

DEA/AHP 모형을 이용한 R&D 프로젝트 선정모형 및 Web 기반 R&D 프로젝트 선정시스템 개발

이덕주^{1*} · 배성식² · 강진수³

¹경희대학교 테크노공학대학 / ²우리은행 / ³BIA 글로벌

Development of R&D Project Selection Model and Web-based R&D Project Selection System using Hybrid DEA/AHP Model

Deok-Joo Lee¹ · Sungsik Bae² · Jinsoo Kang³

¹College of Advanced Engineering, Kyung Hee University, Yongin, 449-701

²Woori Bank, Seoul, 100-051

³BIA Global, Seoul, 137-044

Some issues which should be considered in an R&D project selection problem are as follows: First, quantitative analysis on the efficiencies of R&D projects is required to guarantee objective validity in the evaluation of the projects. For this reason, the methodology for selecting R&D projects should be based on mathematical models that perform quantitative analysis. Second, in general there are ordinal factors like Likert-scale in the data for evaluating R&D projects. Previous researches, however, couldn't suggest explicit methods incorporating these ordinal factors into models. Third, for the R&D project selection problems with limited resources like budget, it is necessary to decide the perfect ranking of the all projects. This paper develops a mathematical model that can be applicable to the problems of selecting R&D projects with the previous features. In this paper, we improve the original DEA model for evaluating efficiency to incorporate ordinal factors and suggest a new model which can decide the perfect ranking of all projects by merging the improved DEA model and AHP method. Furthermore a web-based R&D project selection system using the DEA/AHP model suggested in this paper is developed and illustrated.

Keyword: R&D project selection, DEA, AHP, ordinal factor

1. 서론

본격적인 지식정보화 시대의 도래에 따라 기업은 연구개발 활동을 경쟁력의 원천요소 혹은 생존을 위한 필수적인 수단으로 인지하게 되었으며, 이러한 현실에서 기업들은 연구개발 투자 규모의 양적인 확대뿐만 아니라 투자의 효율성 확보라는 질적 개선이 필요하게 되었다. 이러한 관점에서 기업 기술혁신 활동의 최소 단위라 할 수 있는 R&D 프로젝트의 계획 및 수행에

관한 의사결정 과정은 조직의 희소한 자원을 R&D 활동에 배분하여 조직이 추구하는 목표를 최대한 달성하고자 하는 문제와 관련되어 있다. 특히 R&D 활동은 기업의 경영 의사결정과 맞물려서 다수의 대안 중 하나를 선택하는 형태로 자주 나타나며, 이때 보다 효과적으로 최적의 대안을 찾아내는 것에 대한 중요성이 대두되고 있다.

R&D 프로젝트의 선정문제가 보이는 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, R&D 프로젝트 선정 시 평가의 객관성을 확보하

이 논문은 2003년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-003-D00562).

* 연락저자 : 이덕주 교수, 449-701 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지, 경희대학교 테크노공학대학, Fax : 031-203-4004,

E-mail : ldj@khu.ac.kr

2005년 3월 접수; 2006년 1월 수정본 접수; 2006년 2월 게재 확정.

기 위해서는 프로젝트의 효율성, 효과성에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 따라서 R&D 프로젝트의 선정방법론은 정량적인 분석이 가능한 수리적 모형에 근거한 방법론의 개발이 필요하다. 둘째, R&D 프로젝트의 평가자료에는 Likert-scale과 같은 서수적인 형태의 자료가 많이 존재한다. 따라서 서수적인 형태의 평가요소를 올바르게 반영할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 셋째, 일반적으로 예산제약이 존재하는 R&D 프로젝트 선정문제에 있어서 예산조정에 따른 선정결과의 유연성을 가지기 위해서는 완전순위의 결정이 필요하다. 따라서 R&D 프로젝트의 평가결과가 다수의 동점순위가 도출되는 모형은 보다 세밀한 평가결과가 도출될 수 있는 모형으로 개선될 필요가 있다.

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. 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 사용하고 있다. 이와 같은 DEA를 프로젝트 선정문제에 적용하기 위해서는 각 의사결정 단위를 프로젝트 대안으로 간주하고, 각 프로젝트 대안들의 효율성 값을 DEA를 이용하여 계산한 후 가장 높은 효율성 값이 도출되는 대안을 최적의 대안으로 선정하는 절차를 사용하게 된다. 그러나 전통적인 DEA 모형은 일반적으로 최대의 효율성 값을 가지는 대안이 다수가 도출됨으로써 대안들 간의 효율성에 대한 순위를 완전히 결정할 수 없다는 한계점과 동시에, 투입 및 산출요소를 선정하는 데 있어서 기수적으로 측정 가능한 변수(cardinal variable)만을 고려할 수밖에 없다는 한계점을 가지고 있다.

이 후 DEA 모형의 프로젝트 선정문제의 응용은 여러 가지 방향으로 확장 모델이 제시되었다. Oral *et al.*(1991)은 효율적인 R&D 프로젝트의 선정을 위한 평가모형을 자기평가(self-evaluation), 상호평가(cross-evaluation), 선정모형(selection model)의 3단계로 나누어서 제시하였다. 특히, 효율성 평가 시에 특정 DMU의 관점에서 다른 DMU를 평가하는 상호 효율성(cross-efficiency) 모형을 제시하였으며, 이는 후에 AHP(analytic hierarchy process) 모형과의 통합을 위한 기초자료로 활용되어진다. DEA를 이용한 프로젝트 선정 관련 연구는 국내에서도 Lee *et al.* (1999), Rhim(1999) 등 활발한 연구가 이루어지고 있다.

한편 기존의 DEA 모형에서 다수의 최적해가 도출되는 한계점을 극복하기 위해서 Thompson *et al.* (1986)는 기존의 DEA 모형이 각 DMU 자신에게 유리한 가중치를 주어 특정한 요소의 가중치가 1 또는 0의 값에 과도하게 가깝다는 한계를 인식하고, 이를 극복하기 위한 방안으로 Assurance Region(AR) 모형

을 제안하였다. 이는 DEA 분석 결과 일반적으로 최고 효율성을 갖는 DMU가 다수 도출되는 데 따르는 문제점을 줄이고자 하는 방안으로 가중치의 값에 제약을 가하는 방식을 사용하였다.

Cook *et al.*(1993)는 기존의 DEA 모형이 모든 변수를 기수적인 요소로 간주하여 평가하고 있다는 한계점에 착안하여 서수적인 특성을 가지고 있는 변수가 존재하는 경우에 올바르게 효율성 평가를 할 수 있는 DEA 모형을 제시하였다. 이 논문에서는 서수적인 요소를 정량적인 관점이 아닌 가중치의 개념으로 해석하여 DEA 모형에 통합하는 방법을 사용하였으며, 이후 Cook *et al.*(1996)은 투입요소에 하나의 서수적인 요소만 존재했던 기존의 모형을 확장하여 다수의 투입, 산출요소에서 서수적인 변수를 가지는 경우의 효율성 평가 DEA 모형(이하 CKS 모형)을 개발하였다. Cook *et al.*(1996)에서는 기존 DEA 모형에서는 임의의 값으로 두었던 가중치의 제약값을 선형계획법을 사용하여 별도로 구한 후, 이를 이용하여 서수적인 요소와 정량적인 요소를 동시에 고려할 수 있는 보완된 형태의 DEA 모형인 CKS 모형을 제시하고 있다. Sarkis and Talluri (1999)는 CKS 모형을 토대로 하여 서수적인 요소와 정량적인 요소 모두가 존재하는 경우에 대안을 선택하는 실증분석을 실시하였다.

한편 Saaty(1980)에 의해 제안되고, 이후 여러 분야에서 다기준 의사결정 방법으로 활용되어 온 AHP(analytic hierarchy process)는 DEA 모형과 마찬가지로 다수의 대안이 있을 경우에 최종적인 대안을 도출하기 위하여 만들어진 방법론이므로, 두 가지 방법론에 대한 통합을 시도하는 연구가 최근 들어 이루어지고 있다. Sinuany-Stern *et al.*(2000)는 DEA 모형에 AHP 모형을 결합시킴으로써 각 모형의 단점을 극복하고자 한 모형을 제시하였다. 이 모형은 DEA 모형이 다수 DMU가 최고 효율성을 가질 수 있다는 문제점을 AHP를 통해 순위를 정함으로써 극복하고, AHP 모형에 평가자의 주관이 개입되는 부분에 대해서 DEA 모형을 사용함으로써 극복하고자 하였다. 한편 Rhim(1999)은 Sinuany-Stern *et al.*(2000)의 모형과는 다른 관점에서 DEA/AHP 통합모형을 제시하였는데, 이 모형은 AHP의 계층구조를 이용하여 AHP 모형에 대한 계산을 끝마친 후 그 값들을 DEA-AR 모형의 가중치 제약값에 활용하는 방안에 대한 제안을 하였다.

그러나 기존의 프로젝트 선정방법론을 R&D 프로젝트 선정문제에 그대로 적용하기에는 몇 가지 문제점이 발견되고 있다. 구체적으로 연구개발 프로젝트의 일반적인 특징과 프로젝트 선정방법론과의 관련성을 살펴보면 다음과 같은 측면을 발견할 수 있는데, 첫째 연구개발 프로젝트의 선정문제는 효율성, 효과성에 대한 정량적인 분석이 필요하며 이는 DEA 분석을 응용하여 해결할 수 있다. 둘째, 연구개발 프로젝트의 평가자료에는 통상 서수적인 형태의 자료가 많이 존재하므로 서수적 자료를 고려하는 DEA 모형이 필요하다. 셋째, 예산제약이 따르는 프로젝트 선정문제에 있어서 예산조정에 대한 선정의

유연성을 가지기 위해서는 완전순위의 결정이 필요하며 이는 AHP 방법론을 응용하여 해결 가능하다.

이에 본 연구에서는 위와 같은 특성을 가지고 있는 연구개발 프로젝트 선정에 응용될 수 있는 보다 현실적인 수리적 모형을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 Sinuany-Stern *et al.*(2000)의 모형에 서수적인 특성을 가지는 변수를 고려할 수 있는 CKS 모형을 통합한 새로운 모형을 수립하고, 이 모형에 AHP 기법을 혼합하여 R&D 프로젝트의 완전순위를 산출할 수 있는 새로운 모형을 제시하고자 한다. 그리고 간단한 예제를 통해서 본 논문에서 제시하는 모형과 기존의 프로젝트 선정모형과의 결과를 비교해 보고자 한다. 마지막으로 본 연구에서 제시한 모형을 실제 R&D 관리현장에서 활용할 수 있도록 하기 위하여, 웹을 기반으로 하는 프로젝트 선정시스템을 개발하여 소개한다.

2. 모형

N 개의 R&D 프로젝트(혹은 DMU)를 평가대상으로 가정하자. 그리고 각각의 프로젝트는 R 개의 산출요소(output factors)를 가지며, 이들 산출요소는 R_c 개의 기수적 요소와 R_o 개의 서수적 요소로 이루어져 있다고 가정하자. 따라서 $R=R_c+R_o$ 의 관계가 만족하게 된다. 또한, 각각의 프로젝트는 I 개의 투입요소(input factors)를 가지고 있고, 이들 투입요소는 I_c 개의 기수적 요소와 I_o 개의 서수적 요소로 이루어져 있으면서 $I=I_c+I_o$ 를 만족한다.

이때 n 번째 프로젝트의 기수적 산출요소 데이터는 \vec{Y}_n 벡터(R_c 차원)로 표시하고, 기수적 입력요소 데이터는 \vec{X}_n 벡터(I_c 차원)로 표시하자. 한편 서수적 요소에 대해서 본 논문에서는 모델 표현의 간결성을 위해서 모든 서수적 요소가 동일하게 L 개의 순위 중 한 값을 가지는 서수적(ordinal) 변수의 성질을 갖는다고 가정한다.

즉, 본 연구에서 고려하는 서수적 요소는 L 개의 순위로 이루어진 Likert-scale 데이터로 이해할 수 있다. 예를 들어, 산출요소의 경우에는 연구개발 프로젝트 결과로서 기대되는 편익요소들 중에서 수량화하기 어려운 ‘기술적 파급효과’, ‘상업화 가능성’ 등에 대해서 다음과 같은 설문의 응답자료를 해당 요소의 자료로 활용하는 경우이다.

“연구개발 프로젝트의 상업화 가능성은 어느 정도라고 평가하십니까?”

1점 = 매우 낮음, 2점 = 다소 낮음, 3점 = 보통,
4점 = 다소 높음, 5점 = 높음

한편, 투입요소의 경우에는 연구개발 프로젝트에 소요되는 투입 또는 비용요소들 중에서 수량화하기 어려운 ‘요구되는

기술의 난이도’, ‘예상소요 시간’ 등에 대해서 다음과 같은 설문 의 응답자료를 해당 요소의 자료로 활용하는 경우이다

“프로젝트에 소요될 것으로 예상되는 연구개발 기간은 어느 정도라고 평가하십니까?”

1점 = 6개월 이하, 2점 = 6개월-1년, 3점 = 1-2,
4점 = 2-3년, 5점 = 3년 이상

위의 예에서 주의해야 할 것은 서수적 요소라고 하더라도 산출요소의 경우에는 점수가 높을수록 바람직하고, 투입요소의 경우에는 반대로 점수가 낮을수록 바람직하도록 해야 한다는 것이다.

그러면 n 번째 프로젝트의 r 번째 ($r=1, \dots, R_o$) 서수적 산출요소 데이터를 표현하기 위해 다음과 같은 이원변수(binary variable)를 정의하자.

$$y_{r}(n) = \begin{cases} 1 & n\text{번째 프로젝트의 } r\text{번째 서수적 산출요소가 } l\text{번째 순위인 경우} \\ 0 & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

위 정의를 이용하면 r 번째 서수적 산출요소에 대해서 L 개의 $y_{r}(n)$ 으로 이루어지는 벡터 $\vec{y}_r(n) = (y_{r1}, \dots, y_{rL})$ 를 정의할 수 있으며, 이 벡터는 r 번째 서수적 산출요소가 l 번째 순위를 가지는 경우 l 번째 요소만 1의 값을 가지고 나머지는 모두 0의 값을 가지는 단위 벡터를 이루게 된다.

마찬가지 방법에 의해, n 번째 프로젝트의 i 번째 ($i=1, \dots, I_o$) 서수적 투입요소 데이터를 표현하기 위해 다음과 같은 이원변수(binary variable)를 정의하자.

$$\delta_{i}(n) = \begin{cases} 1 & n\text{번째 프로젝트의 } i\text{번째 서수적 투입요소가 } l\text{번째 순위인 경우} \\ 0 & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

그러면 i 번째 서수적 투입요소에 대해서 L 개의 $\delta_{i}(n)$ 으로 이루어지는 벡터 $\vec{\delta}_i(n) = (\delta_{i1}, \dots, \delta_{iL})$ 을 정의할 수 있으며, 이 벡터는 i 번째 서수적 투입요소가 l 번째 순위를 가지는 경우 l 번째 요소만 1의 값을 가지고 나머지는 모두 0의 값을 가지는 단위 벡터를 이루게 된다.

다음으로 DEA 모형의 결정변수인 가중치 변수를 정의한다. 먼저 r 번째 ($r=1, \dots, R_o$) 기수적 산출요소의 가중치는 μ_r 로, i 번째 ($i=1, \dots, I_c$) 기수적 투입요소의 가중치는 ν_i 로 정의한다. 이들을 벡터 형식으로 나타내면, $\vec{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_{R_o})$ 와 $\vec{\nu} = (\nu_1, \dots, \nu_{I_c})$ 로 표현할 수 있다. 한편 r 번째 ($r=1, \dots, R_o$) 서수적 산출요소의 가중치는 w_r 로, i 번째 ($i=1, \dots, I_o$) 서수적 투입요소의 가중치는 u_i 로 정의한다.

단 서수적 변수의 경우, 하나의 요소에 대해서 총 L 개의 가중치 값을 가지게 된다. 이 값들을 벡터 형식으로 나타내면, $\vec{W}_r = (w_{r1}, \dots, w_{rL})$ 과 $\vec{U}_i = (u_{i1}, \dots, u_{iL})$ 로 표현할 수 있다.

위와 같이 기수적 요소 및 서수적 요소와 관련된 변수를 정의했을 때, Cook *et al.*(1996)는 다음과 같이 정량적 요소와 정성적 요소를 함께 고려할 수 있는 DEA 모형인 CKS 모형을 제시하였다. 아래 식은 DMU-0의 효율성을 평가하는 CKS 모형을 나타내고 있다.

$$\max \vec{\mu} \vec{Y}_0 + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(0) \quad (1)$$

subject to:

$$\vec{v} \vec{X}_0 + \sum_{i=1}^{I_o} \vec{U}_i \vec{\delta}_i(0) = 1 \quad (2)$$

$$\vec{\mu} \vec{Y}_n + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(n) - \vec{v} \vec{X}_n - \sum_{i=1}^{I_o} \vec{U}_i \vec{\delta}_i(n) \leq 0, \quad n = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_c \quad (4)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_c \quad (5)$$

$$w_{rl} - w_{r,l+1} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (6)$$

$$w_{rL} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o \quad (7)$$

$$u_{il} - u_{i,l+1} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (8)$$

$$u_{rL} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o \quad (9)$$

한편, Sinuany-Stern *et al.*(2000)는 DEA 계산 결과 다수의 DMU가 최고 효율성을 가짐으로써 DMU 간에 완전한 순위를 결정할 수 없는 경우 DEA/AR 모형에 AHP 방법론을 결합시킴으로써 모든 DMU 간에 순위를 결정할 수 있는 모형을 제시하고 있다. 이 모형의 특징은 서로 다른 두 개의 DMU 간에 DEA 분석, 즉 DMU-*j*의 관점에서 DMU-*i*의 효율값을 계산하는 방법을 통하여 Oral *et al.*(1991)이 제시하는 비교행렬(comparison matrix)을 구축한 후, 이 행렬을 AHP 계산을 위한 기초자료로 사용하고 있는 것이다.

본 논문에서는 Sinuany-Stern *et al.*(2000)의 쌍대비교 DEA 분석과정에 앞에서 설명한 Cook *et al.*(1996)의 정량적 요소와 정성적 요소를 함께 고려할 수 있는 DEA 모형을 결합하여, DEA 분석에 있어서 정성적인 요소를 고려하고자 하는 목적과 DMU들 간에 완전순위를 결정하고자 하는 목적을 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 모형을 제시하고자 한다.

우선, *N*개의 R&D 프로젝트(혹은 DMU) 중 임의로 두 개의 프로젝트를 골라, 편의상 이들의 프로젝트를 *A, B*라 명명하자. 그리고 마치 전체 프로젝트(혹은 DMU)가 이들 두 개만으로 이루어져 있는 상황으로 가정하고, *A* 프로젝트의 효율성을 평가하기 위하여 아래와 같은 선형계획 모형을 통한 DEA 분석을 실시한다.

$$E_{AA} = \max \vec{\mu} \vec{Y}_A + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(A) \quad (10)$$

subject to :

$$\vec{v} \vec{X}_A + \sum_{i=1}^{I_o} \vec{U}_i \vec{\delta}_i(A) = 1 \quad (11)$$

$$\vec{\mu} \vec{Y}_A + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(A) \leq 1 \quad (12)$$

$$\vec{\mu} \vec{Y}_B + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(B) - \vec{v} \vec{X}_B - \sum_{i=1}^{I_o} \vec{U}_i \vec{\delta}_i(B) \leq 0 \quad (13)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_c \quad (14)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_c \quad (15)$$

$$w_{rl} - w_{r,l+1} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (16)$$

$$w_{rL} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o \quad (17)$$

$$u_{il} - u_{i,l+1} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (18)$$

$$u_{rL} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o \quad (19)$$

위 문제를 풀면 프로젝트 *A*의 최적 가치치 값들과 최적 목적함수 값(E_{AA})을 얻게 된다. 그러면 이를 이용하여 프로젝트 *A*의 관점에서 보는 프로젝트 *B*의 효율성을 평가하기 위하여 아래와 같은 선형계획 문제를 통하여 DEA 분석을 실시한다.

$$E_{BA} = \max \vec{\mu} \vec{Y}_B + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(B) \quad (20)$$

subject to :

$$\vec{v} \vec{X}_B + \sum_{i=1}^{I_o} \vec{U}_i \vec{\delta}_i(B) = 1 \quad (21)$$

$$\vec{\mu} \vec{Y}_B + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(B) \leq 1 \quad (22)$$

$$\vec{\mu} \vec{Y}_A + \sum_{r=1}^{R_o} \vec{W}_r \vec{y}_r(A) - E_{AA}(\vec{v} \vec{X}_A + \sum_{i=1}^{I_o} \vec{U}_i \vec{\delta}_i(A)) = 0 \quad (23)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_c \quad (24)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_c \quad (25)$$

$$w_{rl} - w_{r,l+1} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (26)$$

$$w_{rL} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o \quad (27)$$

$$u_{il} - u_{i,l+1} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (28)$$

$$u_{rL} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o \quad (29)$$

마찬가지로 E_{BB} 와 E_{AB} 의 값도 구해줄 수 있다. 이때 E_{BB} 는 두 개의 DMU를 동시에 고려했을 때 DMU-B의 효율성 값이고, E_{AB} 는 DMU-B의 관점에서 DMU-A를 평가한 효율성 값으로 해석할 수 있다.

이와 같은 분석을 N 개의 R&D 프로젝트(혹은 DMU) 모든 쌍에 대해서 실시하면 총 $N \times N$ 개의 효율성 값들을 얻게 되며, 이를 이용하면 AHP 분석에 필요한 쌍대비교행렬(pair-wise comparison matrix)을 얻을 수 있다. 쌍대비교행렬 C 의 원소 c_{ij} 는 의사결정 요소 j 의 관점에서 평가된 요소 i 의 상대적 평가치인데(Saaty, 1980), 이를 본 연구의 모형에서 구한 E_{ij} 값을 이용하면 다음과 같은 식을 통해 구할 수 있다.

$$c_{ij} = \frac{E_{ii} + E_{jj}}{E_{jj} + E_{ii}} \quad \text{and} \quad c_{ii} = 1 \quad (30)$$

식 (30)을 이용하여 얻게 되는 쌍대비교행렬 C 를 정리하면 다음과 같다.

$$C = \begin{pmatrix} 1 & \frac{E_{11} + E_{12}}{E_{22} + E_{21}} & \dots & \frac{E_{11} + E_{1N}}{E_{NN} + E_{N1}} \\ \frac{E_{22} + E_{21}}{E_{11} + E_{12}} & 1 & \dots & \frac{E_{22} + E_{2N}}{E_{NN} + E_{N2}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{E_{NN} + E_{N1}}{E_{11} + E_{1N}} & \frac{E_{NN} + E_{N2}}{E_{22} + E_{2N}} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (31)$$

AHP의 계산을 위해서는 쌍대비교행렬이 주대각(principal diagonal) 원소가 1인 대칭행렬이 되어야 하는데, 식 (31)과 같이 DEA 분석을 통해 구해진 쌍대비교행렬 역시 주대각 원소가 1인 대칭행렬이 되므로 AHP 분석이 가능해진다. 한편 본

논문에서 제시하는 모형에서는 식 (31)의 쌍대비교행렬이 각 대안끼리의 상대적 중요도를 평가한 값으로 이루어진 행렬이므로 일단계(single hierarchical level) AHP 분석만을 통해서 각 프로젝트 대안의 순위를 구할 수 있게 된다. 즉, 행렬 C 의 고유값(eigen-value)을 구한 후, 그 중 최대값인 λ_{\max} 에 대응하는 고유벡터 $\vec{w} = (w_1, \dots, w_N)$ 를 구한다. 그러면 고유벡터 \vec{w} 의 j 번째 원소인 w_j 는 N 개의 프로젝트 중 j 번째 프로젝트의 상대적 중요도를 나타내는 값이 되므로 w_j 값이 프로젝트 j 의 최종적인 평가치가 된다.

3. 수치예제

3.1 기존 모형의 적용

본 논문에서 제시한 모형은 의사결정자가 R&D의 효율성 확보라는 측면에서 여러 대안 중 하나를 선택하는 의사결정 문제에 있어서 객관적인 선택기준을 제시하고자 하였다. 그러므로 본 절에서는 본 논문에서 제시하는 모형의 장점 및 특성을 파악하기 위하여 가상의 자료를 이용하여 의사결정자가 결과 값을 가지고 대안선택을 하는 과정을 예시해 보고자 한다. 이에 Shang and Sueyoshi(1995)에 발표된 자료를 R&D 프로젝트 선정문제에 맞는 형태로 변환시킨 후 총 12개의 프로젝트 대안에 대하여 기존의 DEA 모형과, CKS 모형, 마지막으로 본 논문에서 제시한 모형을 적용시킨 후 그 결과를 비교분석하였다.

각 대안별 투입요소와 산출요소의 수치자료는 다음 <Table 1>과 같다.

<Table 1>의 예시자료를 보면, 총 12개의 연구개발 프로젝트 대안들에 대해서 투입요소와 산출요소가 각각 두 가지씩 있는

Table 1. Input and output factors

Alternatives	Inputs		Outputs	
	Investment (100 Mil. Won)	Duration	Expected Profit (100 Mil. Won)	Technological spillover
A	17.02	3	30.1	5
B	16.46	2	29.8	3
C	11.76	1	24.5	3
D	10.52	3	25	4
E	9.5	1	20.4	5
F	4.79	4	16.5	1
G	6.21	2	19.7	2
H	11.12	5	24.7	1
I	3.67	2	18.1	5
J	8.93	1	20.6	4
K	17.74	1	31.1	4
L	14.85	2	25.4	3

데, 투입요소의 경우에는 하나의 정량적 투입요소(투자비용)와 하나의 정성적 투입요소(예상기간)가 있고, 산출요소의 경우에는 하나의 정량적 산출요소(기대이익)와 하나의 정성적 투입요소(파급효과)가 있다. 그리고 정성적 요소는 5단계 Likert scale 단위로 이루어져 있으며, 예상기간의 경우에는 점수가 높을수록 프로젝트 기간이 길게 소요될 것으로 예상되는 것이고, 파급효과 경우에는 점수가 높을수록 파급효과가 클 것으로 평가되는 것으로 가정한다.

우선 <Table 1>의 자료를 이용하여 모든 요소를 정량적 요소로 간주하여 효율성을 평가하는 일반적인 DEA 모형과 (Charnes *et al.*, 1978), 정량적 요소와 정성적 요소를 구분하여 식 (1)~(9)와 같은 모형을 통하여 효율성을 평가하는 CKS 모형(Cook *et al.*, 1993)의 분석결과를 나타내면 다음 <Table 2>와 같다.

Table 2. DEA and CKS scores

Alternatives	DEA	CKS
A	65.6	100
B	76.6	92.7
C	100	87.6
D	70.8	100
E	100	88.3
F	69.9	100
G	88.6	89.6
H	51.0	100
I	100	100
J	100	87.4
K	100	91.8
L	67.0	84.6

<Table 2>를 보면, 모든 변수를 기수적인 요소로 간주한 DEA 모형과 서수적인 요소와 기수적인 요소를 차별적으로 고려한 CKS 모형의 결과가 매우 상이함을 발견할 수 있다. 두 모형에서 모두 효율적인 프로젝트로 계산된 대안은 I 대안 하나 뿐이고, 모두 비효율적인 프로젝트로 계산된 대안도 B, G, L 대안 세 개뿐이다. 이러한 결과는 DEA 모형이 서수적인 변수 자료를 모두 기수적인 자료로 인식하여 해석함으로써 해석상에 오류를 범한 결과라 할 수 있다. 즉, 서수적인 변수에서는 '3'이라는 자료수치가 '2'라는 자료 값보다 1.5배 중요하다는 것이 아니라 단순히 서수적인 차이에 불과하다는 본래 자료의 의미를 제대로 반영하지 못하는 데에 기인하는 것이라 할 수 있다. 따라서 <Table 1>에서 제시된 자료를 DEA 모형에 직접적으로 적용하기에는 무리가 따른다고 할 수 있다.

한편 서수적인 자료의 본래 의미를 고려하여 계산된 CKS 모형 결과를 살펴보면, 최고 효율성 값을 가지는 프로젝트 대안이 모두 다섯 개(A, D, F, H, I)가 도출됨으로써 전체 대안 수의

40%를 넘고 있다. 즉, CKS 모형을 적용하더라도 최대의 효율성 값을 가지는 대안이 다수가 도출됨에 따라 대안들 간의 효율성에 대한 순위를 완전히 결정할 수 없다는 한계점을 그대로 가지고 있음을 알 수 있다. 그러므로 CKS 모형 역시 서수적인 자료를 고려하였다는 장점에도 불구하고 프로젝트 선정을 하기 위한 의사결정자의 대안선택 문제를 완전히 해결하지 못하고 있음을 알 수 있다.

3.2. 서수적 요소를 고려한 DEA/AHP 모형의 적용

본 논문에서 제시하는 DEA/AHP를 고려한 대안선택을 하기 위해서는 우선 각 요소에 대한 가중치의 하한값인 ε 을 구해 주어야 한다. Cook *et al.*(1996)는 가중치의 하한 제약값을 구하는데 있어서 일반적으로 사용되어온 "아주 작은 양의 값"보다 보완된 방법을 정형화하였는데, 이는 12개의 모든 프로젝트 대안(DMU)들에 대해서 아래와 같은 문제를 푼다.

$$\varepsilon_0 = \max \varepsilon \quad (32)$$

subject to:

$$\vec{v} X_0 + \sum_{i=1}^{I_o} U_i \delta_i(0) = 1 \quad (33)$$

$$\vec{\mu} Y_n + \sum_{r=1}^{R_o} W_r \delta_r(n) - \vec{v} X_n - \sum_{i=1}^{I_o} U_i \delta_i(n) \leq 0, \quad n = 1, \dots, N \quad (34)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o \quad (35)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o \quad (36)$$

$$w_{rl} - w_{r,l+1} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (37)$$

$$w_{rL} \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, R_o \quad (38)$$

$$u_{il} - u_{i,l+1} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o; l = 1, \dots, L-1 \quad (39)$$

$$u_{rL} \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, I_o \quad (40)$$

그러면 12개의 ε_k 값을 얻게 되며, 최종적인 가중치 하한값은 다음과 같이 결정하게 된다.

$$\varepsilon = \min_{k=1, \dots, N} \{\varepsilon_k\} \quad (41)$$

본 연구에서도 식 (32)~(41)을 이용하여 가중치의 하한값인 ε 을 구했으며, 그 결과 $\varepsilon = 0.02616431$ 의 값이 도출되었다. 이 값을 이용하여 12×12개의 프로젝트 대안 쌍에 대해서 식 (10)~(29)를 풀면 E_{ii} , E_{jj} , E_{ji} , E_{ij} 값들을 구할 수 있고, 이 값들을 식 (31)에 대입하면 쌍대비교행렬을 <Table 3>과 같이 구할 수 있다.

각 대안의 우선순위를 구하기 위해서는 <Table 3>의 쌍대비교행렬이 각 대안끼리의 상대적 중요도를 평가한 값으로 이루어

어진 행렬이므로 일단계(single hierarchical level) AHP 분석만을 통해서 각 프로젝트 대안의 순위를 구할 수 있게 된다. 즉, <Table 3> 쌍대비교행렬의 고유값을 구한 후, 그 중 최대값인 λ_{max} 에 대응하는 고유벡터 $\vec{w} = (w_1, \dots, w_N)$ 를 구하면, 고유벡터 \vec{w} 의 j 번째 원소인 w_j 는 12개의 프로젝트 대안 중 j 번째 프로젝트의 상대적 중요도를 나타내는 값이 되므로 w_j 값이 프로젝트 j 의 최종적인 평가치가 된다. 이와 같이 구한 결과를 정리하면 <Table 4>와 같다.

분석결과를 보면 대안 I가 가장 높은 순위를 보여주고 있는데, 대안 I는 <Table 2>의 DEA 및 CKS 모형 결과에서도 두 모형 모두 가장 효율적인 대안으로 도출된 대안임을 확인할 수 있다. 한편, CKS 모형의 결과에서 최고 효율성 값을 보였던 다섯 개(I, D, A, F, H)의 대안이 모두 본 연구의 모형결과에서도 상위 5위에 포함된 반면, DEA 모형의 결과는 본 연구의 모형 결과 도출된 대안순위와 매우 상이함을 알 수 있다. 따라서 대안의 순위 측면에서는 DEA보다는 CKS 모형의 결과가 본 연구

의 모형결과와 가깝게 도출됨을 알 수 있다.

한편 AHP 분석은 대안에 대한 분석을 마친 후에 이에 대한 일관성 검정을 시행함으로써 결과값에 대한 객관적인 정도를 수치로 표현해줄 수 있으며, 의사결정자는 이를 토대로 대안선택을 할 수 있다. Saaty(1980)는 일관성 분석의 결과값이 10% 이내인 경우에 서수적 순위에 무리가 없는 신뢰할 수 있는 결과이고 20% 이내인 경우는 용납할 수 있는 결과지만 20% 이상이면 일관성이 부족한 것으로 판단하고 초기의 자료집합에 대한 재설정이 필요하다고 하였다. 본 예제의 분석결과에 대한 일관성 검정의 결과값은 0.063%로 Saaty(1980)가 상한선으로 제시한 10%에 크게 밑도는 수치가 나왔으므로, 이 결과값에 대해서 서수적 순위를 신뢰할 수 있다는 결과가 도출되었다.

기존의 DEA 모형연구들 중에는 본 연구에서 시도하고 있는 완전순위결정을 위하여 다양한 관점에서 DEA 모형을 개선하는 방법론을 제시하고 있다(Adler *et al.*, 2002). 본 연구에서는 그 중 가장 대표적인 방법론이라 할 수 있는 Super-efficiency

Table 3. Pair-wise comparison matrix

1	1.0592	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0762	1.0760
0.9441	1	1	0.9293	1	1	1	1	0.9586	1	1	1.0184
1	1	1	0.8760	1	1	1	1	0.9331	1	1	1
1	1.0761	1.1416	1	1	1	1	1	1	1.0129	1.0889	1.1814
1	1	1	1	1	1	1	1	0.9090	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0.9260	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1.0432	1.0717	1	1.1001	1	1.0799	1	1	1.1020	1.0862	1.1265
1	1	1	0.9873	1	1	1	1	0.9075	1	1	1
0.9292	1	1	0.9184	1	1	1	1	0.9206	1	1	1
0.9294	0.9820	1	0.8465	1	1	1	1	0.8877	1	1	1

Table 4. Result of DEA/AHP

Alternatives	Scores	Ranking
A	96.88	3
B	94.00	9
C	93.66	10
D	99.13	2
E	94.48	7
F	95.24	4
G	94.62	6
H	95.24	4
I	100.00	1
J	94.36	8
K	93.33	11
L	92.33	12

Table 5. Comparison of ranking methods of DEA

Alternatives	DEA/AHP		Super-eff.		CCA/DEA		PCA/DEA	
	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank
A	96.88	3	1.000	7	1.55	11	9.11	7
B	94.00	9	0.761	9	1.65	9	9.23	6
C	93.66	10	1.019	5	1.92	6	16.71	4
D	99.13	2	1.029	4	2.00	5	7.99	9
E	94.48	7	1.596	2	1.90	7	23.53	1
F	95.24	4	0.633	12	2.47	3	2.88	11
G	94.62	6	0.896	8	2.68	2	7.08	10
H	95.24	4	0.635	11	1.82	8	2.33	12
I	100.00	1	1.794	1	3.67	1	15.99	5
J	94.36	8	1.038	3	2.06	4	19.94	3
K	93.33	11	1.000	6	1.63	10	21.40	2
L	92.33	12	0.673	10	1.54	12	8.80	8

DEA, CCA(canonical correlation analysis)/ DEA(Friedman and Sinuany-Stern, 1997), 그리고 PCA(principal component analysis)/ DEA(Zhu, 1998; Premachandra, 2001)를 본 논문의 예제 데이터에 적용시킨 후 그 결과를 비교해 보았다. 비교분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

<Table 5>의 결과를 보면, 순위가 가장 높은 대안은 PCA/DEA 방법을 제외하고는 모두 동일한 대안 I가 도출되었다. 그러나 PCA/DEA 방법에 의한 결과로는 대안 E가 가장 순위가 높았고, 대안 I는 5위에 머물렀다. 본 연구에서는 <Table 5>의 네 가지 방법에 의해 구한 순위결과를 통계적으로 비교하기 위하여 비모수 상관관계 분석을 실시해 보았으며 그 결과는 <Table 6>에 정리하였다.

Table 6. Tests of correlation(Spearman)

	Super-eff.	CCA/DEA	PCA/DEA
DEA/AHP	0.207	0.522*	-0.396

* p<0.1

<Table 6>의 결과를 보면, 본 연구의 방법론과 여타 순위결정 방법론 간에 CCA/DEA를 제외하고는 유의한 수준의 상관관계가 존재하지 않는다는 결과가 도출되었다. 특히 PCA/DEA 방법론의 경우에는 유의한 수준은 아니지만 음의 상관관계수가 도출되었다. 이러한 비교분석 결과가 도출된 이유는 여러가지 관점에서 해석할 수 있겠지만 무엇보다도 본 연구에서 제시하는 모형은 서수적 변수를 모형에 반영한 반면 여타 모형들은 서수적 데이터를 모두 연속적인 변수로 간주하여 계산된 결과이기 때문에 순위에 차이가 나는 결과가 도출되었다고 해석할 수 있겠다. 따라서 여타 방법론이 적절히 응용되기

위해서는 서수적 변수를 반영하기 위한 모형의 변경이 필요하다고 볼 수 있다. 그러나 그러한 작업은 본 연구의 범위를 벗어나므로 추후 연구과제로 남겨두기로 한다. 결론적으로 본 연구의 결과는 서수적 데이터의 특성을 모형에 명시적으로 반영해서 도출된 결과라는 측면에서 여타 분석결과에 비해서 보다 타당한 결과라고 주장할 수 있는 여지가 있겠다.

4. Web 기반 R&D 프로젝트 선정시스템

4.1 시스템의 구조와 특성

본 절에서는 앞에서 제시한 모형을 실제 R&D 관리현장에서 활용할 수 있도록 하기 위하여, 웹을 기반으로 하는 프로젝트 선정시스템을 개발하여 소개한다. Web 기반 의사결정시스템(WDSS; Web-base Decision Supporting System)은 단일 플랫폼(stand-alone)이 갖추어야 할 GUI, 모델 기반 하부시스템, 그리고 데이터 매니지먼트 하부시스템과 같은 요소 이외에 인터넷/인트라넷 상에서의 클라이언트/서버 시스템의 측면에서 볼 때 전방경계면(Client)과 후방경계면(Server)으로 구분할 수 있다. 따라서 본 연구에서 시스템의 구성은 크게 전방경계면과 후방경계면로 나누어 설계되었으며, 전방경계면은 웹 언어인 HTML(Hyper Text Markup Language)과 ASP(Active Server Page)를 이용하였고, 구조는 입력설정, 입력 데이터, 데이터 파일생성, 그리고 결과 모듈로 구성되어 있다.

후방경계면의 구성은 matweb, matlabserver 그리고 MATLAB으로 구성되어 있다. 데이터 입력 모듈에서 입력받은 데이터는 MATLAB에서 HTML의 데이터를 변형되고 matlabserver에서 전달된 데이터를 통해 DEA/AHP 통합모형의 알고리즘을

이용하여 만들어진 M-file에서 중요도가 산출된다. 산출된 결과 값은 다시 matlabserver를 통해 httpdaemon으로 전달되며 이때 MATLAB에서 결과 그래프 정보도 추가되어 http daemon에 전달된다. 이를 그림으로 도시하면 <Figure 1>과 같다.

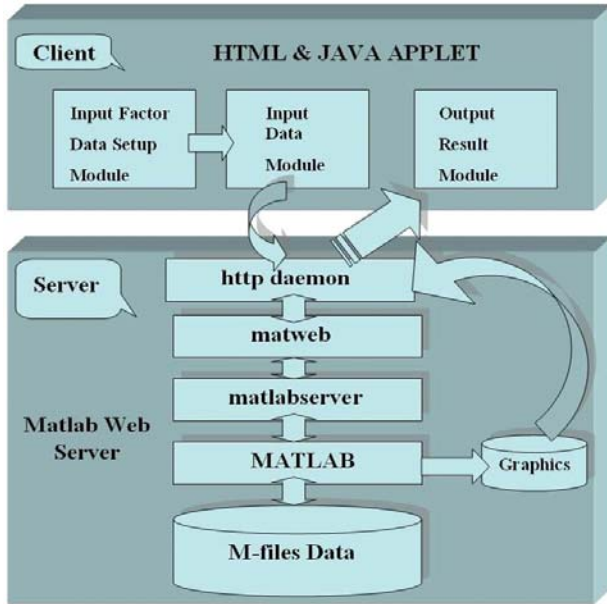


Figure 1. System structure.

특히 <Figure 1>에서 M-file Data 모듈은 본 연구에서 제시하는 DEA/AHP 통합모형의 알고리즘 프로그램으로서 입력된 데이터 값을 연산한 후, 계산값을 결과 모듈로 보내는 역할을 한다. 이를 그림으로 도시하면 <Figure 2>와 같다.

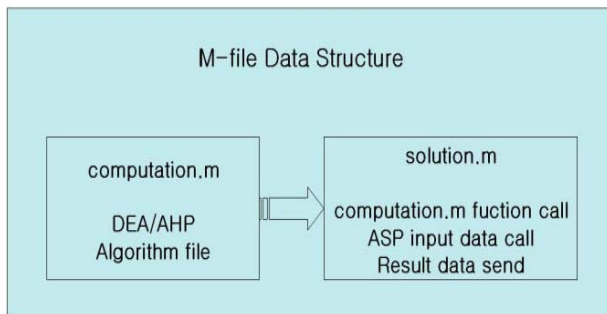


Figure 2. M-files data structure.

4.2 시스템 소개

본 시스템의 전방경계면은 웹 클라이언트들과 일대일로 대화를 함으로써 그들의 서비스에 대한 요청을 받아들이는 접수 창구의 역할을 한다. 웹 클라이언트는 서버 사이트의 수행과는 완전히 분리된 상태로 전방경계면을 통해서만 대화를 하기 때문에 전방경계면에서 다음과 같은 기능을 수행하기 위한 모듈을 포함해야 한다. 첫 번째, 웹 클라이언트들의 의사결정을

위한 프로젝트의 생성 모듈, 두 번째 의사결정 시 필요한 데이터들의 입력 모듈, 세 번째 프로젝트의 실행을 위한 애플리케이션 서버의 호출 모듈, 네 번째 데이터베이스 입·출력 모듈, 그리고 마지막으로 결과 및 필요 정보제시 모듈이 그것이다.

- (1) **평가요소 설정:** 초기 웹 화면은 프로젝트의 설정 부분으로서 여러 가지 설정들을 입력하게 되는데 평가대상 프로젝트의 수와 투입요소 및 산출요소의 수를 설정하고 투입요소와 산출요소의 서수적 요소와 기수적 요소의 수를 설정하게 된다. 요소설정 화면은 <Figure 3>과 같다.

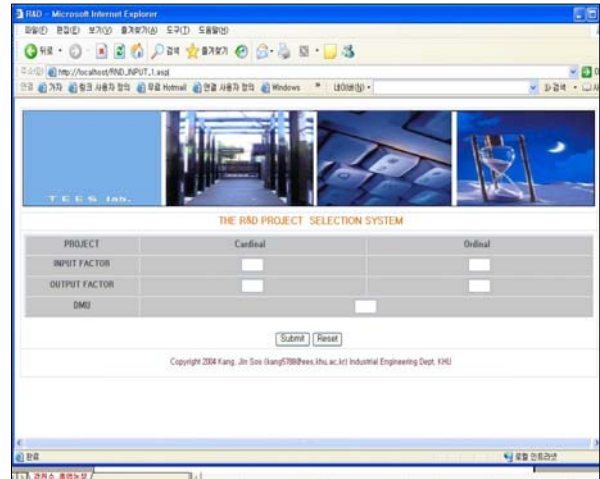


Figure 3. Display of input & output factors setting.

- (2) **데이터 입력 및 파일생성:** Cardinal 요소와 Ordinal 요소로 구분된 입력 및 산출요소의 각 DMU별 데이터를 입력하도록 구성되어 있다. 한편 데이터 입력 모듈에서 입력된 데이터를 Matlab에서 데이터를 읽을 수 있도록 하기 위해 ASP에서 각각의 입력 및 산출 요소의 매트릭스 파일을 생성하게 된다. 데이터 입력 화면은 <Figure 4>와 같다.

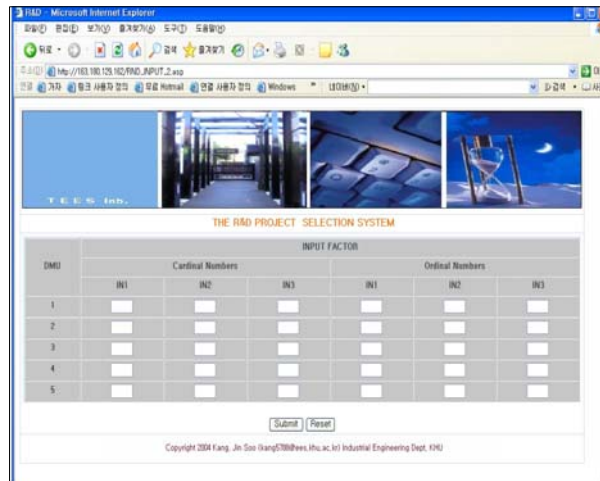


Figure 4. Display of data input.

(3) **결과 출력:** 데이터 입력 모듈에서 입력한 데이터 값들을 이용하여 Matlab에서 모형이 계산되면 http daemon을 통해 분석결과가 출력된다. 출력의 내용은 쌍대비교행렬과 각 DMU들의 중요도 값이 그래프와 함께 보여진다. 결과의 출력화면은 <Figure 5>, <Figure 6>과 같다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2		1	1	1	1	1	1	1	0.97681	1	1	1			
3			1	1	1	1	1	1	0.98012	1	0.96377	1.0122			
4				1	1	1	1	1	1.1105	1	0.90082	1.0289			
5					1	1	1	1	1.182	1	1	1			
6						1	1	1	1.1095	1	1	1.0478			
7							1	1	0.94519	0.89299	0.81312	0.90734	0.77032	0.85775	
8								1	1.058	0.96248	0.96215	0.82513	0.91256		
9										1	0.92023	0.95312	0.87733	0.96476	
10											1	1	1	1.1249	
11												1	1	1.0418	
12															1

Figure 5. Display of pair-wise comparison matrix.

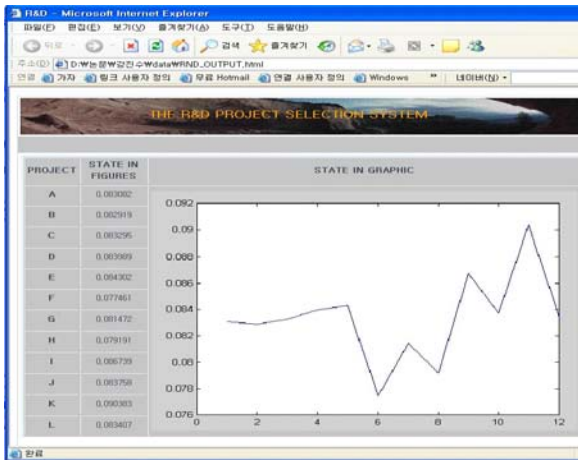


Figure 6. Display of result illustration.

5. 결론

본 논문에서는 R&D 프로젝트의 선정을 위한 방법론으로 기존의 DEA 모형과 AHP 방법론을 통합한 새로운 모형을 제안하였다. 본 모형은 DEA 모형 중에서 서수적인 평가요소를 올바르게 고려할 수 있는 CKS 모형을 기본으로, 각 대안들 간에 상호 비교평가를 하고, 그 결과를 기초자료로 AHP 분석을 실시함으로써 최종적으로 연구개발 프로젝트 대안들의 순위를 결정할 수 있도록 구성되어 있다.

본 모형의 특징은 첫째로, 서수적인 평가요소를 고려했다는 것이다. 기존의 DEA를 이용한 R&D 프로젝트의 선정은 기수

적으로 정량화할 수 있는 요소만을 고려하였다는 한계점을 가지고 있었으나, 본 논문에서는 서수적인 요소를 정량적인 관점인 아닌 요소 자체를 가중치의 개념으로 파악한 CKS 모형을 기반으로 하여 서수적인 요소 역시 정량적인 요소와 같은 조건에서 평가할 수 있도록 하였다. 둘째로, AHP 방법론을 이용함으로써 대안들 간에 순위를 완전히 결정할 수 있는 모형을 개발하였다. 이는 기존의 DEA 방법론이 가지고 있는 한계점을 극복할 수 있는 모형을 제시하고 있다는 데 의의가 있다고 하겠다.

또한 본 논문에서 제시하는 모형의 장점 및 특성을 파악하기 위하여 R&D 프로젝트 선정문제에 맞는 예시를 통하여 기존의 DEA 모형과, CKS 모형, 그리고 본 논문에서 제시한 모형을 적용시킨 후 그 결과를 비교분석해 보았다. 특히 본 연구에서는 제시한 모형결과에 대한 일관성 검증도 만족스러운 결과가 도출되었다. 그리고 마지막으로 본 연구에서 제시한 모형을 실제 R&D 관리현장에서 활용할 수 있도록 하기 위하여, 웹을 기반으로 하는 프로젝트 선정시스템을 개발하여 소개하였다.

추후 연구방향으로는 본 연구에서 제시한 모형 이외에 완전 순위결정을 위한 다양한 DEA 모형을 서수적 데이터를 고려할 수 있는 모형으로 개선한 모형으로 개선하고, 그러한 모형을 통해 도출되는 대안별 순위와 본 연구의 결과를 보다 엄밀히 비교분석하는 연구가 필요할 것이며, 그러한 연구결과를 바탕으로 선정시스템도 다양한 모형을 선택해서 프로젝트의 순위를 결정할 수 있는 시스템으로 확장하여 개발할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- Adler, N., L. Friedman, and Z. Sinuany-Stern (2002), Review of methods in the data envelopment analysis context, *European Journal of Operational Research*, **140**, 249-265.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, **2**, 429-444.
- Cook, W. D., M. Kress, L. M. Seiford (1993), On the Use of Ordinal Data in Data Envelopment Analysis, *Journal of the Operational Research Society*, **44**(2), 133-140.
- Cook, W. D., M. Kress, and L. M. Seiford (1996), Data Envelopment Analysis in the Presence of Both Quantitative and Qualitative Factors, *Journal of the Operational Research Society*, **47**, 945-953.
- Friedman, L. and Z. Sinuany-Stern (1997), Scaling units via canonical correlation analysis in the DEA context, *European Journal of Operational Research*, **100**, 629-637.
- Lee, H.C., H.I. Kang, H.Y. Hurr and M.G. Yoon (1999) An application of DEA for selecting some promising sectors in information and telecommunications industries, *Proceedings of APIEMS'99*, 279-282.
- Oral, M., O. Kettani, and P. Lang (1991), A Methodology for

- Collective Evaluation and Selection of Industrial R&D Projects, *Management Science*, **37**(7), 871-885.
- Premachandra, I.M. (2001), A note on DEA vs. principal component analysis: An improvement to Joe Zhu's approach, *European Journal of Operational Research*, **132**, 553-560.
- Rhim, H. S. (1999), *A Practical Approach to R&D Project Selection by DEA/AHP Hybrid Model*, MIC Research report 99-05, Ministry of Information & Communication.
- Saaty, T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Sarkis, J., and S. Talluri (1999), A Decision Model for Evaluation of Flexible Manufacturing Systems in the Presence of Both Cardinal and Ordinal Factors, *International Journal of Production Research*, **37**(13), 2927-2938.
- Shang, J. and T. Sueyoshi (1995), A Unified Framework for the Selection of a Flexible Manufacturing System, *European Journal of Operational Research*, **85**, 297-315.
- Sinany-Stern, Z., A. Mehrez, and Y. Hadad (2000), An AHP/DEA Methodology for Ranking Decision Making Units, *International Transactions in Operational Research*, **7**, 109-124.
- Zhu, J. (1998), Data envelopment analysis vs. principal component analysis: An illustrative study of economic performance of Chinese cities, *European Journal of Operational Research*, **111**, 50-61.