# Fuzzy AHP와 DEA-AR 모형을 이용한 R&D 연구 과제의 성과평가

권철홍* · 정양헌** · 방성식***

## I. 서 론

자원의 효율적 배분의 필요성으로 인하여 한국의 많은 연구기관에서는 연구과제에 대한 성과평가를 실시하고 있다. 최소한의 투입대비 최대한의 산출이라는 효율성 개념은 성과평가의 기본 개념이라 할 수 있다. 연구기관의 연구과제 성과평가 즉, 투입물을 이용한 산출물의 평가가 중요한 이유는 성과평가를 통해 조직 및 단위의 효율성을 평가하여, 조직의 자원을 적절한 곳에 배분해야 하기 때문이다.

연구 프로젝트의 경우도 연구비, 연구인원 등으로 대변되는 자원을 투입하여 논문, 특허 기술이전 등으로 대변되는 산출물을 생산하기 때문에 이러한 효율성 평가에서 자유롭지 않으며, 사후 연구 프로젝트의 효율성 평가를 통한 적절한 자원 배분 필요성이 존재한다.

그러나 연구과제나 이러한 연구 과제를 수행하는 조직의 성과평가에는 많은 어려움이 존재한다. 연구과제의 성과평가가 어려운 이유는 산출물을 생산하기 위하여 여러 가지 형태의 투입물을 이용하며 얻어지는 산출물 또한 다양한 형태로 존재하고, 또한 조직의 발전을 위한 가장 적절한 성과평가방법을 찾아야하기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 연구 프로젝트의 성과평가를 위하여 DEA(Data Envelopment Analysis) 분석 방법을 제시하며, 그 중에서 DEA-AR(Assurance Region)을 이용하였다. DEA 분석 방법은 많은 장점을 가지고 있는데, DEA를 사용한 분석의 경우 가중치가 모형 자체에서 자동적으로 계산될 뿐만이 아니라 측정기준이 서로 다른 변수들도 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 효율성 측정에 많이 사용되고 있다.

그러나 일반적으로 DEA 방법의 경우 변수들의 가중치 결정이 모형 자체에서 자동적으로 이루어지기 때문에 의도하지 않았던 가중치 산출의 오류가 생기게 된다. 이러한 가중치 오류는 중요하지 않은 변수의 가중치가 높게 산출되거나, 반대로 중요한 변수의 가중치가 낮게 산출될 가능성이 존재하는 것이다. 이러한 문제점은 조직의 성과 평가를 실시하는 입장에서 부정적인 효과를 미치게 하고, 산출 변수(논문이나 특허 같은)들의 가중치 조정을 통한 기관의 산출물 유인 정책 등을 실시하기 어렵게 한다. 또한 DMU(Decision Making Unit)들의 순위 평가를 위한 DEA 분석 방법의 경우 효율적인 DMU들과 비효율적인 DMU들을 구분하고, 비효율적인 DMU들의 경우 순위결정에 필요한 점수를 제공하지만, 효율적인 DMU들의 경우 모두 1의 수치를 제시하여 순위 평가가 힘들어진다는 문제가 발생한다. 이는 단지 DMU들이 효율적인 DMU인지 아닌지 만을 결정하거나, 혹은 DMU들을 그룹화하여 평균값을 구하는 경우에는 문제가 발생하지 않으나, 평가 그룹 내에서 각자의 DMU들의 순위 결정이 필요한 경우, 효율적인 DMU들이 모두 첫 번째 순위를 차지하여, 성과평가를 어렵게 한다.

이에 따라 본 연구에서는 연구과제들의 효율성분석을 위해 DEA 분석 방법의 일종인 DEA-AR 분

* 권철홍, 한국에너지기술연구원 기술정책연구센터, 042-860-3337, chkwon@kier.re.kr
** 정양헌, 한국과학기술원 경영과학과 교수, 042-350-6321, coach@kaist.ac.kr
*** 방성식, 한국과학기술원 경영과학과 박사과정, 010-7340-3440, ssbang@kaist.ac.kr

석방법을 제시한다. AR 분석방법과 일반적인 DEA(CCR, BCC) 방법의 가장 큰 차이점은 AR 방법의 경우 인위적으로 가중치 설정을 조정할 수 있다는 것이다. 이에 따라 기관의 정책 방향에 따른 평가가 가능해지고, 각 변수에 따른 정확한 성과 평가가 가능하게 만들어 준다.
이러한 분석을 위하여 2장에서는 기존의 DEA-CCR 방법과 본 연구에서 제시하는 DEA-AR 방법에 대해 살펴본다. 3장에서는 2장에서 살펴본 방법들에 대한 비교 검증이 실시된다. 4장은 본 연구의 결론이다.

# II. 모델과 방법론

## 1. DEA-AR 방법론

DEA는 다투입, 다산출의 효율성을 측정하려는 연구는 Koopmans and Debreu(1951)의 연구에서 출발하였다. Koopmans and Debreu는 Pareto 최적성 기법을 도입하여 효율성의 개념을 정의하였다. 그러나 이러한 효율성 정의는 효율적 상태와 비효율적 상태를 구별할 수 있는 체계적인 방법을 제공하지만 효율성의 정도에 관한 정보는 제공하지 못하였다. 이러한 한계점에 의해 Farrel(1957)은 분석 대상의 효율성을 그 대상이 효율적 집합에서 떨어져있는 거리로 측정할 수 있다는 효율성 측정 방법을 제시하였다. 이러한 효율성 측정 방법을 바탕으로 DEA CCR모형이 Charnes et al. (1978)에 의해 개발되었으며, 후에 Banker et al. (1984)에 의해 DEA BCC모형이 개발되었다. 이 모델들은 각각 저자들의 이름을 따서 CCR과 BCC 모델이라고 불린다. DEA-CCR 모델은 CRS(constant returns to scale)을 가정하고 있으며, BCC 모델은 VRS(Variable Returns to Scale)을 가정하고 있다. 효율성 점수는 다수의 투입과 산출의 효율성을 바탕으로 도출된다.
즉, DEA 모델은 다수의 투입물의 합을 바탕으로 생산된 다수의 산출물을 가진 DMU(Decision Making Unit)들의 성과를 평가하는 것이라 할 수 있다.

DEA CCR (BCC) Input-Oriented model:

$$\min\theta-\varepsilon(\sum_{i=1}^{m}s_i^-+\sum_{i=1}^{m}s_r^+)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}+s_i^-=\theta x_{io} \qquad i=1,2,...,m; \qquad \text{식 (1)}$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}-s_r^+=y_{ro} \qquad r=1,2,...,s;$$
$$\lambda_{j\geq 0} \qquad j=1,2,...,n;$$
$$For\,BCC\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1$$

이러한 전통적인 DEA 모형의 문제점은 변수들 사이의 가중치를 모형 자체에서 자동적으로 계산하여, 조직의 정책적인 의사결정이 반영되지 못한다는 문제점이 있다. 이는 즉, 조직의 정책상 어느 하나의 특정 산출물을 많이 생산하기 위한 유인으로 가중치 부여를 고려한다고 하더라도 일반적인 DEA 모형에서는 불가능한 것이다. 따라서 자유로운 가중치 부여가 가능한 DEA-AR 모형은 여러 분야에서 사용되고 있으며, 주로 변수들의 가중치를 고려하는 경우에 사용된다.

DEA-AR Input-Oriented model:

$$\max \sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro} + \mu$$

subject to

$$\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + \mu \leq 0 \qquad \text{식(2)}$$

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

$$\mu_r, v_i \geq 0(\varepsilon)$$

$For\ CRS\ where, \mu = 0. For\ VRS\ where, \mu = free.$

## 2. 투입변수와 산출변수의 관계를 알아보기 위한 회귀 분석

효율성 측정을 위한 산출물의 경우 기관의 정책이나 상위 다른 평가 기관에 의하여 정해지는 경우가 많다. 그러나 투입물의 경우는 연구비 이외에는 고려하지 않는 경우가 많다. 이는 다음의 이유에서 기인하는데, 먼저 투입물이 산출물에 영향을 미치는 정도를 알 수 없다. 다만 연구비의 경우 산출물에 영향을 미칠 것이라는 주관적인 추측이나 투입요소 중에서 가장 중요하다고 판단되기 때문이다. 따라서 다른 투입변수인 참여연구인원과 연구기간의 경우 영향을 미칠 것이라 생각은 되지만 이를 뒷받침 할 수 있는 통계적 근거가 미약하기 때문이다.
DEA 분석의 경우 통계학적인 분석 방법이 아니기 때문에 투입과 산출물의 사용에 더 엄격할 필요가 있다. 이는 만약 잘못된 변수들이 투입과 산출에 사용된다면, 그러한 영향이 모형에 그대로 반영되어 전혀 다른 결과를 만들어 낼 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점에 착안하여, 투입변수와 산출변수들에 대하여 회귀 분석을 실시하여, 변수들의 연관성을 살펴본 후, 통계적으로 유의한 변수를 투입변수로 사용한다. 다만 산출변수의 경우 건수 관련 산출변수들의 AHP 가중치 합과 기술료 계약액으로 분리하여 회귀 분석을 실시한다. 이러한 이유는 건수관련 산출 변수들과 금액 관련 산출 변수들을 하나의 산출 변수로 나타내기 곤란하기 때문이다.

Simple regression model between inputs and outputs:

$$PS_i = \beta_0 + \beta_1 time_i + \beta_2 money_i + \beta_3 labor_i + \varepsilon_i \qquad \text{식(3)}$$

$$CI_i = \beta_0 + \beta_1 time_i + \beta_2 money_i + \beta_3 labor_i + \varepsilon_i \qquad \text{식(4)}$$

where,

$PS_i$=연구 프로젝트 $i$의 건수관련 산출변수들의 Fuzzy-AHP 가중치의 합
$CI_i$=연구 프로젝트 $i$의 기술료 계약액의 합
$time_i$=연구 프로젝트 $i$의 투입 연구시간
$money_i$=연구 프로젝트 $i$의 투입 연구비
$labor_i$=연구 프로젝트 $i$의 투입 연구인원

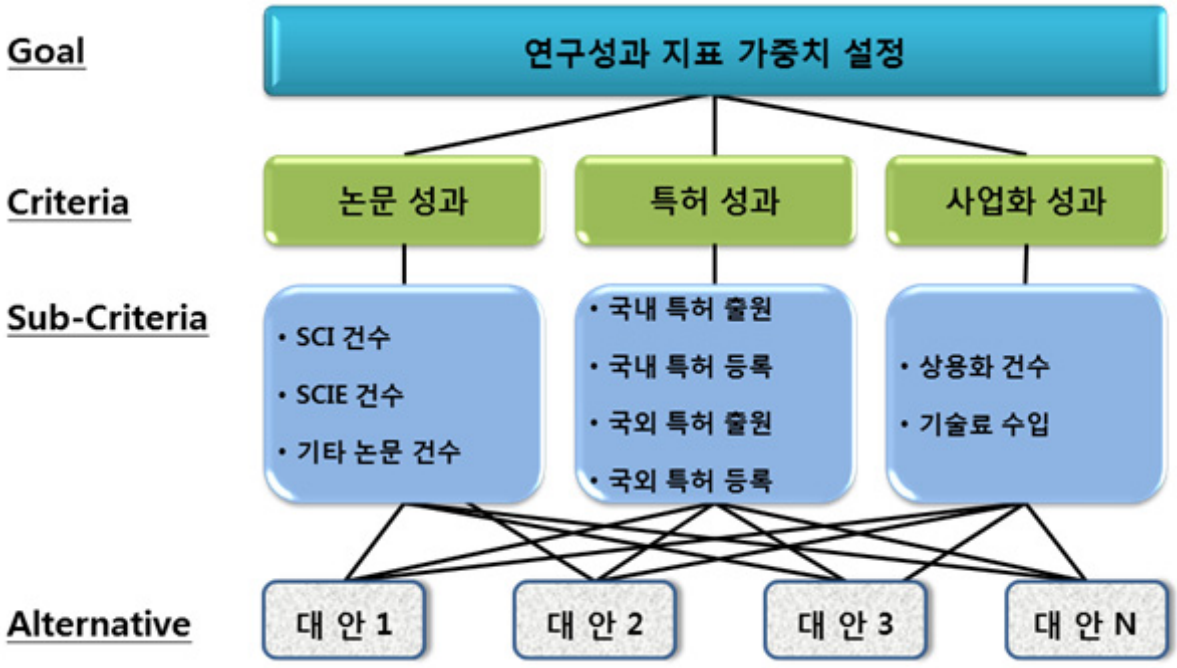
## 3. Fuzzy-AHP

AHP 기법은 1970년대 초반에 미국 피츠버그대학의 Saaty 교수에 의해 최초로 개발된 의사결정 방법론으로 여러 대안들에 대한 선호도 평가를 위해 개발되었으며, 어떠한 대안 선택의 문제에 있어 널리 사용되고 있다.

그러나 AHP는 쌍대비교 시 불충분하거나 유효하지 않은 정보로 인하여 평가기준과 평가속성에 대한 개개인의 응답이 가지고 있는 불확실성 문제, 즉 언어 고유의 애매함에 따른 문제점이 도출된다.

이러한 문제점으로 Fuzzy AHP방법은 응답에 대한 오차를 고려하기 위해 응답자가 선택한 값이 확정된 값(deterministic value)이 아니라 확률적인(stochastic)분포를 띄고 있다고 가정한다. 따라서 Fuzzy의 개념을 이용한 가중치 값은 응답의 불확실성까지도 고려한 가중치 설정이 가능하다.

본 연구에서는 Fuzzy-AHP의 여러 기번 가운데 많이 사용되는 Chang(1996)의 EAM(Extent Analysis Method) 기법을 사용한다. 본 연구에 사용된 AHP 산출물 가중치 조사를 위한 설문 조사 구조는 (그림 1)과 같다. 계층구조를 1계층(criteria)과 2계층(sub-criteria)으로 구분하여 기본 모형을 설계하고, 이에 따른 조사를 실시하였다. 투입 변수의 경우 회귀분석을 통해 유의한 변수를 대상으로 1계층(criteria) 설문 조사를 실시한다.




(그림 1) AHP 설문조사 구조

설문 조사를 위한 척도 정의와 삼각퍼지변환 척도는 <표 1>과 같다. 본 연구에서는 투입변수 3개와 (그림 1)의 산출변수를 가지고 AHP 설문 조사를 실시한다. 이러한 자료를 바탕으로 Fuzzy-AHP 분석을 실시하여 각 변수들의 가중치를 산출하여 DEA-AR 모형의 가중치로 사용한다. 설문은 K 연구원의 정책 및 성과평가 관련 내·외부 결정자 총 15명을 대상으로 실시되었다.

<표 1> Fuzzy-AHP의 설문의 삼각퍼지 변환 척도

| 척도 | 정의 | 삼각퍼지척도 | 대칭척도 |
|---|---|---|---|
| 1 | 동등 | (1, 1, 2) | (1/2, 1, 1) |
| 3 | 약간 중요 | (2, 3, 4) | (1/4, 1/3, 1/2) |
| 5 | 중요 | (4, 5, 6) | (1/6, 1/5, 1/4) |
| 7 | 매우 중요 | (6, 7, 8) | (1/8, 1/7, 1/6) |
| 9 | 절대 중요 | (8, 9, 9) | (1/9, 1/9, 1/8) |
| 2, 4, 6, 8 | 중간 값 | | |

## 4. 변수 설정

### 1) 투입변수

현재 K 기관의 경우 연구비만을 사용하여 성과측정이 이루어지고 있는데, 본 연구에서는 여기에 투입연구인원인 노동과 연구기간인 시간을 일종의 희소성 있는 자원으로 생각하여 투입변수에 추가하였다. 투입 연구인원과 투입연구기간 같은 경우 무한정하게 투입할 수 없는 일종의 한정된 자원의 성격이며, 이러한 자원의 경우 기회비용의 개념을 수반 할 때가 많다. 이는 연구과제의 실행에 있어 참여율이나 연구기간의 경우 일정하게 제한되어 있으며, 이러한 제한된 환경 안에서 연구가 진행되다 보니 포기되는 연구가 있을 수 있고, 또한 연구과제 수행에 있어 가장 중요시 되는 것은 보통, 투입 연구비, 투입 연구인원, 투입 연구기간이 가장 중요하게 생각되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 투입기간은 연구 개월 수로, 투입연구인원은 참여 인원수로 측정한다.

### 2) 산출변수

연구 프로젝트의 산출물은 3가지 변수를 사용하여 성과를 측정한다. 이러한 3가지는 논문 성과, 특허 성과, 기술이전 성과이다. 이러한 3가지 성과들의 경우 각 성과들은 하부 성과물을 가지고 있으며, 연구원이 정한 각각의 가중치를 하부 산출물에 곱하고, 이러한 점수들의 합으로 3개의 성과관련 측정치의 성과 점수가 도출된다.

논문 점수의 구성요소는 크게 산출물의 질과 게재된 저널의 특성으로 나눌 수 있으며, 이에 따라 SCI, SCIE, 나머지 기타 paper와 발표로 나뉘게 되며, 이러한 분류에 따라 가중치를 곱하여 논문 점수가 도출된다.

특허 점수의 경우 출원과 등록, 지역별로 나눌 수 있다. 따라서 국외 특허 출원과 국외 특허 등록, 국내 특허 출원과 국내 특허 등록으로 나눌 수 있다. 이러한 분류에 따라 각각의 설정된 가중치를 곱하여 특허 점수가 도출된다.

기술이전점수는 기술이전 건수의 성과만을 하부 측정치로 사용하고 있다. 따라서 기술이전점수의 경우 기술이전 건수에 가중치를 곱하여 기술이전점수가 도출된다.

또한 본 연구에서는 이러한 기존의 3가지 성과 변수 이외에 기술이전관련 수입을 추가한다. 이는 연구과제가 아닌 연구원 전체의 성과평가와 관련하여, 기술료수입 평가가 주요한 성과 변수로 측정되고 있기 때문이다. 현재의 경우 연구원 전체에 있어서 기술료관련 금액을 측정하고 있으나, 본 연구에서는 연구과제 자체의 기술료관련 금액을 산출 변수로 투입함으로써, 그 동안 여러 문제로 인하여 사용되지 않았던 기술료수입을 개별적인 연구과제의 산출물 평가에 적용하였다.

이렇게 투입된 변수들을 가지고 Fuzzy-AHP 분석을 실시하여, 최종적으로 본 연구에서 사용하게 될 변수를 도출한다.

<표 2> 변수 설정

| 구분 | 변수 구분 | |
|---|---|---|
| 투입물<br>(독립 변수) | 투입 연구비 | |
| | 투입 연구원 | |
| | 투입 기간 | |
| 산출물<br>(종속변수) | 논문 실적 | SCI 건수 |
| | | SCIE 건수 |
| | | 기타 논문 게재 및 발표 건수 |
| | 특허 실적 | 국내 출원 건수 |
| | | 국내 등록 건수 |
| | | 국외 출원 건수 |
| | | 국내 등록 건수 |
| | 기술이전 실적 | 기술이전 건수 |
| | | 기술료 계약액 |

### 3) 연구 표본 설정

정확한 연구결과를 위한 실증 분석 자료의 수집 기준은 다음과 같다. 먼저 K 연구원에서 실시한 2004년부터 2008년도에 시작된 모든 연구 과제를 대상으로 연구과제 종료 시점으로 분류하였다. 왜냐하면 연구과제에 대한 정책적 성과평가는 연구과제 종료 시점의 귀속년도 별로 연구 과제를 평가하기 때문이다. 둘째, 총 연구과제 예산이 일천만원 이하인 과제인 경우 제거하였다. 이는 일천만원 미만 과제의 경우 대부분 시험평가나 에너지관련 행사에 관련한 과제로, 순수한 연구과제가 아니기 때문이다. 셋째, 종료 시점으로 2008년도 이전 자료만을 사용하였다. 왜냐하면 본 연구과제의 연구대상이 되는 자료의 수집 시점이 2009년도 말에서 2010년 초였기 때문이다. 이는 보통 SCI나 SSCI, 특허출원 등록 등에 관련한 성과의 경우 최소한 1년 이상의 긴 시간을 포함하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 종료 기준으로 수집된 자료 2004년부터 2008년도까지의 861개의 자료를 사용하여 분석하였다. 이렇게 수집된 표본을 가지고 Regression 분석을 실시하여 투입변수와 산출변수의 관계를 살펴보았다. 다음으로 DEA-AR 모형 차이에 대한 분석은 2008년도에 종료된 과제 215개를 대상으로 사례분석을 실시하였다.

<표 3> 연구 표본 선별 과정

| | |
|---|---|
| 자료 조사 시점 | ◦ 2009년 11월 – 2010년 1월 |
| 조사 대상 | ◦ 2004-2008년 모든 시작과제 |
| 선별 대상 | ◦ 2004-2008년 모든 종료 과제 |
| 제거 대상 | ◦ 1,000 만원 이하 과제 제거 |
| | ◦ 기본과제 제거(경쟁성 과제만) |
| | ◦ 분류상 정책, 기타 과제를 제거(순수 연구과제만 대상) |
| | ◦ 5개월 이하 과제 제거 |

# Ⅲ. 분석 결과

## 1. Fuzzy-AHP 결과

Fuzzy-AHP 분석결과는 <표 4>, <표 5>, <표 6>에 나타나 있다. 15명을 대상으로 설문 조사를 실시하였으며, 불성실한 자료와 부정확한 자료를 제거하고 총 11개의 자료를 이용하여 분석하였다. Fuzzy-AHP 점수는 응답자 11명의 Fuzzy-AHP 점수이다. 그러나 본 연구에서는 가중치 점수의 범위가 필요하기 때문에 각 가중치 점수의 하한과 상한이 필요하다. 따라서 응답자별로 각 변수별로 하한 값과 상한 값을 분석하였다. 하지만 Fuzzy-AHP 특성상 극단적인 값들이 많이 나와 11개의 자료 중에서 가장 낮은 하한 값과 가장 높은 상한 값은 사용하기 어려웠다. 예를 들어 투입 연구비, 기술이전, 기술료 수입이 모두 0에서 1의 범위를 가져 각 변수들 간의 차별적 가중치를 어렵게 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 단순하게 11개의 자료를 각 변수별로 평균과 표준 편차를 구하고 평균에서 표준편차를 빼서 하한 값을 구하고, 평균에서 표준편차를 더하여 상한 값을 구하였다. 이러한 수치는 <표 4>, <표 5>, <표 6>의 각 변수별 범위 설정 값에 나타나 있다. 투입 연구비의 경우 0.32에서 0.90, 투입 인원의 경우 0.01에서 0.33, 투입 시간의 경우 0.01에서 0.50의 범위를 가지는 것으로 분석되었다. 다만, 가중치 하한 값이 음수일 경우, 가중치는 음수를 가질 수 없기 때문에 0.01로 가중치를 설정하였다. 이렇게 하한 값이 음수로 나온 변수들은 투입 시간, 논문 실적, 하위 산출변수들의 경우 SCI, SCIE, 기타 논문, 국외 출원, 기술 이전 실적이다. 이렇게 설정된 범위는 Fuzzy-AHP 점수의 순위와 비교적 일치하여 범위 설정의 문제는 비교적 타당하게 설정되었다고 판단된다. 다만, 국내 출원과 국외 출원의 경우 Fuzzy-AHP 값과 평균 모두 0의 가중치를 나타내고 있어, 이 두 변수의 경우 DEA-AR 분석에서 제외되었다.

<표 4> 투입 변수의 Fuzzy-AHP 분석결과

| 평가자 | | 투입 시간 | 투입 연구비 | 투입 인원 |
|---|---|---|---|---|
| Fuzzy-AHP 점수 | | 0.24 | 0.59 | 0.17 |
| 응답자 | 하한 값 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 상한 값 | 0.72 | 1.00 | 0.44 |
| | 평균 | 0.22 | 0.61 | 0.17 |
| | 표준편차 | 0.28 | 0.29 | 0.16 |
| 범위 설정 | 하한 | 0.01(0.06) | 0.32 | 0.01 |
| | 상한 | 0.50 | 0.90 | 0.33 |

()는 음수 값

<표 5> 산출 변수의 Fuzzy-AHP 분석결과

| 평가자 | | 논문 실적 | 특허 실적 | 기술이전 실적 |
|---|---|---|---|---|
| Fuzzy-AHP 점수 | | 0.16 | 0.22 | 0.62 |
| 응답자 | 하한 값 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 상한 값 | 0.64 | 0.38 | 1.00 |
| | 평균 | 0.13 | 0.20 | 0.67 |
| | 표준편차 | 0.21 | 0.17 | 0.31 |
| 범위 설정 | 하한 | 0.01(0.08) | 0.03 | 0.37 |
| | 상한 | 0.34 | 0.37 | 0.98 |

()는 음수 값

<표 6> 하위 산출 변수의 Fuzzy-AHP 분석결과

| 평가자 | | SCI | SCIE | 기타 논문 | 국내 출원 | 국외 출원 | 국내 등록 | 국외 등록 | 기술 이전 | 기술 료 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fuzzy-AHP 점수 | | 0.08 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.15 | 0.17 | 0.45 |
| 응답자 | 하한 값 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 상한 값 | 0.32 | 0.32 | 0.06 | 0.00 | 0.03 | 0.13 | 0.29 | 1.00 | 1.00 |
| | 평균 | 0.06 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.14 | 0.28 | 0.40 |
| | 표준편차 | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.12 | 0.36 | 0.37 |
| 범위 설정 | 하한 | 0.01 (0.04) | 0.01 (0.04) | 0.01 (0.01) | 0.00 | 0.01 (0.01) | 0.01 | 0.02 | 0.01 (0.08) | 0.03 |
| | 상한 | 0.17 | 0.16 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 0.25 | 0.64 | 0.76 |

()는 음수 값, 기술료는 금액 기준이며, 나머지 변수는 모두 건수 기준임.

이렇게 설정된 범위는 아래의 식(5)와 같은 제약 식에 따라 식(2)의 DEA-AR 모형에 추가된다. 이러한 방법으로 계산된 각 변수들의 하한 값과 상한 값 제약 식은 아래의 <표 7>와 같다.

$$L_{1,i} \le \frac{V_1}{V_i} \le U_{1.i} \qquad i = 2,3,.....,m. \qquad \text{식(5)}$$

$$where, L_{1,i} = \frac{V_1^{\min}}{V_i^{\max}},\ U_{1,i} = \frac{V_1^{\max}}{V_i^{\min}} \qquad i = 2,3,.....,m.$$

<표 7> 기술통계

| 변수 | 가중치 하한 값 | 구분 | 가중치 상한 값 |
|---|---|---|---|
| 투입 변수 | 0.01 | $\frac{\text{투입 시간}}{\text{투입 연구비}}$ | 1.56 |
| | 0.03 | $\frac{\text{투입 시간}}{\text{투입 인원}}$ | 50.00 |
| 산출 변수 | 0.06 | $\frac{SCI}{SCIE}$ | 17.00 |
| | 0.50 | $\frac{SCI}{\text{기타 논문}}$ | 17.00 |
| | 0.09 | $\frac{SCI}{\text{국내 등록}}$ | 17.00 |
| | 0.04 | $\frac{SCI}{\text{국외 등록}}$ | 8.50 |
| | 0.02 | $\frac{SCI}{\text{기술이전}}$ | 17.00 |
| | 0.01 | $\frac{SCI}{\text{기술료}}$ | 5.67 |

## 2. DEA 분석을 위한 회귀분석 결과

본 연구에서는 에너지관련 R&D 프로젝트의 성과평가를 위하여 먼저 각 변수간의 관계를 살펴보기 위하여 회귀 분석을 실시하였다. 회귀분석을 위해 사용된 자료는 모두 861개의 자료를 사용하였으며, 표본에 대한 기술 통계는 <표 8>과 같다.

<표 8> 기술통계

| | 최저 | 최고 | 평균 | 표준 편차 |
|---|---|---|---|---|
| 투입 시간(개월) | 6 | 24 | 12.07 | 1.55 |
| 연구비(백만원) | 15.00 | 9,766 | 286.82 | 504.02 |
| 투입 인원(명) | 1 | 27 | 7.05 | 3.83 |
| 가중치 합 | 0 | 1.492 | 0.142 | 0.219 |
| 기술료(백만원) | 0 | 816 | 6.59 | 43.73 |

<표 9>는 변수들 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 분석결과에 영향을 미칠 수 있는 독립변수들 간의 다중공산성은 보이지 않고 있다. 가장 높은 연관성을 보이는 변수들은 연구비와 연구인원간의 상관관계로, 두 변수간의 상관관계는 0.417로 1% 수준에서 유의하였다.

<표 9> 상관관계 분석

| | 기간 | 연구비 | 인원 | AHP | 기술료 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기간 | 1 | 0.046<br>(0.173) | 0.031<br>(0.357) | 0.140**<br>(0.000) | 0.186**<br>(0.000) |
| 연구비 | 0.046<br>(0.173) | 1 | 0.417**<br>(0.000) | 0.084*<br>(0.014) | 0.161**<br>(0.000) |
| 인원 | 0.031<br>(0.357) | 0.417**<br>(0.000) | 1 | -0.007<br>(0.834) | 0.144**<br>(0.000) |
| AHP | 0.140**<br>(0.000) | 0.084*<br>(0.014) | -0.007<br>(0.834) | 1 | 0.466**<br>(0.000) |
| 기술료 | 0.186**<br>(0.000) | 0.161**<br>(0.000) | 0.144**<br>(0.000) | 0.466**<br>(0.000) | 1 |

()은 유의 확률이며, **는 0.01 수준(양쪽)에서 유의, *는 0.05 수준(양쪽)에서 유의

DEA 분석은 통계적인 분석 방법이 아니기 때문에 엄밀한 가정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 관계를 분석하여, 산출물에 유의하게 영향을 주는 변수만을 투입변수로 사용한다. 이러한 투입물이 산출물에 미치는 영향을 보여주는 회귀분석결과가 <표 10>이다. 종속변수를 AHP 가중치로 하여 분석한 투입물과 산출물의 관계는 모두 유의수준 1%와 5%하에서 유의하게 투입물이 산출물에 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다. 기술료 수입을 종속 변수로 하여 분석한 Model 2에서는 투입기간과 투입 연구비의 경우 유의하였지만, 투입 시간의 경우 유의하지 않았

다. 이러한 결과를 고려하여, 투입 기간과, 투입 연구비, 투입 시간을 모두 투입물로 사용하기로 한다. 왜냐하면 본 연구의 경우 회귀 분석 자체가 목적이 아니며, 회귀분석은 단지 투입물과 산출물의 관계가 유의한지만을 알아보기 위한 분석이기 때문에 Model 1에서 유의한 투입 시간 또한 산출물에 영향을 미치는 변수이기 때문이다.

<표 10> 회귀분석 결과

| | Model 1 | Model 2 |
|---|---|---|
| 투입 기간 | 0.178**<br>(5.372) | 0.137**<br>(4.062) |
| 연구비 | 0.115**<br>(3.167) | 0.100**<br>(2.694) |
| 투입 시간 | 0.091*<br>(2.497) | -0.053<br>(-1.434) |
| Adjusted R2 | 0.061 | 0.025 |
| F- value | 19.769 | 8.213 |
| P-value of regression model | 0.000 | 0.000 |

()은 t 값이며, **는 0.01 수준에서 유의, *는 0.05 수준에서 유의

## 3. DEA 분석결과

<표 11>은 DEA-CCR과 DEA-AR의 비교 분석 결과이다.

K 연구원의 DMU 구분의 기준이 되는 연구부문을 대상으로 실시한 사례 분석결과 DEA-CCR 모형과 DEA-AR 모형 간에는 많은 순위차이가 발견되었다. 연구 분야 1, 3, 6의 경우 3단계의 하락, 연구 분야 4의 경우 2단계의 하락이 있었으며, 연구 분야 5, 8, 9, 11, 13의 경우 각각 3, 2, 4, 1, 2단계의 순위 상승이 있었다. 이러한 순위 변동의 결과는 현재 성과점수를 이루고 있는 하위 변수들인 논문점수, 특허점수, 기술이전점수 간의 가중치 차이에 의한 결과라 할 수 있으며, 특히, 가중치를 임의로 조정 할 수 없는 DEA-CCR 모형의 경우 기타 논문 같은 낮은 가중치를 가지는 측정치들이 과다 평가되어 전체적인 효율성 점수에 외곡을 가져 온 것이라 분석되었다. 이러한 이유로 인하여 임의로 가중치를 부여한 DEA-AR 모형의 경우 가중치 왜곡이 감소하여 DEA-CCR 모형과 순위 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

다음으로, DEA-AR 모형의 경우 DEA-CCR 모형에 비하여 전체적으로 낮은 효율성 점수를 기록하였다. 이러한 낮은 효율성 점수는 DEA-CCR 모형에서의 기타 논문 같은 산출물의 과다 가중치 계상문제와 함께, 기술이전 성과의 낮은 가중치 설정이 원인인 것으로 분석되었다. DEA-CCR 모형의 경우 가중치가 자동적으로 계산되다 보니 가중치의 과대, 과소 계상이 문제가 되는 것이다. 일례로 기술이전관련 성과가 있는 DMU의 경우 DEA-AR 모형에서는 높은 가중치로 인하여 높은 성과가 나온 것으로 분석되었다. 따라서 이렇게 기술이전 성과가 있는 DMU들이 높은 효율성 점수를 차지하게 되고, 상대적으로 그렇지 못한 DMU들의 경우 DEA-CCR 모형에 비하여 낮은 효율성 점수를 가지는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 DEA-AR 모형의 효율적인 DMU 개수가 더욱 적은 것으로 나타났는데, DEA-AR

모형의 경우 효율적인 DMU인 효율성 1을 가지는 DMU들이 9개인 것에 반해, DEA-CCR 모형의 경우 19개로 분석되었다. DEA 방법론에서 효율적인 DMU들을 모두 1의 효율성을 가져 순위에서 1을 차지하는 것을 감안 할 때, 향후 성과 평가에 있어서 DEA-AR 평가 방법이 더욱 적합 것으로 판단된다.

<표 11> DEA-CCR과 DEA-AR의 비교 분석 결과

| 연구분야 | DEA-CCR | | DEA-AR | | 차이 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 점수 | 순위 | 점수 | 순위 | |
| 1 | 0.298 | 5 | 0.158 | 8 | -3 |
| 2 | 0.204 | 12 | 0.137 | 12 | 0 |
| 3 | 0.445 | 1 | 0.254 | 4 | -3 |
| 4 | 0.268 | 7 | 0.157 | 9 | -2 |
| 5 | 0.285 | 6 | 0.256 | 3 | 3 |
| 6 | 0.251 | 8 | 0.142 | 11 | -3 |
| 7 | 0.300 | 4 | 0.191 | 5 | -1 |
| 8 | 0.348 | 3 | 0.295 | 1 | 2 |
| 9 | 0.242 | 10 | 0.177 | 6 | 4 |
| 10 | 0.107 | 13 | 0.090 | 13 | 0 |
| 11 | 0.218 | 11 | 0.144 | 10 | 1 |
| 12 | 0.349 | 2 | 0.281 | 2 | 0 |
| 13 | 0.243 | 9 | 0.165 | 7 | 2 |
| 전체 평균 | 0.265 | | 0.185 | | |

# Ⅳ. 결 론

본 연구는 에너지 분야의 연구과제에 대한 성과평가를 위하여 효율성 분석방법의 일종인 DEA-AR 모형을 이용하였다. 이를 위해, 2004년부터 2008년도까지의 861개의 자료를 사용하여 회귀 분석을 실시하여 투입변수와 산출변수의 관계를 살펴보았으며, 다음으로 DEA-AR 모형과 DEA-CCR 모형의 차이에 대한 분석은 2008년도에 종료된 과제 215개를 대상으로 사례분석을 실시하였다.

이렇게 분석된 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, K 연구원의 DMU 구분의 기준이 되는 연구부문을 대상으로 실시한 사례 분석결과 DEA-CCR 모형과 DEA-AR 모형 간에는 많은 순위차이가 발견되었다. 이러한 순위 변동의 결과는 현재 성과점수를 이루고 있는 변수들인 간의 가중치 차이에 의한 결과라 할 수 있으며, 특히, 가중치를 임의로 조정 할 수 없는 DEA-CCR 모형의 경우 기타 논문 같은 낮은 가중치를 가지는 측정치들이 과다 평가되어 전체적인 효율성 점수에 왜곡을 가져 온 것이라 분석된다.

다음으로, DEA-AR 모형의 경우 DEA-CCR 모형에 비하여 전체적으로 낮은 효율성 점수를 기록하였다. 이러한 낮은 효율성 점수는 DEA-CCR 모형에서의 기타 논문 같은 산출물의 과다 가중치 계상문제와 함께, 기술이전 성과의 낮은 가중치 설정이 원인인 것으로 분석되었다. 기술이전관련 성과가 있는 DMU의 경우 DEA-AR 모형에서 높은 가중치로 인하여 높은 효율성 점수를 차지하게 되고, 상대적으로 그렇지 못한 DMU들의 경우 DEA-CCR 모형에 비하여 낮은 효율성 점수를 가지는 것으로 분석되었다.

셋째, DEA-AR 모형의 경우 효율적인 DMU들의 개수를 줄여 DEA-CCR 모형보다 성과평가에 있어 더욱 적합한 방법인 것으로 분석된다. DEA-AR 모형의 경우 효율적인 DMU인 효율성 1을 가지는 하위 DMU들이 9개인 것에 반해, DEA-CCR 모형의 경우 19개로 분석되었다. DEA 방법론에서 효율적인 DMU들을 모두 1의 효율성을 가져 순위에서 1을 차지하는 것을 감안 할 때, 향후 성과 평가에 있어서 DEA-AR 평가 방법이 더욱 적합 것으로 판단된다.

결과적으로, DEA-AR 방법의 경우 DEA-CCR 모형에 비하여 각 성과 변수들의 가중치 왜곡 현상을 예방 할 수 있으며, 기관이 기관의 정책적 결정에 따라 가중치를 자유로이 설정하여 정책의 효율성을 제고하고, 또한 가중치 설정의 효과를 통하여 효율적인 DMU들의 개수를 줄여 기관의 합리적인 성과 평가에 도움을 줄 수 있는 것으로 분석되었다.

## 참고문헌


Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., (1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Chang, D.Y., (1996), “Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978), “Measuring the efficiency of decision-making units”, *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.

Debreu, G., (1951). “Coefficient of Resource Utilization”, *Econometrica*, 19(3), 273-292.

Farrell, M.J., (1957), “The measurement of productive efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253–281.

Koopmans, T.C., (1951), “Efficient Allocation of Resources”, *Econometrica*, 19(4), 455-465.

Saaty, T. (1980), The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

Thompson, Singleton, Thrall, Smith, (1986), “Comparative site evaluations for locating a high-energy physcis LAB in Texas”, *Interfaces*, 16(1), 35-49.