력수준에 차이가 발생할 수 있다. 즉, 기업역량을 적절히 반영하지 못할 경우, DEA효율성지수는 지원정책·관리과제와 직접연관이 있는 입력수준 및 지원정책과 무관한 기업역량으로써 실현된 출력수준에 의해 계산상 정확성이 저하될 수 있다고 판단된다.

•둘째, DEA를 활용한 성과평가지 다양한 DEA모형중 어떤 모형을 선택·활용해야 할지를 결정하는 것은 쉽지 않다. 선택된 DEA모형에 따라 DEA효율성지수가 달리 계산됨으로써, IT중소기업 정부자금지원정책 성과평가를 담당하는 현장

실무자의 DEA효율성지수에 대한 신뢰도가 저하되는 경우가 실제 빈번히 발생될 수 있다고 예상된다.

적합한 DEA자료구조 정립을 위해서는 기업역량을 반영한 외생고정변수(exogenously fixed variables)를 DEA자료구조에 명시적으로 포함·설계하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 다수 DEA기본모형과 확장모형을 수립·활용한 성과평가를 시도함으로써, 단일 DEA모형에만 의존함으로써 야기될 수 있는 성과평가의 한계를 완화하고, 궁극적으로는 DEA효율성지수에 대한 현장실무자의 신뢰도를 향상시킬 필요가 있다.

본 연구는; 1)IT중소기업 정부자금지원시점에서의 기업자산, 매출액, 종업원수를 외생고정변수로 갖는 DEA자료구조를 IT중소기업 정부자금지원정책 성과지표체계에 기초하여 설계한다^[16]; 2)DEA자료구조에 맞춰 DEA기본모형과 확장모형을 수립한다. DEA기본모형은 CCR, BCC, Super-efficiency(SE)모형, DEA확장모형은 비제어변수(noncontrollable variables, NCN), 비자유변수(nondiscretionary variables, NDSC) 모형으로 수립된다; 3)'02-'06년 5년 동안 실사·정리된 정보통신부 '정부지원사업(A)', '정부지원사업(B)'의 실증자료를 이용한 사례분석에서는, Analytic Hierarchy Process(AHP) 가중치를 이용한 DEA모형통합·활용절차가 논의된다. §2문헌고찰, §3분석자료, §4모형수립, §5사례분석, §6종합이 서술된다.

II. 문헌고찰

'78년 CCR모형^[32]을 필두로, '84년 BCC모형^[23]을 포함한 관련논문 발표이후, DEA를 활용한 효율성평가가 광범위한 분야에 적용된다. 대표적 활용분야를 예시하면, 공공기관운영 효율성평가 관련, 기초자치단체 지방행정 정보화수준^[3], 도시지역 경찰서 업무성과^[40] 등이 DEA로써 평가된다. DEA의 활발한 적용분야로서 교육내용, 학교운영 효율성평가 등을 참고할 수 있다^[8,27,30,33]. 은행지점운영 DEA효율성지수를 비교하고 비효율유발요인을 판정한 연구결과^[42] 및 병원운영 효율성평가 관련, 계량경제학 비용함수와 DEA모형간 비교연구가 제시된 바 있다^[24]. R&D 효율성평가에 대한 DEA강점, 연구사례를 확인할 수 있다^[20,21]. 또한, 시간흐름을 고려한 DEA/Window Analysis(WA)모

형이 Charnes *et al.*^[29]에 의해 제안된 이후, 국내에서도 DEA/WA를 활용한 종합병원^[6] 효율성평가가 시도된 바 있다.

최근 적용분야를 넓혀; 1)군사-탄약중대 효율성평가^[7]; 2)금융-헤지펀드(hedge fund), 상품거래전문가(commodity trading advisors) 효율성평가^[37]; 3)기금운용-정보화촉진기금^[18]; 4)부동산-주택가격평가^[5]; 5)스포츠-프로야구선수 성과측정^[9] 등에서 DEA활용사례가 보고된다. 한편, CCR모형의 대표적 확장모형 2개를 발췌하면 아래와 같다. 이외에도 DEA모형의; 1)기본개념^[4,28,44]; 2)전형적 통계분석방법론과의 차이점^[35,41,45]; 3)강·약점^[4,20,21,35,37,41,44,45]; 및 4)CCR, BCC모형의 연구방법론적 기여도^[22,23,32] 등이 참고될 수 있다.

• 외생고정변수: Banker and Morey^[26]는 외생고정변수를 갖는 DEA모형을 제안한다. Cooper *et al.*^[34]에서도 외생고정변수를 갖는 DEA모형이 설명되며, 외생고정변수를 갖는 DEA모형을 비제어변수, 비자유변수를 순서대로 갖는 NCN, NDSC모형으로 구분한다. Banker and Morey^[25]는 범주형변수(categorical variables)를 수용할 수 있는 혼합정수계획(Mixed-Integer programming) DEA모형을 수립한 바 있다.

• 출력/입력요소 가중치(multiplier) 제약: DEA모형의 출력/입력요소개수가 증가할수록, DEA효율성지수 '1' 값을 취하는 DMU개수도 증가한다. 이와 같은 공간차원(space dimensionality) 문제는, 출력/입력요소에 의해 구성되는 공간차원과 DMU개수와의 상대적 크기에 대한 직접적 결과라고 이해된다^[35,41]. 한편, multiplier가 '0'에 근접한 값 또는 상대적으로 큰 값을 취함으로써, 비효율적 DMU가 효율적 DMU로 평가될 수 있는 문제점도 지적된다^[5,9,35,41]. 이와 같은 문제해결방법으로; 1)Cone Ratio(CR) model^[31]; 2)Assurance Region(AR) method^[43] 등이 제안된다.

III. 분석자료

3.1 IT중소기업기술개발 출연과제 성과지표체계

본 연구대상 정부자금지원정책을 포괄하는 국가R&D사업 성과평가지, 국내외에서 공통적으로 이용될 수 있는 성과지표체계는 2단계로 나누어; 1)상위-직접, 간접성과; 2)하위-(직접)기술적성과,

경제적성과, 경제·사회적파급효과, (간접)연구기술성과, 수혜기업성장, 정부지원검증 등으로 구성될 수 있다^[16]. 또한, IT중소기업 정부자금지원정책 성과지표체계 설계시, 정보통신연구진흥원에서 기 보유한 성과지표체계와 연계되어 분석될 수 있는 성과지표를 정립하는 것이 바람직하다고 판단된다. 표 1은 본 연구대상 정부지원사업(A), 정부지원사업(B) 성과지표체계이다. IT중소기업기술개발 출연과제는 1년 이내 단기상용화가 가능한 IT산업 기술위주 지원정책 관리과제로서 기술적성과, 경제적성과가 가장 핵심적인 성과지표로 판단된다.

3.2 출력요소 실현주기

과제착수에 따른 입력요소 투입시점부터 출력요소 실현주기를 고려한 출력/입력요소 측정시점·수집기간의 설정이 필요하다. 아래처럼 '02-'06년 최근 5년간 착수과제대상, 정부지원사업(A), 정부지원사업(B)의 특허출원·등록성과, 매출액발생에 대한 선행조사결과에 기초해, 출력/입력요소 측정시점·수집기간의 설정을 시도한다^[16]. 종합하면; 1)특허출원·등록성과는 과제착수 2년차에 최대값을 갖고, 4년차까지의 누적성과는 총성과의 약 90%이상을 상회하며; 2)최초매출액은 3년차에 최대값을 갖고, 4년차까지의 누적성과는 총성과의 약 85%이상을 상회하는 것이 확인된다.

• 특허출원·등록성과는 과제착수년차를 1년차로 하면; 1)정부지원사업(A) 관리과제는 1→2→3→4년차에 출원 33→56→9→3%, 등록 12→37→22→25%가 발생; 2)정부지원사업(B) 관리과제는 1→2→3→4년차에 출원 28→56→12→2%, 등록 10→27→26→22%가 발생하는 것으로 조사된다. 4년차까지의 특허출원대비 등록비율은 정부지원사업(A)는 46%, 정부지원사업(B)는 53%인 것으로 확인된다.

• 정부지원사업(A), 정부지원사업(B) 관리과제는 과제착수년차를 1년차로 하면, 3년차에 최초매출액발생이 가장 많이 발생하며, 2년차→4년차 순서로 최초매출액발생이 빈번하다. 2-4년차 사이에 정부지원사업(A) 86%, 정부지원사업(B) 85% 과제가 최초매출액발생을 보고한다.

3.3 DEA자료구조

그림 1은 IT중소기업기술개발 출연과제를

표 1. 정부지원사업(A) 및 정부지원사업(B) 성과지표체계

1단계	2단계	성과지표	조사·측정방법
직접성과	기술적성과	특허출원·등록건수 논문게재건수	성과조사표 논문DB검색 특허청DB검색
	경제적성과	신제품·기존제품매출액 수출액 제품화·기술상용화성공률 기술료납부액	성과조사표 IITA기술료납부액조사자료
	경제·사회적파급효과	기업재무성과개선수준 신규고용창출수 사업수요자만족도	성과조사표
간접성과	연구기술성과	기술개발성공율 기술개발수준 기술개발투자유인수준	성과조사표 IITA관리과제최종평가자료
	수혜기업성장	기업경영성과개선수준 IPO건수	성과조사표 KOSDAQ등록기업DB검색
	정부지원검증	정부지원타당성 정부지원효과성	성과조사표

DMU로 정의한 DEA자료구조를 제시한다. DMU 입력요소는; 1)지원정책·관리과제와의 직접연관요소(D); 2)지원정책과 무관한 과제착수시점 기업역량요소(ND) 2가지로 구분한다. 출력요소는 표 1에 정리된 직접성과지표중; 1)특허등록건수(기술적성과); 2)대상과제 신제품·기존제품매출액(경제적성과); 3)성과평가종료시점 기업재무성과개선수준, 신규고용창출수 (경제·사회적파급효과)가 고려된다.

그림 1에서 직접연관요소($x_i, i \in D = \{1, 2, 3\}$)로서, ①정부자금지원금액($x_1 = x_{D_1}$), ②수혜기업의 기업자체R&D투자액(과제수행중, $x_2 = x_{D_2}$), ③기업자체R&D투자액(과제종료후, $x_3 = x_{D_3}$), ④기업 R&D인력($x_4 = x_{D_4}$; manyear, MY)을 고려한다. §5 사례분석에 대응되도록 출력/입력요소별 자료 측정시점·수집기간이 아래에 병기된다. 즉, 과제 착수시점 '02년기준, x_{D_1} 은 '02-'03년 2회 분할집행된 정부자금지원금액으로 집계된다. x_{D_2} '02-'03년, x_{D_3} '04-'06년, x_{D_4} '02-'05년간 집계된다. 기업 역량요소($x_i, i \in ND = \{4, 5, 6\}$)로서, ①기업자산($x_4 = x_{ND_1}$), ②기업매출액($x_5 = x_{ND_2}$), ③기업인력($x_6 = x_{ND_3}$)을 고려한다. 3개 기업역량요소는 과제 착수시점 기업역량을 반영하게끔, 과제착수시점 '02년말시점 자료로써 집계된다.

출력요소로서; 1)기술적성과는 특허등록건수(y_1); 2)경제적성과는, ①신제품매출액(대상과제, y_2), ②기존제품매출액(대상과제, y_2''); 3)경제·사회적파급효과는, ①기업자산(y_3), ②기업매출액(y_4), ③기업인력

(y_5), ④기업영업이익(y_6)이 포함된다. 마찬가지로, 과제착수시점 '02년기준, y_1, y_2, y_2'' 은 '02-'06년까지 5년간 누적성적으로 집계되며, 나머지 경제·사회적파급효과를 나타내는 $y_r (r = 3, \dots, 6)$ 은 '06년말시점 자료를 이용한다.

IV. 모형수립

4.1 DEA기본모형: CCR, BCC, SE모형

식(1)은 본 연구 DEA기본모형인 CCR모형이다. n 개 DMU집합에서 DMU k 의 DEA효율성지수 θ_k 를 계산하는 모형으로서, 임의의 DMU j 의 가중치 λ_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 $\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j$ 이다. 식(1)에 제약식 식(2)를 추가하면 BCC모형이 된다^[23,28,32,34,35,37,41,45].

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \tag{2}$$

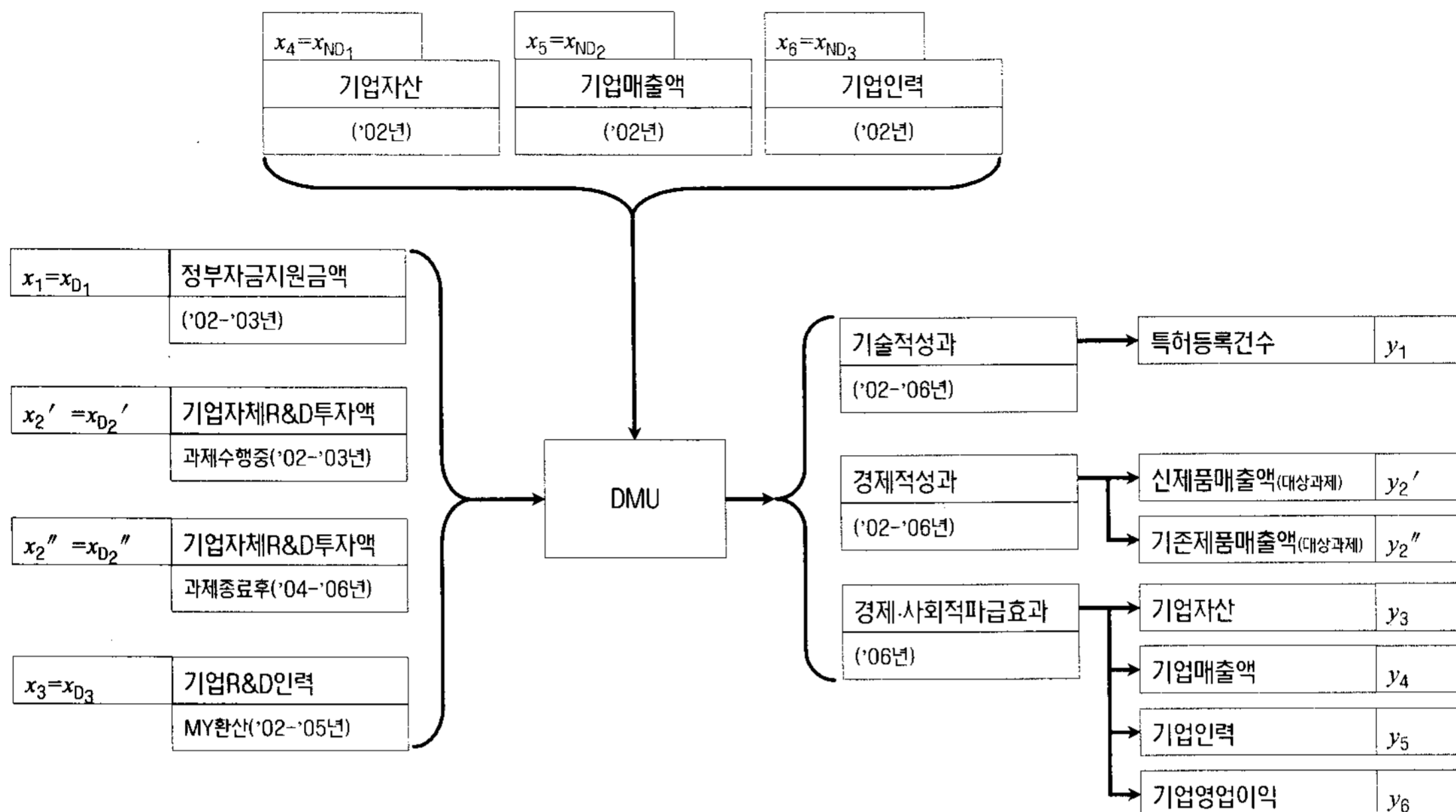


그림 1. DEA자료구조

CCR모형의 DEA효율성지수가 '1'로 계산된 DMU중에는, 자료외곽표면인 frontier에 존재하지만 weakly efficient하거나, frontier에 존재하고 efficient하지만 extreme point가 아닌 DMU가 혼재 가능하다. 이와 같은 2가지 경우 DMU를 extreme point DMU와 차등해 순위를 부여할 수 있는 SE모형을 고려할 수 있다. 식(3)은 SE모형이며, frontier를 표현하는 가상복합(hypothetical composite)

$\sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j y_{rj}$, $\sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j x_{ij}$ 구성시, 평가대상 DMUk를 제외함으로써 DMUk가 super-efficient인지를 판별한다. DEA기본모형인 CCR, BCC, SE모형 3개 모두 직접연관요소($i \in D$)만을 고려한다.

$$\min_{\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j} z_k(\theta_k, s_r^+, s_i^-) = \theta_k - \epsilon \left(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i \in D} s_i^- \right)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad \forall r \\ & \theta_k x_{ik} - \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = 0 \quad \forall i \in D \\ & \theta_k \text{ free in sign} \\ & s_r^+, s_i^-, \lambda_j \geq 0 \quad \forall r, i \in D, j \\ & \epsilon \text{ infinitesimal positive number} \end{aligned}$$

(3)

4.2 DEA확장모형: NCN, NDSC모형

식(4)는 본 연구 DEA확장모형인 NCN모형으로,

제약식 식(5)를 식(1)에 추가해 기업역량요소 ($i \in ND$)를 CCR모형에 포함시킨 것이다. 즉, 평가대상 DMUk와 동일수준 기업역량을 갖는 가상복합이 구성되도록 모형이 제약된 것이다.

$$\min_{\theta_k, s_r^+, s_i^-, \lambda_j} z_k(\theta_k, s_r^+, s_i^-) = \theta_k - \epsilon \left(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i \in D} s_i^- \right)$$

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

(4)

$$x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} = 0 \quad \forall i \in ND \quad (5)$$

한편, NDSC모형은, 식(1)에 제약식 식(6)을 추가하고, 이와 함께 식(4) 비음제약식 $s_i^- \geq 0 \quad \forall i \in D$ 를 $s_i^- \geq 0 \quad \forall i$ 로 변경하여 수립된다. 즉, NDSC모형은 평가대상 DMUk와 동일수준이하 기업역량을 갖는 가상복합을 구성해 DEA효율성지수가 계산된다. 한편, NCN, NDSC모형활용시, 출력요소중 경

표 2. DEA 사례분석 testbed dataset

No.	DMU ID	사업구분	기술분야	정부자금지원 금액	기업자체 R&D투자액	기업R&D 인력	기업자산	기업매출액	기업인력
		(A):1,(B):2	통신:1,전파:2 정보:3,부품:4	'02-'03년 (백만원)	'02-'06년 (백만원)	'02-'05년 (MY)	'02년 (백만원)	'02년 (백만원)	'02년 (명)
				$x_1 = x_{D_1}$	$x_2 = x_{D_2}$	$x_3 = x_{D_3}$	$x_4 = x_{ND_1}$	$x_5 = x_{ND_2}$	$x_6 = x_{ND_3}$
1	A	1	1	100	130	1.10	435	549	13
2	B	1	1	100	50	1.10	243	234	12
3	C	1	1	100	850	2.70	1121	716	11
4	D	1	3	100	150	2.50	3500	5090	39
5	E	1	4	150	50	1.20	100	202	2
6	F	1	1	150	250	1.40	170	692	11
7	G	2	2	200	30	3.30	7045	17415	19
8	H	2	3	150	200	5.55	4800	4600	40
9	I	2	3	90	470	10.00	335	929	14
10	J	2	3	160	9	12.45	200	300	12
11	K	2	3	102	100	2.40	600	3	9
12	L	2	4	130	430	4.40	170	430	6
13	M	2	3	166	263	15.15	446	364	3
14	N	2	3	600	1397	43.20	847	1393	38
15	O	2	2	150	29	4.80	787	1727	26
16	P	2	1	100	63	12.00	1635	746	9
17	Q	2	3	83	200	2.00	60	250	5
18	R	2	3	176	250	6.00	530	250	10
19	S	2	2	123	548	3.20	192	50	7
20	T	2	3	266	300	7.80	3386	2389	26
21	U	2	3	125	925	5.50	2100	5727	22
22	V	2	4	335	200	9.20	4741	1070	21

표 2. DEA 사례분석 testbed dataset(계속)

No.	DMU ID	특허등록건수	신제품·기존제품 판매출액	기업자산	기업매출액	기업인력	기업영업이익
		'02-'06년 (건수)	'02-'06년 (백만원)	'06년 (백만원)	'06년 (백만원)	'06년 (명)	'06년 (백만원)
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
1	A	2	60	780	950	18	90
2	B	0	50	912	1770	31	110
3	C	0	750	2340	2060	15	350
4	D	0	101	8200	9040	67	800
5	E	8	1405	420	423	7	40
6	F	0	50	2600	2100	20	200
7	G	4	727	20000	21596	27	500
8	H	0	600	5350	5055	39	250
9	I	0	1002	1260	2000	27	214
10	J	0	1837	300	340	7	50
11	K	0	150	6000	52	23	12
12	L	0	100	250	1000	10	30
13	M	0	271	500	581	5	100
14	N	0	110	8694	7200	89	1100
15	O	12	776	1426	3026	27	317
16	P	6	120	2012	1558	13	450
17	Q	4	300	300	700	10	150
18	R	2	290	790	1300	8	130
19	S	2	3030	1400	980	14	200
20	T	0	113	2969	1602	23	30
21	U	0	7171	3500	4200	36	500
22	V	0	300	46482	44796	40	8318

제·사회적파급효과 성과지표관련 성과평가종료시점
기업재무성과개선수준, 신규고용창출수를 나타내는

y_r ($r=3, \dots, 6$)을 '02년대비 '06년증가율로 변환할
필요가 없기에, 변환시 발생할 수 있는 (-)증가율

자료에 따른 자료손실을 회피할 수 있는 모형상 장점도 있다고 판단된다.

$$x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = 0 \quad \forall i \in ND \quad (6)$$

V. 사례분석

5.1 Testbed dataset

정보통신연구진흥원이 사업시행주체가 되고, 정보화촉진기본법 제22조 ‘정보통신우수기술에 대한 지원’에 근거하여 ‘96년부터 시행되고 있는 출연사업인 정부지원사업(A)와 제18조 ‘연구개발의 추진’에 근거하여 ‘99년부터 시행되고 있는 출연사업인 정부지원사업(B)중 ‘02년 과제착수된 22개 ((A) 6개, (B) 16개) 관리과제를 대상으로 실사·정리된 testbed dataset을 이용한 DEA사례분석을 예시한다. 그림 1 DEA자료구조를 갖는 DEA사례분석 testbed dataset 표 2에서; 1) $x_2 = x_{D_2} = x_{D_2'} + x_{D_2''}$ 기업자체R&D투자액; 2) $y_2 = y_2' + y_2''$ 대상과제 신제품·기존제품매출액으로 합산되어 분석된다.

5.2 DEA모형별 주요계산결과 요약 및 비교

표 3,4,5는 5개 DEA모형별 주요계산결과 및 §5.3에서 설명될 AHP를 활용한 DEA모형통합 2개 결과를 요약·비교한다. 본 연구에서는; 1)Microsoft^R, Office Excel 2003; 2)Frontline Systems, Premium Solver Platform v7.1; 3)DEA-Solver로써 계산된다 [34,36]

표 3은 22개 DMU별 DEA효율성지수 (ES)를 요약한다. DEA모형마다 DEA효율성지수가 달리 계산되지만 7개 ES계열중 ES₆,ES₇에 기초하면, efficient한 DMU ID는 B,D,E,G,J,O,U,V 7개인 것으로 판정된다. 그림 5는 DMU ID별 ES를 ES₆기준 오름차순정렬한 그래프이며, ES₃는 그래프 오른쪽 y좌표축에 맞추어 작성된 것이고, 나머지 6개 ES계열은 왼쪽 y좌표축에 맞추어 작성된다. 그림 5에서 확인되는 것처럼 ES₆,ES₇계열이 동일 y좌표축을 이용하는 나머지 4개 ES계열의 중간위치에서 진동(oscillation)하므로 DEA모형통합의 효과가 반영된 것으로 이해된다.

표 6.(a)는 7개 ES계열간 총21개 상관계수(correlation coefficient)와 상관계수의 p-value를 아래에 요약한다. 총21개 경우 모두에서 양(+의) 상관성이 유지되는 것이 확인된다. DEA효율성지수

자체보다는 DEA순위차등·판별이 목적인 SE모형을 제외한 4개 DEA모형간 상관계수 6개가 [0.725,0.944] 범위에 있어 4개 DEA모형간 DEA효율성지수 계산에 일정수준 일관성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, NDSC vs. BCC, NDSC vs. NCN, NCN vs. BCC 상관계수가 순서대로 0.944, 0.879, 0.813으로 가장 큰 값을 갖는다 (p-value=0.000). VRS(variable returns to scale) 가정을 반영한 BCC모형의 NDSC, NCN모형과의 상관성이 매우 큰 점에 기초할 때, 기업역량요소 ($i \in ND$)를 이용한 DEA확장모형인 NDSC, NCN모형의 DEA효율성지수의 정확성에 대등한 결과가 BCC모형으로써 확보될 가능성이 있음을 확인할 수 있다. ES₂ vs. ES₆,ES₇ 상관계수 역시 순서대로 0.936, 0.952(p-value=0.000)로서 매우 큰 값이 확인된다. 그림 2는 표 6.(a) 7개 ES계열간 상관계수를 시각화한 산점도행렬(scatter diagram matrix)로서, 총21개 산점도가 정리된다.

표 4는 22개 DMU별 DEA순위(rank original, RO)를 요약한다. 표 3 DEA모형통합계열 ES₆,ES₇ 산정시 SE모형을 제외한 4개 DEA모형만으로 DEA효율성지수가 통합되고, ES₆,ES₇을 기준으로 산정된 RO₆,RO₇을 기준으로 DEA순위 ‘1’값을 갖는 DMU ID B,D,E,G,J,O,U,V와 SE모형의 DEA순위 ‘1’-‘8’까지의 값을 갖는 DMU ID가 순서대로 J,V,G,E,O,U,D,B로서 일치하는 점에 기초할 때, SE모형의 DEA순위차등·판별이 기업역량요소($i \in ND$)를 이용한 DEA확장모형인 NDSC, NCN모형의 DEA순위를 활용한 DEA모형통합 DEA순위와 대등한 결과를 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 표 6.(b)는 7개 RO계열간 총21개 상관계수(correlation coefficient)와 상관계수의 p-value를 아래에 요약한다. CCR모형으로부터 파생된 SE모형이기에 RO₁ vs. RO₃ 상관계수 0.970(p-value=0.000)로서 높은 것은 예상된 바이다. RO₁을 차등·판별한 RO₃ vs. RO₆,RO₇ 상관계수가 순서대로 0.938, 0.931 (p-value=0.000)로서 확인된다. 그림 3은 표 6.(b) 7개 RO계열간 상관계수를 시각화한 산점도행렬이다.

표 5는 22개 DMU별 DEA역순위-동순위조정(rank reversed-ties adjusted, RR)를 요약한다^[38,39]. RO와는 달리 ES가 높을수록 순위도 비례해 큰 값을 부여하되 동순위 DMU에 대해서는 순위평균이 부여된 것으로서 표 3 ES를 이용하여 작성된다. 그

표 3. DEA모형별 주요계산결과 요약 및 비교¹: DEA효율성지수(ES)

No.	DMU ID	DEA기본모형			DEA 확장모형		DEA모형통합	
		CCR	BCC	SE	NCN	NDSC	AHPw ₁	AHPw ₂
		Eq.(1)	Eq.(1)+(2)	Eq.(3)	Eq.(4)	Eq.(4)-(5)+(6)	Eq.(9-1)	Eq.(9-2)
		ES ₁	ES ₂	ES ₃	ES ₄	ES ₅	ES ₆	ES ₇
1	A	0.8059	1	0.8059	1	0.8059	0.9112	0.8839
2	B	1	1	1.3120	1	1	1	1
3	C	0.4232	0.9064	0.4232	0.9505	0.5578	0.7548	0.6961
4	D	1	1	2.4383	1	1	1	1
5	E	1	1	3.2340	1	1	1	1
6	F	0.5538	0.9402	0.5538	1	1	0.9602	0.9528
7	G	1	1	3.4310	1	1	1	1
8	H	0.5862	0.7163	0.5862	1	0.5862	0.7671	0.6955
9	I	0.5547	1	0.5547	1	1	0.9694	0.9649
10	J	1	1	7.2618	1	1	1	1
11	K	0.5898	1	0.5898	1	1	0.9718	0.9676
12	L	0.1214	0.6432	0.1214	0.3966	0.2472	0.3574	0.3468
13	M	0.1145	0.5469	0.1145	0.1727	0.1218	0.2063	0.2169
14	N	0.2236	1	0.2236	1	1	0.9467	0.9388
15	O	1	1	2.7073	1	1	1	1
16	P	0.8674	1	0.8674	1	1	0.9909	0.9895
17	Q	0.7370	1	0.7370	1	1	0.9819	0.9793
18	R	0.1935	0.5284	0.1935	0.5970	0.2734	0.4329	0.3833
19	S	0.7369	0.9194	0.7369	1	1	0.9696	0.9630
20	T	0.1660	0.3633	0.1660	0.6490	0.1660	0.3841	0.3027
21	U	1	1	2.4426	1	1	1	1
22	V	1	1	5.7413	1	1	1	1

표 4. DEA모형별 주요계산결과 요약 및 비교²: DEA순위(RO)

No.	DMU ID	DEA기본모형			DEA 확장모형		DEA모형통합	
		CCR	BCC	SE	NCN	NDSC	AHPw ₁	AHPw ₂
		Eq.(1)	Eq.(1)+(2)	Eq.(3)	Eq.(4)	Eq.(4)-(5)+(6)	Eq.(9-1)	Eq.(9-2)
		RO ₁	RO ₂	RO ₃	RO ₄	RO ₅	RO ₆	RO ₇
1	A	10	1	10	1	16	16	16
2	B	1	1	8	1	1	1	1
3	C	17	17	17	18	18	18	17
4	D	1	1	7	1	1	1	1
5	E	1	1	4	1	1	1	1
6	F	16	15	16	1	1	14	14
7	G	1	1	3	1	1	1	1
8	H	14	18	14	1	17	17	18
9	I	15	1	15	1	1	13	12
10	J	1	1	1	1	1	1	1
11	K	13	1	13	1	1	11	11
12	L	21	19	21	21	20	21	20
13	M	22	20	22	22	22	22	22
14	N	18	1	18	1	1	15	15
15	O	1	1	5	1	1	1	1
16	P	9	1	9	1	1	9	9
17	Q	11	1	11	1	1	10	10
18	R	19	21	19	20	19	19	19
19	S	12	16	12	1	1	12	13
20	T	20	22	20	19	21	20	21
21	U	1	1	6	1	1	1	1
22	V	1	1	2	1	1	1	1

림 6은 DMU ID별 RR을 RR₆기준 오름차순정렬한 그래프이다. 그림 5와 마찬가지로 RR₃는 그래프 오른쪽 y좌표축에 맞추어 작성된 것이고, 나머지 6개

RR계열은 왼쪽 y좌표축에 맞추어 작성된다. 하지만 이 경우에는 7개 RR계열 모두 동일한 척도를 갖는다. 그림 5,6의 일치성을 확인할 수 있는데, RR₆,

표 5. DEA모형별 주요계산결과 요약 및 비교³⁾: DEA역순위-동순위조정(RR)

No.	DMU ID	DEA기본모형			DEA확장모형		DEA모형통합	
		CCR	BCC	SE	NCN	NDSC	AHPw ₁	AHPw ₂
		Eq.(1)	Eq.(1)+(2)	Eq.(3)	Eq.(4)	Eq.(4)-(5)+(6)	Eq.(9-1)	Eq.(9-2)
		RR ₁	RR ₂	RR ₃	RR ₄	RR ₅	RR ₆	RR ₇
1	A	13	15.5	13	14	7	7	7
2	B	18.5	15.5	15	14	15	18.5	18.5
3	C	6	6	6	5	5	5	6
4	D	18.5	15.5	16	14	15	18.5	18.5
5	E	18.5	15.5	19	14	15	18.5	18.5
6	F	7	8	7	14	15	9	9
7	G	18.5	15.5	20	14	15	18.5	18.5
8	H	9	5	9	14	6	6	5
9	I	8	15.5	8	14	15	10	11
10	J	18.5	15.5	22	14	15	18.5	18.5
11	K	10	15.5	10	14	15	12	12
12	L	2	4	2	2	3	2	3
13	M	1	3	1	1	1	1	1
14	N	5	15.5	5	14	15	8	8
15	O	18.5	15.5	18	14	15	18.5	18.5
16	P	14	15.5	14	14	15	14	14
17	Q	12	15.5	12	14	15	13	13
18	R	4	2	4	3	4	4	4
19	S	11	7	11	14	15	11	10
20	T	3	1	3	4	2	3	2
21	U	18.5	15.5	17	14	15	18.5	18.5
22	V	18.5	15.5	21	14	15	18.5	18.5

RR₇계열 역시 나머지 5개 RR계열사이에 위치하는 경향을 보이며, 특히 RR₁, RR₃에 근접한 패턴을 갖는다. 표 6.(c) 역시 표 6.(b)와 유사한 상관계수 결과가 확인된다. 그림 4는 표 6.(c) 7개 RR계열간 상관계수를 시각화한 산점도행렬이다.

$$A_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{NDSC} & \text{NCN} & \text{BCC} & \text{CCR} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{NDSC} \\ \text{NCN} \\ \text{BCC} \\ \text{CCR} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7-2)$$

5.3 AHP를 활용한 DEA모형통합

전술된 다수 DEA모형의 주요계산결과중 특히 DEA효율성지수를 통합하기 위한 모형별 가중치를 산정하기 위한 방법으로, $Aw^T = \Delta w^T$ 를 만족하는 AHP pairwise comparison matrix A로서 식(7) A₁, A₂ 2가지를 고려한다⁴⁴⁾.

$$A_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{NDSC} & \text{NCN} & \text{BCC} & \text{CCR} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{NDSC} \\ \text{NCN} \\ \text{BCC} \\ \text{CCR} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7-1)$$

DEA기본모형에 비해 DEA확장모형에 상대적으로 큰 중요도를 부여하는 것을 원칙으로 하되 §5.2 DEA모형간 상관계수를 참고하여, A₁은 NDSC, NCN→BCC→CCR, A₂는 NDSC→NCN, BCC→CCR 순서대로 중요도가 부여된다. AHP가중치벡터 w를 추정하기 위해 A의 normalized matrix A_{norm}을 계산하면, 식(8) A_{1 norm}, A_{2 norm} 과 같다.

$$A_{1 \text{ norm}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{NDSC} & \text{NCN} & \text{BCC} & \text{CCR} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{NDSC} \\ \text{NCN} \\ \text{BCC} \\ \text{CCR} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.3947 & 0.3947 & 0.4091 & 0.3571 \\ 0.3947 & 0.3947 & 0.4091 & 0.3571 \\ 0.1316 & 0.1316 & 0.1364 & 0.2143 \\ 0.0789 & 0.0789 & 0.0455 & 0.0714 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8-1)$$

표 6. 상관계수, (a)DEA 효율성지수(ES); (b)DEA 순위(RO); (c)DEA 역순위-동순위조정(RR)

(a)ES							
	CCR ES ₁	BCC ES ₂	SE ES ₃	NCN ES ₄	NDSC ES ₅	AHPw ₁ ES ₆	
BCC ES ₂	0.763 0.000						
SE ES ₃	0.687 0.000	0.426 0.048					
NCN ES ₄	0.725 0.000	0.813 0.000	0.353 0.107				
NDSC ES ₅	0.792 0.000	0.944 0.000	0.447 0.037	0.879 0.000			
AHPw ₁ ES ₆	0.824 0.000	0.936 0.000	0.456 0.033	0.945 0.000	0.983 0.000		
AHPw ₂ ES ₇	0.831 0.000	0.952 0.000	0.471 0.027	0.913 0.000	0.993 0.000	0.996 0.000	

(b)RO							
	CCR RO ₁	BCC RO ₂	SE RO ₃	NCN RO ₄	NDSC RO ₅	AHPw ₁ RO ₆	
BCC RO ₂	0.748 0.000						
SE RO ₃	0.970 0.000	0.756 0.000					
NCN RO ₄	0.682 0.000	0.790 0.000	0.717 0.000				
NDSC RO ₅	0.684 0.000	0.796 0.000	0.692 0.000	0.853 0.000			
AHPw ₁ RO ₆	0.974 0.000	0.775 0.000	0.938 0.000	0.694 0.000	0.792 0.000		
AHPw ₂ RO ₇	0.968 0.000	0.788 0.000	0.931 0.000	0.680 0.000	0.792 0.000	0.998 0.000	

(c)RR							
	CCR RR ₁	BCC RR ₂	SE RR ₃	NCN RR ₄	NDSC RR ₅	AHPw ₁ RR ₆	
BCC RR ₂	0.781 0.000						
SE RR ₃	0.976 0.000	0.762 0.000					
NCN RR ₄	0.737 0.000	0.820 0.000	0.719 0.000				
NDSC RR ₅	0.727 0.000	0.842 0.000	0.709 0.000	0.882 0.000			
AHPw ₁ RR ₆	0.960 0.000	0.815 0.000	0.937 0.000	0.751 0.000	0.846 0.000		
AHPw ₂ RR ₇	0.951 0.000	0.832 0.000	0.929 0.000	0.733 0.000	0.846 0.000	0.996 0.000	

$$A_{2\text{norm}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{NDSC} & \text{NCN} & \text{BCC} & \text{CCR} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{NDSC} \\ \text{NCN} \\ \text{BCC} \\ \text{CCR} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.5357 & 0.5625 & 0.5625 & 0.4167 \\ 0.1786 & 0.1875 & 0.1875 & 0.2500 \\ 0.1786 & 0.1875 & 0.1875 & 0.2500 \\ 0.1071 & 0.0625 & 0.0625 & 0.0833 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8-2)$$

$A_{1\text{norm}}, A_{2\text{norm}}$ 에 대응하는 w 를 추정하면 식(9)와 같다. 이후 w_1, w_2 는 AHP가중치벡터 추정치를 표시한다. A 일관성검사(consistency checking)를 실시하면; 1) A_1, A_2 일관성지수(consistency index, CI)는 순서대로 $CI_1 = 0.0146, CI_2 = 0.0145$; 2) 랜덤지수 (random index, RI)는 $RI_{n=4} = 0.90$; 3)

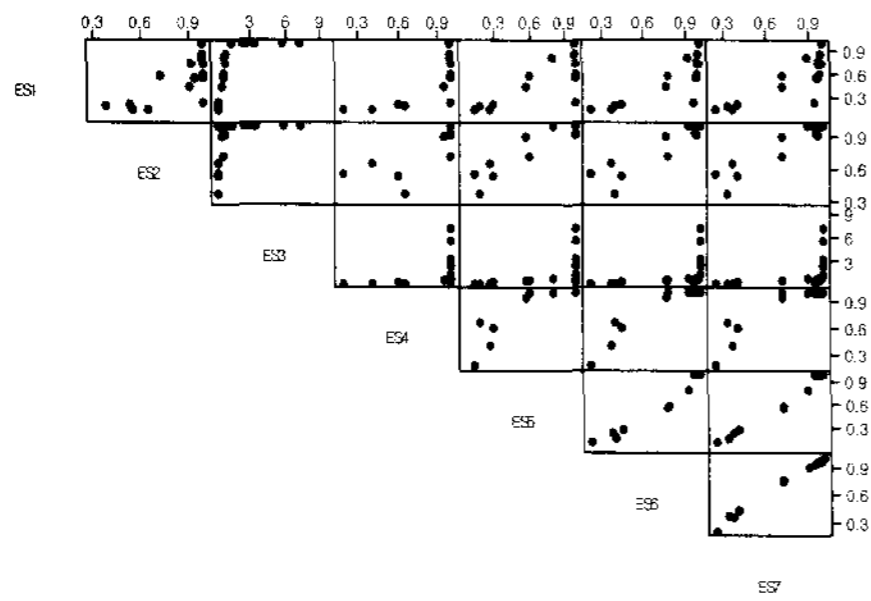


그림 2. 산점도행렬¹: DEA 효율성지수(ES)

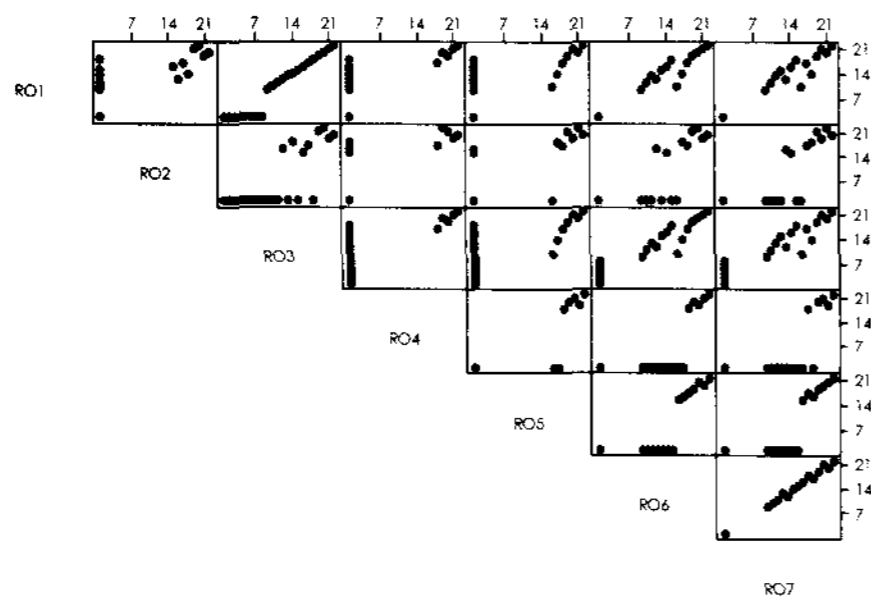


그림 3. 산점도행렬²: DEA 순위(RO)

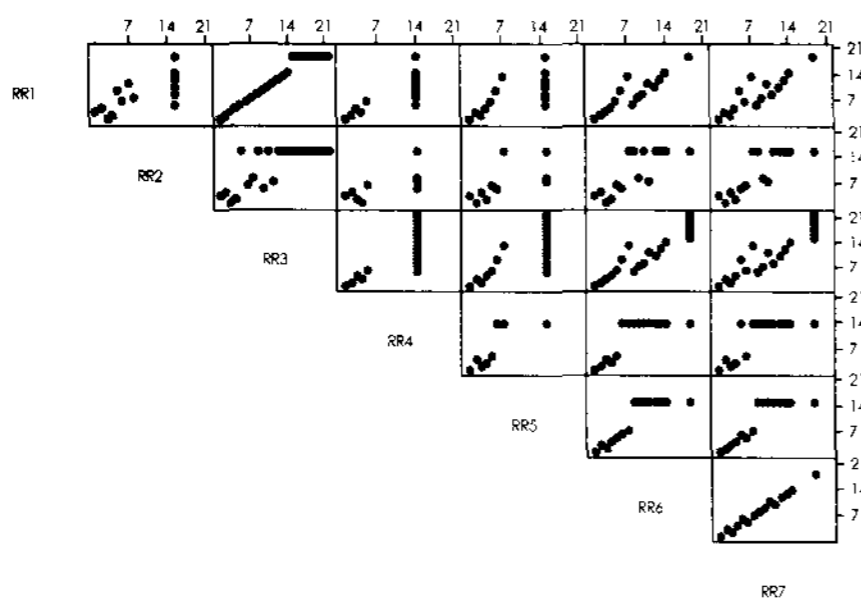


그림 4. 산점도행렬³: DEA 역순위-동순위조정(RR)

$CI_1/RI_{n=4} = 0.0163$, $CI_2/RI_{n=4} = 0.0161$ 로서 모두 0.10보다 작기에 2개 A 일관성은 확보된 것으로 판단된다.

$$w_1 = (w_{NDSC}, w_{NCN}, w_{BCC}, w_{CCR}) = (0.3889, 0.3889, 0.1535, 0.0687) \quad (9-1)$$

$$w_2 = (w_{NDSC}, w_{NCN}, w_{BCC}, w_{CCR}) = (0.5193, 0.2009, 0.2009, 0.0789) \quad (9-2)$$

5.4 기술분야별 성과유의차 판정

표 2에 22개 DMU의 기술분야가 통신1, 전파방

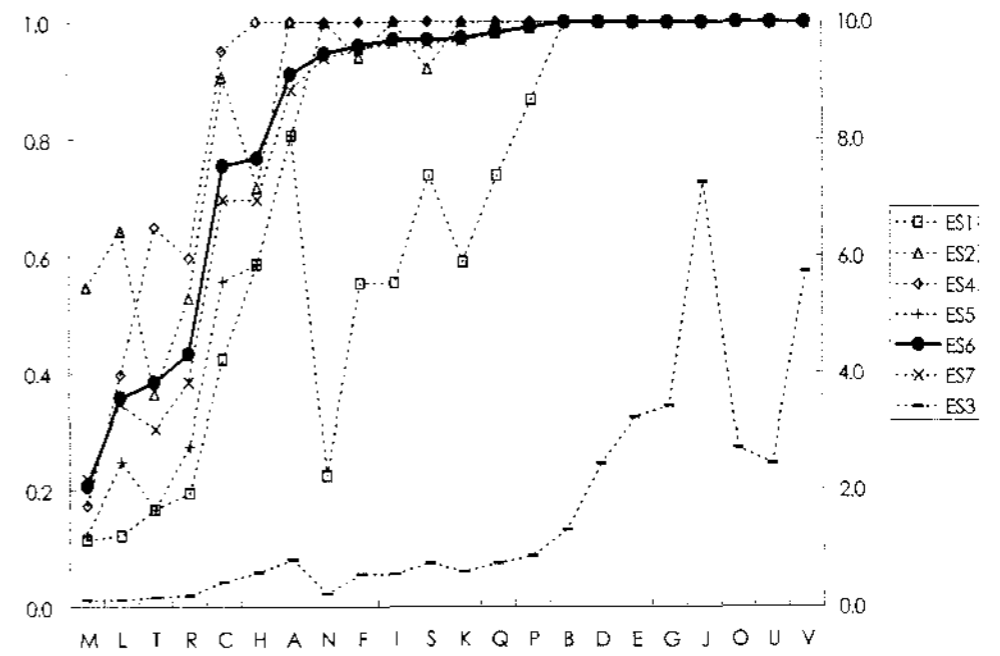


그림 5. DEA 효율성지수(ES) vs. DMU ID(ES₆오름차순정렬)

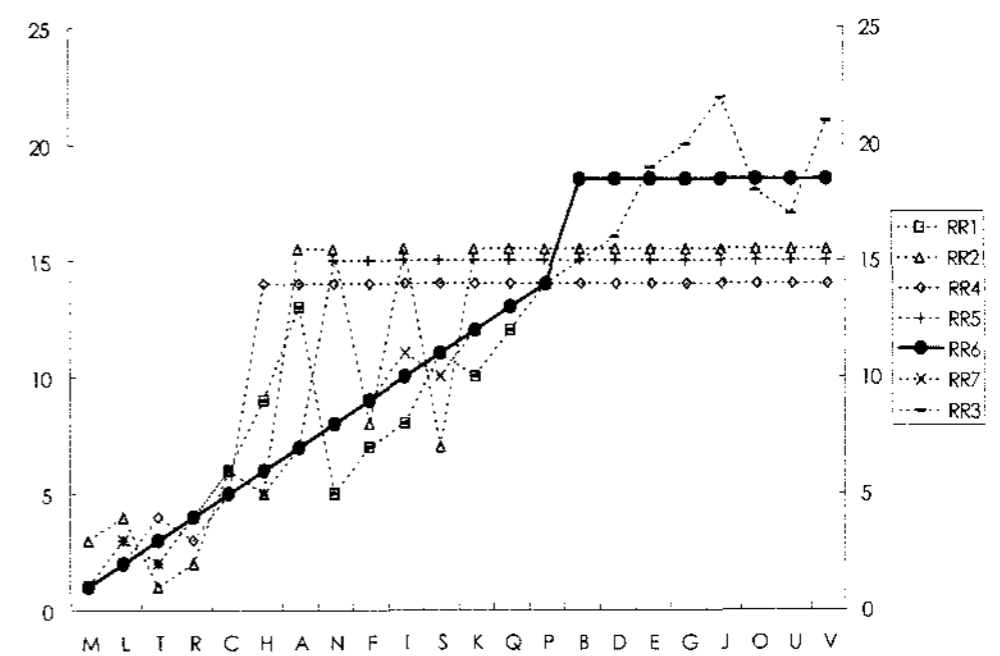


그림 6. DEA 역순위-동순위조정(RR) vs. DMU ID (RR₆오름차순정렬)

송2, 정보3, 부품4와 같이 4개 분야로 구분된다. 한편, 본 연구대상 2개 사업은 모두 직접자금지원출연 사업으로서 동일성격 단일사업으로 간주될 수 있음을 가정하고, DEA 효율성지수로써의 기술분야별 성과유의차 판정에 초점을 둔다. 표 7은 표 3 7개 ES 계열중 SE ES₃, NDSC ES₅, AHPw₁ ES₆ 3개 ES 계열에 대한 기술분야별 성과유의차 판정을 위한 일원분산분석(single-factor analysis of variance) 결과를 정리한다. 표 7 3개 panel 모두에서 확인되는 것처럼 F검정통계량의 p-value가 순서대로 0.398, 0.630, 0.565로서 모두 0.100보다도 상당히 큰 값을 취하므로, 기술분야별 성과유의차는 없는 것으로 판정될 수 있다. DEA 효율성지수에 대한 정규분포의 가정이 무리일 경우, 비모수(nonparametric) 일원분산분석인 Kruskal-Wallis Test로써 성과유의차를 판정하는 것이 바람직할 수 있다. 표 8은 표 7이 이용한 3개 ES 계열에 대한 Kruskal-Wallis Test 결과를 정리한다. 단, 4개 기술분야(즉, $a=4 > 3$) 표본 크기에 대한 조건 $n_i \geq 5, i=1,2,\dots,a$ 에서 $n_2 = n_4 = 3$ 으로 부족한 점은 본 사례분석 testbed dataset의 경우 지적될 수 있다.

표 7. 기술분야별 성과유의차 판정¹: 일원분산분석

(a)SE	SV	SS	DF	MS	F	P
	기술분야	11.3300	3	3.7800	1.0400	0.3980
	오차	65.2200	18	3.6200		
	합계	76.5500	21			
S=1.9040 R ² =0.1480						
(b)NDSC	SV	SS	DF	MS	F	P
	기술분야	0.1920	3	0.0640	0.5900	0.6300
	오차	1.9560	18	0.1090		
	합계	2.1480	21			
S=0.3297 R ² =0.0893						
(c)AHPw ₁	SV	SS	DF	MS	F	P
	기술분야	0.1408	3	0.0469	0.7000	0.5650
	오차	1.2086	18	0.0671		
	합계	1.3494	21			
S=0.2591 R ² =0.1044						

표 8. 기술분야별 성과유의차 판정²: 비모수일원분산분석, Kruskal-Wallis Test(DEA역순위 이용)

(a)SE	기술분야(i)	n _i	중위수	\bar{R}_i	Z _i
	1	5	0.806	11.0	-0.20
	2	3	2.707	16.3	1.39
	3	11	0.586	9.7	-1.28
	4	3	3.234	14.0	0.72
	전체(N)	22		11.5	
H=2.96			DF=3	P=0.398	
(b)NDSC	기술분야(i)	n _i	중위수	\bar{R}_i	Z _i
	1	5	1.000	11.4	-0.04
	2	3	1.000	15.0	1.00
	3	11	1.000	10.7	-0.56
	4	3	1.000	11.0	-0.14
	전체(N)	22		11.5	
H=1.05			DF=3	P=0.790	
H=1.53			DF=3	P=0.675 (동순위조정)	
(c)AHPw ₁	기술분야(i)	n _i	중위수	\bar{R}_i	Z _i
	1	5	0.960	10.7	-0.31
	2	3	1.000	16.0	1.29
	3	11	0.969	10.2	-0.92
	4	3	1.000	13.0	0.43
	전체(N)	22		11.5	
H=2.10			DF=3	P=0.552	
H=2.20			DF=3	P=0.531 (동순위조정)	

표 8 3개 panel 동순위조정 H검정통계량의 p-value가 순서대로 0.398, 0.675, 0.531로서 기술분야별 성과유의차는 없는 것으로 판정될 수 있다. 표 8.(a) SE모형 동순위조정의 필요성은 없다. 표 8은 N=22 표본전체 평균순위 \bar{R} 에 대한 기술분야별 평균순위 \bar{R}_i 의 표준화값 Z_i를 식(10)을 이용해 함께 정리한다^[38,39].

$$Z_i = \frac{(\bar{R}_i - \bar{R})}{\sqrt{\frac{(N+1)(N/n_i - 1)}{12}}} \quad (10)$$

표 8 3개 panel 각각 4개 Z_i의 절대값 모두 표 준정규분포 95%백분위수 1.645를 상회하여, χ^2 분포에 기초해 전술한 p-value에 의한 성과유의차 판정결과와 일관됨을 확인할 수 있다. 표 7,8에서 분석되지 않은 나머지 모든 4개 ES계열 역시, 분석·정리된 3개 ES계열과 유사한 모수·비모수분산분석 결과를 갖는 것이 확인된다.

VI. 총 합

최근 국내 정보통신분야에 막대한 정부·민간자금이 소요되고 있는 상황에서, 관련 정부자금지원정책에 대한 정확성·신뢰성을 갖는 성과평가 모형·활용절차의 필요성은 절실하다. DEA는 IT중소기업 정부자금지원정책이라는 비영리사업분야 성과평가에 적합한 계량분석기법으로, 지원정책 성과평가에 적합한 DEA모형·활용절차를 제공함으로써, 정부·민간 자금 운영을 바람직한 방향으로 유도할 수 있다고 기대된다.

본 연구는, IT중소기업 정부자금지원정책 성과평가를 위한 DEA자료구조를 설계하고, 제시된 자료구조에 맞춰 3개 DEA기본모형과 2개 DEA확장모형을 수립하고, AHP를 활용한 DEA모형통합을 시도하였다. 또한, 실사·정리된 실증자료를 이용한 사례분석이 예시되어 활용절차를 설명하였다.

첫째, DEA자료구조 설계에서는 관리과제 DMU별; 1)입력요소를 직접연관요소와 기업역량요소로 구분하고, 외생고정변수로서 기업역량요소를 모형화하였다; 2)출력요소와 관련해서는 출력요소 실현주기 선행조사결과에 기초하여 출력요소 측정시점·수집기간을 정의하고, 정부자금지원정책의 성과지표체계에 기초하여 출력요소를 선정하였다. 둘째, 수립된 5개 DEA모형 결과를 AHP를 활용한 DEA모형통합 결과와 비교·검토한 바, DEA기본모형에서는 BCC모형 DEA효율성지수와 SE모형 DEA순위가, DEA확장모형을 활용한 DEA모형통합과 거의 대등한 결과를 갖는 것으로 확인되었다. 셋째, AHP를 활용한 DEA모형통합 결과, DEA효율성지수와 이에 기초한 DEA순위 및 DEA역순위-동순위조정에서도 확인되는 것처럼, 단일 DEA모형사이 중간위치에 존재하는 절충결과를 갖도록 산정되었다. 평가대상

관리과제 DMU 22개중에서 효율성을 발휘한 8개 benchmark DMU를 판정하였다. 넷째, 사례분석 testbed dataset에 대한 모수·비모수분산분석에 의한 기술분야별 성과유의차는 없는 것으로 판정된다.

향후, testbed dataset 보강을 통한 사례분석결과 의 타당성 검증, AHP가중치벡터 산정의 체계적 실험계획이 연계될 수 있다. 특히, 정책적 함의 (implication)을 갖는 대규모 사례분석 혹은 실증조사가 필요하다고 판단된다. 또한, DEA효율성지수를 이용한 다수 사업부문간 비교·판별, DEA모형별 결정변수를 제약하는 다수 DEA모형 활용절차, 전문가실사결과와 DEA평가결과 비교·검증 등이 논의될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 과학기술부(MOST), 2007년도 정부연구개발사업 종합안내서, 과학기술부 과학기술혁신본부, 2007.
- [2] 과학기술정보통신위원회, 2007년도 정보통신진흥기금 운용계획안 검토보고서, 2006.
- [3] 김전위, DEA를 통한 지방행정 정보화, 한국학술정보(주), 2006.
- [4] 김세현, 경영과학개론, 개정판, 영지문화사, 2006.
- [5] 김재관, 김승권, "DEA-AR 기반의 부동산 가격 평가모형", 주택연구, 제15권, 제1호, pp.29-61, 2007.
- [6] 박경삼, 김운태, 정홍식, "DEA 및 DEA원도우분석을 이용한 대규모 종합병원의 시대별 경영효율성 변화분석", 경영학연구, 제34권, 제1호, pp.267-287, 2005.
- [7] 배영민, 김재희, 김승권, "IDEA를 이용한 탄약중대의 효율성 평가", IE Interfaces, 제19권, 제4호, pp.291-299, 2006.
- [8] 손소영, 주용규, "분류모형과 DEA를 이용한 두 뇌한국(BK)21 사업단 효율성 분석", IE Interfaces, 제17권, 제3호, pp.249-260, 2004.
- [9] 이덕주, 양원모, "DEA/OERA를 이용한 프로야구 선수들에 대한 성과 측정", IE Interfaces, 제17권, 제4호, pp.440-449, 2004.
- [10] 정보통신부(MIC), 2006년도 정보통신부 중소기업지원사업현황, 정보통신부 보고자료, 2006.
- [11] 정보통신부(MIC), IT839전략, <http://www.mic.go.kr/>, 2006.
- [12] 정보통신부(MIC), IT중소·벤처기업의 건전한 생태계 조성을 위한 IT SMERP 2010 계획 최종 수정본, 정보통신부 정책홍보관리실 보도자료, 2006.
- [13] 정보통신부(MIC), 과학기술정보통신위원회 보고자료, 2007.
- [14] 정보통신부(MIC)·정보통신연구진흥원(IITA), 정보통신진흥기금 성과분석 (기술개발투자사업), 2006.
- [15] 정보통신부(MIC)·정보통신연구진흥원(IITA), 2006년도 정보통신진흥기금사업 성과평가 지침, 정보통신진흥기금 평가자문단, 2007.
- [16] 정보통신부(MIC)·정보통신연구진흥원(IITA), 정보통신진흥기금 성과분석 (IT중소기업기술개발사업), 2007.
- [17] 정보통신연구진흥원(IITA), IT신기술개발사업 설문조사서: 1999-2006, 2007.
- [18] 지유나, 문태희, 손소영, "DEA와 로지스틱회귀 분석을 이용한 정보화촉진기금 융자사업의 효율성 분석", 기술혁신연구, 제12권, 제1호, pp.25-48, 2004.
- [19] 한국정보통신산업협회 (KAIT), IT중소벤처 생태계 조성 정책지원 사업보고서, 한국정보통신산업협회 IT통계정보센터, 2007.
- [20] 황석원, STEPI 정책연구 2006-12, R&D 프로그램의 유형별 경제성 평가 방법론 구축: 이론 및 실물옵션을 이용한 경제적 가치 선정의 사례 연구, 과학기술정책연구원, 2006.
- [21] 황용수, 황석원, STEPI 정책연구 2004-20, 정부 R&D 성과평가시스템의 진단 및 발전방향, 과학기술정책연구원, 2005.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Banker, R. D. and Morey, R., "The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, Vol.32, No.12, pp.1613-1627, 1986.
- [26] Banker, R. D. and Morey, R., "Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs", *Operations Research*, Vol.34, No.4, pp.513-521, 1986.
- [27] 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.
- [28] 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.

[29] Charnes, A., Clark, C. T., Cooper, W. W. and Golany, B., “A Developmental Study of Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the US Air Forces”, In Thompson, R. G. and Thrall, R. M., Edition, *Annals of Operations Research*, Vol.2, pp.95-112, 1985.

[30] 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.

[31] 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.

[32] 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.

[33] 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.

[34] Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Tone, K., *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text With Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2nd ed., New York: Springer, 2007.

[35] Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Zhu, J., *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Boston: Springer (Kluwer Academic Publishers), 2004.

[36] Frontline Systems, Inc., *Premium Solver Platform Version 7.1 for Microsoft Excel*, <http://www.solver.com/Default.htm>, 2007.

[37] Gregoriou, G. N. and Zhu, J., *Evaluating Hedge Fund and CTA Performance*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

[38] Minitab^R, *Minitab^R Release 14.20 StatGuide*, State College: Minitab Inc., 2005.

[39] Montgomery, D. C. and Runger, G. C., *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1999.

[40] Parks, R. B., “Technical Efficiency of Public Decision Making Units”, *Policy Studies Journal*, Vol.12, No.2, pp.337-346, 1983.

[41] 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.

[42] 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.

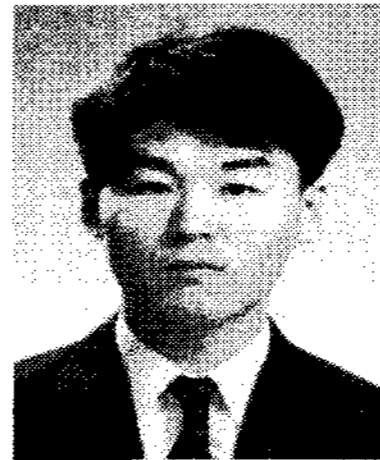
[43] Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. T., Lee, E. and Thrall, R. M., “The Role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis With Application to Kansas Farming”, *Journal of Econometrics*, Vol.46, No.1-2, pp.93-108, 1990.

[44] Winston, W. L., *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4th ed., Belmont California: Thomson Brooks/Cole, 2004.

[45] 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



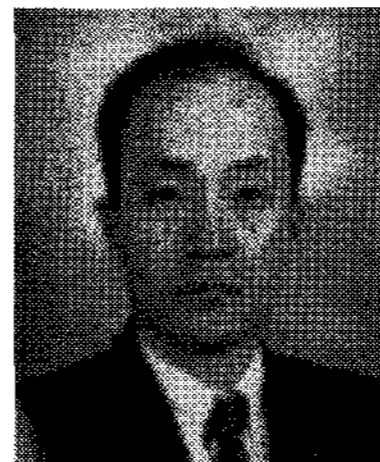
1992년08월 건국대학교 산업공학과(학사)
1994년08월 고려대학교 산업공학과(석사)
2000년12월 미국 Arizona State Univ. Industrial Engineering, Ph.D.

현재 백석대학교 경상학부 조교수

<관심분야> 생산관리, 품질관리, 응용통계, 경영성과분석·평가

김 현 (Heon Kim)

정회원



1988년02월 연세대학교 경영학과(학사)
1990년02월 연세대학교 경영학과(석사)
1998년02월 연세대학교 경영학과(박사)

현재 백석대학교 경상학부 조교수

<관심분야> 경영전략, 기술혁신, 생산관리, 경영성과분석·평가