

상호영향형 R&D과제군의 평가선정을 위한 「CIDEAR」 모형의 개발

권철신* · 박준호** · 홍석기***

Construction of 「CIDEAR」 Model for Selecting and Evaluating Cross Impact R&D Projects

Cheol Shin Kwon* · Joon Ho Park** · Seok Ki Hong***

■ Abstract ■

The purpose of this paper is to construct 「CIDEAR(Cross Impact-DEA-AR)」 model which evaluates proposed R&D projects considering cross impact among them and selects proper projects to utilize resources efficiently as well as to maximize efficacy of investments.

For this purpose, 「CIDEAR」 model is designed as the following six steps.

「Decision Theory Evaluation Model」 is for setting and selecting the evaluation items according to the structured procedure of evaluation system. The priority of items is decided at 「AR Decision Model」. 「Cross Impact Estimation Model」 is for computing the final probability of success and the result is used to revise the evaluation results of 「Decision Theory Evaluation Model」. 「Resource Performance Analysis Model」 classifies the proposed R&D projects on the basis of required resources and expected performance. Consequently, the possibility of bias of project selection can be prevented. 「Priority Oder Decision Model」 is for computing the efficacy of proposed projects. Finally, 「Efficacy-Efficiency Cause Analysis Model」 analyzes the structure of efficacy and efficiency of the projects.

The major findings and significances of this study are summarized as follows : (1) 「CIDEAR」 model can deal with the affairs of R&D projects having the characteristics of mutual independence as well as mutual dependence in the point of efficacy and efficiency. Hence, it is possible to evaluate and select R&D projects more accurately. (2) It can be possible to raise the possibility of projects success. R&D manager can use the information for project management because the efficacy-efficiency structure of selected projects can be analyzed. (3) We proved the usefulness of the constructed 「CIDEAR」 model using an case about twenty-one R&D projects of a leading company of electronic industry in Korea.

Keyword : R&D Project Selection & Evaluation, CIDEAR Model, DEA

논문접수일 : 2004년 4월 9일 논문게재확정일 : 2004년 7월 16일

* 성균관대학교 시스템경영공학부

** 성균관대학교 과학기술연구소

*** LG전자 시스템IC 사업담당

1. 서론

기술이 기업의 생존 및 성장의 핵심적 동인이라는 인식이 확산되면서, 연구개발(Research and Development : R&D)에 대한 관심은 극대화되고 있고, 시장의 글로벌화, 기술의 복합화, 제품의 융합화 등으로 인하여 R&D의 투자규모 역시 대규모화되고 있는 실정이다. 따라서 R&D에 대한 잘못된 투자는 기회비용의 상실뿐만 아니라, 기업의 존속과도 곧바로 연결되게 된다.

비록 이런 경우가 아니더라도, 기업이 활용할 수 있는 자원의 제약 때문에 R&D 투자자원의 효율적인 이용과 투자효과의 극대화를 위해 R&D 프로젝트에 대한 평가 및 선정의 중요성은 매우 크다. R&D 프로젝트의 평가·선정이 제대로 되어야만, 시장을 지배할 수 있는 기술 및 제품의 개발은 물론 현재와 장래에 사업의 성장이 지속적으로 유지될 수 있기 때문이다.

이와 같이 프로젝트평가·선정의 중요성 때문에 일찍부터 「결정론적 평가법(Decision Theory Approach : DTA)」, 「OR론적 평가법(Operations Research Theory Approach : OTA)」, 「경제론적 평가법(Economic Theory Approach : ETA)」, 그리고 이들의 결합된 형태인 「복합론적 평가법(Combinational Theory Approach : CTA)」과 같은 다양한 측면에서 평가선정에 관련하는 방법들이 제시되어 왔다.

DTA는 평가자의 직관적, 경험적 판단을 토대로 하여 평가대상이 내포하고 있는 질적 측면까지를 포함한 종합적인 관점에서 검토할 수 있다는 점뿐만 아니라, 사용의 간편함 때문에 현장에서 폭넓게 사용되고 있는데, Mottley and Newton(1959), Pound(1964), Moore and Baker(1969) 등의 연구처럼 「평점법(scoring method)」과 같은 '수량화방식'이나, Harris(1961)연구의 「profile method」와 같은 '패턴화방식'의 기법들이 주로 사용된다. 「ETA」는 R&D 활동의 투입 및 성과로서 나타나는 비용성과 수익성을 경제지표로 표현하고, 이를 프로젝트의

선정기준으로 삼는 방법으로서, Verschuur and Potjer(1974), 그리고 권철신(1998)에 따르면 Olsen, Pacifico, Sobelman and Ansoff 등이 다양한 경제성지표를 제시하였다. 한편, 「OTA」는 직관, 경험과 같은 주관적 판단에 의해 행해지던 평가의 문제점을 제기하며 자원의 제약 하에서 최적의 프로젝트 선정 또는 자원할당을 추구하는 방법으로, Asher(1962), Hess(1962), Begad Dov(1965), Paolini and Glaser(1977) 등이 각종 모델을 제시하였고, Mandakovic and Souder(1985)는 프로젝트선정에 관련된 여러 조직계층의 상호작용을 반영하기 위하여 계층적 정수계획법(Hierarchical 0-1 Programming)을 이용하는 「Complex Decision Process모델」을 제시하였다.

「DTA」와 「ETA」를 결합한 「CTA」모델은 Dean and Nishry(1965), Albala(1975) 등의 연구에서 찾아볼 수 있는데, 특히 Albala는 R&D 단계의 특성을 고려하여 탐색 및 응용연구단계에서는 「DTA」를, 개발 및 상용화단계에서는 「ETA」를 사용하는 단계모델을 제시하였다. 「DTA」와 「OTA」를 복합한 「CTA」 모델의 형태로는 Sigford and Parviri(1964)이 제시한 「PATTERN」이 대표적이며, 박준호, 권철신, 김보현(2003)은 「평점법」과 「정수계획법」을 결합한 새로운 모형을 제안하였다. 그리고, Dean and Sengupta(1962)와 Cramer and Smith(1964)는 「ETA」와 「OTA」를 결합한 「CTA」모형을 제안하였다.

평가방법론을 분류하는 이상에서와 같은 Rubenstein의 유형화와는 관점을 달리 하는 경우도 있는데, 평가자집단이 하나의 프로젝트를 다른 프로젝트와 비교하여 선정하는 특성 때문에 「비교접근법(comparative approach)」으로 명명할 수 있는 방법으로 Helin and Souder(1974)와 Souder(1978)가 제시한 「Q-sort」, Souder(1975)가 이용한 「쌍대비교법(pair comparison)」, 특히 Liberatore(1987)와 이준승 외(2000)의 「AHP(Analytic Hierarchy Process)」를 이용한 프로젝트의 선정방법, 나아가 Plebani and Jane(1981)은 평가집단의 상호작용을 통한 프로젝트의 비교평가를 시도하였고, Cook and Seif-

ford(1982)는 「Ordinal Ranking Procedure」를 제시하였다.

한편, Cetron, Martino and Roepcke(1967), Gear, Lockett and Pearson(1971), Baker and Freeland(1975), Hall and Nauda(1990), 박준호, 권철신, 김보현(2003) 등은 전략실정의 문제까지 고려한 전략 포트폴리오를 구축하여 R&D 프로젝트들을 평가하고자 하였다.

이러한 연구의 대부분은 '유효성(efficacy)'의 측면에서 프로젝트를 평가하는 관점으로, 유효한 프로젝트를 선정하기 위한 목적에서 수행하는 사전평가의 경우에는 중간 및 사후평가보다 모호함과 불확실성이 크기 때문에 절대적인 평가보다는 상대적인 효율성의 비교를 통하여 평가하는 것이 더욱 더 적절하다는 관점에서 프로젝트의 '능률성(efficiency)'의 측면까지도 포함하여 분석함과 아울러 평가결과의 구조도 종합적으로 파악하기 위하여 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 개발한 「DEA(Data Envelopment Analysis)」의 「CCR」 모형을 이용한 평가를 Catherine and Richmond(1995), 강희일 등(2000)이 시도하였다. 그리고, Thompson 등(1986)과 Hashimoto(1997)는 「CCR」 모형이 갖는 비현실적인 가중치 문제를 '범위지정'으로 해결하는 「DEA-AR(Assurance Region)」 모형으로, 나아가 Shang and Sueyoshi(1995)과 유석천 등(1999)은 「AHP」와의 결합모형으로 범위지정의 논리적 체계성 문제를 해결하고자 하였다. 그리고 Tone(2000)과 유석천 등(1998)은 「DEA-AR」 모형과 「AHP」 모형의 장점을 결합하고자 하였다.

그런데, 「DEA」는 원래 생산조직의 효율성을 평가하기 위하여 개발된 것으로 다음과 같은 특징들을 갖고 있다.

- (1) 「DEA」는 다수의 투입요소와 산출요소가 존재하나 이들을 적절한 방법으로 하나의 지수로 종합화하기 힘든 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 특히, 투입요소들 및 산출요소들의 측정단위가 각각 상이한 경우에도 적용이 가능하고, 화폐단위로 표시가 불가능하거나 매매의 대상

이 될 수 없는 자원의 경우에도 적용이 가능하다.

- (2) 「DEA」에서는 평가대상이 되는 조직과 투입과 산출의 관계가 유사한 효율적인 조직들을 먼저 선정하고, 이를 '참조집합(reference set)'으로 하여 상대평가를 한다. 이에 따라 비효율적인 조직의 경우에는 실현가능한 목표치의 설정이 가능하게 되고, 비효율성의 정도와 그 원인을 구체적으로 파악할 수 있게 된다. 또한, 참조집합으로 자주 나타나는 조직은 효율적이면서 동시에 다른 조직들과의 동질성이 매우 높기 때문에 전체조직을 대표할 수 있는 모범조직으로 이용할 수 있다.
- (3) 「DEA」에서는 평가대상 조직의 효율성을 최대한으로 하는 투입과 산출에 대한 구성비를 직접 추정하기 때문에 이를 평가의 항목별 가중치로 사용할 수 있다. 따라서 사전에 주관적으로 가중치를 결정해야 하는 난제를 해결할 수 있다.

「DEA」 모형은 이와 같은 장점으로 인하여 프로젝트평가의 문제에 적용되었다. 그러나, 일반적인 「DEA」 기본모형을 직접 적용할 경우에 다음과 같은 몇 가지의 문제점들이 발생하게 된다.

- (1) 「DEA」 기본모형 중, 주로 비영리 단체의 효율성분석에 적용되어온 「CCR」 모형은 Farrell의 생산함수이론과 「OTA」를 접목시켜 총합효율성을 측정하는 방법으로서, 총합효율치가 1인 프로젝트가 다수 발생할 경우에는 프로젝트의 선정이 곤란해진다. 또한, 목적함수의 값을 최대로 취하기 위하여 투입 및 산출의 가중치를 최소로 만들어 버리는 문제를 갖게 된다.
- (2) 보험회사나 제조기업의 효율성평가에 주로 사용되어온 「BCC」 모형은 「CCR」 모형에 규모수익변수를 추가한 모형으로, '총합효율성'을 '기술효율성'과 '규모효율성'의 합으로 나타낸다. 따라서 이 모형은 평가대상이 비효율적으로 나타날 경우에 그 원인에 대한 파악을 가능하게 해주는 장점을 갖고 있으나, 「CCR」 모형과 마찬가지로 정성적 항목을 포함하지 못할 뿐만

아니라, 가중치가 비현실적으로 적용되는 한계를 갖는다.

- (3) 「DEA」 복합모형 중의 하나인 「DEA-AHP」 모형은 정성적인 데이터처리를 위해 「DEA」와 「AHP」를 결합한 모형으로서, 다음과 같은 크게 두 가지의 형태 및 특성을 지니고 있다.
- (a) 투입치와 산출치의 정량화를 위해서 외부에서 결합하는 형태로, 정성적 항목을 반영할 수 있다는 점에서는 의의가 있으나, 전통적인 「CCR」 모형을 적용함으로써 가중치를 0으로 귀속시키는 한계점은 극복되지 않는다.
- (b) 평가대상간의 효율순위를 결정하는 「DEA-AHP」 모형으로서, 평가속성의 계산 시, 특정대안이 불리하지 않도록 효율순위를 산정하기 위하여 속성의 가중치를 객관적인 자료만을 바탕으로 추출하여 적용하는 형태이다. 그러나 이것은 도출되는 가중치가 현재의 모든 대안을 고려하여 결정되므로 새로운 대안이 추가되는 경우, 효율적인 모형에 대한 개념 자체가 변하고 순위의 역전현상이 일어나는 한계점을 지닌다.
- (4) 「DEA-AR」 모형은 비현실적으로 가중치가 적용되는 「CCR」 모형의 한계점을 해결하기 위해 Thompson 등(1986)이 개발한 모형이다. 즉, '가중치범위(Assurance Region : AR)'를 사전에 지정해줌으로써 더욱 정교하고 객관적인 효율성 값을 측정할 수 있다는 장점이 있으나, AR 지정 시 경험적인 수치를 대입하는 과정에서 논리적 타당성이 결여되어 있고, 정성적 항목을 반영하지 못하는 한계점도 갖고 있다.
- (5) 「DEA-AR」과 「AHP」의 결합모형은 정성적 항목을 반영하기 위하여 「평점법」을 활용하였고, AR 지정 시 제기될 수 있는 논리적 근거에 관한 문제를 「AHP」로 해결하여 프로젝트를 평가했다는 데에 의의가 있으나, 프로젝트들의 상호영향성을 전혀 고려하지 않은 채 독립적으로 평가하였고, 「평점법」의 적용 시 결정론적 평가의 체계성을 갖추지 못한 한계를 내포하고 있다.

2. 문제의 제기

이상에서 검토한 바와 같이, 기존연구들의 대부분이 모형 자체에 수리적 한계를 갖고 있거나, 프로젝트의 평가선정과정에서 R&D 활동의 특성을 고려하지 못한 채 사용되고 있어, R&D 프로젝트들간의 효율성을 비교평가한다는 관점에서 이를 해결하기 위한 모형을 설계하기 위해서는 다음과 같은 문제들이 해결되어야 한다.

- (1) 기존연구의 대부분이 개인판단이나 집단협의를 통하여 효율성을 측정하기 위한 항목 및 기준을 막연하게 설정함으로써 평가의 체계성이 결여되고, 이에 따라 측정의 타당성에 근원적인 문제를 안고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 결정론적 평가방법의 주요 원리를 적용하여 「DEA」 모형의 투입 및 산출의 지표로 사용할 항목을 체계적으로 설정하고자 한다.
- (2) 프로젝트의 평가선정 시 광범위하게 사용되고 있는 「평점법」은 프로젝트의 질적인 상태를 표현하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 즉, 「평점법」의 결과는 단순히 종합점수에 근거하여 순위를 나타내는 것이기 때문에 프로젝트의 평점이 낮을 경우에 그 내부원인을 규명할 수 없다. 뿐만 아니라 프로젝트의 '효율성'을 측정하기 위해서는 '유효성'과 '능률성'을 따로 평가해야만 하는 문제점을 갖고 있다. 본 연구에서는 프로젝트의 평가결과가 비효율적으로 판명되었을 경우에 그 원인이 기술에 기인하는지, 규모에 기인하는지를 규명할 수 있고, 아울러 유효성과 능률성을 동시에 고려할 수 있는 「DEA」 모형을 활용하여 설계하고자 하는 것이다.
- (3) 프로젝트의 평가선정을 목적으로 하는 기존연구는 프로젝트간의 상호영향관계의 문제를 다루지 못하고 있다. 특히 제안되는 R&D 프로젝트들의 경우, 상호영향성이 엄연히 존재함에도 불구하고 개개가 독립적인 것으로 전제하여 효

울성을 측정함으로써 평가결과의 정밀성과 신뢰성이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 평가대상 상호영향을 반영할 수 있는 모형을 설계하고자 한다.

- (4) 전통적인 「CCR」 모형이나 「BCC」 모형을 이용한 기존연구들의 경우에 정량적 항목만을 투입 및 산출의 지표로 사용함으로써 정성적 항목을 반영한 평가를 하지 못하고 있다는 점이다. 더욱이 「CCR」 모형과 「BCC」 모형은 평가의 결과로 도출될 효율적 '의사결정단위(Decision Making Unit : DMU)'의 수를 제한할 수 없기 때문에 실제 적용 시에 큰 문제가 있다. 실제로, 제안된 R&D 프로젝트는 예산의 제약 때문에 일정 수만이 선정되게 되는데, 이 때 「DEA」 모형에 의해 효율적이라고 판별된 과제에 개수가 예산의 범위를 벗어날 때, 효율적이라고 판별된 과제들간의 우열에 대하여 「DEA」 모형은 변별력을 가질 수 없다. 이 뿐만 아니라, 제안된 R&D 프로젝트의 수가 평가표상에 제시된 평가기준의 수보다 적은 경우에도 대부분이 효율적인 것으로 판별되는 까닭에 변별력에 문제가 생기게 된다. 따라서, 「DEA」 모형의 장점을 이용하고, 정성적 항목의 고려가 중요한 R&D 평가의 특성을 반영할 수 있는 「DEA-AR」 모형과 같은 복합모형의 적용이 필요하다.
- (5) 「DEA-AR」 모형의 경우에 「CCR」 모형이 내포하고 있는 비현실적인 가중치에 대한 문제를 해결함으로써 평가의 변별력이 향상되었으나, 가중치의 범위를 지정하는 절차에 체계성이 결여된 한계를 안고 있다. 이러한 점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 AR의 지정을 「AHP」를 적용하여 보다 정밀한 평가가 가능하도록 모형을 설계하고자 하는 것이다.

3. 개념모형의 설계

기존연구를 통한 문제제기와 R&D 활동의 특성에 근거하여 R&D 프로젝트의 평가선정을 목적으

로 하는 새로운 모형개발의 개념체계를 제시하면 [그림 1]과 같다.

본 연구에서 제시하는 「CIDEAR(Cross Impact-DEA-AR)」 모형은 「결정론적 평가단계」, 「상호영향 추정단계」, 「AR 결정단계」, 「자원성과 분석단계」, 「우선순위 결정단계」, 「효율형태 도출단계」와 같은 여섯 개의 단계모형으로 구성된다. 이들 세부적인 단계모형에 대한 설계내용을 그 절차적 단계에 따라 아래와 같이 제시하도록 한다.

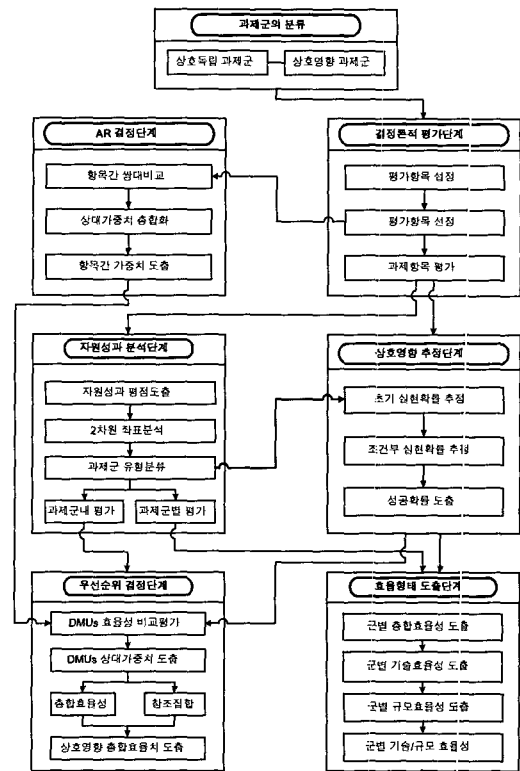
- (1) 「결정론적 평가단계」는 R&D 프로젝트의 속성을 정확하게 반영하는 평가를 행할 수 있도록 준비하는 단계로서, 다음과 같은 하위단계를 거쳐 수행된다. 즉, 유의한 모든 평가항목을 설정하는 「평가항목 설정단계」와 '완전결합성(completeness)', '중복배제성(exclusiveness)', '적정 규모성(optimum size)'이라고 하는 평가항목의 선정원리에 의하여 항목을 선정하는 「평가항목 선정단계」, 그리고 항목을 개별평가하는 「과제항목 평가단계」로 구분한다. 이러한 순차적 단계를 갖춘 평가과정은 논리적 체계의 확립과 아울러 평가의 근본적 문제인 항목선정의 타당성도 확보하게 된다.
- (2) 「AR 결정단계」는 선정된 평가항목을 이용하여 프로젝트를 평가하기에 앞서 항목간의 우선순위를 추정하기 위한 단계로서, 본 연구에서는 항목간의 쌍대비교를 행하고, 가중치의 합을 총합화하여 우선순위를 도출할 수 있도록 「AHP」를 활용하여 설계한다.
- (3) 「상호영향 추정단계」는 프로젝트의 최종성공확률을 추정하는 단계로서, 프로젝트간에 상호영향이 있는 경우에 한해서 수행된다. 먼저 프로젝트들의 초기실현확률을 추정하고, 상호연관성이 있는 프로젝트간에는 비교대상 프로젝트가 기술적으로 실현되었다고 가정했을 때, 실현될 확률을 구하는 과정을 되풀이한다. 이렇게 시뮬레이션을 전개함으로써 최종성공확률을 도출하며, 이 결과는 추후 「결정론적 평가단계」에

서 추정된 값을 보정하는 데에 사용된다.

- (4) 「자원성과 분석단계」는 「평점법」으로 평가된 프로젝트의 종합점수를 자원과 성과로 재구분하여 타점(plotting)함으로써 프로젝트를 그 속성에 따라 영역별로 분류하기 위한 단계로서, 「CIDEAR」 모형은 영역별로 적용되어 효율순위를 결정하게 된다. 이 단계는 평가대상인 프로젝트들이 다양한 속성으로 이루어진 경우에 더욱 필요한 단계로, 프로젝트의 평가선정 시에 종합점수 또는 효율이 높은 프로젝트만을 일률적으로 선정한다면 자원은 적게 투입되고 성과가 높은 단기적인 속성을 갖는 프로젝트로만 편중되어질 가능성이 높다.

장기간 동안 방대한 자원투입이 요구되는 대형 프로젝트도 기업의 지속적인 경쟁력유지 및 장기적인 성장잠재력의 확보를 위해서는 전략적인 관점에서 추구되어야 한다. 따라서 전략적으로 장·단기 프로젝트를 선정하기 위하여 포트폴리오 구축을 행하기 위한 자원성과의 분석단계가 절대적으로 필요하다. Green 등(1996)에 따르면, 한 영역 안에 존재하는 프로젝트의 수가 투입지표와 산출지표의 총수보다 두 배 이상인 경우에 그 유용성이 특히 큰 것으로 알려져 있다.

- (5) 「우선순위 결정단계」는 「CIDEAR」 모형을 적용하여 프로젝트들의 ‘종합효율성’을 도출하는 단계이다. 평면적인 평가결과만을 제공하는 기존의 「DTA」와는 달리, 상대적으로 비교되는 DMU들 중 비효율적인 수치가 나오게 되는 원인을 규명해줄 수 있는 ‘참조집합(reference set)’의 도출을 통하여 R&D 프로젝트의 내부상태를 파악하는 것이 가능하도록 설계하였다.
- (6) 「효율형태 도출단계」는 「자원성과 분석단계」에서 분류된 영역을 다시 DMU로 규정하고, 영역간 비효율성의 원인이 ‘기술효율성’에 기인하는지, 아니면 ‘규모효율성’에 기인하는지를 규명해주는 단계로서, 「BCC」 모형을 적용하여 도출하도록 설계하였다.



[그림 1] 상호영향형 R&D과제군의 평가선정을 위한 「CIDEAR」 설계모형

4. 구조모형의 설계

앞에서 설계된 개념모형에서 제시한 「CIDEAR」 모형을 이루는 여섯 개 부분시스템의 내부구조를 상세히 설계하도록 한다.

4.1 결정론적 평가모형

이 모형에서는 ‘평가항목설정’, ‘평가항목선정’, ‘과제항목평가’라고 하는 세 개의 하위단계모형으로 구성된다. 이 단계에서 평가된 지표들의 산술평균치는 추후에 「상호영향 추정모형」에서 도출된 성공확률치와 승산방식(multiplicative method)으로 보정되어 「자원성과 분석모형」에서 프로젝트의 분류를 위하여, 그리고 「우선순위 결정모형」의 투입 및 산출을 위한 데이터로 쓰이게 된다.

4.1.1 「평가항목 설정단계」

평가대상 프로젝트를 합리적으로 평가할 수 있는 다양한 지표를 일차적으로 설정하는 단계로서, 문헌조사와 전문가 면접조사를 통해 「규범적 방법(normative approach)」 및 「탐색적 방법(exploratory approach)」으로 항목을 설정하였다. 그리고, 투입대비 산출의 구조로 되어 있는 「DEA-AR」 모형을 활용하기 위하여 기술적 측면과 경제적 측면의 두 축을 중심으로 「자원항목(조건항목)」과 「성과항목(효과항목)」으로 2분화하여 설정하였다.

4.1.2 「평가항목 선정단계」

「개인판단평가법」과 「브레인스토밍」을 병행하여 설정한 평가항목을 기업에서 프로젝트의 평가선정 업무를 수행하고 있는 전문가와의 토론을 통하여 선정하였다. 이 과정에서 평가항목의 ‘중복배제성’과 ‘완전결합성’을 충족시켰으며, 항목의 수가 많을수록 감도가 떨어지는 점을 감안하여 「투입항목(자원항목)」과 「산출항목(성과항목)」을 각각 네 개로 선정하도록 함으로써 평가항목의 ‘적정규모성’ 또한 만족시켰다. 이에 근거하여 선정된 항목을 제시하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 항목의 계층구조

평가관점	항목특성	평가항목	세부항목
기술적 측면	실현성	자원항목	기술가능성
			기술우월성
	파급성	성과항목	기술파급성
			기술축적성
경제적 측면	자원성	자원항목	투입인력
			투입비용
	경제성	성과항목	사업수익성
			사업공헌도

4.1.3 「과제항목 평가단계」

해당 전문가가 프로젝트를 평가하는 단계로, 가장 폭넓게 사용되고 있는 「평점법」을 사용하였다. 기준설정은 5단계 척도를 사용하되, 평가의 감도를 높이기 위하여 1, 3, 5, 7 10점의 척도를 사용하였고,

추후 이러한 기준척도는 「자원성과 분석모형」에서 포트폴리오를 구축할 때 직접적으로 사용될 수 있도록 설계하였다.

4.2 AR 결정모형

보다 정밀하고 현실적인 평가대상의 효율성을 측정하기 위하여 제약조건에 가중치가 가질 수 있는 ‘범위(AR)’를 결정하기 위한 단계로, 평가항목의 우선순위를 Saaty(1980)가 개발한 「AHP」를 이용하여 분석하고, 여기서 도출된 가중치는 ‘AR’을 지정하는 ‘하한치(lower bound)’와 ‘상한치(upper bound)’로 쓰이게 되어 「CIDEAR」 모형의 제약식에 추가된다.

- 단계 1 : 상호관련성이 있는 의사결정사항들을 계층화한다. 즉, 최상층에는 의사결정의 목적이 놓여지며, 그 다음의 계층들은 목적에 영향을 미치는 다양한 속성들로 구성된다. 그런데, 항목들간에 우선순위의 가중치를 도출하여 범위를 규정하려는 「AR 결정모형」의 목적에 따라 「결정론적 평가모형」에서 선정된 평가항목들을 계층으로 구성하여 적용한다.
- 단계 2 : 평가항목간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다. 이 단계에서는 상위계층에 있는 목표를 달성하는데 공헌하는 직계 하위계층에 있는 요인들을 9점척도로 쌍대비교를 행하여 중요도를 부여한 행렬을 작성한다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

여기서, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ii} = 1$, $\forall i$

- 단계 3 : 「고유치방법(eigenvalue method)」으로 평가항목들의 상대적인 가중치를 추정한다.

한 계층 내에서 비교대상이 되는 n 개 요인의 상대적인 중요도를 $w_i (i=1, \dots, n)$ 라 하면, 전 단계의 쌍대비교행렬에서 a_{ij} 는 $w_i/w_j (i, j=1, \dots, n)$ 로 추정할 수 있으며, a_{ij} 와 w_i 사이에는 다음 식이 성립한다.

$$a_{ij} = w_i/w_j, (i, j = 1, \dots, n)$$

여기서, 행렬의 모든 요소를 나타내면 다음 식과 같다.

$$\sum_j a_{ij} w_j / w_i = n, (i, j = 1, \dots, n)$$

이는 곧 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_j a_{ij} w_j = n w_i, (i, j = 1, \dots, n)$$

위 식은 선형대수이론에서의 고유치 문제와 같다. 즉, 요소 a_{ij} 로 구성되는 행렬 A 를 다음과 같이 나타낼 때,

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

고유치방법에 의하여, $Aw = nw$ 에서 w 를 구할 수 있다. 여기서, $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ 는 행렬 A 의 우측 고유벡터이고, n 은 행렬 A 의 고유치이다.

- 단계 4 : 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 평가항목들의 상대적인 가중치를 도출한다. 즉, 계층의 최상위에 있는 목표를 달성하기 위하여 최하위에 있는 대안들의 우선순위를 전 단계에서 구한 각 계층에서의 가중치를 종합하여 '복합중요도'의 벡터를 산출한다. 최상위계층에 대하여 k 번째 하위계층에 있는 대안들의 '복합중요도'는 다음 식을 통하여 구해진다.

$$C[1, k] = \prod_{i=2}^k B_i$$

여기서, $C[1, k]$: 최상위계층에 대한 k 번째 계층항목의 복합가중치

B_i : 추정된 w 벡터를 구성하는 행을 포함하는 $n_{i-1}n_i$ 행렬

n_i : i 번째 계층항목수

단계 1에서 단계 4까지의 과정을 거쳐 도출된 평가항목의 우선순위 점수는 모형의 제약조건에 사용되게 된다. 만일, 다수 평가자의 결과를 평균하여 사용할 경우에는 평가자 개개인의 의사를 반영할 수 없게 된다. 따라서 평가자별로 가중치의 범위를 정하기 위하여 항목별 평가점수를 상호비교하여 가장 작은 값을 '하한치'로, 가장 큰 값을 '상한치'로 지정한다.

4.3 상호영향 추정모형

상호영향관계를 갖는 프로젝트들을 평가하기 위하여 수행되는 이 단계에서의 모형은 Gordon과 Hayward(1968)가 개발한 「Cross Impact Analysis (CIA)」의 이론적 내용을 토대로 이뤄지며, 그 절차는 다음과 같다.

- 단계 1 : 상호영향을 고려하지 않은 프로젝트 j 의 초기실현확률 P_j 와 프로젝트 i 가 실현되었을 때의 조건부 실현확률 P_{ji} 를 추정한다. 즉, $P_{ji} = P_j + \Delta P_{ji}$. 단, ΔP_{ji} 는 양 또는 음의 경우가 모두 있을 수 있고, $\Delta P_{ji} \neq \Delta P_{ij}$ 이다. 이렇게 하여 「초기확률표(Initial Probability Table : IPT)」를 작성한다.
- 단계 2 : 각 평가대상 프로젝트 $D_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 에 대하여 <표 2>와 같은 「상호영향행렬표(Cross Impact Matrix : CIM)」를 작성한다.
- 단계 3 : 시뮬레이션을 행하여 그 결과를 <표 3>과 같은 「성공실패표(Success-Failure Table : SFT)」에 기입한다.

즉, 시뮬레이션은 우선 프로젝트 $D_i (i=1, 2, \dots, n)$ 중에서 난수표를 이용하여 무작위적으로 하나를 선택하고, 확률 P_i 에서 발생할 확률을 시뮬레이션한다.

시뮬레이션 결과, 그 프로젝트가 실현되지 않는 결과가 나온 경우는 「SFT」의 해당란에 0으로 기입하고 계속 진행하며, 그 항목이 발생하는 결과가 나온 경우는 「SFT」에 1을 기입하여 확률표에서 D_j 이외의 $D_j (j \neq i)$ 의 확률 P_j 의 값을 $P_{j|i} = P_j + \Delta P_{j|i}$ 로 치환한다.

- 단계 4: 확률표에서 D_j 행을 제거하고 단계 2로 되돌아간다. 이러한 반복을 확률표에서 평가대상 프로젝트가 없어질 때까지 계속한다. 그 결과, 1회 시뮬레이션의 결과인 「SFT」의 제1열째의 각 행은 1이나 0이 된다.

- 단계 5: 단계 1로 되돌아가서 단계 4까지의 프로세스를 N 회 반복한다(보통 $N=1000$. 즉, 1000회 반복한다).
- 단계 6: 「SFT」의 행의 합 S_1, S_2, \dots, S_n 을 구하고, 이 값을 N 으로 나눈 값이 각 프로젝트의 최종실현확률이 된다.

<표 2> 상호영향행렬표(CIM)

구분	D_1	D_2	·	·	·	D_n
D_1	$P_{1/1}$	$P_{2/1}$	·	·	·	$P_{n/1}$
D_2	$P_{1/2}$	$P_{2/2}$	·	·	·	$P_{n/2}$
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
D_n	$P_{1/n}$	$P_{2/n}$	·	·	·	$P_{n/n}$

<표 3> 성공실패표(SFT)

반복횟수 개별항목	1	2	·	·	·	·	·	1000	합	최종확률
D_1	0	1	·	·	·	·	·	·	$\sum S_1$	$\sum S_1/1000$
D_2	1	1	·	·	·	·	·	·	$\sum S_2$	$\sum S_2/1000$
·	0	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
D_n	1	·	·	·	·	·	·	·	$\sum S_n$	$\sum S_n/1000$

4.4 자원성과 분석모형

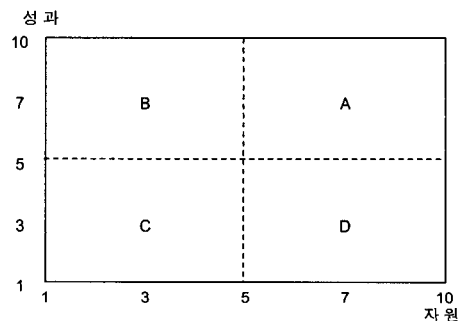
4.4.1 자원성과 평점도출

자원측면에 해당하는 「조건항목」은 '기술가능성', '기술우월성', '투입인력', '투입비용'이고, 성과측면에 해당하는 「효과항목」은 '기술과급성', '기술축적성', '사업수익성', '사업공헌도'이다. 각 프로젝트별로 획득한 평가항목점수를 자원측면과 성과측면으로 구분하여 그 평균을 구한다.

4.4.2 좌표분석

프로젝트별로 도출된 점수를 [그림 2]와 같은 '자

원축'과 '성과축'으로 구성된 2차원 「자원성과 포트



[그림 2] 자원성과 포트폴리오

폴리오」에 타점하면 A, B, C, D 영역으로 구분된다. 분류된 프로젝트는 추후에 「우선순위 결정모형」에서 영역별로 효율치를 측정하게 된다.

4.4.3 과제군 유형분류

본 연구에서는 장기간의 많은 투입과 높은 성과를 창출할 수 있는 프로젝트군인 A 영역을 '선택적 육성과제군'으로 명명하고, 단기간의 적은 투입으로 높은 성과를 창출할 수 있는 B 영역의 과제군을 '필수적 추진과제군'으로 명명한다. 성과가 낮은 영역에 해당하는 C 영역과 D 영역은 프로젝트의 선정 평가기준을 충족시키지 못하는 것으로 전제하여 우선순위 측정대상에서 제외시킨다.

4.5 우선순위 결정모형

상호영향성이 존재하는 프로젝트들의 우선순위를 결정하기 위하여 「CIA」에서 도출한 성공확률치를 평가항목점수에 「승산방식」으로 보정하여 「CIDEAR」 모형에 투입치와 산출치로 사용한다. 그 전개과정을 나타내면 다음과 같다.

- 단계 1: 「AR 결정모형」에서 도출한 각 평가항목별 중요도 순위를 「CCR-AR 모형」의 제약식에 포함되는 가중치의 '제약범위(AR)'로 사용한다.
- 단계 2: 「상호영향 추정모형」에서 도출된 각 프로젝트의 최종실현확률을 「결정론적 평가모형」에서 도출된 평가항목점수에 「승산방식」으로 결합한다.
- 단계 3: 단계 2에서 도출된 투입치와 산출치를 상대적인 비교를 통해 가중치의 효율성을 도출하기 위한 「CCR-AR 모형」에 사용한다.
- 단계 4: 「CCR-AR 모형」은 「Primal 분석」과 「Dual 분석」의 두 부분으로 전개된다.

A. 「Primal 분석」

「Primal 분석」에서는 투입 및 산출 관련지표에 대한 '총합효율성'을 다음의 식에 따라 도출한다.

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$$

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

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1, u_1 > 0, v_1 > 0,$$

$$OL_r u_1 \leq u_r \leq OU_r u_1, IL_i v_1 \leq v_i \leq IU_i v_1$$

$$(j=1, 2, \dots, n; r=2, \dots, s; i=2, \dots, m)$$

s 와 m 은 측정하고자 하는 대상 프로젝트의 산출요소과 투입요소의 수를 나타내고, x_{ij} 와 y_{rj} 는 투입과 산출에 해당하는 실제의 상수를 나타낸다. u_r 과 v_i 는 대상 프로젝트의 산출요소와 투입요소의 가중치로서, '참조집합(reference set)'으로 사용된 모든 프로젝트의 투입치와 산출치의 상대비교를 통해 구해진다. OL 과 OU 는 각각 산출치의 하한 및 상한을 뜻하며, IL 과 IU 는 투입치의 하한 및 상한이다.

B. 「Dual 분석」

「Dual 분석」에서는 「Primal 분석」에서 도출된 '총합효율치'가 구체적으로 어떤 프로젝트를 기준으로 효율치가 낮게 또는 높게 되는 지에 대해 분석하기 위한 것으로, '참조집합'의 형태로 정보를 제공한다.

$$\text{Min } \theta$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n y_{1j} \lambda_j + \sum_{r=2}^s OL_r \mu_r - \sum_{r=2}^s OU_r \mu_{s+r} \geq y_{10}$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - \mu_r + \mu_{s+r} \geq u_{r0}$$

$$x_{10} \theta - \sum_{j=1}^n x_{1j} \lambda_j + \sum_{i=2}^m IL_i \gamma_i - \sum_{i=2}^m IU_i \gamma_{m+i} \geq 0$$

$$x_{10} \theta - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - r_i + r_{m+i} \geq 0$$

$$\lambda_j \geq 0, \mu_r \geq 0, r_i \geq 0 \quad (r=2, \dots, s; i=2, \dots, m)$$

이상과 같은 단계 1~단계 4의 과정을 통해서 각 프로젝트에 대한 '상호영향 총합효율성'을 도출하여 우선순위를 결정한다.

4.6 효율형태 도출모형

이 모형에서는 「자원성과 분석모형」에서 분류된 네 개의 영역을 네 개의 'LDMU(Large DMU)'로 규정하여 영역간 비효율성의 원인이 '기술효율성'의 문제인지, 아니면 '규모효율성'의 문제인지를 「BCC」 모형에 적용하여 규명한다.

- 단계 1 : 「BCC」 모형을 이용하여 '기술효율성'을 도출한다.
「BCC」 모형은 「CCR」 모형의 수리식과 그 형태가 동일하나, 분자식에 규모수익에 관한 변수(u_0)를 (-)형태로 첨가함으로써 순수한 '기술효율성'을 도출할 수 있도록 「CCR」 모형을 개량한 모형이다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0 \\
 \text{s. t. } & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 \leq 0 \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \\
 & u_r > 0, v_i \geq \epsilon > 0, (j=1, 2, \dots, n)
 \end{aligned}$$

- 단계 2 : '규모효율성'을 도출한다.

「CCR」 모형에서 도출한 '총합효율성'에서 '기술효율성'을 빼주게 되면 '규모효율성'이 도출된다. 개념상으로는 감산의 내용이지만, 비율관계인 「DEA」 모형의 속성상 실제 계산 시에는 「제산방식(divided method)」의 형태를 갖게 된다.

이러한 분석을 행함으로써 프로젝트군이 비효율적인 것으로 결과가 판명되었을 때, 그 원인을 규명할 수 있는 정보를 제공받게 되므로 추후 프로젝트군에 대한 관리의 초점을 '기술효율성'에 둘 것인지, '규모효율성'에 둘 것인지를 용이하게 파악할 수 있게 된다.

5. 적용모형의 검토

5.1 결정론적 평가모형

「CIDEAR」 모형의 적용을 위하여 국내의 대표적 인 대기업 연구소의 LCD 관련 프로젝트를 대상으로 자료를 수집하였다. 분석대상인 프로젝트는 9종

〈표 4〉 프로젝트의 상호연관성

구분	분류	주요기술	세부기술 프로젝트	번호	교호기술
성능	두 계	경량화 기술	고집적기술	1	*(-)
			저밀도 Glass 기술	2	*(-)
			Glass 식각 기술	3	1, 2(+), *(-)
	무 계	박형화 기술	기구경량화 기술	4	1,2,3(+)
			고개구울 기술	5	10(+)
	소비전력	저소비 전력기술	저전력 구동회로기술	6	9(-)
			반사형기술	7	.
			고해도 기술	8	.
	해상도	고해도 기술	고집광 B/L 기술	9	6(-)
			고개구울 기술	10	5(+)
			신액정 Mode 기술	11	*(-)
	시야각	광시야각 기술	보상필름 기술	12	.
			다중배향 기술	13	.
			고색재현율 C/F 기술	14	*(-)
	색재현율	고색재현율 기술	LED B/L 기술	15	*(-)
			신액정 기술	16	*(-)
			Over Driving 기술	17	.
	응답속도	고속응답 기술	Impulse B/L Control기술	18	*(-)
			부가가치향상	19	1,2,3(-)
			공정단순화 기술	20	1,2,3(-)
	비용	비용절감	저가격화 기술*	부품수 저감기술	21

〈표 5〉 프로젝트의 평점(평가자 평균)

번호	프로젝트	평점(평가자 평균)							
		자원항목(조건항목)				성과항목(효과항목)			
		1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
1	고집적 기술	7.2	5.2	7	10	1	3	3	5.1
2	저밀도 Class 기술	5.4	3.8	4	4	8	8.2	9.4	3.2
3	Glass 식각 기술	3.8	1	2.2	2	7.5	8	8	5.1
4	기구정량화 기술	3.6	4.6	4.6	3.8	9	9	10	7.4
5	고개구율 기술	7.2	10	10	10	8	9	8.4	7.4
6	저 전력 구동회로 기술	2.2	3.4	5.9	4.5	7.4	6.4	7.3	6.3
7	반사형 기술	9.8	7.5	7	7	3.6	3.8	3.3	7.4
8	고해도 기술	7.6	7.6	7.4	7	8.9	8.2	8.7	6.4
9	고집관 B/L 기술	5	7.6	5.6	10	7.4	8	9.4	5.2
10	고개구율 기술	9.6	7.4	9.6	5.3	9	9.2	6.4	7
11	신액정 Mode 기술	3.6	3	2	1	5.8	7.4	8	5.4
12	보상필름 기술	9.2	8.3	9.1	8.4	8.4	8.2	8	6
13	다중배향 기술	4	3.5	3.5	3	7.4	7.2	7.4	6.2
14	고색순도 C/F 기술	2.8	2.8	1	2	8	7.3	7	4.3
15	LED B/L 기술	9	9.2	8.4	6.4	7.3	7	8.3	5.1
16	신액정 기술	8.7	7.6	7.2	6	6.8	6	7.1	7.2
17	Over Driving 기술	2	1	1.8	1.8	8	6	5.4	7
18	Impulse B/L Control 기술	7.4	8	9.7	9	7	7.4	7.6	8
19	부가가치 향상	8.2	7.3	5	6.2	4	3.6	2.4	7.4
20	공정단순화 기술	6.8	8.2	8	8.8	8.6	8.2	9.4	5.3
21	부품수 저감기술	3.2	4.5	2	2	5.7	5.7	10	8.1

의 영역에 해당하는 21개로, 프로젝트의 상호영향성은 <표 4>의 교호기술란에 해당기술과 영향성이 있는 프로젝트들의 번호로 표시하였다. 「*」 표시는 '저가격화 기술'에 해당하는 세 프로젝트와 모두 연관성이 있는 것을 말하며, (+), (-)표시는 상호영향성이 촉진작용(+)인지, 억제작용(-)인지를, 그리고 「·」은 영향관계가 없음을 의미한다.

그리고 전문가에 의해 수행된 각 프로젝트의 평가점수는 <표 5>와 같은데, 표 내의 「자원(조건)항목」과 「성과(효과) 항목」은 <표 1>에 따른 것이다.

5.2 AR 결정모형

평가항목의 우선순위는 2인의 평가자로부터 도출되었다(<표 6> 참조).

만일 AR의 지정을 평균값으로 정할 경우, 평가자 개개인의 의사를 반영할 수 없게 된다. 따라서 평가자별로 가중치의 범위를 결정하기 위해서 항목별로 평가된 점수를 상호비교하여 가장 작은 값을

‘하한치’로, 가장 큰 값을 ‘상한치’로 지정한다(<표 7>, <표 8> 참조). 「AHP」의 계산은 「Team-Expert Choice」를 사용하였다.

〈표 6〉 평가항목간 우선순위의 값

평가자 \ 항목	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
E1	0.28	0.09	0.03	0.12	0.03	0.09	0.16	0.03
E2	0.32	0.12	0.04	0.07	0.03	0.07	0.09	0.04
평균	0.301	0.107	0.034	0.095	0.031	0.082	0.125	0.033

〈표 7〉 투입가중치에 대한 AR

Ration	Lower bound	Upper bound
v2/v1	0.32	0.38
v3/v1	0.11	0.13
v4/v1	0.22	.43
v3/v2	0.33	0.33
v4/v2	0.58	1.33
v4/v3	1.75	4

<표 8> 산출가중치에 대한 AR

Ration	Lower bound	Upper bound
u2/u1	2.33	3
u3/u1	3	5.33
u4/u1	1	1.33
u3/u2	1.29	1.78
u4/u2	0.33	0.57
u4/u3	0.19	0.44

$$\text{가능성(Odds)} = \frac{\text{확률}}{1 - \text{확률}}$$

따라서 초기의 과제간의 상호영향확률이 <표 9>와 같을 때, 이를 영향관계를 갖고 있는 과제의 성공으로 변화가 일어날 가능성으로 대치하면 <표 10>과 같은 상호영향 가능성행렬이 만들어진다. 이때 새로운 가능성의 초기가능성에 대한 비율은 사건의 영향도로 정의한다. 예를 들면, 사건 2의 발생

5.3 상호영향 추정모형

CIA에서는 초기확률값과 조건부확률을 이용하여 프로젝트간의 상호영향성을 추정한다. 다른 사건에 미치는 영향은 여러 가지 방법으로 계산될 수 있으나, 여기서는 가능성비율(odds ratio)을 사용하는 방법을 사용하였다. 가능성비율은 사건의 초기확률과 조건부확률을 가능성으로 변화시켜 사용한다.

<표 9> 상호영향 확률행렬

		이 과제의 확률은?			
만약 과제가 완수된다면	초기확률	과제 1	과제 2	과제 3	과제 4
과제 1	0.25	1.00	0.50	0.85	0.40
과제 2	0.40	0.65	1.00	0.60	0.55
과제 3	0.75	0.15	0.50	1.00	0.60
과제 4	0.50	0.25	0.70	0.55	1.00

<표 10> 상호영향 가능성행렬

구 분	초기가능비율	과제 1	과제 2	과제 3	과제 4
과제 1	$\frac{0.25}{1-0.25} = 0.33$	1.00	$\frac{0.5}{1-0.5} = 1.0$	5.67	0.67
과제 2	$\frac{0.45}{1-0.40} = 0.67$	$\frac{0.65}{1-0.65} = 1.86$	1.00	1.50	1.22
과제 3	$\frac{0.75}{1-0.70} = 3.00$	$\frac{0.15}{1-0.15} = 0.18$	$\frac{0.5}{1-0.5} = 1.0$	1.00	1.50
과제 4	$\frac{0.50}{1-0.50} = 1.00$	$\frac{0.25}{1-0.25} = 0.33$	$\frac{0.55}{1-0.55} = 2.33$	1.22	1.00

<표 11> 발생가능성 비율

구분	초기가능비율	과제 1	과제 2	과제 3	과제 4
과제 1	0.33	1.00	$\frac{1.00}{0.67} = 1$	1.90	0.67
과제 2	0.67	$\frac{1.89}{0.33} = 5.7$	1.00	0.50	1.20
과제 3	3.00	$\frac{1.18}{0.33} = 5.5$	$\frac{1.00}{0.67} = 1.5$	1.00	1.50
과제 4	1.00	$\frac{1.33}{0.33} = 1.0$	$\frac{2.33}{0.67} = 3.5$	4.10	1.00

은 사건 1의 발생가능성을 0.33에서 1.86으로 증가시킨다. 따라서 사건 2의 사건 1에 대한 영향도의 발생은 가능성 비율, 즉 $\frac{0.65}{1-0.65} = 1.86$ 로 표시된다. <표 11>은 위의 방식에 따라 <표 9>와 <표 10>의 행렬로부터 작성되는 가능성 비율 행렬이다. 비발생 가능성 비율행렬도 동일한 방식으로 도출될 수 있다.

가능성 비율이 정해지면, 「상호영향 추정모형」에서 나타낸 계산의 간편 절차를 다음과 같이 수행된다.

- (1) 사건 중에서 무작위로 한 사건을 뽑는다.
- (2) 0에서 1사이의 난수가 발생되고, 만약 사건의 미래발생확률이 발생된 난수보다 크면 이 사건은 일어난 것으로 보아 1의 값을 부여하고, 사건의 미래발생확률이 발생된 난수보다 작으면

이 사건은 일어나지 않은 것으로 보아 0의 값을 부여한다.

- (3) 만일 사건 j가 발생하면 다른 사건은 다음과 같이 변한다.

$$\text{사건 } j \text{의 새로운 가능성} = (\text{사건 } i \text{의 초기가능성}) \times (\text{사건 } j \text{의 사건 } i \text{에 대한 발생가능성 비율})$$

사건이 일어나지 않으면 발생가능성 비율 대신 미래발생가능성 비율이 이용된다.

- (4) 단계 (1)~단계 (3)을 모든 사건이 일어날 때까지 계속한다.
- (5) 단계 (1)~단계 (4)가 상호영향행렬의 1회 계산 과정이고, 이 과정이 대량 반복된다.
- (6) 상호영향행렬을 모두 반복 실험하여 각 사건의 발생빈도를 계산한 것이 이 사건들의 새로운 확률이 된다.

<표 12> 프로젝트간의 Cross Impact

기술	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	×	—	↑	↑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	↓	↓	↓
2	—	×	↑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	↓	↓	↓
3	↑	↑	×	↑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	↑	—	↑	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	×	—	—	—	—	↑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	×	—	—	↓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	↓	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	↑	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	↓	↓	↓
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	↓	↓	↓
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	↓	↓	↓
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	↓	↓	↓
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	↓	↓	↓
19	↓	↓	—	—	—	—	—	—	—	—	↓	—	↓	↓	↓	—	—	↓	×	↓	↓
20	↓	↓	—	—	—	—	—	—	—	—	↓	—	—	↓	↓	↓	—	↓	↓	×	—
21	↓	↓	—	—	—	—	—	—	—	—	↓	—	—	↓	↓	↓	—	↓	↓	—	×

주) (—)는 무관계, (↑)는 촉진관계, (↓)는 억제관계를 나타냄.

〈표 13〉 프로젝트간의 조건부확률

기술	초기 확률	조건부확률																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0.75	1	0.69	0.98	0.97	0.61	0.75	0.40	0.43	0.67	0.60	0.90	0.70	0.91	0.84	0.48	0.50	0.86	0.57	0.38	0.40	0.65
2	0.80	0.82	1	0.84	0.95	0.60	0.74	0.58	0.61	0.53	0.63	0.94	0.69	0.88	0.79	0.53	0.47	0.84	0.57	0.52	0.50	0.72
3	0.83	0.79	0.81	1	0.94	0.60	0.71	0.47	0.60	0.40	0.58	0.84	0.67	0.74	0.76	0.63	0.72	0.72	0.67	0.72	0.64	0.75
4	0.91	0.84	0.89	0.92	1	0.64	0.73	0.60	0.59	0.40	0.50	0.75	0.67	0.83	0.79	0.61	0.63	0.84	0.66	0.62	0.53	0.60
5	0.64	0.75	0.84	0.80	0.91	1	0.69	0.69	0.63	0.40	0.70	0.65	0.78	0.83	0.81	0.71	0.57	0.75	0.67	0.43	0.62	0.51
6	0.78	0.78	0.80	0.81	0.91	0.63	1	0.58	0.60	0.45	0.49	0.75	0.67	0.82	0.73	0.71	0.55	0.76	0.64	0.43	0.65	0.51
7	0.52	0.69	0.82	0.79	0.89	0.60	0.74	1	0.50	0.48	0.55	0.74	0.88	0.82	0.72	0.62	0.76	0.87	0.74	0.55	0.55	0.52
8	0.47	0.70	0.78	0.84	0.94	0.67	0.78	0.47	1	0.5	0.50	0.92	0.65	0.74	0.82	0.75	0.45	0.46	0.68	0.65	0.55	0.55
9	0.49	0.72	0.76	0.80	0.94	0.62	0.60	0.35	0.47	1	0.57	0.82	0.55	0.75	0.78	0.85	0.48	0.43	0.63	0.51	0.57	0.74
10	0.58	0.73	0.81	0.84	0.95	0.82	0.79	0.49	0.47	0.49	1	0.87	0.64	0.85	0.69	0.64	0.53	0.74	0.70	0.41	0.67	0.60
11	0.93	0.68	0.89	0.83	0.96	0.65	0.75	0.52	0.43	0.47	0.58	1	0.63	0.63	0.72	0.64	0.72	0.85	0.75	0.24	0.20	0.33
12	0.69	0.59	0.8	0.82	0.94	0.69	0.80	0.50	0.45	0.41	0.50	0.88	1	0.82	0.78	0.63	0.84	0.87	0.69	0.47	0.51	0.74
13	0.88	0.77	0.79	0.87	0.95	0.70	0.81	0.55	0.60	0.45	0.54	0.71	0.74	1	0.67	0.62	0.44	0.78	0.52	0.70	0.61	0.62
14	0.79	0.74	0.75	0.88	0.93	0.63	0.75	0.67	0.61	0.5	0.51	0.62	0.84	0.74	1	0.72	0.44	0.71	0.64	0.25	0.27	0.43
15	0.53	0.79	0.76	0.73	0.91	0.65	0.77	0.72	0.49	0.60	0.47	0.73	0.85	0.77	0.80	1	0.54	0.72	0.64	0.35	0.30	0.33
16	0.41	0.73	0.69	0.83	0.91	0.67	0.73	0.58	0.42	0.62	0.48	0.82	0.72	0.74	0.72	0.54	1	0.84	0.65	0.24	0.30	0.25
17	0.82	0.64	0.70	0.83	0.91	0.68	0.75	0.55	0.39	0.40	0.50	0.92	0.72	0.72	0.72	0.53	0.56	1	0.71	0.44	0.52	0.47
18	0.55	0.75	0.65	0.83	0.87	0.70	0.82	0.50	0.45	0.40	0.50	0.94	0.6	0.83	0.71	0.62	0.66	0.82	1	0.17	0.18	0.21
19	0.72	0.57	0.45	0.47	0.83	0.66	0.81	0.40	0.47	0.36	0.41	0.35	0.44	0.52	0.26	0.36	0.37	0.59	0.23	1	0.30	0.20
20	0.78	0.41	0.60	0.56	0.72	0.63	0.70	0.30	0.43	0.31	0.40	0.25	0.52	0.69	0.32	0.26	0.38	0.69	0.24	0.16	1	0.57
21	0.84	0.54	0.55	0.49	0.70	0.52	0.69	0.29	0.40	0.29	0.26	0.27	0.41	0.49	0.34	0.27	0.19	0.49	0.18	0.15	0.52	1

본 적용모형에서 시뮬레이션을 수행하기 이전의 프로젝트간 상호영향정도에 대한 관련성은 <표 12>와 같으며, 이를 바탕으로 도출한 상호영향행렬은 <표 13>과 같다. 이 행렬을 가능성행렬로 변형하여 실현확률을 도출하기 위하여 「C++언어」로 프로그램을 개발하였고, 이를 이용하여 도출된 최종 실현확률은 <표 14>와 같다.

본 적용모형에서 분석대상인 프로젝트는 21개교 한 번에 비교가 가능하기 때문에 전체 프로젝트에 대한 상호영향을 한 번에 추정하였다. 그러나, 평가하고자 하는 프로젝트의 수가 많을 경우는 「자원성과 분석모형」에서 과제군을 유형화하여 영역별로 상호영향성을 추정하는 것이 바람직하다.

<표 14>에서 도출된 실현확률을 <표 5>의 평가항목 종합점수에 평점법의 승산방식으로 보정하여

정규화하면 <표 15>와 같이 된다.

〈표 14〉 DMU별 최종실현확률

DMU	최종실현확률	DMU	최종실현확률
1	0.808	12	0.814
2	0.907	13	0.851
3	0.804	14	0.743
4	0.824	15	0.769
5	0.788	16	0.742
6	0.796	17	0.77
7	0.806	18	0.758
8	0.789	19	0.448
9	0.709	20	0.429
10	0.809	21	0.357
11	0.785		

<표 15> 종합 정규화점수

번호	프로젝트	종합 정규화 점수							
		자원항목(조건항목)				성과항목(효과항목)			
		1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
1	고집적 기술	1.20	0.86	1.44	2.05	0.17	0.50	0.62	1.05
2	저밀도 Class 기술	0.94	0.66	0.77	0.77	1.39	1.43	1.80	0.61
3	Glass 식각 기술	0.73	0.19	0.53	0.48	1.44	1.54	1.91	1.22
4	기구경량화 기술	0.54	0.69	0.83	0.69	1.35	1.35	1.81	1.34
5	고개구울 기술	0.80	1.11	1.41	1.41	0.89	1.00	1.18	1.04
6	저 전력 구동회로 기술	0.33	0.52	1.13	0.86	1.13	0.97	1.39	1.20
7	반사형 기술	1.45	1.11	1.28	1.28	0.53	0.56	0.60	1.36
8	고해도 기술	0.88	0.88	1.08	1.02	1.03	0.95	1.27	0.94
9	고집관 B/L 기술	0.55	0.84	0.87	1.55	0.82	0.88	1.46	0.81
10	고개구울 기술	1.11	0.86	1.38	0.76	1.04	1.07	0.92	1.00
11	신액정 Mode 기술	0.75	0.63	0.53	0.27	1.21	1.55	2.13	1.44
12	보상필름 기술	1.11	1.00	1.35	1.25	1.02	0.99	1.19	0.89
13	다중배향 기술	0.69	0.60	0.71	0.61	1.28	1.24	1.50	1.26
14	고색순도 C/F 기술	0.54	0.54	0.26	0.52	1.55	1.41	1.82	1.12
15	LED B/L 기술	1.04	1.06	1.26	0.96	0.84	0.81	1.24	0.76
16	신액정 기술	1.13	0.99	1.27	1.05	0.89	0.78	1.25	1.27
17	Over Driving 기술	0.41	0.20	0.48	0.48	1.64	1.23	1.43	1.86
18	Impulse B/L Control 기술	0.80	0.86	1.38	1.28	0.75	0.80	1.08	1.14
19	부가가치 향상	0.97	0.86	1.32	1.64	0.47	0.43	0.63	1.95
20	공정단순화 기술	0.56	0.68	1.54	1.69	0.71	0.68	1.81	1.02
21	부품수 저감기술	0.31	0.43	0.54	0.54	0.55	0.55	2.70	2.19

5.4 자원성과 분석모형

5.4.1 자원성과 평점도출

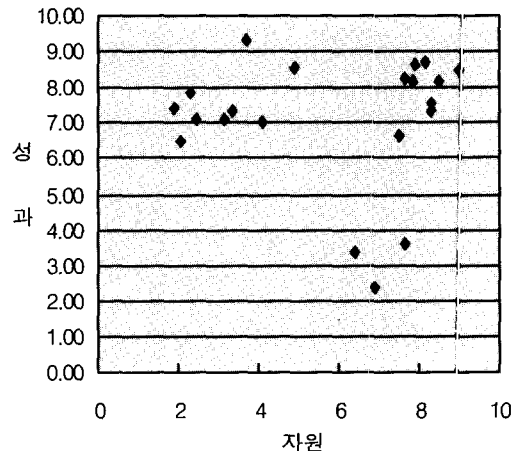
각 프로젝트별로 획득한 평가항목점수를 ‘자원(투입)측면’과 ‘성과(산출)측면’으로 구분하여 평균을 구하면 <표 16>과 같다.

<표 16> 자원성과 평점

DMU	자원	성과	DMU	자원	성과
1	6.88	2.33	12	8.48	8.20
2	4.88	8.53	13	3.36	7.33
3	2.28	7.83	14	1.92	7.43
4	3.68	9.33	15	8.3	7.53
5	8.98	8.47	16	7.5	6.63
6	4.12	7.03	17	2.04	6.47
7	7.66	3.57	18	8.3	7.33
8	7.92	8.60	19	6.38	3.33
9	7.64	8.27	20	8.14	8.73
10	7.84	8.20	21	3.14	7.13
11	2.44	7.07			

5.4.2 2차원 좌표분석

5.4.1에서 도출된 점수를 프로젝트별로 자원측면과 성과측면의 2차원 평면상에 타점(plotting)하면 [그림 3]이 된다.



[그림 3] 자원성과 플로팅(plotting)결과

5.4.3 과제군 유형분류

21개의 프로젝트들 중 '선택적 육성과제군'에 해당하는 프로젝트는 $DMU_5, DMU_8, DMU_9, DMU_{10}, DMU_{12}, DMU_{15}, DMU_{16}, DMU_{18}, DMU_{20}$ 이고 '필수적 추진과제군'에 해당하는 프로젝트는 $DMU_2, DMU_3, DMU_4, DMU_6, DMU_{11}, DMU_{13}, DMU_{14}, DMU_{17}, DMU_{21}$ 의 9개 프로젝트이다.

DMU_1, DMU_7, DMU_{19} 는 자원은 많이 요구되나 성과는 크지 않은 프로젝트로서 우선순위 평가에서 제외시킨다.

5.5 우선순위 결정모형

「CIDEAR」 모형에 적용하여 분석한 결과, 「상호 독립형 DEA」 모형, 「상호독립형 DEA-AR」 모형, 그리고 「상호영향형 DEA」 모형 보다 프로젝트들에 대한 효율성분석에 훨씬 더 정밀한 결과를 얻을 수 있었다.

5.5.1 선택적 육성과제군 분석

선택적 육성과제군에 속하는 9개 프로젝트에 대한 분석결과는 <표 17>과 같고, 참조집합은 <표 18>과 같다.

<표 17> 「CIDEAR」분석결과(선택적 육성과제군)

DMU	총합 효율성	효율 순위	투입가중치				산출가중치			
			v_1	v_2	v_3	v_4	u_1	u_2	u_3	u_4
5	0.866	6	0.463	0.093	0.047	0.199	0.073	0.257	0.352	0.062
8	0.963	3	0.464	0.106	0.046	0.199	0.072	0.251	0.344	0.060
9	1.000	1	0.481	0.099	0.072	0.207	0.079	0.214	0.381	0.067
10	0.899	5	0.465	0.106	0.047	0.200	0.072	0.251	0.345	0.060
12	0.825	8	0.420	0.084	0.042	0.181	0.064	0.224	0.308	0.054
15	0.833	7	0.445	0.089	0.044	0.191	0.069	0.230	0.329	0.058
16	0.795	9	0.414	0.083	0.041	0.178	0.064	0.213	0.306	0.054
18	0.912	4	0.491	0.098	0.049	0.211	0.076	0.253	0.363	0.063
20	1.000	1	0.429	0.429	0.063	0.184	0.067	0.234	0.344	0.056

<표 18> 「CIDEAR」분석의 참조집합 (선택적 육성과제군)

DMU	총합효율	참조집합
5	0.866	5, 8, 9, 10, 18
8	0.963	8, 20
9	1.000	9
10	0.899	9, 10, 18, 20
12	0.825	8, 9, 12, 18, 20
15	0.833	15, 18, 20
16	0.795	8, 9, 10, 16, 18, 20
18	0.912	9, 18
20	1.000	20

5.5.2 필수적 추진과제군 분석

전통적인 「DEA」모형을 적용하게 되면 DMU_2 와 DMU_6 을 제외한 나머지 프로젝트의 효율치가 모두 1.000로 나오게 되어 프로젝트선정에 곤란을 겪을 수 있으나, 「CIDEAR」 모형을 적용하게 되면 DMU_{14} 와 DMU_{21} 을 제외한 나머지 프로젝트들의 효율치가 정밀하게 도출됨으로써 프로젝트선정을 정확히 할 수 있게 된다.

5.6 효율형태 도출모형

<표 21>의 결과에서 A영역에 해당하는 '선택적

〈표 19〉 「CIDEAR」 분석결과(필수적 추진과제군)

DMU	총 합 효율성	효율 순위	투입가중치				산출가중치			
			v_1	v_2	v_3	v_4	u_1	u_2	u_3	u_4
2	0.447	9	0.488	0.146	0.073	0.209	0.027	0.095	0.131	0.019
3	0.835	4	0.801	0.240	0.080	0.345	0.044	0.155	0.213	0.031
4	0.813	5	0.921	0.184	0.092	0.276	0.043	0.152	0.223	0.036
6	0.627	7	0.857	0.257	0.086	0.257	0.044	0.155	0.213	0.031
11	0.801	6	0.739	0.222	0.074	0.318	0.041	0.144	0.197	0.029
13	0.605	8	0.709	0.213	0.071	0.305	0.039	0.137	0.188	0.031
14	1.000	1	0.945	0.284	0.142	0.406	0.055	0.172	0.262	0.038
17	0.890	3	0.925	0.278	0.139	0.398	0.049	0.170	0.233	0.041
21	1.000	1	0.876	0.263	0.131	0.377	0.048	0.128	0.228	0.040

〈표 20〉 「CIDEAR」 분석의 참조집합
(필수적 추진과제군)

DMU	총합효율	참조집합
2	0.447	3, 4, 11, 14, 17, 21
3	0.835	21
4	0.813	3, 14
6	0.627	14, 17, 21
11	0.801	21
13	0.605	3, 4, 14, 17, 21
14	1.000	14
17	0.890	17, 21
21	1.000	21

〈표 21〉 효율형태 평가분석

구 분	총합 효율성	기술 효율성	규모 효율성	비효율 원인
Large DMU A	0.474	0.474	1	기술
Large DMU B	1	1	1	-

육성과제군'은 비효율의 원인이 기술성에 기인한 것으로 규명되었다. 이 결과는 21개의 프로젝트에 대한 분석결과이기 때문에 타당성에 논란의 여지가 있으나, 프로젝트가 많은 경우에는 효율형태평가를 통하여 과제군별로 비효율의 원인을 규명하여 적절한 관리방안을 도출하기 위한 틀로 사용할 수 있게 된다.

6. 결 론

기업경쟁에서 신기술의 중요성이 날로 급증해감에 따라 미래 경영전략의 모태가 되는 R&D 활동, 특히 경영전략선도형 R&D 활동 같은 경우는 높은 불확실성으로 인하여 어떤 과제를 선정할 것인가의 문제가 매우 중요시되고 있다. 더욱이, 현재 기술의 복합·융합의 경향으로 기술간의 상호영향의 현상이 강해지고 있기 때문에 R&D 과제의 선정은 더욱 난제가 되어가고 있다.

그럼에도 불구하고 기업현장에서는 과제에 대한 사전평가의 곤란성 때문에 결정론적 평가의 한 기법인 「평점법」만을 주로 활용하여 R&D 과제에 대한 선정평가를 단순하게 시도하고 있는 실정이며, 기존연구들도 R&D 과제간의 상호영향을 고려하지 않은 채 과제들을 평면적으로 측정하는 오류와 한계를 보이고 있다.

이러한 상황에서 무엇보다 본 논문에서의 모형을 따르면 상호독립적인 과제뿐만 아니라 상호영향성이 존재하는 과제들에 대한 정확한 평가선정이 가능하다. 또한 본 연구에서는 성과의 '유효성'과 자원의 '능률성'의 양 측면에서 과제를 평가하여 전략적으로 최적의 R&D 과제들을 선정하기 위한 체계적인 단계모형을 개발하였다. 나아가, 상호영향형 R&D 과제들을 대상으로 본 모형을 현장에 적용함

으로써 평가선정에 대한 유효성을 입증하였다.

적용모형에서 볼 수 있는 것처럼, 본 모형은 단계 모형으로서 현장에서 유용하게 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 본 모형의 사용으로 정확하고 객관적인 R&D 과제 선정이 가능해짐으로써 기업에서 R&D 전략수행의 신뢰도가 제고되어질 수 있을 것이다.

그러나, 본 모형을 기업현장에서 적용하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지의 사항들이 검토될 필요가 있다. 첫째, 분석 시 정량적 데이터뿐만 아니라 정성적 데이터를 충분히 반영할 수 있는 지표를 선정하기 위해서 각 기업의 실정에 맞는 적절한 과제 평가지표의 개발작업이 필요하다.

둘째, 「자원성과 분석모형」에서 자원 및 성과의 측면에서 축을 설정하였으나, 이 또한 각 기업의 지표체계에 근거하여 설계하는 것이 바람직하다.

셋째, 본 연구의 적용모형에서는 21개의 프로젝트를 전략영역별로 구분하여 8개의 지표로 분석을 실시하였는데, 이는 지표의 개수보다 DMU의 개수가 두 배 이상이 되어야 한다는 조건을 표본획득의 어려움 때문에 충분히 만족시키지 못한 것이다. 따라서 「CIDEAR」 모형을 실제 현장에서 적용할 경우에는 이러한 점을 고려해야만 유의성이 더욱 높은 결과를 도출할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 강희일, 정대영, 윤문길, "DEA 모형을 이용한 유망 정보통신산업 선정에 관한 연구", 「경영연구」, 제7권, 제1호(2000).
- [2] 권철신, 「R&D 평가론」, 개발공학연구회, 1998.
- [3] 박준호, 권철신, 김보현, "R&D 프로젝트의 최적 포트폴리오 구축을 위한 새로운 평가모형의 개발", 「대한산업공학회/한국경영과학회 춘계학술대회」, 2003.
- [4] 유석천, 임호순, 김연성, "서비스 생산성 측정을 위한 DEA/AR-AHP통합모형 개발에 관한 연구", 「한국경영과학회 추계학술발표논문집」(1998), pp.309-394.
- [5] 유석천, 임호순, 김연성, "R&D 사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합 모형 개발에 관한 연구", 「한국경영과학회지」, Vol.24, No.4(1999), pp.1-12.
- [6] 이준승, 김종수, 허선, "전력사업분야의 중장기 기술과제 선정기법", 「IE Interfaces」, Vol.13, No.2(2000), pp.166-170.
- [7] Albala, A., "Stage Approach for the Evaluation and Selection of R&D Projects," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-22, No.4(1975), pp.153-163.
- [8] Asher, D.T., "A Linear Programming Model for the Allocation of R and D Efforts," *IRE Transactions on Engineering Management*, (Dec. 1962), pp.154-157.
- [9] Baker, N.R. and J.R. Freeland, "Recent Advances in R&D Benefit Measurement and Project Selection Methods," *Management Science*, Vol.21, No.10(1975), pp.1164-1175.
- [10] Banker, R.D., A. Charnes and W.W. Cooper, "Some Modes for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, Vol.30, No.9(1984), pp.1078-1092.
- [11] Begeed Dov, A.G., "Optimal Assignment of Research and Development Projects on a Large Company using an Integer Programming Model," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-12, No.4(1965), pp.138-142.
- [12] Catherine, S. and J. Richmond., "Components of Efficiency Evaluation in Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.80, No.3(1995), pp.462-473.
- [13] Cetron, M.J., J. Martino and L. Roepcke, "The Selection of R&D Program Content-Survey of Quantitative Methods," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-14, No.1(1967),

- pp.4-13.
- [14] Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes., "Measuring the efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6(1978), pp.429-444.
- [15] Cook, W.D. and L.M. Seifford, "R&D project selection in a multi-dimensional environment : A practical approach," *J. Oper. Res. Soc.*, Vol.33(1982), pp.397-405.
- [16] Cooper, W.W., L.M. Seiford and K. Tone, *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS : A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [17] Dean, B.V. and M. Nishry, "Scoring and Probability Models for Evaluation and Selecting Engineering Projects," *Operations Research*, Vol.13, No.4(1965), pp.550-569.
- [18] Dean, B.V. and S.S. Sengupta, "Research Budgeting and Project Selection," *IRE Transactions on Engineering Management*, (Dec. 1962), pp.158-169.
- [19] Gear, A.Z., A.G. Lockett and A.W. Pearson, "Analysis of Some Portfolio Selection Models for R&D," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-18, No.2(1971), pp.66-76.
- [20] Gordon, T.J. and H. Hayward, "Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting," *Futures*, Vol.1, No. 2(1968), pp.110-116.
- [21] Green, R.H., J.R. Doyle and W.D. Cook, "Efficiency Bounds in Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.89, No.3(1996), pp.482-490.
- [22] Hall, D.L. and A. Nauda, "An Interactive Approach for Selecting IR&D Projects," *IEEE Transactions on EM*, Vol.37, No.2 (1990), pp.126-133.
- [23] Harris, J.S., "The New Product Chart : Selecting and Appraising New Projects," *Chemical and Engineering News*, Vol.39, No.6(1961), pp.110-118.
- [24] Hashimoto, A., "A Ranked Voting System Using a DEA/AR Exclusion Model : A Note," *European Journal of Operational Research*, Vol.97, No.3(1997), pp.600-604.
- [25] Helin, A.F. and W.E. Souder, "Experimental Test of Q-Sort procedure for Prioritizing R&D Projects," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-21, No.4(1974).
- [26] Hess, S.W., "A Dynamic Programming Approach to R&D Budgeting and Project Selection," *IRE Transactions on Engineering Management*, (Dec. 1962), pp.170-178.
- [27] Mandakovic, T. and W.E. Souder, "An Interactive Decomposable Heuristic for Project Selection," *Management Science*, Vol. 31, No.10(1985).
- [28] Moore, J.R. and N.R. Baker, "Computational Analysis of Scoring Models for R&D Project Selection," *Management Science*, Vol. 16. No.4(1969), pp.212-232.
- [29] Mottley, C.M. and R.D. Newton, "The Selection of Projects for Industrial Research," *The 15th National Meeting of the OR Society of America*, Washington, D.C., (May 1959), pp.740-751.
- [30] Paolini, Jr. A. and M.A. Glaser, "Projection Selection Methods that Pick Winners," *Research Management*, Vol.20(1977), pp.26-29.
- [31] Plebani, L.P. and H.K. Jain, "Evaluating Research Proposals with Group Techniques," *Research Management*, Vol.24(1981), pp. 34-38.
- [32] Pound, W.H., "Research Project Selection :

- Testing a Model in the Field," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-11, (Nov. 1964), pp. 16-22.
- [33] Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [34] Shang, J. and T. Sueyoshi, "A Unified Framework for the Selection of a Flexible Manufacturing System," *European Journal of Operational Research*, Vol.85(1995), pp. 297-315.
- [35] Sigford, J.v. and R.H. Parvin, "Project PAT-TERN : A Methodology for Determining Relevance in Complex Decision Making," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-11 (Nov. 1964), pp.9-13.
- [36] Souder, W.E., "Achieving Organization Consensus with respect to R&D Project Selection Criteria," *Management Science*, Vol.21, No.6(1975).
- [37] Souder, W.E., "Systems for Using R&D Project Evaluation Methods," *Research Management*, Vol.21(1978), pp.29-37.
- [38] Thompson, R.G., F.D. Singleton, R.M. Thrall and B.A. Smith, "Comparative Site Evaluations for locating a High-Energy Physics Lab in Texas," *Interfaces*, Vol.16 (1986), pp.35-49.
- [39] Verschuur, J.J. and A.A. Potjer, "Maximization of the Economic Value of Research Quantifying the Relations between Research and the Market," *IEEE Transactions on EM*, Vol.EM-21, No.4(1974), pp.115-118.