

이질적 목적을 지닌 R&D 사업들을 위한 달성지수 기반의 상대적 평가기법

정 욱*[†] · 임성민** · 김윤종** · 정상기**

*동국대학교 경영학과

**한국과학기술기획평가원

Attainment Index-based Relative Evaluation Method for R&D Programs with Heterogeneous Objectives

Uk Jung*[†] · Seong-Min Yim** · Yun-Jong Kim** · Sang-Ki Jeong**

*Dept. of Management, Dongguk University

**Korean Institute of Science and Technology Evaluation and Planning

National R&D programs play an important role in the development of a country in this age of the knowledge economy. Since many numbers of R&D programs compete for limited resources such as national R&D budget, the R&D program evaluation problem is a challenging decision-making problem faced by decision makers that deal with R&D management. In this sense, DEA(Data Envelopment Analysis) has been regarded as one of the most widely accepted methods to measure the relative efficiency of productivity of R&D programs. DEA is a methodology to measure and to evaluate the relative efficiency of a homogeneous set of decision-making units(DMUs) in a process which uses multiple inputs to produce multiple outputs. However, the sample of the R&D programs could consist of two or more naturally occurring subsets, thus exhibiting clear signs of heterogeneity such as different objectives. In such situations, the fairness of DEA is limited, for the nature of the relative efficiency of a DMU is likely to be influenced by its membership in a particular subset of the sample. In this study, we propose a methodology AI-DEA(attainment index DEA) allowing for reflecting decision maker's subjective judgement on difference among different subsets of R&D programs which have heterogeneous objectives. This methodology combines AHP and Delphi in order to decide the attainment index of each DMU for each outputs, and apply them to DEA model. We illustrate the proposed approach with a pilot evaluation of 13 programs involving 6 different subsets of Korean National R&D programs and compares the results of the original DEA model and AI-DEA model.

Keywords : R&D Program Evaluation, DEA, AHP, Delphi, Heterogeneous Objectives

1. 서 론

본격적인 지식정보화 시대의 도래에 따라 연구개발 활동은 국가경쟁력의 원천요소임과 동시에 생존을 위한

필수적인 수단으로 인지되고 있다. 이러한 관점에서 한정된 예산을 전략적으로 분배하기 위해서는 국가개발사업의 객관적 진도관리 및 성과관리는 필수적이며 이를 위해서는 사업의 효율성에 대한 정량적 분석방법이 필

요하다. 국가연구개발사업은 과학기술기본법 제11조에 의해 중앙행정기관이 과학기술분야 연구개발을 위하여 예산 또는 기금으로 지원하는 연구개발사업을 말하며, 1982년도부터 시작된 과학기술부의 특정연구개발사업 이후 2008년 현재 18개 부처·청에서 총 498개의 국가연구개발사업을 추진하고 있다[1]. 2008년도 정부 연구개발 예산은 일반회계 기준 10조 8,596억 원으로서 전체 정부예산의 4.2%를 차지하고 있다. 정부의 과학기술정책과 투자확대에 대한 관심 증대에 힘입어, 국가연구개발사업 수와 예산규모가 점차 확대되면서 투자의 효율성에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 따라, 정부는 연구개발분야의 관련 부처간 협조체제를 구축하고 과학기술관련 주요 정책 및 연구개발사업의 조정과 예산의 효율적 운용을 위한 종합조정시스템을 구축 운영하여 매년 국가연구개발사업 조사·분석 및 평가를 실시하고 있다. 사업평가는 장기 대규모 사업과 중복조정·연계필요 사업, 다수기관 공동 추진 사업에 대해서는 특정평가가 수행되며, 나머지 사업에 대해서는 각 부처가 자체평가위원회를 구성하여 자체평가를 실시하고, 부처 자체평가결과의 적절성 점검을 위해 상위평가 위원회를 운영한다[2].

현 평가체도는 각 사업별 성격에 따라 투입과 성과가 다양하게 발생하는 특성을 고려하여 수행되어야 하나 평가결과에 반영할 수 있는 객관적인 기준이 부족하여, 대상 사업들에 대한 평가 등급 결과에 있어서 기술 분야 위원회 별로 주관적인 차이가 존재한다. 또한 동료평가(Peer Review)를 바탕으로 평가항목에 따라 가중치 또는 점수를 부여하여 항목별 점수를 가중합(weighted sum)이나, 단순합산점으로 평가하는 방법을 수행하는데, 이는 투입물과 산출물의 상대적 가중치의 선정에 대한 논란을 야기 시킨다. 따라서 해당 분야별 전문가들의 동료평가와 함께 정량화된 전문적인 분석방법론에 근거를 둔 성과의 객관적인 효율성 측정과 평가를 바탕으로 성과중심의 평가 정착을 위한 방법론 개선 연구의 필요성이 제기된다[5].

다수의 대안에 대하여 가장 효율적인 대안을 찾아내는 것에 대한 연구는 이미 오래 전부터 이루어져 왔으며, 이의 한 방안으로 나온 것이 Charnes et al.(1978)가 제안한 DEA(data envelopment analysis)이다[12]. 이 모형은 각 의사결정 단위(DMU; decision making units)의 효율성을 평가하는 데 있어서, 의사결정 단위에 투입되는 다수의 투입요소와 그로 인해 산출되는 다수의 산출요소에 대한 가중치를 각 의사결정단위의 입장에서 가장 유리한 값을 구하기 위한 선형계획모형을 풀어냄으로써 각 의사결정 단위의 효율성 값을 도출하는 방법을 사용

하고 있다. 이와 같은 DEA를 연구개발사업들의 평가문제에 적용하기 위해서는 각 의사결정 단위를 연구개발사업들로 간주하고, 각 사업들의 효율성 값을 DEA를 이용하여 계산한 후 효율성 값들에 의해 사업들을 평가하는 절차를 사용하게 된다. DEA 모형은 그동안 연구개발사업의 평가[6, 7, 13, 15, 19] 뿐만 아니라 은행[21], 병원[11, 18], 학교[14] 등의 효율성 분석 및 정보시스템[22]의 선정 문제 등과 같은 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 연구에서 평가의 대상이 되는 국가연구개발사업은 다양한 분야에서 다양한 목적을 지니고 진행되고 있으며 이들을 위한 한정된 예산의 적절한 분배가 이루어져야 하는 실정이다. 그러나 전통적인 DEA는 연구개발사업간 주관적 평가 기준이 다른 경우 전체적인 평가를 수행하는데 적절하지 않은 면이 있다. 특히 개별 연구사업들이 이질적인 특성과 목적을 가진 상위그룹들로 구분되는 경우 DEA 모형은 기본 가정으로 평가기준이 동일할 것을 요구하므로 모형의 적절한 수정이 이루어져야 한다.

이질적인 특성과 목적을 가진 상위그룹 내에 포함된 DMU들의 효율성을 측정하기 위한 가장 기본적인 접근 방식은 범주형 변수(categorical variable)를 활용하여 동일한 목적과 특성을 가진 DMU들로 구성된 각각의 상위그룹별로 개별적인 DEA 모형을 적용하여 효율성을 측정하는 방법이다[9]. 그러나 이러한 접근 방식은 기본적으로 DEA가 평가대상이 되는 DMU들을 함께 고려한 상대적 효율성을 측정하는 속성을 가지고 있다는 측면에서 볼 때 전체 그룹들을 총괄하는 평가가 아닌 단일 그룹내에 속한 DMU들에 대해서만 평가를 하는 것이라고 볼 수 있다. 이는 총 예산의 배분대상이 되어야 하는 전체 연구개발사업그룹의 관리 상태를 파악하고 적절한 그룹별 예산배분의 전략을 수립하는데 정량적인 분석을 통한 도움을 주지 못한다. 그러므로 평가대상이 되는 연구개발 사업군들에 대한 사전적인 지식이 고려되어야 한다. 투입 및 산출물의 가중치에 대한 선형적인 지식(priori knowledge)을 활용하는 DEA 모형에 대한 연구는 다양하게 이루어 졌다. Thompson et al.(1990)은 Assurance Region(AR)을 이용한 DEA/AR 에서 평가 기준간 상대적 중요성의 가중치가 가질 수 있는 범위를 제한하도록 하였고[23], Belton et al.(1993), Oral et al.(1991)의 연구 등에서는 AR의 체계적 측정 방법에 관한 것이었다[10, 19]. 그러나 이들 방법들은 주로 다수의 효율적 DMU들을 선정하는 결과를 피하기 위해 효율적인 DMU의 수를 제한하기 위한 것들이었고 특정 평가기준 하에 DMU 그룹들의 다양한 목적 및 속성들을 구분하기 위한 것은 아니었다. 이질적인 특성과 목적을 가진 상위그룹의 차

이를 감안한 각 DMU별 상대적 효율성의 측정을 위해 Lee et al.(2008)의 연구에서는 이질적 목적을 지니는 6개의 국가 R&D 프로그램 내에 속한 총 548개 개별 연구사업들의 효율성 측정을 위해 혼합정수선형계획법(mixed interger linear programming)에 기반한 DEA 모형을 제안하면서 각각의 상위그룹별로 개별적인 DEA 모형을 적용했을 때와 비교하고 있다[15]. 그러나 이항변수(binary variable)를 사용하는 그들의 DEA 모형은 특정 DMU의 효율측정을 위해 해당 상위그룹의 DMU들을 제외한 이질적인 특정 단일 상위그룹 내의 DMU들과만 비교를 수행하여 상대적 효율성을 측정하는 가능성을 허용하고 있다는 점에서 전체 DMU들을 모두 고려한 상대적 효율성 측정의 개념준수 여부에 여전히 논란의 여지가 있다.

본 연구에서는 이러한 문제의 해결을 위해 전문가의 사결정기법인 Delphi 및 AHP 기법과 기존의 DEA 방법을 혼용한 AI-DEA(attainment index DEA) 모형을 제안하고자 한다. AI-DEA 모형은 Delphi/AHP 기법을 통하여 소속 상위 사업군의 특성을 감안한 산출 항목별 연구 성과의 기대이상수준(expected ideal level)을 구하고 이를 바탕으로 각 산출항목에 대한 개별 사업들의 달성도(attainment index)를 측정하여 기존의 산출중심 포락형 DEA 모형(Output-oriented envelopment DEA model)에 활용하는 방법이다. 본 AI-DEA 기법은 개별 사업들이 속한 상위 사업군의 특성을 고려하여 각 산출 항목별로 만족할 만한 수준의 산정에 있어 평가자들의 주관적 견해를 투영하는 과정에서 Delphi 기법을 활용하고, 또한 AHP를 통해 얻을 수 있는 다수 비교대상의 상대적 중요도에 대한 판단의 일관성을 활용하여 개별사업들의 이상적인 기대 수준을 정하였다. 이를 바탕으로 항목별 이상 수준 달성도를 측정하여 이를 DEA 모형의 적용 자료로 활용하는 과정을 거친다. 달성도의 측정 과정에서는 기대이상 수준을 임계값의 개념을 사용하여 특정 산출항목에서 과도한 성과물을 낸 특정 사업이 타 사업의 효율성에 부(negative)의 영향을 미치는 것을 피하도록 하였다. 그리고 특정 성과물에 대해 기대이상 수준이 낮은 사업들은 다른 사업들에 비해 상대적으로 정(positive)의 효과를 보도록 한 사업의 특성에 따른 평가의 형평성을 개선시키는 기법이라 할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 평가의 대상이 되는 국가연구개발 사업들의 구조에 대해 소개하고, 제 3장에서는 모형을 개발하고, 제 4장에서는 모형의 적용사례를 효과적으로 설명하기 위하여 실제 국가연구개발 사업들 중 13개의 사업들을 임의로 추출하여 기존의 전형적인 DEA 기법과 AI-DEA 기법을 적용한 후 그 차이를 설명하였다. 그리고 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 국가연구개발 사업의 구조

본 연구에 사용된 자료는 정부 지원에 의하여 수행된 국가연구개발 사업에 대한 조사·분석 보고서이다[3]. 국가연구개발사업의 조사·분석은 국가연구개발사업에 대한 체계적인 조사·분석을 통해 국가연구개발사업의 추진실태를 파악하고, 관련 시책 및 사업추진의 기초 자료로 활용하기 위하여 수행된다. 국가연구개발사업의 효율성 평가를 위한 DEA의 활용에 있어서는, 투입물과 산출물이 먼저 결정되어야 한다. 기존의 연구에서 연구개발 사업을 위한 투입물과 산출물의 종류는 관리자의 분석 목적 및 용도에 따라 다양하다[16, 17]. 정부가 투입한 예산금액 대비 각 국가연구개발 사업이 얼마나 효율적으로 운영되었는지에 대한 평가를 위해 본 연구에 사용된 DEA의 투입변수는 2004년부터 2006년까지의 사업에 지원된 예산이고 산출변수는 2006년에 연구개발 사업에 의하여 도출된 출원특허수, 등록특허수, SCI 논문수이다. 본 연구에서 DEA의 분석은 연구개발사업의 목적별 구분아래 ‘순수연구개발사업’에 속한 다수의 사업군들만을 대상으로 하였다. 순수연구개발을 목적으로 하는 사업은 다시 원천·공공복지, 산업기술, 연구기반 조성의 3개 대분야로 구분되며, 이 중 정책연구와 연구기획평가로 구분된 사업들은 제외한 실질적인 연구개발을 위한 활동 위주의 사업만을 대상으로 <표 1>과 같이 6개의 사업군으로 구분하고 연구개발 활동에 의한

<표 1> 국가연구개발사업의 사업 목적별 분류 및 평가대상 사업분류

| 사업군 | 분류기준 | 사업(DMU)수 및 예산 |
|--------------|--|-------------------------------|
| 1. 원천 기술연구 | 중장기 미래원천 및 핵심기초 연구를 위한 이론적·실험적 연구개발사업 | 7개 사업(5%) 2,170억 원(5%) |
| 2. 공공복지 기술연구 | SOC, 에너지 등 대국민서비스 제고 및 환경보호, 의료 등 국민복지와 삶의 질 향상을 위한 연구개발사업 | 71개 사업(55%) 16,320억 원(40%) |
| 3. 단기 산업연구 | 상용화를 목표로 한 단기의 신기술 및 신제품 개발을 위한 연구개발사업 | 15개 사업(12%) 6,966억 원(17%) |
| 4. 중장기 산업연구 | 중·장기적으로 실용화를 목표로 추진중인 핵심기술 개발 및 응용연구개발사업 | 15개 사업(12%) 11,291억 원(28%) |
| 5. 인력 양성 | 과학기술전문인력 양성을 위한 사업 및 대학·대학원 중심의 육성·지원사업 | 4개 사업(3%) 334억 원(1%) |
| 6. 연구 기반조성 | 연구개발 인프라 구축 및 공동 연구시설 지원 사업 및 혁신 센터(COE)등 연구 거점 지원 사업 | 17개 사업(13%) 3,351억 원(8%) |

효율성을 측정하고자 한다.

위의 분류 기준에 의하여 효율성을 평가하는 대상 사업은 129개로 2006년에 지원된 예산은 40,432억 원이다. 원천·공공·복지연구개발 목적에 해당하는 사업은 78개의 18,489억 원 규모이고, 산업기술연구개발 목적의 사업은 30개 18,257억 원 규모이다. 나머지 21개의 3,686억 원의 사업은 인력양성과 연구기반 조성을 목적으로 하였다.

3. 기대이상수준 달성도를 이용한 DEA 방법론

본 연구에서는 기존에 투입된 연구개발사업들에 대한 예산을 활용하여 다수의 연구개발사업들 간에 얼마나 성과물(논문, 출원특허, 등록특허)에 대한 차이가 있는지를 평가하기 위하여 산출중심의 포락형 DEA 모형을 활용한다. 그리고 다양한 연구성과물들에 대해 각 연구개발사업이 속한 상위사업군간 선호도의 차이를 보상하기 위하여 기존의 DEA 모형을 수정한 AI-DEA 모형을 제안한다. AI-DEA 모형은 Delphi와 AHP 기법을 혼용하여 소속 사업군의 특성을 감안한 산출항목별 연구성과 기대이상수준을 구하고 각 산출항목에 대한 개별 사업들의 달성도(attainment index)를 DEA 활용을 위한 변환된 데이터로 사용하고자 한다.

3.1 기존 DEA 모형의 소개

먼저 기존의 DEA 모형을 간략히 소개하면 다음과 같다. DEA는 다수의 입출력 요소를 가진 DMU의 효율성을 평가하기 위한 모형으로 1978년 처음 소개되었고 [12] DEA의 다양한 모형에 관한 설명은 Zhu[24]을 통해 자세히 알 수 있다. 그중 목적함수(Objective function)인 효율성을 투입(input) 대 산출(output)의 비율로 정의하고 목적함수에서 분모를 1로 정규화(normalization)하면, 다음과 같은 승수형(multiplier form) DEA 모형을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } s_i^- \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \geq 0 \quad j=1, \dots, n \\
 & \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rO} = 1 \\
 & \mu_r, v_i \geq 0 \quad r=1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m \\
 & h_j : \text{사업 } j \text{의 효율(efficiency), } j=1, \dots, n (\text{단 } O \text{은 } n \\
 & \text{개 사업 중 평가대상사업)}
 \end{aligned} \tag{1}$$

y_{rj} : 사업 j 의 산출요소 r 의 값, $r=1, \dots, s$
 x_{rj} : 사업 j 의 투입요소 i 의 값, $i=1, \dots, m$
 μ_r : 산출요소 r 의 가중치
 v_i : 투입요소 i 의 가중치
 s : 산출요소의 수
 m : 투입요소의 수
 n : 사업의 수

그리고 s_i^- 와 s_i^+ 를 각각 잉여투입변수(input slack)와 여유산출변수(output slack)라 하고 ϵ 을 non-Archimedean 이라고 할 때 승수형 DEA 모형의 쌍대문제(dual problem)를 구하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \phi + \epsilon(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{iO} \quad i=1, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \phi y_{rO} \quad r=1, \dots, s \\
 & \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad j=1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2}$$

이러한 승수형 모형의 쌍대문제를 포락형(envelopment form) DEA 모형이라 하고 이 모형에서는 주어진 투입요소의 값에 대하여 산출요소의 값을 ϕ 를 통하여 목적함수에서 극대화하고 있으므로, 산출중심의 포락형 DEA 모형(Output-oriented envelopment model)이라고 한다. 포락형 모형에서는 $\phi=1$ 이고 $s_i^- = s_r^+ = 0$ 일 때만 DMU가 효율적(efficient)이라고 판단한다. $\phi=1$ 이고 $s_i^- \neq 0$ 이거나 $s_r^+ \neq 0$ 일 때는 약하게 효율적(weakly efficient)이라고 판단한다.

3.2 기존 DEA의 한계

기존의 전형적인 DEA 모형에서는 각 DMU의 평가기준이 동일한 상황(즉, 목적과 특성이 동일하다는 전제하의 DMU 평가)을 가정하고 있다. 이러한 경우에는 기존의 DEA를 통해 계산된 효율목표치(efficient target)의 파악이 benchmarking을 위한 지표의 역할을 할 수 있다. 즉 이것은 본 연구에서 언급하고 있는 기대이상수준(즉, 만족할만한 수준이라는 평가를 내리기 위한 산출물의 크기)의 역할을 대신 할 수 있다. 그러나 DMU들의 목적과 특성이 다른 경우에는 이러한 방식의 기대이상수준 판단은 옳지 않다. 각 의사결정단위인 연구개발사업이 속한 해당 사업군의 상대적 특성을 무시한 전형적인 DEA 모형이 어떤 문제점을 유발하게 되는지 살펴보자. 예를 들어 특정 연구 성과물에 대해 기대수준이 낮은(다시 말해, 특정 연구성과물이 상대적으로 별로 중요

하지 않은) 사업군에 속한 DMU들은 그들의 실 산출물이 예상대로 낮은 기대수준을 충족시켰을 경우 기대했던 성과물을 산출해내었음에도 불구하고 해당 연구성과물의 기대수준이 높은 사업군에 속한 DMU들의 큰 성과물의 양에 의해 상대적으로 ‘하향 평가’ 받게 된다. 또 다른 예로는 기대수준이 높은 연구성과물에 대해서는 낮은 성과물을 산출하고 기대수준이 낮은 연구성과물에 대해서는 극단적으로 큰 이상치(extreme value)의 성과물을 내는 DMU가 존재할 경우, 기존의 DEA는 해당 DMU를 효율적이라고 판단하게 되고 이는 동시에 타 DMU들에 대해 상대적인 부(negative)의 영향을 미치는 오류를 범하게 된다. 이는 해당 연구개발사업이 목적과 특성에 기초한 전략적 기대를 충족시키지 못했음에도 불구하고 해당 DMU를 효율적으로 인정하게 되는 결과를 초래하게 된다는 것을 의미한다. 또한 이러한 오류는 효율목표치의 바람직한 설정을 방해하게 된다. 이러한 점에서 볼 때 평가자는 각각의 DMU들의 특성을 감안한 ‘기대이상수준’(expected ideal level)의 존재를 인식하고 이의 달성수준을 바탕으로 DMU들을 평가되어야 한다고 볼 수 있다.

그러나 이러한 기대이상수준을 연구개발의 목적과 특성에 맞게 정량적으로 구하기 위한 일반화되고 표준화된 자료가 없는 실정이므로, 문제에 대한 정확한 정보가 없을 때 사용할 수 있는 Delphi/AHP 기법을 혼용하여 전문가적인 직관을 체계화, 객관화 시키고자 한다[8].

3.3 기대이상수준의 생성

Delphi 기법은 1950년대 후반에 미국 Rand Corporation이 수행한 연구에서 시작되었고, 전문가의 집단에 일련의 질문과 조정된 feedback을 제공하여 믿을 만한 의견의 수렴을 얻고자하는 데 근본 취지가 있다. Delphi 기법 사용은 분석적인 방법에 의하여 답을 구할 수는 없지만 주관적 판단의 의견들을 익명의 과정을 거쳐 수집하고 전문가들의 전문성을 이용하여 의견수렴에 도달하는 것이 특성이라 할 수 있다. 본 연구에서는 특정 사업군내에 다양한 규모의 예산을 투입물로 사용하고 있는 연구사업(DMU)들이 존재함으로써 특정규모의 예산 x_U (예를 들면, 10억 원)을 정하여 ‘연구개발사업군 G_k 에 속한 개별 연구개발사업이 특정규모의 예산 x_U 를 사용하였을 때 성공적이라고 기대할 수 있는 r 번째 산출물의 양, 즉 ‘단위 기대이상수준 $L_r^U(k)$ ’을 생성하는 함수 f_D 를 Delphi 기법을 통하여 실현한다. 즉,

$$L_r^U(k) = f_D(x_U, G_k, r) \tag{3}$$

함수 $f_D(\cdot)$ 는 Delphi 기법을 통해 단위 기대이상수준의 수치를 결정하는 과정을 의미한다.

다음으로 본 연구에서는 각 연구성과에 대한 다수 사업군들의 상대적 중요도 관계에 대해 AHP에서 사용하는 쌍대비교를 이용하여 전문가 집단 판단의 일관성(consistency)을 충분히 활용하고자 한다. 판단의 일관성이란 특정 기준(논문 혹은 특허)에 근거한 대상(사업군) 간 관계의 강도를 정량적으로 표현함으로써 논리적으로 일관성이 없는 판단을 피할 수 있다는 것을 의미한다[20]. 본 연구에서 129개의 개별 사업들의 평가에 앞서 사업들이 소속되어 있는 6개 사업군별 사업들의 특성을 고려하기 위하여 각 연구성과별 사업군에서의 중요도에 대한 가중치를 측정하기 위하여 AHP에서 사용되고 있는 쌍대비교를 수행하였다.

논문과 특허에 대한 사업 그룹별 중요도의 판단은 국가연구개발사업의 평가 체계와 성과지표에 대한 전문적인 이해가 요구되므로, 한국과학기술기획평가원의 평가지원단에 속한 10명을 설문 대상자로 구성하였다(학위별 : 박사 8명/석사 2명, 전공별 : 전자 2명/재료 1명/기계 3명/환경 1명/물리 1명/전기 1명/우주 1명). 평가지원단은 상위평가팀, 특정평가팀, 심층평가팀으로 운영되며, 한국과학기술기획평가원 및 외부 전문가로 구성된다. 평가지원단은 부처의 자체평가결과를 상위평가하고, 특정평가와 심층평가를 수행하여 평가보고서를 작성하고, 이 평가결과는 평가위원회의 검토 및 자문을 받아 기획재정부에서 확정된다[4]. 설문 대상자들의 응답은 쌍대비교 행렬을 구성하게 되고 이에 대하여 일관성 비율(CR ; Consistency Ratio)을 검토해야 한다. 이를 행하는 이유는 평가자들의 의사결정에 대한 일관성이 우선순위의 신뢰도에 결정적인 역할을 하기 때문이다.

이때 CR값이 0.1(10%)이하이면 평가자들의 평가가 일관성이 있다고 하며, 0.15(15%)이하이면 허용 가능한 범위의 평가라고 할 수 있다.

쌍대비교 설문 결과에 의한 사업군별 논문과 특허의 중요도는 <표 2>와 같다. 이 과정에서 설문에 응답한 응답자들은 모두 CR = 0.15이하의 일관성이 있는 평가를 보여 모두 최종 가중치 산정에 적용되었으며 기하평균을 이용한 최종 쌍대비교 행렬의 CR값은 표에 나타나 있다.

논문은 원천기술개발사업에서 가장 중요하게 평가되었으며, 연구기반조성사업에서 중요도가 가장 낮았다. 특허는 단기산업기술연구에서 가장 많이 도출되어야 하는 것으로 프로그램 평가 전문가들이 응답하였으며, 연구기반조성을 위한 사업에서는 중요도가 낮게 평가되었다. 중장기산업기술 연구는 논문과 특허 모두 전반적으로 중요한 연구성과로 분석되었다.

〈표 2〉 사업군별 연구성과 중요도 쌍대비교 설문결과

| 논문 | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1. 원 | 2. 공 | 3. 단 | 4. 중 | 5. 인 | 6. 연 | 중요도 |
| 1. 원 | 1 | 2.81 | 0.82 | 0.96 | 3.29 | 3.32 | .442 |
| 2. 공 | | 1 | 0.26 | 0.31 | 1.12 | 1.08 | .100 |
| 3. 단 | | | 1 | 1.39 | 3.37 | 4.61 | .075 |
| 4. 중 | | | | 1 | 3.39 | 3.56 | .173 |
| 5. 인 | | | | | 1 | 1.43 | .153 |
| 6. 연 | | | | | | 1 | .058 |
| CR = 0.003 | | | | | | | |
| 특허 | | | | | | | |
| | 원 | 공 | 단 | 중 | 인 | 연 | 중요도 |
| 원 | 1 | 5.27 | 5.40 | 3.43 | 2.48 | 6.18 | .235 |
| 공 | | 1 | 1.25 | 0.59 | 0.81 | 1.84 | .079 |
| 단 | | | 1 | 0.26 | 0.51 | 1.68 | .298 |
| 중 | | | | 1 | 0.92 | 2.73 | .242 |
| 인 | | | | | 1 | 2.49 | .079 |
| 연 | | | | | | 1 | .066 |
| CR = 0.017 | | | | | | | |

그리고 쌍대비교를 통하여 구하여진 ‘r번째 산출물에 대한 사업군 G_k 의 상대적 중요도 가중치’를 $W_r(k)$ 라 표시하면 특정 연구개발 사업군 G_k 에 의해 결정된 $L_r^U(k^*)$ 을 이용하여 다른 사업군 G_k 의 단위 기대이상수준 $L_r^U(k)$ 는 다음과 같은 비례식으로 구할 수 있다.

$$L_r^U(k^*) : L_r^U(k) = W_r(k^*) : W_r(k) \tag{4}$$

$$L_r^U(k) = \frac{W_r(k)}{W_r(k^*)} \cdot L_r^U(k^*)$$

위 식은 각 연구성과물에 대한 사업군 간의 중요도 가중치의 비율이 사업군들의 단위 기대이상 수준 간의 비율과 같아야 한다는 가정에서 출발한 것이다.

이제 위 식에서 구해진 단위 기대이상수준 $L_r^U(k)$ 를 이용하여 ‘특정 사업군 G_k 에 속한 j번째 연구사업이 x_j 의 예산을 사용했을 때 r번째 연구산출항목에서 기대할 수 있는 기대이상수준 $L_r^j(k)$ ’을 다음과 같은 관계식으로 구할 수 있다.

$$L_r^j(k) = \frac{x_j}{x_U} \cdot L_r^U(k), \quad j \in G_k, \quad k = 1, \dots, K \tag{5}$$

위 식은 각 연구사업에서 기대할 수 있는 기대이상 수준은 해당 연구사업에 투입된 예산 x_j 와 특정 규모의 예산 x_U 와의 비율만큼 각 해당 사업군의 단위 기대이상

수준 $L_r^U(k)$ 에 비례하여야 한다는 고정규모수익(Constant Return to Scale)의 개념에 기반하고 있다.

3.4 달성도를 이용한 AI-DEA 모형

이제 원형의 연구성과물 y_{rj} 과 Delphi/AHP의 혼용기법을 통해 얻어진 $L_r^j(k)$ 를 이용하여 다음과 같은 각 연구성과 항목별 ‘달성도(attainment index) ρ_{rj} ’를 구한다.

$$\rho_{rj} = \begin{cases} y_{rj}/L_r^j(k) & \text{when } y_{rj} < L_r^j(k), \quad j \in G_k \\ 1 & \text{when } y_{rj} \geq L_r^j(k), \quad j \in G_k \end{cases} \tag{6}$$

즉 j번째 DMU의 r번째 연구성과물에 대한 실 산출물 y_{rj} 와 임계값(threshold)으로 작용하는 기대이상수준 $L_r^j(k)$ 를 비교하여 y_{rj} 가 $L_r^j(k)$ 보다 크거나 같으면 이는 해당 성과물에 대해서는 이상적인 수준을 달성한 것으로 판단하여 달성도 1을 부여하고, 그렇지 않으면 1보다 작은 달성도($0 \leq \rho_{rj} < 1$)를 성취한 것을 나타내도록 원형 데이터를 변환시키는 과정이다. 이러한 적절한 상한값의 활용을 통해 단순히 산출물의 규모를 통해 효율성을 측정하는 것이 아니라 각 DMU가 속한 해당 사업군의 상대적 특성에 맞게 기대를 충족시킨 정도를 바탕으로 효율성을 측정하게 된다. 예를 들어 특정 연구성과물에 대해 기대이상 수준이 낮은 사업군에 속한 DMU들은 그들의 실 산출물이 작을때는 기대이상 수준이 높은 사업군에 속한 DMU들에 비해 상대적으로 ‘하향 평가’되는 것을 막아주고 극단적으로 큰 이상치(extreme value)의 성과물을 내는 경우에는 타 사업군에 속한 DMU들에 비해 상대적으로 ‘상향 평가’되는 것을 막아준다.

이처럼 우리가 제안한 달성도의 활용은 투입예산이라는 하나의 투입물과 다수의 산출물로 이루어진 DEA 모델에서 투입물의 값을 감안하여 산출물의 값을 치환시킨 일종의 자료의 전처리(data preprocessing)과정을 거친 것이라 할 수 있으므로 결과적으로 동등한 규모의 투입물을 가진 다수의 DMU들을 효율성 바탕으로 비교하는 형태가 되었다. 이러한 논리적 배경을 감안한 본 연구에서 제시하는 AI-DEA(attainment index DEA) 모형은 결과적으로 다음과 같은 형태를 지니게 된다.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \phi + \epsilon (s^- + \sum_{r=1}^s s_r^+) \tag{7} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j + s^- = 1 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j \rho_{rj} - s_r^+ = \phi \rho_{r0} \quad r = 1, \dots, s \\ & \lambda_j, s_j^-, s_r^+ \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

본 연구에서 제시된 AI-DEA 모형은 기존의 원형 산

출물 y_{rj} 를 달성도 ρ_{rj} 로 치환한 것으로 이는 이질적인 특성과 목적을 지닌 각 연구사업 DMU들의 특성을 감안한 공평한 효율성 산출을 위한 것이다. 본 AI-DEA 모형은 상황에 따라 산출물에 대한 달성도뿐만 아니라 투입물에 대한 달성도를 이용하는 다양한 모형들로 변형되어 발전할 수 있다.

4. AI-DEA 활용 사례 예제

AI-DEA의 목적과 방법에 대한 효과적인 소개를 위하여 총 129개의 사업들중 13개의 사업들을 추출하여 초기 분석을 수행하고자 한다. 임의로 추출된 13개의 DMU들의 원형 데이터는 <표 3>에 표시되어 있다. 첫 번째 열은 DMU의 구분을 위한 것이고, 두 번째 열은 각 DMU가 소속된 사업군의 구분, 그리고 3~6번째 열은 각각 예산지원금, 출원특허수(App), 등록특허수(Reg), 그리고 SCI 논문수(Pap)를 나타내고 있다.

<표 3> 13개 사업의 원형 데이터(투입물, 산출물)

| DMUs | 사업군 | 예산 지원금 (백만 원) | App | Reg | Pap |
|---------|-------------|------------------|-----|-----|------|
| Unit 1 | 1. 원천 기술 | 32,540 | 36 | 44 | 252 |
| Unit 2 | | 82,050 | 117 | 44 | 776 |
| Unit 3 | 2. 공공복지 | 144,034 | 105 | 88 | 250 |
| Unit 4 | | 115,788 | 160 | 29 | 65 |
| Unit 5 | 3. 단기 산업 기술 | 32,961 | 116 | 43 | 230 |
| Unit 6 | | 74,500 | 86 | 25 | 90 |
| Unit 7 | 4. 중장기 산업기술 | 48,156 | 89 | 106 | 64 |
| Unit 8 | | 136,154 | 406 | 344 | 640 |
| Unit 9 | 5. 인력양성 | 44,065 | 222 | 101 | 212 |
| Unit 10 | | 16,996 | 1 | 0 | 2 |
| Unit 11 | 6. 연구 기반조성 | 37,080 | 186 | 126 | 614 |
| Unit 12 | | 71,236 | 211 | 171 | 1735 |
| Unit 13 | | 10,802 | 22 | 9 | 120 |

본 연구에서는 6개의 사업군들 중 ‘원천기술’ 사업군을 특정 사업군으로 정하여 특정규모의 예산 10억 원이 투입되었을 때, 해당 사업군에 속하는 연구개발사업의 특허와 논문 산출량이 어느 정도이면 이상적인 기대치인 지를 Delphi 기법을 활용하여 먼저 도출하였다. 평가자들로 하여금 현실의 성과물 실적에 부합하는 기대이상수준을 정하도록 하기 위하여 Delphi 의견 수렴 과정 초기에 평가자들에게 평가 대상이 되는 특정 사업군에 속한 사업들의 2006년도 실제 출원특허와 등록특허, SCI

논문 성과를 제공하였다. 이는 평가자 개인의 주관적 판단으로 결정되는 기대이상 수준이 현실의 실적에 비해 크게 왜곡되는 것을 막기 위함이다. 3차에 의한 의견 수렴 결과를 ‘3점법’(즉, $(\max+4\times\text{avg}+\min)/6$)에 의하여 종합한 결과 각 산출 항목별 단위 기대이상수준은 출원특허수 14.83개, 등록특허수 9.42개, 그리고 SCI 논문수 21.67개를 각각 도출하였다.

이와 같이 구한 특정 사업군의 단위 기대이상 수준과 식 (4), 식 (5), 그리고 식 (6)를 통해 구해진 달성도 값들을 <표 4>에 나타내었다. <표 4>에서 투입물인 투입 예산규모의 열이 없는 이유는 달성도의 측정에서 이미 그 의미가 투영되어 있기 때문이다. 다음에 설명할 AI-DEA 모형에서는 이러한 달성도 값들이 데이터로 활용된다.

<표 4> 13개 사업의 산출항목별 달성도 ρ_{rj}

| DMUs | 사업군 | AI_App | AI_Reg | AI_Pap |
|---------|-----|--------|--------|--------|
| Unit 1 | 1 | 8% | 14% | 36% |
| Unit 2 | | 10% | 6% | 44% |
| Unit 3 | 2 | 15% | 19% | 35% |
| Unit 4 | | 28% | 8% | 11% |
| Unit 5 | | 70% | 41% | 100% |
| Unit 6 | 3 | 6% | 3% | 33% |
| Unit 7 | | 10% | 18% | 36% |
| Unit 8 | 4 | 20% | 26% | 55% |
| Unit 9 | | 33% | 24% | 56% |
| Unit 10 | 5 | 1% | 0% | 1% |
| Unit 11 | 6 | 100% | 100% | 100% |
| Unit 12 | | 71% | 91% | 100% |
| Unit 13 | | 49% | 33% | 100% |

이렇게 변환된 달성도(Attainment Index)를 이용한 AI-DEA 모형의 활용에 앞서 먼저 비교분석의 목적으로 식 (2)와 같은 기존의 DEA 모형을 <표 3>의 데이터에 적용해 본다. 데이터의 변환을 거치지 않은 원형 데이터를 이용할 경우 기존의 DEA 모형에 의한 효율성 점수는 <표 5>의 세 번째 열(M_O)에 나타나 있으며 네 번째 열(Rank M_O)은 DMU의 효율성 점수에 기반한 순위를 나타내고 있다. 한편 데이터의 변환을 거쳐서 구한 달성도를 데이터로 이용한 식 (7)과 같은 AI-DEA 모형 적용의 결과로 구해진 효율성 점수는 <표 5>의 다섯 번째 열(M_AI)에 나타나 있으며 여섯 번째 열(Rank M_AI)은 AI-DEA를 통한 DMU의 효율성 점수에 기반한 순위를 나타내고 있다.

<표 5> DEA 및 AI-DEA를 적용한 효율성 점수와 순위

| DMUs | 사업군 | M_O | Rank M_O | M_AI | Rank M_AI |
|---------|-----|------|----------|---------------|-----------|
| Unit 1 | 1 | 42% | 8 | 36% | 8 |
| Unit 2 | | 42% | 8 | 44% | 7 |
| Unit 3 | 2 | 18% | 12 | 35% | 10 |
| Unit 4 | | 27% | 10 | 28% | 12 |
| Unit 5 | | 70% | 5 | 100% (weakly) | 1 |
| Unit 6 | 3 | 23% | 11 | 33% | 11 |
| Unit 7 | | 65% | 6 | 36% | 8 |
| Unit 8 | 4 | 74% | 4 | 55% | 6 |
| Unit 9 | | 100% | 1 | 56% | 5 |
| Unit 10 | 5 | 1% | 13 | 1% | 13 |
| Unit 11 | 6 | 100% | 1 | 100% | 1 |
| Unit 12 | | 100% | 1 | 100% (weakly) | 1 |
| Unit 13 | | 53% | 7 | 100% (weakly) | 1 |

<표 5>를 살펴보면 기존의 DEA 모형을 적용한 결과 (세 번째 열(M_O)) 3개의 DMU가 효율적으로 나타났으며(Unit 9, 11, 12) 나머지는 비효율적인 것으로 나타났다. 그러나 AI-DEA 모형을 적용한 결과에서는 기존의 효율적이었던 Unit 9가 비효율적인 것으로 나타났으며 반면에 기존의 DEA 모형에서 비효율적이었던 Unit 5와 13의 경우는 AI-DEA 모형에서 효율적인 것으로 드러났다. 이러한 차이는 해당 DMU가 속한 사업군에 대해 평가자들이 기대했던 성과물의 기대치와 실제 산출물과의 차이가 발생함으로 인해 나타난 것으로 볼 수 있다. 예를 들어 Unit 9의 경우 기존의 DEA 모형에서는 효율성 100%를 나타내고 있으나 기대이상 수준을 고려한 각 항목별 달성도에서는 각각 출원특허수 33%, 등록특허수 24%, 그리고 SCI 논문수 56%를 달성하여 AI-DEA 모형 효율성은 56%에 그치고 있다. 그리고 Unit 5와 13의 경우에는 기존의 DEA 모형에서 각각 70%와 53%의 효율성을 보이고 있으나 항목별 달성도에서는 각각(70%, 41%, 100%)와 (49%, 33%, 100%)를 보여 AI-DEA 효율성 100%를 보이고 있다. 특히 AI-DEA 모형에서의 Unit 5, 12, 그리고 13은 ‘weakly efficient’한 결과를 나타내고 있다 (‘weakly efficient’에 대한 정의는 Zhu(2003)의 page 9를 참조하시오[24]).

5. 결 론

본 연구에서 우리는 이질적인 목적과 특성을 지닌 국

가연구개발 사업군에 속한 개별 연구개발사업들의 사후 평가를 위하여 Delphi, AHP 및 DEA 기법을 혼용한 AI-DEA 모형을 개발하고 이의 사용사례를 제시하였다. 개발된 모형은 실제 의사결정 과정에서 사용될 수 있도록 실용성을 강조한 모형이며, 예제도 실제 상황에 근거하여 작성되었다. 국가연구개발 사업의 평가자들은 사업들 각각의 이질적인 특성을 고려하여 평가하기를 원한다. 다양한 목적과 특성을 지닌 개별사업들을 동일한 환경에서 동일한 잣대로 평가하는 것은 개별 특성을 무시한 비합리적인 평가가 될 수 있기 때문이다. 반면에 전형적인 DEA 모형은 평가 대상이 되는 개별 의사결정단위들을 동일한 평가기준이 적용된다고 가정하고 있으므로 이질적인 목적과 특성을 지닌 국가연구개발 사업들의 평가에 논란의 여지가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 AI-DEA 기법은 개별 사업들이 속한 상위 사업군의 특성을 고려하여 각 산출 항목별로 만족할 만한 수준의 산정에 있어 평가자들의 주관적 견해를 투영하는 과정에서 Delphi 기법을 활용하고, 또한 AHP를 통해 얻을 수 있는 다수 비교대상의 상대적 중요도에 대한 판단의 일관성을 활용하여 개별사업들의 이상적인 기대 수준을 정하였다. 이를 바탕으로 항목별 이상 수준 달성도를 측정하여 이를 DEA 모형의 적용 자료로 활용하는 과정을 거친다. 달성도의 측정 과정에서는 기대이상수준을 임계값의 개념을 사용하여 특정 산출항목에서 과도한 성과물을 낸 특정 사업이 타 사업의 효율성에 부(negative)의 영향을 미치는 것을 피하도록 하였다. 그리고 특정 성과물에 대해 기대이상 수준이 낮은 사업들은 다른 사업들에 비해 상대적으로 정(positive)의 효과를 보도록 한 사업의 특성에 따른 평가의 형평성을 개선시키는 기법이라 할 수 있다. 우리는 국가연구개발 사업에 대한 실제 데이터를 이용하여 AI-DEA 모형의 사용사례를 제시하고 기존의 전형적인 DEA 기법과 AI-DEA 기법의 차이를 설명하였다.

결론적으로 본 연구를 통해 연구개발의 목적과 특성의 차이를 고려한 평가자의 주관적인 견해를 반영한 본 AI-DEA 기법은 국가연구개발사업의 평가를 위해 추후에 사용될 수 있다고 판단한다. 다만 다음의 점들에 대한 보완이 필요하며 이는 차후의 연구로 남긴다. 첫째, 사용된 투입물의 평가 요소가 좀 더 다양한 경우에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 평가의 특수한 목적에 의해 투입물로서 투입예산의 규모를 단독으로 사용하였기 때문에 투입예산의 비례식을 이용한 단위 기대이상수준을 산정이 모든 사업군에 대해 가능하였으나 보다 일반적인 모형으로 발전하기 위해 다수의 투입물을 평가요소로 정하는 경우 이에 대한 논리적인 재검토가 필요할 것이다. 둘째, Delphi와 AHP를 동시에 사용

하는 경우와 Delphi만을 모든 상위 사업군들에 다 적용하는 경우의 사업군별 단위 기대이상 수준이 달라질 수 있는 가능성에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 전자의 경우는 쌍대 비교에 의한 판단의 일관성을 유지할 수 있다는 장점이 있으나 이것이 반드시 후자에 비해 보다 정확한 판단이라는 절대적인 옹호를 받기는 힘들다. 이러한 점들이 보완된다면 보다 체계적이고 논리적인 연구개발 사업 평가방법의 한 대안으로 발전할 수 있다고 본다.

참고문헌

[1] 과학기술기본법(일부개정 2008. 6. 5 법률 제9089호).
 [2] 교육과학기술부 “국가연구개발-국가연구개발사업평가”, <http://www.most.go.kr>, 2008.
 [3] 국가과학기술위원회, 2007년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서, 2007.
 [4] 기획재정부; 2008년도 국가연구개발사업 상위평가 지침, 2008.
 [5] 김윤종; “국가 R&D 성과평가 개요 및 제도개선 방안”, 한국행정학회 추계학술대회, 2007.
 [6] 손소영, 주용규; “분류모형과 DEA를 이용한 두뇌한국(BK) 21 사업단 효율성 분석”, IE Interfaces, 17 (3) : 249-260, 2004.
 [7] 임호순, 유석천, 김연성; “연구개발사업의 평가 및 선정에 관한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구”, 한국경영과학회지, 24(4) : 1-12, 1999.
 [8] 조용근, 조근태; “Delphi와 AHP를 이용한 생명공학 분야 미래유망기술의 R&D 전략 수립”, 한국경영과학회 2004년 추계학술대 논문집 : 183-186, 2004.
 [9] Banker, R. D. and Morey, R. C., “The use of categorical variables in data envelopment analysis,” *Management Science*, 32(12) : 1613-1627, 1986.
 [10] Belton, V. and Vickers, S. P.; “Demystifying DEA : A visual interactive approach,” *Journal of Operations Research Society*, 44(9) : 883-896, 1993.
 [11] Chang, H.; “Determinant of hospital efficiency : The case of central government owned hospitals in Taiwan, Omega,” *International Journal of Management Science*, 26(2) : 307-317, 1998.
 [12] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E.; “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, 2(2) : 429-444, 1978.
 [13] Eilat, H., Golany, B., and Shtub, A.; “R&D projects evaluation : An integrated DEA and balanced scorecard approach, Omega,” *International Journal of Management Science*, 36(5) : 895-912, 2008.
 [14] Kao, C. Hung, H. T.; “Efficiency analysis of university departments : An empirical study,” *Omega, International Journal of Management Science*, 36(4) : 653-664, 2008.
 [15] Lee, H. Park, Y., and Chio, H., “Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives : A DEA approach,” *European Journal of Operational Research*, In press, Available online 26 June 2008.
 [16] Meng, W., Hu, Z. H., and Liu, W. B.; “Efficiency evaluation of basic research in China,” *Scientometrics*, 69 : 85-101, 2006.
 [17] Meng, W., Zhang, D., Qi, L., and Liu, W.; “Two-level DEA approaches in research evaluation,” *OMEGA*, 36 : 950-957, 2008.
 [18] O’Neill, L, Rauner, M., Heidenberger, K., and Kraus, M.; “A cross-national comparison and taxonomy of DEA-based hospital efficiency studies,” *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(3) : 158-189, 2008.
 [19] Oral, Kettani, and Lang; “A methodology for collective evaluation and Selection of industrial R&D projects,” *Management Science*, 37(7) : 871-885, 1991.
 [20] Saaty, T., “Priority Setting in Complex Problem,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, 30(3) : 140-155, 1983.
 [21] Schaffnit, C., Rosen, D., and Paradi, J. C.; “Best practice analysis of bank branches : An application of DEA in a large Canadian bank,” *European Journal of Operational Research*, 98 : 269-289, 1997.
 [22] Sowlati, T., Paradi, J. C., and Suld, C., “Information systems project prioritization using data envelopment analysis,” *Mathematical and Computer Modelling*, 41 (11-12) : 1279-1298, 2005.
 [23] Thompson, R. G., Langemerer, 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*, 46 : 93-108, 1990.
 [24] Zhu, J.; Quantitative models for performance evaluation and benchmarking, Springer’s International Series, 2003.