

## DEA 모형을 이용한 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석

남인석\* · 송윤영\*\* · 정병호\*\*†

\*기술표준원

\*\*전북대학교 산업정보시스템공학과

### Analysis of Relative Efficiency of Government Funded Research Institutes Using DEA Model

In Suk Nam\* · Yun Young Song\*\* · Byung Ho Jeong\*\*†

\*Korean Agency for Technology and Standards

\*\*Chonbuk National University, Dept. of Industrial and Information Systems Eng.

The enormous budget of government and manpower are invested to the government funded institutes every year. The R&D investment focused on input has to be turned toward the investment based on the effectiveness of R&D activities. Measuring the efficiency of research activities is required in order to evaluate the effectiveness of R&D investment in these institutes. The purpose of this paper is to evaluate the relative efficiency of research activities performed in 19 government funded research institutes. CCR/BCC model and DEA/AR model were applied to get the relative efficiency of 19 institutes. Assurance regions for the weight of output attributes were obtained by using the underlined concept of the analytic hierarchy process (AHP). We used input and output data items describing research activity of 19 government funded research institutes. The results of this study are expected to become a basis of the R&D investment decision of the government.

Keywords : DEA, AHP, R&D Efficiency

#### 1. 서 론

정부출연연구기관(이하 출연(연))은 정부가 출연하고 연구를 주된 목적으로 하는 기관으로 정의된다. 과학기술 분야의 19개 연구기관은 효과적인 국가과학기술혁신체제 구축과 해당 기관의 경영합리화 및 발전을 도모하기 위하여 자율적으로 경영되고 있다. 1970년대 이후 출연(연)은 우리나라 과학기술 발전의 핵심적인 주체로서 다양한 역할을 수행하여 왔으며, 21세기 지식기반경제에서 기업, 대학 등 혁신주체와 함께 각 기술 분야별

전문성 강화와 국가경쟁력 제고에 대한 기여 등 새로운 역할 수행이 기대되고 있다. 이러한 기대로 인하여 출연(연)에서 수행하는 연구개발의 효율성에 대한 관심이 지속적으로 증대되어 왔으며, 효율성 제고를 위하여 다양한 정책과 지원이 이루어져 왔다.

현재 출연(연)이 전체 정부연구개발 예산의 약 26%인 1조 7,700억 원을 차지하고 있으며, 연구인력도 약 8000여명에 이르고 있다. 이렇게 막대한 예산과 인력이 투자되고 있는 정부출연(연)에서 수행하는 연구개발 활동의 효율성을 제고하기 위해서는 무엇보다도 연구 성과

† 교신저자 jeong@chonbuk.ac.kr

※ 전북대학교 국외연구교수 프로그램의 지원으로 이루어졌음.

를 바탕으로 한 효율성 파악이 필요하다. 투입중심의 연구개발 투자에서 성과중심의 연구개발 투자로 전환하기 위하여 정부가 수행하는 연구개발 활동을 성과중심으로 평가하고, 이에 따른 효율성을 평가하는 작업이 필요하다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 2004년도 정부출연연구기관의 연구 성과 자료를 이용하여 향후 성과제고를 위한 정책적 시사점을 도출하고자 한다. 효율성분석을 위해 DEA(Data Envelopment Analysis)모형과 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하여 가중치의 범위에 제한을 두는 DEA-AR(Assurance Region)모형을 이용한다. DEA 모형은 의사결정단위(DMU : Decision Making Unit)의 효율성을 유사한 투입, 산출 과정을 갖는 다른 조직과 비교하여 상대적인 기술적 효율성 지수로 평가하는데, 투입·산출요소의 측정단위가 상이한 경우에도 표준화 과정 없이 사용가능하며, 사후적이며 경험적인 자료를 이용할 수 있는 장점이 있다. 또한 AHP를 이용한 AR은 투입 및 산출요소의 우선순위에 대한 주관적인 평가자들의 의견을 DEA 모형에 반영시킬 수 있다. 다만, 다수의 평가자들의 견해가 정확히 일치하기 어렵기 때문에 AHP의 결과를 범위로 표현할 수 있는 AR 모형에 적용함으로써 DEA 모형이 가질 수 있는 가중치의 극단적인 선택을 방지할 수 있다.

권철신 외[4]는 R&D 프로젝트를 평가 및 선정하기 위해 CIDEAR(Cross-Impact DEA-AR) 모형을 제안하였다. R&D 프로젝트의 평가 선정을 목적으로 여섯 개의 단계모형을 개발했는데, 그 중 우선순위 결정단계에서 2인의 평가자로부터 투입과 산출에 대하여 우선순위를 도출하여 AR을 설정하였다. 임호순 외[6]는 정보통신 분야의 평가 및 선정을 위한 실용적 모형의 하나로 DEA와 AHP의 통합모형(Hybrid)을 제안하였다. DEA의 변별력 문제를 보완하기 위한 방편으로 AHP를 도입하였으며, 이는 연구개발 사업을 평가하는데 있어 주관적 요소의 개입은 피할 수 없지만 적어도 절차의 객관화를 시도한 것으로 평가된다. 또한 이 통합모형을 통하여 기존의 모형으로 도출하기 곤란한 매우 적은 수의 DMU를 적용한 결과를 제시하였다. 김건위 외[5]는 읍면을 중심으로 한 행정조직의 상대적 효율성을 평가하는데 DEA/AHP 통합모형을 사용하였다. 설문을 실시하여 투입 및 산출요소들의 가중치의 범위를 구하고 이를 CCR 모형에 적용하여 일반적인 CCR 모형과 AR을 적용한 CCR 모형을 비교하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 CCR 모형, BCC 모형 및 AR 모형에 대해 간략하게 소개하고, 제 3장에서는 분석 자료의 요약 및 분석 절차에 대해 설명한다. 제 4장에서는 출연(연)에 대한 DEA분석 결과를 다룬다.

## 2. DEA의 이론적 배경

DEA 모형은 다수의 투입요소를 이용하여 다수의 산출요소를 생산해 내는 DMU(Decision Making Unit)들의 상대적 효율성을 평가하는 모형이다[2]. 이 방법은 DMU들로부터 산출의 가중합과 투입의 가중합의 비율을 상호 비교함으로써 효율성을 측정하고, 측정 대상이 되는 DMU를 다른 DMU들과 비교하여 상대적 개념에서의 비효율성을 나타내준다. 특히 투입요소들 및 산출요소들의 측정단위가 각각 상이한 경우에도 적용이 가능하며 단위를 정규화하는 등의 과정을 생략할 수 있다[4]. 또한 DEA 분석은 효율성을 판단하기 위한 지표로서의 역할과 동시에 비효율적 DMU들의 비효율성 정도와 원인을 구체적으로 파악해줌으로써 효율적인 DMU가 되기 위해 벤치마킹해야 할 참조집합을 제공해 준다.

### 2.1 CCR모형

Charnes, Cooper and Rhodes[9]에 의해서 처음 제안된 CCR모형은 다수의 투입과 다수의 산출이 존재할 때에 관한 비율모형이다.  $x_k = \{x_{ik}\}$  DMU k의 투입벡터로  $x_{ik}$ 는 DMU k의 i번째 투입변수를 나타낸다.  $y_k = \{y_{ik}\}$  DMU k의 산출벡터로  $y_{ik}$ 는 DMU k의 i번째 산출변수를 나타낸다. n개의 DMU에 대한 가중치를 계산하기 위해서는 총 n번의 CCR 비율모형을 사용하며, 각 DMU의 효율성 비율을 최대화할 수 있는 가중치를 이용한다. k번째 DMU의 효율성을 구하기 위한 CCR 모형은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} = \theta^* \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0; \\ & u_r, v_i \geq \epsilon 0; \\ & r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

여기서 k는 효율성을 측정하고자 하는 측정대상 DMU의 인덱스를, s는 산출요소의 수, m은 투입요소의 수를 나타낸다.  $v_i$ 와  $u_r$ 은 각각 측정하고자 하는 DMU의 투입, 산출 가중치로 해당 DMU의 효율성의 값을 극대화할 수 있는 가중치가 계산되어진다.

만일  $\theta^*$ 에 의해 투입요소의 데이터 값이 감소되거나 투입의 초과량  $s^*$ 이 제거될 수 있다면 DMU<sub>0</sub>를 위한 투입 및 산출의 효율성은 향상될 수 있다[7]. 비효율적 DMU

를 효율적 생산프론티어 상으로 개선하기 위한 CCR 프로젝트 공식은 다음과 같다.

$$\hat{x}_0 = \theta^* x_0 - s^{-*} = \sum_{j \in E_0} x_j \lambda_j^*$$

$$\hat{y}_0 = y_0 + s^{+*} = \sum_{j \in E_0} y_j \lambda_j^*$$

$$\text{where } E_0 = \{j \mid \lambda_j^* > 0\}, (j \in \{1, \dots, n\})$$

여기서  $E_0$ 는 비효율적인 DMU<sub>0</sub>가 참조해야 할 효율적인 DMU들의 집합이며,  $\theta^* x_0$ 는 기술적 비효율성(technical inefficiency)을 없애기 위한 것이고,  $s^{-*}$ 와  $s^{+*}$ 는 혼합비효율성(mix inefficiency)을 해소하기 위한 것이다. 즉, CCR 프로젝트는 비효율적 DMU가 효율적인 DMU로 개선되기 위해 변화되어야 할 목표치를 나타낸다.

## 2.2 BCC 모형

Banker, Charnes, and Cooper[8]는 CCR 모형에 의해서 DMU의 비효율성의 원인이 규모인지 기술인지를 규명하지 못하는 단점을 보완하기 위하여 k번째 DMU에 대한 규모의 효율성을 찾기 위해서 BCC 모형을 제안하였다. 목적함수에 있는  $U_0$ 는 규모에 대한 보수를 나타내는 지표로서 규모에 대한 효율성을 파악하는 지표로 사용된다.

$$\max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - U_0$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - U_0 \leq 0$$

$$u_r, v_i \geq \epsilon 0;$$

$$r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$$

BCC 모형의 효율성 값은 주어진 생산규모에서의 순수한 기술효율성을 의미하고, 규모의 효율성은 생산규모가 최적규모의 상태인가를 측정하는 것을 의미한다. 규모효율성은 CCR 모형의 효율성 값을 BCC 모형에서 얻은 효율성 값으로 나누어 구할 수 있다. 이렇게 얻은 규모효율성 값과 기술효율성 값을 비교하여 비효율의 원인을 찾아낼 수 있으며 효율성 개선을 위한 방향을 제시해 준다.

## 2.3 AR 모형

기존의 CCR/BCC 모형은 목적함수의 값을 최대화하기

위해 자신에게 불리하게 작용할 수 있는 투입 및 산출 요소에 최소의 가중치를 갖거나 가중치를 아예 갖지 않는 경우가 있다. 이는 분석을 위해 사용된 투입요소나 산출요소의 가중치가 의미를 갖기 위해서는 가중치 값이 적어도 0이 아닌 양의 값을 갖고 일정부분 설명할 수 있어야 한다. 이렇게 비현실적으로 가중치가 적용되는 CCR/BCC 모형의 한계점을 해결하기 위해 Tompson et al.[12]이 AR 모형을 제안하였다.

AR 모형은 투입 및 산출요소의 가중치의 값에 일정한 제약을 두는 형태로, DEA계산 과정에 전문가의 의견 등과 같은 사전정보를 반영할 수 있도록 한 방법이다. 특정요소의 가중치에 상한과 하한의 범위를 지정함으로써 가중치가 극단적으로 왜곡되는 현상을 방지하기 위한 것이다. AR 모형에서는 이를 위해 의사결정자로부터 정확한 가중치를 요구하지 않고 단순히 평가요소들 사이의 우선순위 관계만 요구한다.

투입요소와 산출요소에 대한 제한은 다음과 같이 구성할 수 있다. 식에서  $OU_r$ ,  $OL_r$ 은 산출요소들의 가중치의 상한 및 하한을 나타내는데, 첫 번째 산출요소와 r번째 산출요소의 가중치의 비율 값이  $OU_r$ 과  $OL_r$  사이에 존재하게 된다. 마찬가지로  $IU_i$ 와  $IL_i$ 은 첫 번째 투입요소와 i번째 투입요소들의 가중치 비율의 상한 및 하한 범위를 나타낸다.

$$IL_i v_1 \leq v_i \leq IU_i v_1 \quad (\text{input})$$

$$OL_r u_1 \leq u_r \leq OU_r u_1 \quad (\text{output})$$

$$i = 2, 3, \dots, m; r = 2, 3, \dots, s$$

이 부등식을 일반화시켜 행렬의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & C_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \leq 0_p$$

여기서  $D_{11}$ 은  $p_1 \times s$ ,  $C_{22}$ 는  $p_2 \times m$ ,  $0_p$ 는  $p_1 + p_2$ (0행렬)로 나타낸다. 이 때  $p_1 = 2(s-1)$ ,  $p_2 = 2(m-1)$ 이다. 더 일반적으로  $D_{11} \leq 0$ 은 산출 cone U,  $C_{22} \leq 0$ 은 투입 cone V라고 정의할 수 있다. 이처럼 AR 모형 중에서도 투입과 산출의 관계를 독립적인 관계로 규정하고 각각 투입요소 및 산출요소 사이의 우선순위 관계만 정의한 모형을 CR(Cone Ratio) AR이라고 한다[10].

반면에 LC(Linked Cone) AR 모형은 투입요소, 산출요소들의 각각의 관계뿐만 아니라 투입 및 산출요소의 관계가 서로 비독립적으로 연결되어 나타낸다. 아래 식에서 보는 바와 같이  $F_1$ 과  $F_2$ 는  $p_3 \times s$  그리고  $p_3 \times m$ (non-null) 행렬로 나타낼 수 있다[13].

$$F_1u + F_2v \leq 0$$

이 부등식의 행렬식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & C_{22} \\ F_1 & F_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \leq 0$$

### 3. DEA 모형을 이용한 효율성 분석

#### 3.1 Data 수집 및 기초 분석

본 연구에서는 출연(연)의 투입요소로 연구비와 연구인력, 산출요소로 SCI 논문 발표 건수, 등록특허 건수, 기술료 수입 중심으로 살펴보고자 한다. 출연(연)의 산출요소로 고려되고 있는 연구 성과는 상기 세 가지 항목 외에도 다양한 형태로 존재할 수 있다. 예를 들면, 특정한 기술 분야의 경쟁력 확보 또는 혁신역량의 구축 등 포괄적인 측면에서부터, 중소기업에 대한 기술지도, 연구 장비 지원 등 세부적인 측면에 이르기까지 다양한 형태의 성과가 존재할 수 있다. 다만, 본 연구에서는 정량적으로 측정이 가능하고, 측정된 결과가 확인이 가능한 성과지표 중 출연(연) 연구개발 활동의 특성을 반영할 수 있는 지표를 활용하기 위해 앞에서 언급한 세 가지 성과 지표를 사용하며, 그 특성은 다음과 같다.

SCI 논문 발표 건수의 경우 기초·응용연구의 성과를 측정할 수 있는 대표적인 지표이다. 일반적인 논문 발표 건수 또는 학술대회 발표 건수 등과는 달리 SCI 논문 발표 실적은 일정 수준의 질적 성과를 담보할 수 있으며, 성과에 대한 확인이 가능하다는 점에서 유용성을 갖고 있다. 등록특허 건수는 응용·개발 연구의 성과를 측정할 수 있는 지표로 사용된다. 일반적으로 특허와 관련된 성과 지표로서 특허 출원 건수가 사용되기도 하지만, 특허 출원은 지적소유권을 확보하기 위한 과정일 뿐 구체적인 결과가 아니라는 점에서 특허 등록 건수를 성과 지표로 사용한다. 다만, 연구개발 수행시점과 특허 등록 시점 간에는 상당한 시간적 격차가 존재할 수 있지만, 본 연구는 당해 연도의 성과 보다는 성과의 추세에 관심이 있으므로 시차요소는 고려하지 않는다. 마지막으로 연구개발 결과의 활용이라는 측면에서 기술료 수입을 지표로 사용한다. 기술료 수입은 출연(연)과 기업간 기술이전 또는 실시계약을 통해 발생하는 성과로써 기술이전 또는 실시계약 등의 성과지표

에서 발생할 수 있는 계약 불이행에 따른 과다계상 오류를 최소화할 수 있는 성과 지표이다.

본 연구에 사용된 자료는 19개 출연(연)을 대상으로 조사를 통해 얻어진 결과이다. 연구회는 기술에 따라 기초기술, 산업기술 및 공공기술연구회로 나뉜다. 각 연구회별 산하연구기관의 2004년도 투입 및 산출데이터는 <표 1>과 같다<sup>1)</sup>. 연구개발예산은 총예산에서 시설비, 차입금상환, 기타수입, 일반사업비 중 비R&D자금을 뺀 금액이며, 연구인력은 2004년 12월 31일 기준으로 기술직, 비정규직 등을 제외한 정규직 중 연구직 인원수를 나타낸다.

DEA 모형을 이용한 효율성 분석에 앞서 기초분석 단계로서 입출력 변수들 사이의 관계를 기술통계적 관점에서 분석하였다. 연구비 1억 원당 SCI논문과 등록특허 평균 건수는 각각 0.14건과 0.12건, 연구개발 투입대비 기술료 수입비중은 2.74%를 기록하였다. 한국생명공학(연), 한국천문(연), 한국표준과학(연), 한국식품(연), 한국기초과학지원(연), 한국기계(연), 한국전기(연)등도 연구비투입 대비 논문실적이 평균이상을 기록하였다. 한국전자통신

<표 1> 투입 및 산출 데이터

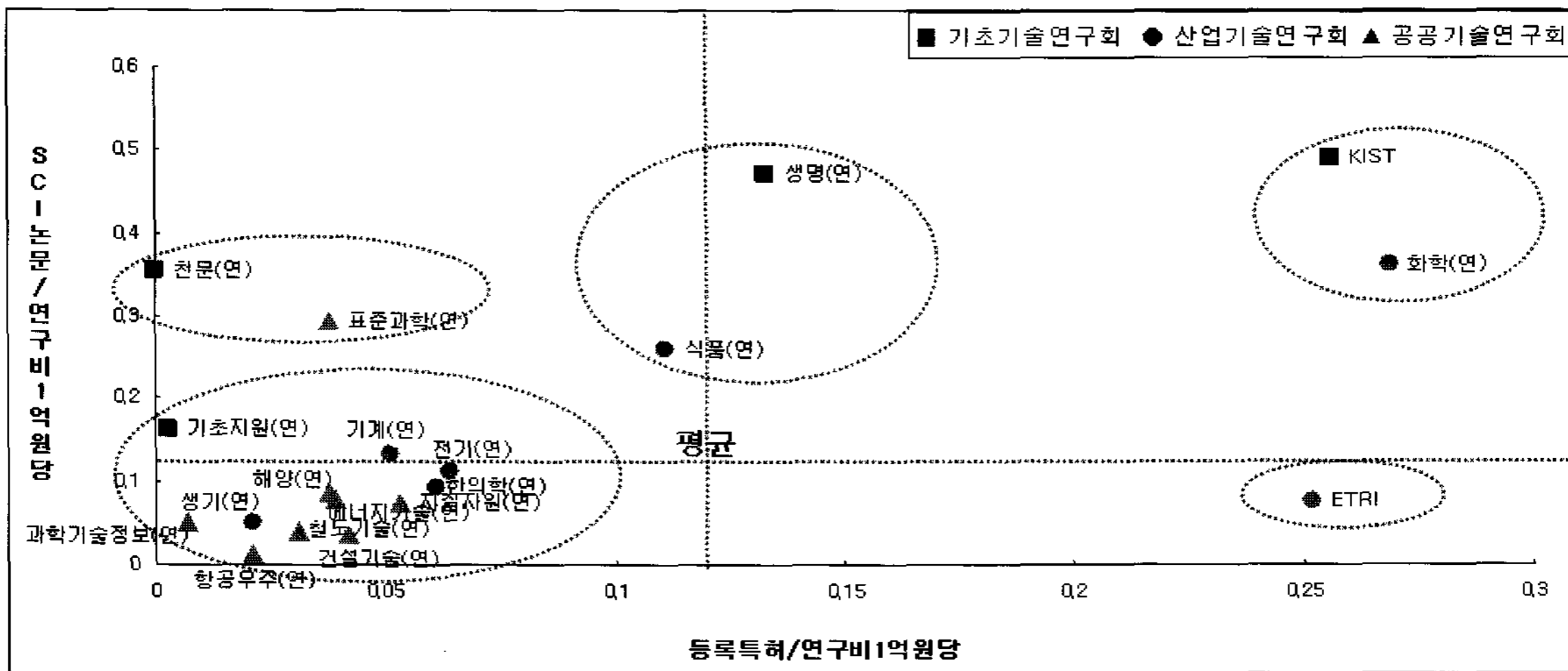
연구회	DMU	투입		산출		
		연구인력	연구개발예산(백만원)	SCI 논문	등록특허	기술료(백만원)
기초기술연구회	한국과학기술(연)	385	124,800	612	320	1,730
	한국생명공학(연)	189	60,170	284	80	488
	한국기초과학지원(연)	119	66,789	108	2	0
	한국천문(연)	57	14,658	52	0	0
산업기술연구회	한국한의학(연)	29	6,517	6	4	49
	한국생산기술(연)	242	118,897	59	25	1,953
	한국전자통신(연)	1,558	424,198	325	1,070	37,470
	한국식품(연)	104	24,238	63	28	181
	한국기계(연)	284	114,807	153	59	1,985
	한국전기(연)	174	84,592	94	54	1,339
	한국화학(연)	207	70,889	256	191	645
공공기술연구회	한국과학기술정보(연)	236	58,221	29	4	5
	한국건설기술(연)	237	64,599	23	31	9
	한국철도기술(연)	194	60,548	24	19	663
	한국표준과학(연)	201	80,864	237	31	114
	한국해양(연)	201	86,940	75	33	653
	한국지질자원(연)	281	66,343	49	35	629
	한국항공우주(연)	410	176,472	21	37	49
	한국에너지기술(연)	204	71,702	58	28	780

1) 한의학연구소가 산업기술연구회에서 기초기술연구회로 변경되는 등 2006년, 9월과 2007년 3월에 연구회 소속 출연연에 변화가 있었음.

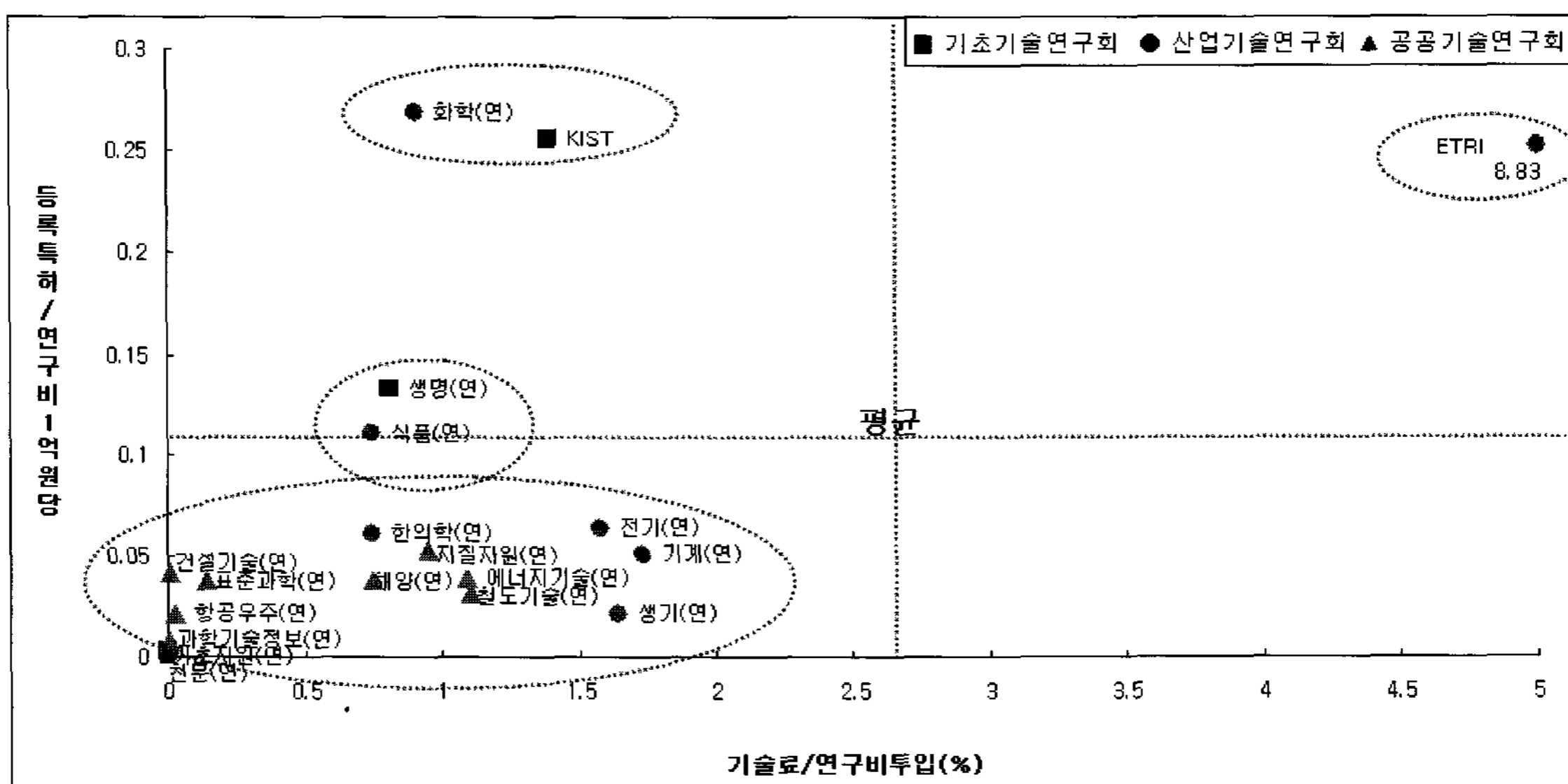
(연)은 등록특허건수 뿐만 아니라 연구비대비 기술료수입도 매우 높아 특허의 활용실적이 가장 우수한 것으로 나타났다. 한국과학기술(연), 한국화학(연), 한국생명공학(연)의 경우 등록특허 성과는 높으나, 기술료수입이 낮게 나타났다. 한국기계(연), 한국전기(연), 한국생산기술(연)의 경우 연구비 투입대비 등록특허와 기술료수입이 평균 이하 수준으로 나타났음을 알 수 있다. 공공기술 연구회소관 출연(연)은 기관별 기능 및 역할의 특성으로 인하여 타 연구회 소관기관에 비하여 논문·특허·기술료성과가 상대적으로 저조하게 나타났다. <그림 1>과 <그림 2>에서는 주요 입력변수인 연구비 대비 성과 지표 비율을 각 출연(연)별로 분포형태로 요약해 보여주고 있다.

### 3.2 AR 설정

AR 모형에서 제시하고 있는 산출요소 가중치의 하한값과 상한값을 구하기 위하여 AHP 기법[3]을 적용한다. 투입요소의 경우에는 연구회별로 가중치가 달라질 만한 특별한 이유가 없기 때문에 AR에서 제외한다 산출요소의 경우에는 연구회의 특성에 따라 중요시되는 요소가 달라질 수 있다. 예를 들어서, 기초기술연구회의 출연(연)에서 중요시하는 산출요소와 산업기술연구회의 출연(연)에서 중요시하는 요소는 다를 수 있다. 따라서 연구회의 특성을 반영할 수 있도록 쌍대비교를 통해 연구회별로 산출요소들의 중요도를 구하여 이용하기로 한다. 쌍대비교를 위해 과기부의 연구개발조정관실, 과학



<그림 1> 연구개발비 대비 SCI 논문과 특허 건수 분포



<그림 2> 연구개발비 대비 특허 건수와 기술료 분포



기술정책국, 기술혁신평가국, 그리고 각 연구회의 출연(연)에서 총 42명의 평가자를 선발하여 산출물들의 상대적인 중요도에 대한 설문조사를 실시하였으며 쌍대비교는 Saaty의 9점 척도[1, 11]를 이용하였다. 3개 연구회에 소속된 12명의 평가자들은 자신이 속한 연구회의 특성을 가장 잘 반영할 수 있다는 관점에서 자신이 종사하고 있는 연구회에 한하여 쌍대비교를 실시하였고, 연구개발조정관실(7명), 과학기술정책국(7명), 기술혁신평가국(10명)에 속한 평가자들은 3개 연구회에 대하여 모두 쌍대비교를 하도록 하였다. 쌍대비교행렬의 일치성지수(Consistency Index)가 0.1이상인 평가자들의 평가치는 제외하였다[11]. 의견이 수용된 평가자들의 요소의 중요도간의 비율 중 가장 작은 값을 하한값으로, 가장 큰 값을 상한값으로 지정하여 <표 2>와 같이 각 연구회별로 산출요소들의 AR을 얻었다. 세 가지 산출요소 중 기초기술연구회는 SCI와 특허등록이, 산업기술연구회는 특허등록이 상대적으로 중요하게 평가되고 있다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 분석모형

먼저 가중치에 대해 어떠한 제약조건도 주지 않고 해당 DMU가 효율성을 최대화 하기 위해 가장 유리한 가중치를 갖는 CCR 및 BCC모형을 적용하여 효율성을 분석하였다. 다음으로 AR모형 중에서도 산출요소 사이의 우선순위 관계를 고려한 Cone-Ratio AR모형을 적용하였다. 각 연구회별로 산출된 AR을 19개 DMU에 모두 적용하여 해당 연구회의 AR과 다른 연구회의 연구기관들이 제약조건으로 포함되었을 때 효율성에 어떠한 차이를 가져오는지 알아보았다. 즉, 기초기술연구회에 속한 DMU들의 효율성 분석 시 산업기술연구회와 공공기술연구회의 DMU들을 제약조건에 포함하고 앞서 산출된 기초기술연구회의 AR을 적용한 후 기초기술연구회의 DMU에 한하여 효율성 분석을 실시하였다. 마찬가지로 다른 연구회의 효율성 분석 시 같은 방법을 적용하였다. 또한 각 연구회소관 하위 연구기관들의 효율성 차이를 평가하기 위해 연구회별로 산출된 AR을 적용하여 그룹분석도 실행하였다.

<표 2> AR을 위한 한계값

가중치 비율	기초기술연구회		산업기술연구회		공공기술연구회	
	OL	OU	OL	OU	OL	OU
특허등록/SCI	0,405	1,585	1,000	6,386	0,399	7,525
기술료/SCI	0,090	1,000	0,200	10,140	0,116	5,248
기술료/특허등록	0,155	1,000	0,200	2,982	0,153	2,291

## 4. 결과분석

### 4.1 CCR/BCC 모형 적용결과

CCR 및 BCC 모형을 적용하여 2개 투입요소와 3개의 산출요소를 갖는 19개 DMU의 상대적인 효율성을 측정하였다. 기술효율성과 규모효율성을 분리해 볼 수 있도록 CCR 모형과 BCC 모형을 이용하였으며 비효율적인 DMU들의 경우에 CCR 프로젝션과 BCC 프로젝션을 구함으로써 효율적 프론티어(efficient frontier)로 이동함으로써 효율성을 개선하기 위한 연구개발비 투입의 감소 요구량을 산출하여 분야별 연구개발비 조정의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

먼저 <표 3>의 CCR 모형 적용결과 한국과학기술(연), 한국전자통신(연), 한국화학(연)이 효율성점수 1로 효율적인 DMU로 평가되었다. BCC 모형에서는 CCR 모형에서 효율적이었던 3개의 DMU 외에 한국생명공학(연), 한국천문학(연), 한국한의학(연)이 효율적인 것으로 나타났다. 이는 <그림 1>과 <그림 2>에서 보여주는 내용에서도 어느 정도 예상할 수 있는 결과이다. 한국항공우주(연)은 CCR, BCC 모형에서 각각 0.0978, 0.1474로 가장 낮은 효율성을 보이고 있는데 비교적 높은 입력수준과 예산을 필요로 하지만 단기간 내에 상당한 기술의 발전을 얻기 힘든 연구의 특성에 기인한 것으로 보여진다.

CCR 모형은 DMU간의 규모와 기술이 결합된 효율성을 제공하기 때문에 비효율적 DMU의 비효율성의 원인을 파악하기에는 부족하다. 따라서 BCC 모형의 효율성 값을 CCR 모형의 효율성 값으로 나누어 주면 규모의 효율성 값을 구할 수 있고, 이렇게 구한 규모의 효율성 값과 BCC 모형을 적용하여 구한 기술효율성의 값을 비교하여 비효율의 원인을 규명할 수 있다. BCC 모형에서 효율적 DMU로 평가되었지만 CCR 모형에서는 비효율적이었던 한국생명공학(연), 한국천문학(연), 한국한의학(연)은 규모의 비효율이 존재하고 있으며, 나머지 비효율적 DMU들은 기술에 비효율성의 원인이 존재함을 알 수 있다.

참조집합(Reference set)은 비효율적인 DMU들이 효율적인 생산프론티어 상으로 가기 위해서 참조하는 효율적 DMU들의 집합이다. CCR 모형에서 효율적 DMU로 평가된 한국과학기술(연), 한국전자통신(연), 한국화학(연)은 다른 비효율적 DMU들의 참조집합이 되며 참조빈도가 Reference set의 괄호 안에 나타나 있다.

참조집합에 있는 DMU들의 조합으로 이루어지는 CCR 프로젝션과 BCC 프로젝션에 의한 입력과 예산요소의 감소 비율이 표에 나타나 있다. 이 비율은 비효율적인 해당 DMU가 효율적인 DMU가 되기 위해서 입력요소

〈표 3〉 CCR/BCC 모형 적용결과

No.	DMU	CCR				BCC				비효율의 원인		
		Score	Reference set	Projection		Score	Reference set	Projection		CCR/BCC	규모	기술
				인력	예산			인력	예산			
1	한국과학기술(연)	1	1(14)	0.00%	0.00%	1	1(9)	0.00%	0.00%	1		
2	한국생명공학(연)	0.96250	1	-5.47%	-3.75%	1	2(2)	0.00%	0.00%	0.96250	0	
3	한국기초과학지원(연)	0.57093	1	-42.91%	-67.03%	0.73702	2, 5	-26.30%	-60.77%	0.77466		0
4	한국천문(연)	0.72342	1	-42.61%	-27.66%	1	4(2)	0.00%	0.00%	0.72342	0	
5	한국한의학(연)	0.23961	1, 7, 11	-82.68%	-76.04%	1	5(13)	0.00%	0.00%	0.23961	0	
6	한국생산기술(연)	0.42670	1, 7	-57.33%	-75.17%	0.51509	1, 5, 7	-48.49%	-71.44%	0.82841		0
7	한국전자통신(연)	1	7(9)	0.00%	0.00%	1	7(7)	0.00%	0.00%	1		
8	한국식품(연)	0.53121	1, 7	-61.79%	-46.88%	0.72278	1, 4, 5	-39.78%	-27.72%	0.73496		0
9	한국기계(연)	0.54134	1, 7	-45.84%	-59.58%	0.60378	1, 5, 7	-39.62%	-56.38%	0.89659		0
10	한국전기(연)	0.56827	1, 7	-43.17%	-64.92%	0.68449	1, 5, 7	-31.55%	-59.96%	0.83021		0
11	한국화학(연)	1	11(3)	0.00%	0.00%	1	11(2)	0.00%	0.00%	1		
12	한국과학기술정보(연)	0.10157	1	-92.27%	-89.84%	0.18288	1, 4, 5	-81.81%	-81.71%	0.55542		0
13	한국건설기술(연)	0.17810	11	-85.82%	-82.19%	0.24476	5, 11	-76.92%	-75.52%	0.72767		0
14	한국철도기술(연)	0.19143	1, 7	-80.86%	-82.29%	0.31076	1, 5, 7	-68.92%	-74.37%	0.61601		0
15	한국표준과학(연)	0.74176	1	-25.82%	-40.23%	0.80572	2, 5	-19.43%	-36.81%	0.92061		0
16	한국해양(연)	0.31598	1, 7	-68.40%	-77.44%	0.42132	1, 5, 7	-57.87%	-72.40%	0.74998		0
17	한국지질자원(연)	0.22301	1, 7	-82.57%	-77.70%	0.2923	1, 5, 7	-74.67%	-70.77%	0.76296		0
18	한국항공우주(연)	0.09780	11	-90.22%	-92.22%	0.14735	5, 11	-85.27%	-89.87%	0.66377		0
19	한국에너지기술(연)	0.29069	1, 7	-70.93%	-75.09%	0.39752	1, 5, 7	-60.25%	-68.80%	0.73126		0

인 인력과 예산이 감소해야 하는 비율을 나타내고 있다. 이 비율은 비효율적 DMU를 효율적 생산 프론티어 상으로 옮기기 위한 프로젝션 공식에 의해 얻어진다. 예를 들어 효율성 점수가 가장 낮게 평가된 한국항공우주(연)의 경우 인력 및 예산이 약 90% 가까이 감소해야 효율적 DMU로 갈 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또한 효율성이 낮을수록 투입요소의 감소 비율이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

## 4.2 DEA/AR 모형 적용 결과

### 4.2.1 전체분석결과

다음 <표 4>는 산출요소들의 가중치 범위를 고려한 CCR-AR 모형을 이용한 분석 결과이다. 일반적인 DEA 모형에서는 목적함수에 있는 DMU에 유리한 방향으로 요소별 가중치가 정해지기 때문에 극단적인 가중치 선택으로 인하여 효율적인 DMU가 다수 선정되어 가장 효율적인 DMU를 판별하기 어렵게 된다.

그러나 요소들의 가중치 범위를 설정하여 효율성을 평가하는 경우 가중치에 어느 정도 제한을 두면 DMU들의 효율성의 비교가 용이하게 된다. 각 DMU들의 효율성평가에 산출요소들이 의미를 가질 수 있도록 평가

자들에 대한 설문조사를 통해 산출된 가중치의 범위를 지정하여 그 결과를 분석하였다. 연구회별로 산출된 가중치 범위를 이용하여 DEA/AR 모형을 적용하였으며 모든 연구회의 출연(연), 즉, 19개 DMU 모두를 제약식에 포함시켜 모형을 수행하였다. 이 경우 전체 DMU 중에서 한국전자통신(연)만 효율적 DMU로 평가되었다. 입력 Data를 통해 한국전자통신(연)은 다른 DMU에 비해 투입요소의 양이 많았지만, 특히, 기술료 등의 산출요소의 값도 현저하게 높게 나타나고 있어 효율성이 1로 평가되었음을 알 수 있다. CCR/BCC 모형 결과와 마찬가지로 한국항공우주(연)은 가장 낮은 0.038의 효율성 점수를 나타내고 있다. 한국과학기술(연)의 경우, 산출요소 중 SCI에 가장 큰 가중치를 갖고 있으며, 투입요소 중에서는 다른 DMU와 비교하여 상대적으로 큰 값을 가지는 예산 부분의 가중치를 0으로 갖고 효율성이 평가되었음을 알 수 있다.

### 4.2.2 연구회별 분석

앞에서는 19개 DMU 모두를 제약식에 포함시킴으로써 다른 연구회 소속 출연(연)들까지 고려한 상대적 효율성을 구하였다. 그러나 소속 연구회별로 연구기관의 목적과 환경이 다를 수 있다는 점을 고려하여 같은 연

<표 4> DEA/AR모형 적용결과

No.	DMU	Score	참조 빈도	Projection		투입가중치		산출가중치		
				인력	예산	V(1)인력	V(2)예산	U(1)SCI	U(2)등록특허	U(3)기술료
1	한국과학기술(연)	0.89312		-10.69%	-24.98%	0.002597	0	0.000936	0.000546	0.000084
2	한국생명공학(연)	0.71858		-28.14%	-38.55%	0.005291	0	0.001994	0.000808	0.000180
3	한국기초과학지원(연)	0.34460		-65.54%	-83.28%	0.008403	0	0.003167	0.001283	0.000285
4	한국천문(연)	0.36402		-65.62%	-63.60%	0	0.000068	0.007000	0.002835	0.000631
5	한국한의학(연)	0.14499		-88.03%	-85.50%	0	0.000153	0.007323	0.007323	0.001465
6	한국생산기술(연)	0.34374		-65.63%	-80.95%	0.004132	0	0.000724	0.000724	0.000145
7	한국전자통신(연)	1	18	0.00%	0.00%	0.000642	0	0.000112	0.000112	0.000022
8	한국식품(연)	0.25044		-78.56%	-74.96%	0	0.000041	0.001969	0.001969	0.000394
9	한국기계(연)	0.37585		-62.42%	-74.69%	0.003521	0	0.000617	0.000617	0.000123
10	한국전기(연)	0.41884		-58.12%	-76.54%	0.005747	0	0.001007	0.001007	0.000201
11	한국화학(연)	0.48772		-51.23%	-61.22%	0.004831	0	0.000847	0.000847	0.000169
12	한국과학기술정보(연)	0.04450		-95.97%	-95.97%	0	0.000017	0.001430	0.000571	0.000166
13	한국건설기술(연)	0.05705		-94.29%	-94.29%	0.004219	0	0.001200	0.000910	0.000139
14	한국철도기술(연)	0.17091		-82.91%	-85.09%	0.005155	0	0.001576	0.000629	0.000183
15	한국표준과학(연)	0.39951		-60.05%	-72.96%	0.004975	0	0.001521	0.000607	0.000176
16	한국해양(연)	0.24929		-75.07%	-84.31%	0.004975	0	0.001521	0.000607	0.000176
17	한국지질자원(연)	0.17323		-84.98%	-82.68%	0	0.000015	0.001167	0.000885	0.000135
18	한국항공우주(연)	0.03796		-96.20%	-97.60%	0.002439	0	0.000694	0.000526	0.000080
19	한국에너지기술(연)	0.23921		-76.08%	-81.47%	0.004902	0	0.001499	0.000598	0.000174

구회 소속 출연(연)들만을 고려한 효율성을 구해보기로 한다. 산출요소에 대한 가중치 범위를 각 연구회별로 적용하여 제약식에 같은 연구회 소속 DMU들만을 포함시키고 효율성을 분석한 결과를 <표 5>~<표 7>에서 보여주고 있다. 각 연구회별로 살펴보면 기초기술연구회에서는 한국과학기술(연)이, 산업기술연구회에서는 한국전자통신(연), 공공기술연구회에서는 한국표준과학(연), 한국에너지기술(연)이 효율적 DMU로 평가되었다. CCR/BCC 모형 및 AR 모형에서는 한국항공우주(연)이 효율성이 가장 낮은 DMU로 평가되었으나 그룹별로 AR을 적용한 결과, 산업기술연구회의 한국한의학(연)이 효율성 점수 0.145로 가장 비효율적인 DMU로 평가되었다. 기초기술연구회의 결과를 보면 DEA/AR 모형에서 제약식으로 작용했던 산업기술, 공공기술연구회의 연구기관들이 제외되었기 때문에 효율성의 값이 전체적으로 상승했음을 알 수 있다. 가중치를 살펴보면 산출요소 중 대체적으로 SCI에 가장 높은 가중치를 할당했으며, 4개의 DMU 중 투자된 예산이 많은 한국과학기술(연)과 한국기초과학지원(연)은 예산 가중치를 0으로 주어 효율성 점수를 최대화하고자 했음을 알 수 있다. 기초기술연구회의 하위 기관들 중에서는 한국기초과학지원(연)이 효율

성 점수 0.4156으로 가장 비효율적 기관으로 평가되었다. 산업기술연구회는 SCI와 특허등록에 동일한 가중치를 주고 있다. 한국한의학(연)이 가장 비효율적 DMU로 평가되었는데 이는 그리 높지 않은 투입 수준에도 불구하고 가장 산출성도가 좋은 기술료 부분에서 높은 가중치를 갖지 못했기 때문이라고 생각된다. 공공기술연구회에서는 효율적 DMU인 한국표준과학(연)과 한국에너지기술(연)이 각각 4회, 5회의 참조빈도를 보이고 있다. 한국항공우주(연)은 효율성 점수가 0.1555로 가장 효율성이 낮은 기관으로 평가되었다. 비효율적인 DMU들의 투입가중치를 살펴보면 가중치 값을 0을 줌으로써 효율성을 평가하는데 아무런 의미를 갖지 않는 투입요소는 다른 DMU들에 비해 투입된 양이 많으며, 다른 투입요소에 비해 감소해야 하는 양, 즉 프로젝션 양이 많은 것을 알 수 있다. 아울러서 전체 분석결과를 보여주고 있는 <표 4>와 연구회별 분석을 보여주고 있는 <표 5>~<표 7>로부터 제약식에 포함되는 DMU의 수가 달라지므로 해서 효율성에는 상당한 차이를 보여주고 있지만 공공기술연구회의 일부 기관을 제외하고는 각 연구회 내의 기관별 효율성 순위는 같게 나타나고 있다는 점을 알 수 있다.



〈표 5〉 기초기술연구회

No.	DMU	Score	참조 빈도	Projection		투입가중치		산출가중치		
				인력	예산	V(1)인력	V(2)예산	U(1)SCI	U(2)등록특허	U(3)기술료
1	한국과학기술(연)	1	3	0.00%	0.00%	0.002597	0	0.001049	0.000609	0.000094
2	한국생명공학(연)	0.85254		-16.27%	-14.75%	0	0.000017	0.002456	0.000589	0.000221
3	한국기초과학지원(연)	0.41559		-58.44%	-76.00%	0.008403	0	0.003831	0.000919	0.000345
4	한국천문(연)	0.52426		-58.41%	-47.57%	0	0.000068	0.010082	0.002420	0.000907

〈표 6〉 산업기술연구회

No.	DMU	Score	참조 빈도	Projection		투입가중치		산출가중치		
				인력	예산	V(1)인력	V(2)예산	U(1)SCI	U(2)등록특허	U(3)기술료
1	한국한의학(연)	0.14499		-88.03%	-85.50%	0	0.000153	0.007323	0.007323	0.001465
2	한국생산기술(연)	0.34374		-65.63%	-80.95%	0.004132	0	0.000724	0.000724	0.000145
3	한국전자통신(연)	1	6	0.00%	0.00%	0.000642	0	0.000112	0.000112	0.000022
4	한국식품(연)	0.25044		-78.56%	-74.96%	0	0.000041	0.001969	0.001969	0.000394
5	한국기계(연)	0.37585		-62.42%	-74.69%	0.003521	0	0.000617	0.000617	0.000123
6	한국전기(연)	0.41884		-58.12%	-76.54%	0.005747	0	0.001007	0.001007	0.000201
7	한국화학(연)	0.48772		-51.23%	-61.22%	0.004831	0	0.000847	0.000847	0.000169

〈표 7〉 공공기술연구회

No.	DMU	Score	참조빈도	Projection		투입가중치		산출가중치		
				인력	예산	V(1)인력	V(2)예산	U(1)SCI	U(2)등록특허	U(3)기술료
1	한국과학기술정보(연)	0.16519		-89.87%	-83.48%	0	0.000017	0.005074	0.003847	0.000589
2	한국건설기술(연)	0.28564		-78.43%	-71.44%	0	0.000015	0.004069	0.005931	0.000907
3	한국철도기술(연)	0.99639		-11.52%	-0.36%	0	0.000017	0.000281	0.00643	0.001474
4	한국표준과학(연)	1	4	0.00%	0.00%	0.004975	0	0.003653	0.002770	0.000424
5	한국해양(연)	0.98487		-1.51%	-18.75%	0.004975	0	0.003057	0.005685	0.000870
6	한국지질자원(연)	0.96019		-35.50%	-3.98%	0	0.000015	0.000926	0.006971	0.001067
7	한국항공우주(연)	0.15549		-84.45%	-87.21%	0.002439	0	0.001499	0.002787	0.000426
8	한국에너지기술(연)	1	5	0.00%	0.00%	0	0.000014	0.003666	0.005344	0.000818

## 5. 결 론

본 논문에서는 출연(연)들의 연구개발 활동을 성과중심으로 평가함으로써 연구개발 활동의 효율성을 제고하기 위해서 DEA 및 AR 모형을 적용하여 각 연구 기관의 종합적인 입력과 출력을 기반으로 효율성 평가 및 분석을 실시하였다. 19개의 정부출연(연)에 대해서 소관연구회별, 출연(연), 기술 분야별로 SCI 등재 학술지 발표 논문, 등록특허, 기술료를 중심으로 2004년도 연구 성과 자료를 이용하였다.

효율성 분석을 위해서 가장 기본적인 모형인 CCR/BCC 모형을 이용하여 효율적인 DMU와 비효율적인 DMU로 구분하고 비효율적인 DMU들의 벤치마킹 대상

인 참조집합을 제시하였다. 또한 연구회별로 산출요소들의 중요도가 다를 수 있다는 점을 고려하여 DEA/AR 모형을 이용하여 연구회별로 적절한 가중치 영역을 제한하여 분석함으로써 연구회별 특성에 맞는 정교한 효율성 분석을 시도하였다. DEA/AR 모형을 통한 효율성 측정 결과 각 출연(연)들의 객관적이고 상대적인 효율성을 제시함으로써 각 연구기관에 대한 연구개발비 투자에 대한 의사결정의 기초자료로 활용할 수 있다는 의미를 부여할 수 있다.

그러나 특정한 기술 분야의 기술적 환경 등과 같은 정성적인 항목과 취약 분야의 국가적 경쟁력 확보 또는 혁신역량의 구축과 같은 출연(연)의 목적 등을 반영하지 못하는 한계점을 갖고 있다. 특히, 공공기술연구회

소관 출연(연)은 자원·에너지·건설·우주항공 등 공공부문이 요구하는 시스템 개발을 목적으로 하고 있기 때문에 논문·특허·기술료로 성과를 가늠하는 것은 한계가 있다. 따라서 정량적인 평가 척도들을 활용한 연구 성과 평가시스템의 수립을 통해 지속적으로 출연(연)의 연구 성과를 모니터링하고, 연구회 또는 출연(연)별 고유 목적, 정책적 특성 등 정성적인 요소들을 반영하기 위한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- [1] 김성희, 정병호, 김재경; 의사결정분석 및 응용, 영지문화사, 1999.
- [2] 전용수, 최태성, 김성호; 효율성평가를 위한 자료 포락분석, 인하대학교출판부, 2002.
- [3] 조근태, 조용곤, 강현수; 앞서가는 리더들의 계층 분석적 의사결정, 동현, 2003.
- [4] 권철신, 박준호, 홍석기; “상호영향성 R&D과제군 의 평가선정을 위한 CIDEAR 모형의 개발”, 한국경영과학회지, 29(3) : 41-61, 2004.
- [5] 김권위, 이혜영, 박해육; “DEA/AHP모형을 통한 행정조직의 상대적 효율성 평가”, 한국지방정부 학회지, 8(4) : 303-321, 2005.
- [6] 임호순, 유석천, 김연성; “연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP통합모형에 관한 연구”, 한국경영과학회지, 24(4) : 1-12, 1999.
- [7] Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K.; Data Envelopment Analysis, Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, 2002.
- [8] Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W.; “Some models for estimation technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis,” *Management Science*, 30(9) : 1078-1092, 1984.
- [9] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E.; “Measuring the efficiency of decision making units,” *European J. of Oper. Res.*, 2(6) : 429-444, 1978.
- [10] Talluri S., Yoon, K. P.; “A cone-ratio DEA approach for ATM justification,” *Int. J. Production Economics*, 66 : 119-129, 2000.
- [11] Thomas L. Satty; The analytic hierarchy process, McGraw-Hill, Inc. 1980.
- [12] Thompson, R. G., Singleton, F. D., Jr., R. M. Thrall and Smith, B. A.; “Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas,” *Interfaces*, 16 : 35-49, 1986.
- [13] Thompson R. G., Dharmapala, P. S., and Thrall, R. M.; “Linked-cone DEA profit ratio and technical efficiency with application to Illinois coal mines,” *Int. J. Production Economics* 39 : 99-115, 1995.