DEA-AR을 활용한 산업기술연구회 소속 정부출연(연)의 R&D 효율성 분석과 평가 방안 제언

곽기호* · 오승훈** · 김재윤***

I. 서 론

1. 연구 목적 및 필요성

정부출연연구기관(이하 출연(연))은 국가 과학기술 수요와 산업계의 연구개발 수요를 지원하기 위해 정부가 설립하고 운영하는 비영리 재단 법인(임환 외, 2008)으로 과학기술분야 26개 출연(연)은 기관별 성격과 연구 분야 특성에 따라 지식경제부 산하 산업기술연구회와 교육과학기술부 산하 기초기술연구회에 소속되어 우리나라 산업 발전 및 원천기술 개발에 기여하고 있다. 특히 산업기술연구회 산하 출연(연)은 기술개발의 성과와 지식 산업 발전의 연계성 강화를 위해 2008년 새롭게 개편되었으며, 국가 현안 및 이슈에 대한 기술적 해결, 융합원천기술 개발을 통한 산업 발전에 있어 중요한 역할을 담당할 것으로 기대되고 있다.

한편 대학과 기업 등 주요 혁신 주체의 혁신 역량이 강화되고, 국가연구개발사업 예산에서의 과학기술분야 출연(연)이 차지하는 비중[1]이 커짐에 따라 출연(연)의 임무 정립과 투자 대비 성과 개선 등 R&D 효율성 제고와 맞춤형 개선방안 도출 및 성과 극대화를 염두에 둔 평가 제도 수립·개선에 대한 논의가 지속적으로 이루어지고 있다(국가과학기술위원회, 2009; 황석원 외, 2009; 이민형, 2007; 황병용, 2009; 전자신문, 2007). 특히 산업기술 출연(연)은 글로벌 기술경쟁 격화에 따른 연구개발 성과의 조기 산업화에 기여하는 관점에서 지식재산권 확보, 기술 라이센싱 등에 초점을 맞춘 R&D 효율성 제고 노력이 더욱 중요하다고 말할 수 있을 것이다.

한편으로는 기관 운영 효율성 제고의 일환으로 이루어진 출연(연)에 대한 평가가 오히려 기관 및 일선 연구자에 대한 부담이 가중된다는 지적이 제기됨에 따라 최근 양대 연구회를 중심으로 연구 성과 평가 주기를 3년으로, 경영 성과 평가 주기를 1년으로 개편하여 실시(교육과학기술부, 2010b; 한국경제 2009;, 디지털타임스 2010)하면서, 이에 대한 타당성 검증도 필요할 것이다. 그 이유는 일반적으로 R&D는 단기 평가가 아닌 중장기 평가에 따라 성과를 판단해야한다는 의견이 많고 R&D 투입이 산출로 직결되지 않고 일정한 시차 구조(lag structure)를 나타낸다는 기존 연구(Hall et al., 1986)를 고려하였을 때, 성과 평가 주기 및 R&D 투입과 산출 간의 시차 구조 변경에 따른 평가 결과의 편의(Bias) 가능성을 배제할 수 없기 때문이다.

그리하여 본 연구에서는 산업기술연구회 소속 출연(연) 중 연구개발 예산, 인력, 특허 등 연구개발 성과 자료 확보가 가능한 11개 연구기관의 R&D 효율성을 분석하고, 향후 성과 제고를 위한 시사점을 도출하고자 한다. 또한 3년 단위의 중기 평가와 연차 평가 그리고 투입과 산출 간의 시차 구조를 고려한 효율성 분석 결과를 상호 비교하여, 시간과 자원 투입을 고려한 가장 합리적인 연구 성과 평가 기간 및 방법을 제시하고자 한다. 마지막으로 소속 출연(연)의 연구 분야와 기관 특성이 상이한 만큼, 이를 고려한 성과 평가 방안의 가이드라인을 제시하고자 한다.

---

1) 2009년 기준 국가연구개발사업에서의 출연(연)의 비중은 40%(5조 원 규모)에 달하며(교육과학기술부(2010a). "2010년도 국가연구기발사업 조사·분석보고서" 참고) 이중 과학기술분야 출연(연)의 비중은 70% 수준

* 곽기호, 한국기계연구원, 042-868-7844, khkwak@kimm.re.kr
** 오승훈, 한국기계연구원, 042-868-7313, iamosh@kimm.re.kr
*** 김재윤, 한국기계연구원, 042-868-7396, kimjy@kimm.re.kr

2. 연구의 내용 및 범위

먼저 본 논문은 Ⅱ장에서 주요 연구 방법인 DEA(Data Envelopment Analysis)과 AR(Assurance Region) 모형에 대한 기본 개념을 확인하고, 이어 Ⅲ장에서 본 연구에서 활용한 산업기술연구회 소속 출연(연)의 투입 및 산출 요소에 대한 설명과 연구 프레임워크를 제시하였다. Ⅳ장에서는 논문에서 제시한 연구 프레임워크에 따른 출연(연)의 R&D 효율성 분석 결과를 고찰하고, 산출 요소의 가중치 특성에 따른 평가 방안의 차별화 도입을 제시하고자 한다. 마지막으로 Ⅴ장에서 결론 및 향후 연구 방안을 제안하였다.

Ⅱ. DEA의 이론적 배경 및 선행 연구 검토

DEA는 다수의 투입요소와 다수의 산출요소를 가지며, 유사한 제품·서비스를 생산, 제공하는 DMU(Decision Making Unit) 간의 상대적인 효율성을 평가하는데 효과적인 선형계획기법으로 Charness, Cooper and Rhodes(1978)에 의해 처음으로 제시되었다. DEA는 주어진 자료를 이용하여 생산함수의 형태 또는 모수에 관한 사전 가중치 등 기술 프론티어를 추정하는데 비모수적 방법을 활용한다는 점에서 장점이 있으며, 비영리 프로그램의 상대적 효율성을 평가하기 위하여 개발되었다고 한다(현만석, 유왕진; 2008). 실제로 DEA는 미국 공립학교 교육을 위한 대규모 실험 사업인 「Project Follow Through」에 최초로 적용되었으며, 초기에는 학교, 병원, 정부투자기관, 지방정부와 같은 비영리 기관을 대상으로 한 연구에서 많이 이용되었으나 최근에는 동질성이 강하면서 다수의 산출물을 생산하는 복잡한 생산구조를 가진 조직의 평가에도 널리 활용되고 있다.(이영혁 외, 2004). DEA에서의 효율성은 Farrel(1957)의 기술 효율성[2] 측정 개념을 기반으로 하고 있으며, 기술 프론티어 정의에 있어 RTS(Return To Scale) 개념을 도입하여 CRS(Constant Return To Scale)을 고려하는 CCR 모형과 VRS(Variable Return To Scale)을 고려하는 BCC 모형으로 구분할 수 있다. 또한 효율성을 최대화하기 위해 불리하게 작용할 수 있는 투입요소나 산출요소의 가중치가 극단적으로 왜곡되는 현상을 방지하기 위한 DEA-AR(Assurance Region) 모형으로 발전하였다.

1. CCR

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)에 의해 처음 제안된 모형으로 규모에 대한 보수 불변(CRS)을 가정하고 있는데, 이로 인해 CCR 모형에서 측정하는 기술 효율성은 규모의 효율성(Scale Efficiency)[3]을 포함하고 있으며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TE = PTE \times SE \quad (1)$$

TE : *Technical efficiency*(기술효율성)
PTE : *Pure technical efficiency*(순수 기술효율성)
SE : *Scale efficiency*(규모 효율성)

DEA-CCR 모형은 각 n개의 DMU 별로 가중치를 계산하기 위해 총 n번의 CCR 모형을 사용하며, 일반적으로 가중치를 나타내는 기호에서 k 번째 DMU를 나타내는 index를 생략하여 표기한다. 분수형태의 비선형 문제에 선형계획법을 적용하기 위해서 효율성 산출 식 분모의 합이 1인 제

2) 주어진 투입요소로부터 최대의 산출물을 생산해 내는 효율성

3) 각 기업이 최적의 규모보다 크거나 작게 운영되는 경우에 발생하는 산출물 수준을 의미 즉, 효율성을 높이려면 규모를 키우거나 줄이는 등의 외형적인 노력을 기울여야 한다는 의미

약조건($\sum_{i=1}^{m} x_{ki} v_i = 1$)을 추가하여 모형을 설정하면 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
&\textit{Maximize} \quad E_k = \frac{\sum_{r=1}^{s} y_{kr} u_r}{\sum_{i=1}^{m} x_{ki} v_i} = \sum_{r=1}^{s} y_{kr} u_r \qquad (2)\\
&\textit{Subject to} \quad \sum_{i=1}^{m} x_{ki} v_i = 1\\
&\qquad \sum_{r=1}^{s} y_{jr} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ji} v_i \le 0, \; j = 1,2,\ldots,n\\
&\qquad v_i \ge \varepsilon, \; i = 1,2,\ldots,m\\
&\qquad u_r \ge \varepsilon, \; r = 1,2,\ldots,s
\end{aligned}
$$

이 모형의 최적해가 $v_i^*(i=1,2,\ldots,m), u_r^*(r=1,2,\ldots s)$에서 E_k^*라 정의하면, $E_k^* = 1$을 갖는 DMU_k는 효율적인 DMU로 평가되며, E_k^*가 1보다 작으면 비효율적인 DMU로 평가된다.

2. BCC

CCR 모형 이후 Banker, Charnes and Cooper(1984)가 제안한 BCC 모형은 CCR 모형에서 가정한 CRS 가정을 완화하여 규모에 대한 보수 가변(VRS)을 도입하였다. 이는 CCR 모형에서 산출한 DMU 별 비효율성의 원인이 규모인지 기술인지를 규명하지 못하는 단점을 보완하고, 각 DMU 별 순수 기술 효율성(PTE, Pure Technical Efficiency)을 고찰하기 위한 모형으로 목적함수에 규모에 대한 보수를 나타내는 지표(u_0 , Slack Variable)를 포함하고 있다.

$$
\begin{aligned}
&\textit{Maximize} \quad E_k = \frac{\sum_{r=1}^{s} y_{kr} u_r - u_0}{\sum_{i=1}^{m} x_{ki} v_i} = \sum_{r=1}^{s} y_{kr} u_r - u_0 \qquad (3)\\
&\textit{Subject to} \quad \sum_{i=1}^{m} x_{ki} v_i = 1\\
&\qquad \sum_{r=1}^{s} y_{jr} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ji} v_i - u_0 \le 0 \;\; , \;\; j = 1,2,\ldots,n\\
&\qquad v_i \ge \varepsilon, \; i = 1,2,\ldots,m\\
&\qquad u_r \ge \varepsilon, \; r = 1,2,\ldots,s
\end{aligned}
$$

CCR 모형과 마찬가지로 BCC에서도 최적해가 $v_i^*(i=1,2,\ldots,m), u_r^*(r=1,2,\ldots s)$에서 E_k^*라 정의하면, $E_k^* = 1$을 갖는 DMU_k는 효율적인 DMU로 평가되며, E_k^*가 1보다 작으면 DMU_k는 비효율적인 DMU로 확인된다. 그리고 산출 방법에 따라 CCR/BCC Ratio는 규모 효율성(SE, Scale Efficiency)으로 정의할 수 있으며, PTE와 SE에 대한 분해를 통해 DMU의 효율성 개선을 위한 방향 제시가 가능하다.

따라서 CCR/BCC Ratio 값이 1보다 작으면, 규모의 효율성이 1보다 작음을 의미하고 이는 규모의 비효율성이 존재함을 시사[4]한다. 별도로 순수 기술효율성 값(PTE)이 규모 효율성 값(SE)보다 작

으면, 주어진 투입으로 최대한의 산출을 얻을 수 있는 능력이 기술적으로 열등함을 의미한다고 하겠다.

3. DEA-AR 모형

앞서 언급한 바와 같이 일반적인 DEA CCR/BCC 모형은 각 DMU 별로 효율성 값을 최대화하기 위해 자신에게 불리하게 작용할 수 있는 투입·산출 요소에 대해 가중치를 갖지 않는 등 가중치의 왜곡 및 극단적 적용을 통해 일부 비효율적인 DMU가 효율적인 DMU로 평가되는 문제를 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Thompson, et al.(1986)은 투입요소와 산출요소의 범위를 한정하는 AR(Assurance Region) 제약식을 추가한 DEA-AR 모형을 제안하였다. AR 모형에서 허용 가능한 투입 및 산출 요소의 가중치를 결정하는 방법은 다양하나, 주관성을 최대한 배제하기 위한 방법으로 특정 '투입·산출요소(기준 투입요소)'에 대한 다른 요소의 가중치 비율을 구함으로써 모든 투입/산출)요소의 가중치가 설정되는 요소별 단위비용 사용법이 활용되고 있다.

$$L_{1,i} = \frac{v_{ji}^{\min}}{v_{j1}^{\max}} \ , \ U_{1,i} = \frac{v_{ji}^{\max}}{v_{j1}^{\min}} \ , \ i = 2,3,...,m \ , \ j = 1,2,...,n \qquad (4)$$

$$L_{1,r} = \frac{u_{jr}^{\min}}{u_{j1}^{\max}} \ , \ U_{1,r} = \frac{u_{jr}^{\max}}{u_{j1}^{\min}} \ , \ r = 2,3,...,s \ , \ j = 1,2,...,n \qquad (5)$$

- DMU별($j = 1,2,...,n$)로 '투입요소 i'의 가중치 값 중 가장 작은 값을 기준 투입요소인 '투입요소 1'의 단위 가중치 값 중 가장 큰 값으로 나눈 값을 '투입요소 i'의 하한 값($L_{1,i}$)으로 설정하며, 반대로 '투입요소 i'의 가중치 값 중 가장 큰 값을 기준 투입 요소인 '투입요소 1'의 단위 가중치 값 중 가장 작은 값으로 나누면, '투입요소 i'의 상한 값($U_{1,i}$)을 구할 수 있다.
- 같은 원리로 '산출요소 i'의 가중치 상한 값($U_{1,r}$)과 하한 값($L_{1,r}$)을 산출할 수 있다.

4. 선행 연구 검토

그간 DEA를 활용하여 연구개발 활동의 효율성을 평가한 연구가 꾸준히 이루어졌다. Co & Chew(1997)에서는 미국과 일본의 산업별 제조회사들의 R&D 효율성 분석을 위해 투입변수로 기업 총자산, 종업원수, R&D 비용을 상정하고 산출변수로 연간 판매량과 순수익을 상정한 DEA 분석을 수행하여 R&D 효율성이 다른 기업 간에 R&D 비용 지출과 기업 성과와의 상관성에 어떤 차이가 존재하는지를 규명하였다. Jens S. and P. Zloczysti(2009)에서는 R&D 스톡 개념과 연구 인력 수를 투입 변수로, EPO PATSTAT에 등록된 특허를 산출 변수로 설정하여 2000년~2004년 사이의 EU 14개국 및 미국, 한국, 일본, 호주의 제조업 R&D 효율성의 국제 비교 연구를 수행하여 독일, 덴마크 제조업의 R&D 효율성이 높음을 확인하였으며 전자·광학기기 산업, 기계, 화학(제약 포함) 등이 글로벌 제조업 기술 프론티어 결정에 주요한 역할을 뿐 아니라, 타 산업의 R&D 효율성 향상을 위한 벤치마킹 대상으로도 활용 가능함을 제안하였다. Wang and Huang(2007)에서는 전세계 30개국의 R&D 효율성을 분석하기 위해 R&D 스톡과 인력을 투입변수로, 특허와 SCI cum EI 논문을 산출

4) 규모의 효율성 값이 1보다 큰 경우(Increasing Return to Scale)와 1보다 작은 경우(Decreasing Return to Scale) 모두 규모의 비효율성이 존재함을 의미

변수로 상정한 DEA 모형을 도입하여 분석대상 국가 중 절반 가량의 국가가 기술적 비효율성에 직면해있고 70% 가량의 국가가 규모에 대한 보수 증가(IRS) 상태에 놓여 있음을 밝히면서 각 국가들이 좀 더 과감한 기술혁신 정책을 도입해야 함을 역설한 바 있다.

국내에서는 남인석 외(2008)가 DEA의 CCR, BCC, AR 모형을 모두 상정하고, 투입요소로 연구인력과 연구개발 예산, 산출요소로 SCI 논문, 등록 특허수, 기술료 수입을 고려하여 2004년 기준 19개 정부출연연구기관의 R&D 효율성을 측정하였다. 또한 현만석과 유왕진(2008)은 62개 기관을 대상으로 4개의 투입변수(R&D 인력, R&D 비용, 기술이전전담인력 수, 총 보유기술 건수)와 5개의 산출변수(신규 보유기술 건수, 특허 출원 및 등록 건수, 기술이전 건수, 기술이전 수입료)를 고려한 공공연구기관[5]의 기술이전 효율성을 비교하였다. 분석 결과 연구소의 기술이전 효율성이 대학에 비해 높게 나타났으며 지역 차이(수도권과 지방)에 따른 기술이전 효율성 차이는 유의하지 않은 것으로 확인되었다. 고민수, 이덕주(2003)는 R&D 지출액 및 GDP 대비 비율, 연구원 수 및 총 인구 대비 비율을 투입변수로, 산출변수로 특허(출원, 등록), SCI 논문 수를 도입하여 OECD 27개 국가와 우리나라의 R&D 활동의 규모의 보수성 비교 분석하여 OECD 국가는 규모에 대한 보수 증가(IRS), 한국은 규모에 대한 보수 감소(DRS)를 나타내고 있다고 주장하였다.

III. 자료 및 연구방법 설명

1. 자료 설명(투입 · 산출 변수의 선정)

본 연구에서는 R&D 투입 및 산출 변수를 선정하는데 있어 자료의 획득 및 분석의 객관성 확보를 위해 기관 경영과 관련한 간접적인 요소를 배제하고 R&D 활동에 직접적으로 투입되고 산출되는 요소로 인식되는 자료를 확보하고자 하였다. 더불어 DEA 모형이 투입과 산출을 대표하는 변수의 선택에 따라 효율성 분석 결과가 민감해질 수 있다는 지적(현만석, 유왕진; 2008, 조형석, 문상호;2007)과 변수 선정의 오류를 줄이고 정확한 변수를 채택하기 위해 기존 연구에서 논의되었던 변수를 참조할 것을 제안한 조형석, 문상호(2007)의 의견을 반영하여 기존 R&D 효율성 측정에 도입된 투입 변수 중 연구 인력과 사업 계약고를 투입 변수로 상정하였고, 산출 변수로는 해외 SCI 논문 게재 수, 등록 특허 수, 기술료 징수액을 상정하였다. 이들 변수는 출연(연)의 연간 평가 시 가장 중요한 지표일 뿐 아니라, 기관 간 비교 시 가장 객관적인 지표로 판단된다.

분석 대상 출연(연)은 산업기술연구회 소속 13개 기관[6] 중 위에서 언급한 5가지 투입·산출 변수의 자료 수집이 가능한 11개 기관으로 선정하였으며, 수집한 자료의 기간은 현 산업기술연구회가 발간한 기관별 통계자료 및 성과보고서에 수록된 2006년~2009년의 4개년도이다.

2. 분석방법 설명

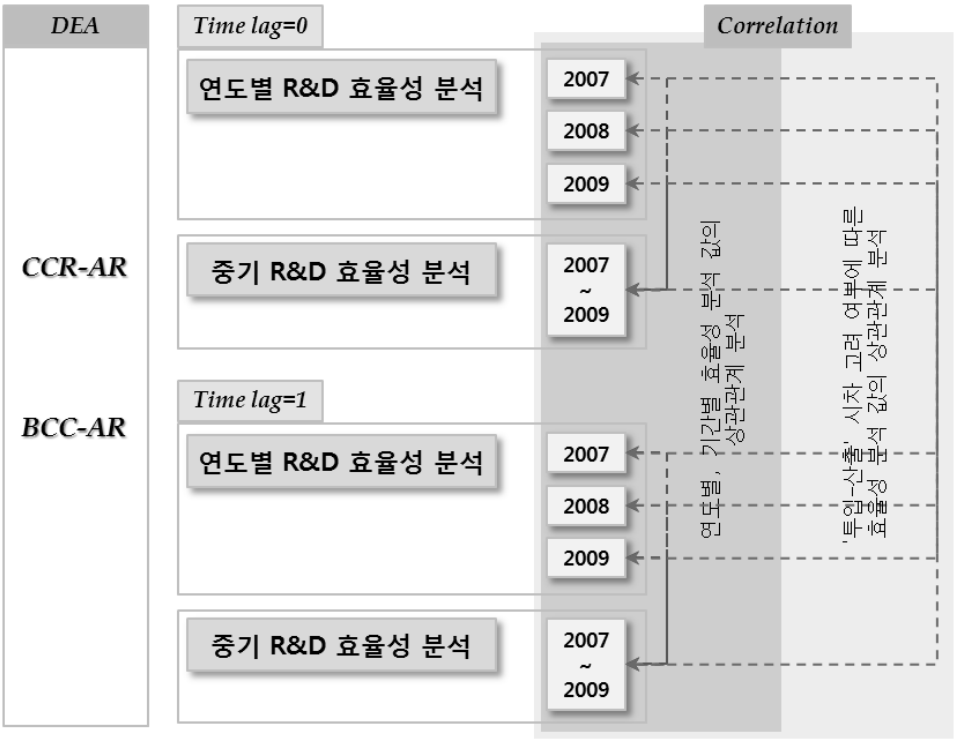
본 연구에서는 기본적으로 CCR/BCC 모형을 모두 고려하여 산업기술연구회 소속 출연(연)의 R&D 효율성을 측정하되 투입·산출 요소의 비현실적 적용 방지 및 효율성 평가 결과의 왜곡을 방지하기 위해 각 모형에 AR 제약식을 추가로 고려하였다. AR 제약식 고려 시에는 분석 대상 11개 DMU가 가지는 가중치 값의 상한 값과 하한 값을 제거하여 보다 객관적인 가중치 적용을 꾀하였으며, 투입 요소들의 통제가 가능한 투입 지향(Input Oriented/Minimize Input) 모형을 채택하였다.

---

5) 대학과 연구소(국공립 시험연구기관, 정부출연(연), 전문생산기술연구소)를 포함

6) 2010년 3월 개소된 세계김치연구소 제외

Time Span은 2007년 이후 연도별 분석과 함께 현행 연구 성과 평가 주기(3년)를 고려한 기간별 분석(2007년~2009년)도 수행하였다. 또한 R&D 효율성 분석 시 투입에 따른 산출 시차(Time lag)를 고려한 기존 연구(Sharma & Thomas, 2008; Hall et al, 1986)를 반영하여 1년의 산출 시차(Time lag=1)를 고려한 연도별 분석과 중기 분석을 병행하였다. 그리고 본 연구의 신뢰성을 높이고 연도별 분석과 중기 분석의 차별화 여부를 검증하기 위해 효율성 분석 결과값 간의 상관관계를 분석하는 동시에 산출 시차를 고려한 분석결과와도 상관 분석을 수행하여 '투입-산출' 시차를 상정한 평가 방법의 타당성을 검증하였다. 본 절에서 제시한 프레임워크는 아래와 같다.



(그림 1) 본 연구의 분석 프레임워크

Ⅳ. 출연(연) R&D 효율성 분석 결과 및 평가 방안 제언

1. 투입-산출 시차를 고려하지 않은(Time lag=0) R&D 효율성 분석

1) R&D 효율성 연도별 분석

(1) 2007년 R&D 효율성 분석

2007년 투입 요소를 활용한 2007년 R&D 산출 효율성 분석 결과 CCR 모형에서는 1개의 기관(DMU 1)만이 효율적 DMU로 평가되었으며 BCC 모형 적용 결과 DMU 3, DMU 8, DMU 11이 효율성 1을 달성하는 것으로 나타나, 순수 기술 효율성을 달성한 연구기관이 전체 11개 중 4개로 확인되었다. DMU 3, DMU 8, DMU 11은 비효율의 원인이 규모의 비효율성에 있음을 의미하는데, 이는 R&D 인력과 예산 등 연구기관의 외형적 규모 조정을 통해 효율성을 높일 수 있다고 하겠다.

또한 DMU 2는 규모의 효율성과 순수기술효율성 모두 90%를 초과하는 것으로 나타나 특정 부분

에서의 비효율성이 발견되지는 않은 것으로 추정된다.

이 밖에도 DMU 7, DMU 10 등 규모의 비효율성에 직면한 출연(연)이 비교적 많이 발견(9개 기관)되는 가운데, DMU 4, DMU 5, DMU 6, DMU 9는 순수 기술 효율성도 낮은 것으로 나타나 기관 운영 및 R&D 효율성 개선을 위한 노력이 동시에 필요할 것으로 판단된다. 이는 2004년 자료를 기준으로 19개 출연(연)의 R&D 효율성을 분석한 남인석 외(2008)의 결과와 비교해 보았을 때 기술의 비효율성이 상당부분 개선되었다는 점에서 주목할 만한 결과라 하겠다.

한편 비효율적 DMU들이 효율적인 생산 프론티어 상으로 가기 위해 참조 DMU는 모두 4개이며, 이중 DMU 1의 참조 빈도가 가장 높았다.

<표 1> 'Time lag=0'을 가정한 2007년 CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×순수기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치			규모의 비효율	기술의 비효율
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산			
DMU 1	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 2	90.3%	1	-9.7%	-14.0%	99.5%	1,11	-0.6%	-2.9%	90.8%		
DMU 3	18.7%	1	-85.6%	-81.3%	100.0%	-			18.7%	○	
DMU 4	15.9%	1	-84.1%	-86.8%	53.6%	3,11	-46.5%	-61.4%	29.7%	○	○
DMU 5	48.6%	1	-51.4%	-64.1%	69.8%	1,3,8	-30.2%	-55.7%	69.6%	○	○
DMU 6	11.2%	1	-90.9%	-88.8%	43.4%	1,3	-56.6%	-56.6%	25.8%	○	○
DMU 7	60.9%	1	-39.1%	-49.3%	90.8%	1,3	-9.2%	-36.7%	67.1%	○	
DMU 8	37.8%	1	-62.2%	-64.7%	100.0%	-			37.8%	○	
DMU 9	40.3%	1	-59.7%	-72.6%	55.5%	1,3,11	-44.5%	-66.6%	72.6%	○	○
DMU 10	55.8%	1	-44.2%	-50.6%	93.7%	8,11	-6.4%	-8.4%	59.6%	○	
DMU 11	69.6%	1	-30.5%	-38.0%	100.0%	-			69.6%	○	

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

(2) 2008년 R&D 효율성 분석

2008년의 출연(연)별 R&D 산출 효율성 분석에서는 DMU 10이 규모의 효율성과 순수 기술 효율성 분석 모두에서 기술 프론티어 상에 위치하는 것으로 나타났으며, DMU 2와 7도 비교적 높은 수준의 기술 효율성을 기록한 것으로 나타났다. DMU 1, DMU 3은 순수 기술효율성을 달성한 것으로 나타났으며, DMU 2와 7, 8도 기술 프론티어에 육박하는 높은 순수 기술효율성을 기록하고 있다.

한편 규모의 비효율성이 나타난 출연(연)은 모두 8군데, 기술의 비효율성이 나타난 기관은 5군데로, 규모의 비효율성을 기록한 곳이 다소 많았으며 이중 DMU 4, 5, 6, 9, 11은 규모의 비효율성과 기술의 비효율성을 동시에 기록한 것으로 확인되었다. 규모의 비효율성 원인은 DMU의 규모가 너무 크거나 영세하여 발생하는 것으로, 각 DMU 별로 산출의 부족분 또는 투입의 초과분을 구해 적정 산출과 투입 목표 설정 및 달성하기 위한 노력이 필요함을 시사한다.

효율성 개선을 위한 벤치마킹 대상으로는 DMU 3과 10이 가장 많이 꼽혔다.

<표 2> 'Time lag=0'을 가정한 2008년 CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×순수기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치				
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산		규모의 비효율	기술의 비효율
DMU 1	84.2%	10	-34.7%	-15.8%	100.0%	-			84.2%	○	
DMU 2	94.7%	10	-12.1%	-5.3%	96.0%	1,3,10	-4.0%	-4.0%	98.6%		
DMU 3	70.5%	10	-53.4%	-29.5%	100.0%	-			70.5%	○	
DMU 4	24.3%	10	-75.7%	-76.8%	49.5%	3,10	-50.5%	-67.1%	49.1%	○	○
DMU 5	57.2%	10	-42.8%	-51.4%	71.6%	3,10	-28.4%	-45.2%	79.9%	○	○
DMU 6	21.9%	10	-83.9%	-78.1%	41.9%	3	-58.1%	-62.2%	52.3%	○	○
DMU 7	98.7%	10	-1.3%	-12.2%	96.1%	1,10	-3.9%	-16.5%	102.7%		
DMU 8	47.9%	10	-53.5%	-52.1%	93.1%	3,10	-6.9%	-24.4%	51.5%	○	
DMU 9	44.3%	10	-55.7%	-67.9%	50.3%	3,10	-49.7%	-61.7%	88.1%	○	○
DMU 10	100.0%	10			100.%				100.0%		
DMU 11	29.0%	10	-72.6%	-71.0%	56.2%	3,10	-43.8%	-59.8%	51.6%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

(3) 2009년 R&D 효율성 분석

2009년의 출연(연)별 R&D 산출 효율성 분석에서는 2008년에 이어 DMU 10이 2년 연속으로 효율성 1을 기록했으며, DMU 2, 7 등 그간 효율성이 높은 것으로 분류되었던 기관들 또한 지속적으로 높은 효율성을 달성함을 확인하였다.

<표 3> 'Time lag=0'을 가정한 2009년 CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치				
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산		규모의 비효율	기술의 비효율
DMU 1	55.1%	10	-48.1%	-34.7%	100.0%	-			55.1%	○	
DMU 2	96.4%	10	-3.5%	-4.7%	96.4%	1,10	-3.4%	-4.9%	100.0%		
DMU 3	47.3%	10	-56.5%	-40.6%	100.0%	-			47.3%	○	
DMU 4	30.7%	7, 10	-68.7%	-74.4%	52.3%	3,8,10	-45.5%	-65.6%	58.7%	○	○
DMU 5	61.1%	7, 10	-38.1%	-44.6%	72.3%	3,8,10	-24.7%	-51.7%	84.5%	○	○
DMU 6	32.1%	10	-70.4%	-59.7%	47.8%	3,8,10	-53.1%	-49.5%	67.2%	○	○
DMU 7	100.0%	-			99.9%	1,10	2.0%	-16.7%	100.1%		
DMU 8	85.9%	10	-16.8%	-5.5%	100.0%	-			85.9%	○	
DMU 9	53.9%	7, 10	-45.0%	-54.7%	54.6%	8,10	-42.9%	-65.0%	98.7%		○
DMU 10	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 11	44.2%	10	-60.4%	-41.5%	65.9%	3,8	-37.2%	-24.1%	67.1%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

전년도에서 높은 순수기술효율성을 달성한 DMU 1, 2, 3, 7, 8, 10은 2009년 분석에서도 높은 순수기술효율성을 기록하였다. 규모의 비효율성을 기록한 출연(연)은 모두 7군데이며, 기술적 비효율성이 확인된 기관은 5군데로 나타난 가운데 이중 3개 기관은 규모의 비효율성과 기술적 비효율성 모두 존재하는 것으로 확인된다.

효율성 개선을 위한 벤치마킹 대상은 2008년과 마찬가지로 DMU 3과 DMU 10이 꼽혔으며, DMU 1과 8도 일부 DMU에서 참조 집합(Reference Set)으로 선정되었다.

2) 중기(2007년~2009년) R&D 효율성 분석

2007년~2009년 사이의 산업기술 출연(연)의 R&D 효율성의 상대 평가 결과 앞선 년도별 분석에서 높은 효율성을 기록하였던 DMU 2, 7, 10 등이 중기 분석에서도 기술 프론티어에 위치하는 것으로 나타났으며, DMU 1 또한 년도별 분석과 유사하게 규모의 비효율성을 제외하고는 순수 기술효율성 1을 기록하고 있다. 한편 DMU 11은 2007년 순수 기술효율성 1을 기록한 이후 효율성이 저하된 것으로 나타났으며, DMU 4, 5, 6, 9는 분석기간 내내 규모의 비효율성과 순수 기술 비효율성을 개선하지 못하고 있음을 알 수 있다.

<표 4> 'Time lag=0'을 가정한 중기(2007년~2009년) CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치				
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산		규모의 비효율	기술의 비효율
DMU 1	64.1%	10	-47.5%	-35.9%	100.0%	-			64.1%	○	
DMU 2	98.8%	10	-1.24%	-6.0%	98.6%	1,10	-1.4%	-6.1%	100.2%		
DMU 3	73.9%	10	-49.1%	-26.1%	100.0%	-			73.9%	○	
DMU 4	26.9%	10	-73.1%	-76.3%	50.6%	3,10	-49.4%	-67.5%	53.2%	○	○
DMU 5	59.3%	10	-40.7%	-53.3%	72.6%	3,10	-27.4%	-48.5%	81.7%	○	○
DMU 6	27.7%	10	-79.8%	-72.3%	42.4%	3	-57.6%	-59.7%	65.3%	○	○
DMU 7	97.0%	10	-3.0%	-20.2%	95.8%	1,10	-4.2%	-21.5%	101.3%		
DMU 8	56.1%	10	-44.8%	-43.9%	97.2%	3	-2.8%	-21.3%	57.7%	○	
DMU 9	48.2%	10	-51.8%	-67.3%	54.6%	3,10	-45.4%	-62.3%	88.3%	○	○
DMU 10	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 11	36.8%	10	-71.4%	-66.8%	58.0%	3,10	-42.0%	-51.3%	63.4%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

3) 연도별、중기 R&D 효율성 분석 결과의 상관성

(1) CCR-AR 분석

CCR-AR 모형을 활용한 연도별·중기 R&D 효율성 분석 결과, 각 분석 간에 높은 상관관계가 나타났으며, 특히 '2008년·2009년·중기(2007년~2009년)' 간의 상관관계가 매우 높은 것으로 확인되어 출연(연)의 연구 성과 등 R&D 효율성 평가 시에는 연차 평가보다는 3년 주기의 중기 평가가 평가 수행의 효율성 관점에서 합리적일 수 있음을 시사하고 있다. 반면 2007년 결과와 '2009년·중기(2007년~2009년)' 간의 상관관계는 다소 낮거나 유의하지 않은 것으로 나타나고 있다.

<표 5> 'Time lag=0'에서의 CCR-AR 모형의 연도별·중기 분석 결과의 상관성[7)]

		ccr_yr2007	ccr_yr2008	ccr_yr2009	ccr_yr_sum
ccr_yr2007	Pearson 상관계수	1	.605*	.488	.528
	유의확률 (양쪽)		.049	.128	.095
	N	11	11	11	11
ccr_yr2008	Pearson 상관계수	.605*	1	.807**	.976**
	유의확률 (양쪽)	.049		.003	.000
	N	11	11	11	11
ccr_yr2009	Pearson 상관계수	.488	.807*	1	.872**
	유의확률 (양쪽)	.128	.003		.000
	N	11	11	11	11
ccr_yr_sum	Pearson 상관계수	.528	.976**	.872**	1
	유의확률 (양쪽)	.095	.000	.000	
	N	11	11	11	11

*. 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

**. 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

(2) BCC-AR 분석

BCC-AR 모형을 활용한 연도별·중기 R&D 효율성 분석에서는 모든 경우에서 매우 높은 상관관계가 나타났다. 특히 CCR-AR 분석에서 상관관계가 낮은 것으로 확인되었던 2007년과 중기(2007년~2009년) 분석 효율성 값과의 상관성도 매우 높게 나타난 것이 차별화된 분석결과라 하겠다. 이러한 결과는 BCC-AR 모형이 순수기술효율성을 측정한다는 관점에서 연구 성과 평가 시에는 매년 평가에 의한 평가 업무의 효율성 저하 및 현장 연구진의 몰입을 방해하기 보다는 3년 단위의 중기 평가가 합리적임을 뒷받침한다고 볼 수 있으며, 최근 양대 연구회가 개정한 3년 주기의 연구성과 평가가 타당함을 지지하는 결과라 하겠다. 다만 CCR-AR 분석에서 통계적으로 유의하지 않은 상관관계가 일부 발견된 것은 규모의 효율성이 기관 경영 요인을 일부 포함하고 있다는 점에서 경영 성과 평가 주기가 연구 성과 평가 보다는 짧을 필요가 있음을 암시하는 결과로 사료된다.

<표 6> 'Time lag=0'에서의 BCC-AR 모형의 연도별·중기 분석 결과의 상관성

		bcc_yr2007	bcc_yr2008	bcc_yr2009	bcc_yr_sum
bcc_yr2007	Pearson 상관계수	1	.827**	.870**	.837**
	유의확률 (양쪽)		.002	.001	.001
	N	11	11	11	11
bcc_yr2008	Pearson 상관계수	.827**	1	.991**	.997**
	유의확률 (양쪽)	.002		.000	.000
	N	11	11	11	11
bcc_yr2009	Pearson 상관계수	.870**	.991**	1	.991**
	유의확률 (양쪽)	.001	.000		.000
	N	11	11	11	11
bcc_yr_sum	Pearson 상관계수	.837**	.997**	.991**	1
	유의확률 (양쪽)	.001	.000	.000	
	N	11	11	11	11

**. 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

7) 상관관계 분석은 Cohen(1988)과 Wikipedia를 참고로 하여 상관계수가 (0.5~1.0)인 경우 강한 상관관계, (0.3~0.5)인 경우 중간 상관관계로 분할하여 정의

2. 투입-산출 시차를 고려한(Time lag=1) R&D 효율성 분석

1) R&D 효율성 연도별 분석

(1) 2007년 R&D 효율성 분석

투입-산출 시차 값을 1로 둔 2007년 R&D 효율성 분석 결과 CCR 모형에서는 DMU 1, 2, 10이 효율적인 기관으로 선정되었으며, BCC 모형에서는 상기 3개 기관에 DMU 3, 8이 추가되어 순수 기술 효율성을 달성한 연구기관이 모두 5개로 확인되었다. 이 밖에 DMU 2 또한 비교적 높은 수준의 효율성을 기록함을 확인하였다.

기술 효율성이 낮은 DMU는 대부분 규모의 비효율성을 포함하고 있으며, 이중 DMU 4, 5, 6, 9, 11은 순수 기술 비효율성도 함께 보유하고 있는 것으로 나타났다. 효율성 개선을 위한 벤치마킹 대상으로는 DMU 3과 10이 가장 많이 선정되었다.

투입-산출 시차가 0인 경우의 결과와 비교해보면, 대체로 효율성이 높은 DMU가 유사하나, DMU 11이 효율적인 기관에서 제외된 것이 눈에 띈다.

<표 7> 'Time lag=1'을 가정한 2007년 CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치				
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산		규모의 비효율	기술의 비효율
DMU 1	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 2	90.9%	10	-9.2%	-10.5%	91.5%	8,10	-8.5%	-10.2%	99.3%		
DMU 3	85.0%	1, 10	-41.5%	-15.0%	100.0%	-			85.0%	○	
DMU 4	49.9%	1, 10	-50.1%	-54.0%	60.6%	3,10	-39.4%	-44.3%	82.3%	○	○
DMU 5	49.3%	1, 10	-50.7%	-63.6%	68.6%	1,3,10	-31.4%	-60.9%	71.9%	○	○
DMU 6	26.4%	1, 10	-81.3%	-73.6%	40.6%	3	-59.4%	-61.1%	65.0%	○	○
DMU 7	69.7%	1, 10	-30.3%	-47.0%	89.8%	1,3,10	-10.2%	-43.3%	77.6%	○	
DMU 8	58.2%	1, 10	-45.4%	-41.8%	100.0%	-			58.2%	○	
DMU 9	49.3%	1, 10	-50.7%	-72.5%	62.9%	1,3,10	-37.1%	-70.1%	78.4%	○	○
DMU 10	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 11	49.0%	1	-51.0%	-59.4%	73.4%	3,10	-26.6%	-31.9%	66.8%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

(2) 2008년 R&D 효율성 분석

투입-산출 시차 값을 1로 상정한 2008년 R&D 효율성 분석 결과 DMU 1, 7, 10은 CCR 모형과 BCC 모형 모두에서 효율적인 기관으로 나타나 규모의 효율성과 순수기술 효율성이 1을 기록함을 알 수 있다. 반면, DMU 3은 순수기술 효율성만 1을 기록하였다.

그 밖에 DMU 2와 8도 비교적 높은 순수기술 효율성을 기록한 가운데, DMU 4, 5, 6, 9, 11은 여전히 상대적으로 낮은 효율성을 기록하고 있다.

투입-산출 시차가 0인 경우의 결과와 비교해보면, DMU 2의 효율성이 약간 하락한 것을 빼고는 효율성이 높은 DMU가 동일한 것으로 확인된다.

<표 8> 'Time lag=1'을 가정한 2008년 CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치			규모의 비효율	기술의 비효율
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산			
DMU 1	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 2	87.1%	1, 10	-11.8%	-17.0%	90.3%	3,10	-9.0%	-12.0%	96.5%		
DMU 3	54.1%	1, 10	-50.5%	-29.6%	100.0%	-			54.1%	○	
DMU 4	24.3%	1, 10	-75.1%	-77.8%	47.0%	3,7,10	-49.7%	-64.9%	51.7%	○	○
DMU 5	52.8%	1, 10	-44.8%	-55.8%	66.9%	3,10	-29.3%	-46.6%	78.9%	○	○
DMU 6	18.2%	10	-83.2%	-76.8%	40.2%	3	-59.3%	-61.6%	45.3%	○	○
DMU 7	96.5%	1, 10	-0.3%	-14.7%	100.0%	-			96.5%		
DMU 8	41.9%	1, 10	-58.1%	-57.9%	91.0%	3,10	-5.2%	-22.6%	46.0%	○	
DMU 9	42.7%	1, 10	-54.2%	-68.1%	49.0%	3,7,10	-48.0%	-61.4%	87.1%	○	○
DMU 10	100.0%	1, 10			100.0%	-			100.0%		
DMU 11	54.6%	1, 10	-44.1%	-50.1%	71.1%	3,10	-27.0%	-35.3%	76.8%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

(3) 2009년 R&D 효율성 분석

2009년의 출연(연)별 R&D 산출 효율성 분석 시, '투입-산출 시차'를 고려한 결과 DMU 1, 3, 7, 8, 10 및 DMU 2가 각각 순수기술 효율성 1 또는 1에 가까운 높은 효율성 값을 나타내고 있으며, 이중 DMU 7, 10은 규모의 효율성도 달성한 것으로 나타났다.

대체적으로 분석결과가 전년도 분석 결과 및 '투입-산출 시차'를 고려하지 않은 2009년의 R&D 효율성 분석 결과와도 상당히 유사함을 확인하였다.

<표 9> 'Time lag=1'을 가정한 2009년 CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치		효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치			규모의 비효율	기술의 비효율
			R&D 인력	R&D 예산			R&D 인력	R&D 예산			
DMU 1	48.0%	10	-55.6%	-43.7%	100.0%	-			48.0%	○	
DMU 2	97.4%	10	-3.9%	0.4%	98.0%	3	-3.6%	1.8%	99.4%		
DMU 3	50.1%	10	-56.4%	-34.7%	100.0%	-			50.1%	○	
DMU 4	29.0%	10	-70.5%	-72.2%	47.9%	3,8,10	-48.0%	-62.2%	60.5%	○	○
DMU 5	60.3%	7, 10	-38.3%	-42.9%	69.7%	3,8,10	-25.0%	-43.2%	86.5%	○	○
DMU 6	31.3%	10	-71.8%	-61.4%	45.9%	3,8,10	-54.7%	-52.8%	68.2%	○	○
DMU 7	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 8	91.0%	10	-11.0%	-4.5%	100.0%	-			91.0%		
DMU 9	49.5%	7, 10	-48.3%	-56.1%	49.8%	8,10	-46.4%	-59.6%	99.4%		○
DMU 10	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 11	38.0%	10	-62.7%	-60.5%	56.8%	3,8	-40.2%	-50.5%	66.9%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

2) 중기(2007년~2009년) R&D 효율성 분석

'투입-산출 시차=1'을 고려한 2007년~2009년 사이의 산업기술 출연(연)의 R&D 효율성의 상대평가 결과 연도별 분석에서 높은 효율성을 기록한 DMU 2, 7, 10이 다시 포함되었다. 나머지 순수기술효율성은 앞선 분석에서 높은 순수기술 효율성 값을 기록한 DMU 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10이 중기 분석에서도 효율성 1 또는 1에 가까운 효율성을 기록하였다.

<표 10> 'Time lag=1'을 가정한 중기(2007년~2009년) CCR/BCC-AR 모형 적용 결과

관측치 / DMU	CCR(규모효율성×기술효율성)				BCC(순수기술효율성)				$\frac{CCR}{BCC}$ ratio	비효율의 원인	
	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치 R&D 인력	투입요소 개선치 R&D 예산	효율성 점수	참조 DMU	투입요소 개선치 R&D 인력	투입요소 개선치 R&D 예산		규모의 비효율	기술의 비효율
DMU 1	68.7%	10	-43.9%	-31.3%	100.0%	-			68.7%	○	
DMU 2	98.3%	10	-1.7%	-2.0%	98.2%	1,10	-1.8%	-2.2%	100.1%		
DMU 3	77.8%	10	-48.7%	-22.2%	100.0%	-			77.8%	○	
DMU 4	27.5%	10	-72.5%	-73.1%	49.9%	3,10	-50.1%	-65.1%	55.1%	○	○
DMU 5	58.7%	10	-41.3%	-51.7%	71.6%	3,10	-28.4%	-47.3%	82.0%	○	○
DMU 6	27.0%	10	-80.6%	-73.1%	40.7%	3	-59.3%	-62.2%	66.3%	○	○
DMU 7	98.2%	10	-1.8%	-13.8%	96.8%	1,10	-3.2%	-15.8%	101.4%		
DMU 8	59.3%	10	-44.5%	-40.7%	98.0%	3	-2.0%	-19.4%	60.5%	○	
DMU 9	49.6%	10	-50.4%	-67.7%	55.8%	3,10	-44.3%	-61.3%	88.9%	○	○
DMU 10	100.0%	-			100.0%	-			100.0%		
DMU 11	32.4%	10	-68.9%	-67.6%	58.8%	3,10	-41.2%	-56.0%	55.1%	○	○

* BCC와 CCR/BCC Ratio 값이 90%가 넘으면 비효율성을 따지기 어려운 것으로 간주

3) 연도별、중기 R&D 효율성 분석 결과의 상관성

(1) CCR-AR 분석

<표 11> 'Time lag=1'에서의 CCR-AR 모형의 연도별·중기 분석 결과의 상관성

		ccr_yr2007_1	ccr_yr2008_1	ccr_yr2009_1	ccr_yr_sum_1
ccr_yr2007_1	Pearson 상관계수	1	.852**	.541	.813**
	유의확률 (양쪽)		.001	.086	.002
	N	11	11	11	11
ccr_yr2008_1	Pearson 상관계수	.852**	1	.663*	.849**
	유의확률 (양쪽)	.001		.026	.001
	N	11	11	11	11
ccr_yr2009_1	Pearson 상관계수	.541	.663*	1	.858**
	유의확률 (양쪽)	.086	.026		.001
	N	11	11	11	11
ccr_yr_sum_1	Pearson 상관계수	.813**	.849**	.858**	1
	유의확률 (양쪽)	.002	.001	.001	
	N	11	11	11	11

**. 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

*. 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

CCR-AR 모형을 활용하여 '투입-산출 시차'가 존재하는 연도별·중기 R&D 효율성 분석 결과, 각 분석 간에 높은 상관관계가 확인되었으나, 투입과 산출 간의 시차를 고려하지 않은 분석에서와 마찬가지로 시간 간격이 2년 이상인 효율성 값 간에 상관관계는 높지 않거나 통계적 유의성이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 순수한 기술 효율성 뿐 아니라 규모의 효율성을 포함하는 CCR-AR 모형에서는 연차별 평가와 중기 평가의 무차별 활용에 있어 보다 신중을 기해야함을 의미한다.

(2) BCC-AR 분석

BCC-AR 모형을 활용한 연도별·중기 R&D 효율성 분석에서는 모든 경우에서 매우 높은 상관관계가 나타났다. 이는 '투입-산출 시차'를 고려하지 않은 효율성 분석 결과와도 상당히 유사한 결과인데, 이는 순수 기술 효율성을 의미하는 연구 성과 평가 시에는 연차별 평가와 중기 평가 결과의 차별성이 존재하지 않음을 다시 확인하는 바라 하겠다. 또한 CCR-AR 모형과의 결과 값의 상이함은 규모의 효율성에 포함되어 있는 기관 경영의 효율성 평가 시, 연구 효율성 대비 평가 항목 뿐 아니라 평가 주기 또한 차별화가 필요함을 시사하며, 최근에 이루어진 과학기술 분야 정부 출연(연)의 연구성과와 기관경영 성과에 대한 평가 주기 개편 실시(안)이 타당하고 적합함을 지지하는 결과이다.

<표 12> 'Time lag=1'에서의 BCC-AR 모형의 연도별·중기 분석 결과의 상관성

		bcc_yr2007_1	bcc_yr2008_1	bcc_yr2009_1	bcc_yrsum_1
bcc_yr2007_1	Pearson 상관계수	1	.962**	.945**	.966**
	유의확률 (양쪽)		.000	.000	.000
	N	11	11	11	11
bcc_yr2008_1	Pearson 상관계수	.962**	1	.969**	.971**
	유의확률 (양쪽)	.000		.000	.000
	N	11	11	11	11
bcc_yr2009_1	Pearson 상관계수	.945**	.969**	1	.993**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000		.000
	N	11	11	11	11
bcc_yrsum_1	Pearson 상관계수	.966**	.971**	.993**	1
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	
	N	11	11	11	11

**. 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

3. '투입-산출' 의 시차 조건에 따른 효율성 분석 결과의 차별성 검증

본 절에서는 앞서 상정한 '투입-산출' 시차 고려 여부에 따라 효율성 분석 결과 값이 차별화되는지를 검증하고자 한다. 효율성 분석 결과의 차별성 검증은 동일 년도 및 기간(2007년~2009년)에서의 R&D 효율성 값 간의 상관관계 분석을 통해 이루어졌는데, 검증 결과 모든 경우에서 통계적으로 유의한 강한 상관관계가 나타났다. 이는 '투입-산출' 시차 조건 부여가 평가 결과에 미치는 영향이 없음을 의미하는 것으로, 일부에서 제기하는 출연(연)의 기관 평가 시 투입과 산출 간의 시차를 고려해야 한다는 논란을 일부나마 해소할 수 있는 연구 결과라 하겠다.

<표 13> 연도별 효율성 분석 결과 값의 상관관계(p-value)

Case	'07 vs '07(-1)	'08 vs '08(-1)	'09 vs '09(-1)	('07~'09) vs ('07~'09)(-1)
CCR-AR	0.609(0.047)	0.928(0.000)	0.993(0.000)	0.997(0.000)
BCC-AR	0.905(0.000)	0.972(0.000)	0.996(0.000)	0.999(0.000)

4. 산출요소 별 가중치를 반영한 평가 방안의 제안

본 절에서는 DEA 분석에서 각 DMU들이 자신에게 불리하게 작용할 수 있는 투입·산출요소의 가중치를 최소화하는 특성에 착안, 본 연구의 프레임워크 상에서 DMU 별 3가지 산출요소에 대한 가중치 배정의 차이가 있는지를 검토해 보았다. 이러한 분석의 동기는 출연(연)마다 연구 분야별 고유 특성이 있으며, 국내의 산업별 발전 속도 또한 달라 연구 성과 평가 시 이러한 외생적 요인을 반영해야 한다는 의견이 대두되고 있기 때문이다. 또한 앞선 효율성 분석에서 지속적으로 저조한 효율성을 기록한 DMU의 효율성을 개선하기 위해서는 연구기관 별 특성과 당면 환경을 고려한 맞춤형 개선 방안이 필요하기 때문이다.

각 산출요소 간의 동질성을 판단하기 위해 실시한 상관분석 값을 고려하였을 때[8], 'SCI+등록특허'의 산출 성과가 좋은 유형과 '기술료 징수'의 산출 성과가 좋은 유형으로 11개 출연(연)을 구분할 수 있음을 발견하였다.

<표 14> 산출요소에 대한 DMU 별 가중치 분포

	DMU 1	DMU 2	DMU 3	DMU 4	DMU 5	DMU 6	DMU 7	DMU 8	DMU 9	DMU 10	DMU 11
SCI	10%	36%	39%	18%	31%	58%	13%	58%	24%	43%	10%
등록특허	31%	5%	51%	61%	21%	31%	38%	15%	34%	39%	21%
SCI+ 등록특허	41%	41%	90%	79%	52%	89%	51%	63%	58%	82%	31%
기술료 징수	60%	59%	10%	21%	48%	10%	51%	27%	42%	18%	69%
구분	유형 1	유형 1	유형 2	유형 2	유형 1	유형 2	유형 1	유형 2	유형 1	유형 2	유형 1

유형 1은 DMU 1, 2, 5, 7, 9, 11을 포함하고 있으며 국내 산업 기반이 탄탄하여 당장 사업화가 가능한 산업적 환경을 보유하고 있는 연구기관으로 해석할 수 있다. 따라서 이들 6개 기업은 특허 등록 보다는 기술료 징수에 비중을 둔 성과 창출 방안을 모색해 볼 필요가 있을 것이다. 반면, DMU 3, 4, 6, 8, 10을 포함하는 유형 2는 유형 1보다는 국내 산업 기반이 취약하고, 산업 발전 속도가 느리거나 수명 주기상 태동기에 해당하는 산업의 연구를 담당하고 있어 SCI와 등록특허와 같은 지적재산권 확보를 통해 미래의 산업 육성에 대비하는 것이 합리적인 성과 평가 방안으로 사료된다.

V. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 산업기술연구회 소속 출연(연) 11개 기관을 대상으로 다양한 Time Span과 '투입-산출' 시차 부여 등의 조건을 고려하여 2007년~2009년 사이의 연구개발 효율성을 분석하였다. 분석 결과 순수 기술 효율성으로 나타낼 수 있는 연구 성과 평가는 연차 평가 보다는 3년 단위의 중기 평가가 합리적일 것으로 분석되었으며, 규모의 효율성 지표에 포함되는 기관 경영 평가는 연구 성과 평가 보다는 짧은 주기로 모니터링 하여 기관 경영의 개선 방안을 발굴하고 벤치 마킹 대상을 탐색하는 노력이 필요할 것으로 사료된다.

'투입-산출' 시차를 고려한 R&D 효율성 분석은 시차를 고려하지 않은 분석 결과와 매우 유사하게

8) SCI와 등록특허, 등록특허와 기술료 징수 간의 상관분석 결과5~10% 유의 수준에서 강한 (-)의 상관관계가 나타난 반면 SCI와 등록특허사이에는 (-)의 상관관계가 발견되지 않음

나타나 일부에서 제기하는 출연(연)의 기관 평가 시 투입과 산출 간의 시차 도입 필요성 이슈를 해소할 수 있는 연구 결과라 하겠다. 이러한 결과는 '투입-산출' 간 시차 도입 및 계산을 위해 소요되는 행정적인 시간과 자원 투입을 최소화할 수 있다는 점에서도 시사점을 제공하고 있다.

각 DMU의 산출요소 별 가중치를 관찰한 결과, 기술료 징수에 높은 가중치를 둔 그룹과 SCI와 등록특허에 높은 가중치를 배정한 그룹으로 나뉘어 짐을 확인하였다. 이는 각 출연(연) 별 연구분야의 고유 특성과 국내 산업 발전 정도에 따라 성과 창출의 경향과 집중도가 차별화될 수 있음을 의미하며, 출연(연) 별 맞춤형 성과 창출 및 효율성 개선 방안의 정립이 필요할 수 있음을 제시하는 연구 결과라 하겠다.

본 연구의 한계로는 투입 및 산출 요소 고려 시, 측정이 가능한 주어진 자료만을 고려했다는 점을 꼽을 수 있겠다. 특히 산출 요소에는 기술 서비스(기술지도, 상용화 지원 등)와 타 기관과의 협력 실적 등 다양한 요소를 고려할 수 있으나, 기관별 자료 집계의 어려움과 시간적 한계로 인해 연구모형에 포함하지 못하였다.

또한 DEA 모형의 설명력을 높이기 위해서는 평가 대상 DMU의 수와 투입·산출 변수의 수 간의 관계도 추가적으로 고찰해야할 것으로 판단된다. 본 연구의 경우, 이대식, 구영완, 이성훈(2009)에서 제시한 DMU 수가 투입요소와 산출요소 총합보다 2배 이상 되어야 한다는 제약조건과 Banker(1984)가 제안한 DMU 수가 투입요소와 산출 요소 수의 합보다 3배 이상 커야 한다는 연구결과의 사이에 'DMU 수/투입·산출 변수 수' 비율 값이 위치하고 있다. 그러나 산업기술연구회 소속 출연(연)이 총 13개라는 사실을 고려한다면, 분석 대상 출연(연) 수 11개로 인한 연구 결과의 신뢰성 문제는 크지 않을 것으로 판단된다.

DEA를 활용한 효율성 분석은 유사한 평가 대상 간의 상대적인 효율성 평가이다. 따라서 정책결정시 절대적인 자료로 활용하기 보다는 전문가의 의견 반영 등 타 분석 기법과 연계하여 정책적 제언의 객관성을 높이는 하나의 방안으로 활용해야할 것이다. 본 연구가 산업기술연구회 소속 출연(연)의 R&D 효율성 분석에 대한 탐색적 연구인만큼, 향후에는 이와 같은 R&D 효율성 분석이 타 연구회 소속 출연(연)으로도 지속적으로 확대되어야 할 것으로 보이며, 시계열 분석 결과를 활용하여 기관 별 효율성 개선 추이와 정책 도입의 성과 및 영향력 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

고민수, 이덕주(2003), "효율적 생산 프론티어를 이용한 연구개발활동의 규모의 보수성 측정", *한국경영과학회/대한산업공학회* 2003 춘계공동학술대회, 683-690

교육과학기술부(2010a), 「2010년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」

교육과학기술부(2010b), 「교과부 소관 출연(연) 기관평가 관계기관 공동 워크숍 개최」

국가과학기술위원회(2009), 「과학기술분야 정부출연(연) 운영 효율화 추진방안(안)」

남인석, 송윤영, 정병호(2008), "DEA 모형을 이용한 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석", *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering,* 31(1), pp. 1-10

디지털타임스(2010), "산업기술연구회, 기계연·에기연·ETRI·화학연 4개 우수 기관평가선정.", (2010.4.22)

이민형(2007), "출연연구기관 기관평가의 책임성 요소 변화 분석", 「기술혁신학회지」, 10(3) : 580-603

전자신문 (2007), "과기부, 출연연 평가 때 기관별 특성 반영", (2007.12.17)

조형석, 문상호(2007), "지방하수도사업의 효율성 평가", *지방행정연구* 제21권 제1호 123~151

이대식, 구영완, 이성훈(2009), "국내·외 군용항공기 제작회사의 효율성 및 생산성 비교", *한국경제연구* 제26호 pp. 5-37

이영혁, 김은정, 김도현(2004), “DEA 분석에 의한 아시아 공항 운영 효율성 연구”, 대한교통학회지 제22권 제4호, 7-18

임환, 임호순, 송용일(2008), “정부출연연구기관 전략적 성과관리체계(BSC) 구축사례”, 「기술혁신학회지」, 11(4) : 639-670

한국경제(2009), “기초기술연구회, 한국생명공학연구원 등 4곳 우수기관 선정”, (2009.6.22)

황병용 (2009), “정부 출연연구기관의 성과향상을 위한 실증연구: 연구회의 기능과 역할 및 출연(연) 기관평가시스템을 중심으로”, 박사 학위논문

황석원, 안두현, 최승현, 권성훈, 천동필, 김아름, 박종혜(2009), “국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안”, STEPI 정책연구 2009-24

Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper(1984). "Models for the Estimation of Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science* 30., 9, pp. 1078-1092

Banker, R. D.(1984), "Estimating most productive scale size using data envelopment analysis", *European Journal of Operations Research,* 17. 1 pp. 35-44

Charnes, A., W. W Copper, and E. Rhodes(1978). "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operations Research,* 2(6) pp 429-444

Co, H. C. and K. S. Chew(1997), "Performance and R&D expenditures in American and Japanese manufacturing firms", *International Journal of Production Research,* 35, 12 pp. 3333-3348

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)

Farrel, M. J.(1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society,* 120, 3, pp. 253-290

Jens S. and P. Zloczysti(2009), "Research Efficiency in Manufacturing: An Application of DEA at the Industry Level", *DIW(German Institute for Economic Research) Berlin Discussion Paper* No. 884

Thompson, R. G., F. D. Singleton, R.M. Thrall and B. A. Smith(1986), "Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas." *Interfaces,* 16: 35-49

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, 260-273

Hall, B. H., Z. Griliches, J. A. Hausman(1986), "Patents and R&D: Is there a lag?", *International Economic Review,* 27, 265-283

Sharma, S. and V. J. Thomas(2008), "Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis", *Scientometrics,* 76 483-501

en.wikipedia.org/wiki/Pearson_product-moment_correlation_coefficient