

# 기술우선도 결정을 위한 상호영향 계층분석모형의 개발

권철신\* · 조근태\*\*

## Development of a Cross-impact Hierarchical Model for Deciding Technology Priority

Cheol-Shin Kwon\* · Keun-Tae Cho\*\*

### ■ Abstract ■

The objective of this paper is to develop a new priority setting algorithm that considers the cross-impact of the future technology alternatives and that satisfies the final goal of the technology management through multi-hierarchy evaluation criteria. By combining the Analytic Hierarchy Process (AHP) model, which is a well-known priority setting model, and Cross Impact Analysis (CIA) model, which is a technological forecasting method that considers cross-impact among R&D items, we developed an integrated Cross-Impact Hierarchical (CIH) model, which sets the priority by considering technological forecasting and technology dependency simultaneously. A step-by-step numerical example of the model developed here is presented as backup of its practicality.

Keyword : Analytic Hierarchy Process, Cross Impact Analysis, Cross-impact Hierarchical Model

## 1. 서 론

최근에 이르러 우리 기업들은 선진기업으로부터의 기술중속에서 벗어나 미래의 독자적인 기술적 리더쉽을 확보하기 위하여 기존의 기술도입전략으

로부터 자체개발전략으로 그 궤도를 수정하면서 연구개발(Research and Development : R&D)의 투자액을 지속적으로 증가시켜 나가고 있다. 그러나, 투입되는 그 절대투자액은 선진기업에 비교하여 여전히 저조한 실정으로 제한된 R&D자원의

논문접수일 : 2001년 6월 5일      논문게재확정일 : 2001년 12월 28일

\* 성균관대학교 시스템경영공학부 교수

\*\* 성균관대학교 시스템경영공학부 조교수

효율적 운용이라는 효율성(efficiency) 패러다임에서 R&D의 방향 내지는 목표의 설정, 평가 및 선정에 따른 자원의 유효한 배분이라는 유효성(efficacy) 패러다임으로의 전환이 한결 중요하다 하겠다. 이는 곧, R&D프로젝트의 평가선정 및 자원배분과 관련된 의사결정의 중요성을 의미하는 것이기도 하다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 등장한 방법의 하나가 평가자의 직관적, 경험적 판단을 기초로 평가대상이 포함하고 있는 정량적, 정성적 측면의 광범위한 평가항목을 체계화하여 종합적인 평가 및 판정을 시도하고자 하는 「결정론적 평가법」이다. 또한, R&D활동의 2차성파로서 나타나는 수익성이라는 경제적 지표의 형태로 R&D과제의 우선순위를 평가하고자 하는 「경제론적 평가법」 그리고 여러가지 OR수법을 사용하여 평가요인의 시간적 상황변화에 대응하는 평가결과를 동태적으로 포착하여 수리적으로 평가하고자 하는 「OR론적 평가법」이 있다. 이러한 세 가지 평가수법의 장점만을 취합하면서 평가의 대상을 다면적, 복합적으로 평가하고자 하는 「복합론적 평가법」 등 과학적 경영기법을 이용한 여러 가지 방법론들이 개발·사용되어 왔으나[3, 4, 38], 이들 대부분이 기업의 R&D프로젝트의 우선순위에 대한 의사결정과정에 그대로 적용되기에는 여러 가지 난점을 내포하고 있다는 사실이 지적되어 왔다[5, 11, 14].

그런데, 최근에 이르러 기존의 R&D프로젝트 평가선정 및 자원배분모델의 현실적용성이 낮다는 점 때문에 몇 가지의 새로운 수법이 개발·활용되고 있는데, 그 중의 하나가 정성적 또는 정량적인 다수의 기준에 따라 다수의 기술대체안을 평가하여 대체안의 우선순위를 규정하는 「계층분석과정 (Analytic Hierarchy Process : AHP)」에 의한 의사결정모형이다[18, 19].

이는 다수 대체안에 대한 다면적인 평가체계와 다수 주체에 의한 합리적인 평가절차에 따라 설계된 새로운 정량적인 평가방법으로서 평가자의 직관적 또는 합리적인 판단을 고려하면서 동시에 포

괄적인 문제해결의 틀을 제공해 주는 강점으로 인하여 다양한 의사결정분야에서 널리 이용되고 있으며 최근에는 R&D과제의 평가선정 및 자원배분 문제에도 활용되기 시작하고 있다.

그런데, 기존의 AHP모형은 R&D분야에 적용함에 있어 한가지 결정적인 결함을 안고 있는데, R&D과제의 평가선정에 관련된 의사결정에서 최종대체안들인 R&D항목간에는 기술적인 측면에서 상호종속성(dependency)이 존재하기 때문에 그들간의 상호영향(cross-impact)의 문제까지 평가하여 선정하지 않으면 안된다는 점이다[6, 7, 15, 21]. 즉, 의사결정대체안의 속성이 기술이기 때문에 어떠한 기술의 과제가 미래의 어느 시점에서 완성되느냐 또는 여타 다른 기술의 완성이 앞당겨지거나 늦춰지게 됨으로써, 기술대체안들간의 상대적인 중요도가 달라지게 되는데, 기존의 AHP모형으로는 이러한 문제를 해결할 수가 없다.

결국, 최종대체안인 R&D항목 즉, 기술항목 상호간의 영향이 고려된 우선순위 결정모형이 요구되며, 이를 위해서는 기존의 AHP모형과 기술항목들의 실현확률을 예측할 수 있는 기술예측의 어떠한 수법이 결합된 새로운 형태의 의사결정모형이 개발되지 않으면 안되는 것이다.

본 연구에서는 이러한 기술예측수법으로, 대상 기술항목간에 상호관련이 있을 때, 항목간에 존재하는 상호종속성을 예측과정에 적극적으로 반영하기 위하여 항목간의 촉진영향(enhancing impact)과 억제영향(inhibiting impact)을 정량적으로 파악하고 시뮬레이션 방식을 이용하여 그 값을 예측치 속에 포함시키는 「상호영향분석(Cross Impact Analysis : CIA)」 방법[8, 16]을 도입하고자 한다.

따라서, 본 연구는 미래시점에서 이루어지는 기술의 실현 및 비실현 확률에 따라 대체안이 갖는 상대적 중요도의 변화가 반영되고 이에 근거하여 우선순위를 결정할 수 있는 모형을 개발하기 위하여, 항목간의 상호영향을 고려하면서 기술의 실현확률을 예측하고자 하는 기술예측의 한 수법인 「CIA」 모형과 단계의 평가기준에 따라 다수의 대체안들

간의 우선순위를 결정하는 의사결정의 한 수법인 「AHP」 모형을 통합시킨 「상호영향 계층분석(Cross-Impact Hierarchical : CIH)」 모형이라고 명칭하는 새로운 의사결정 예측모형의 구조를 설계하고자 한다.

## 2. 선행연구의 검토

### 2.1 상호영향분석

상호영향분석은 예측항목간에 존재하는 상호관계를 무시하는 직관적 예측수법의 하나인 델파이법의 문제점을 개선하기 위해 개발된 기술예측의 한 방법으로서[8, 16], 한 기술항목의 실현확률을 예측하거나 다른 항목과의 사이에 존재하는 상호작용에 대한 판단을 행하고 그 판단에 비추어서 지금 예측하고자 하는 항목의 실현확률에 대해 수정을 행하는 방법이다. 즉 조건부 확률을 구하고자 하는 것이다. 이 방법은 다음과 같은 절차를 갖는다.

<단계 1> 모든 예측항목에 대해서 상호영향을 고려하지 않은 확률, 즉 초기확률을 추정한다.

<단계 2> 항목간의 상호관계를 나타내는 조건부 확률을 추정하는데, 어떤 항목이 발생하였을 경우에 영향을 받는 다른 항목이 발생할 확률을 나타내는 조건부발생확률과 어떤 항목이 발생하지 않았을 경우에 영향을 받는 다른 항목이 발생할 확률을 나타내는 조건부비발생확률을 모두 추정한다.

<단계 3> 몬테카를로 시뮬레이션을 행한다. 시뮬레이션은 우선 전체 항목가운데 무작위로 하나를 선택함과 동시에 0과 1사이의 값을 무작위로 뽑는다.

<단계 4> 선택된 항목의 초기확률과 무작위로 뽑은 값을 서로 비교한다. 비교결과, 무작위수보다 초기확률값이 크면 그 선택된 항목은 발생하였다고 판단하여 1의 값을 부여하고, 반대로 무작위수보다 초기확률값이 작으면 비발생하였다고 판단하여 0의 값을 부여한다. 만일 그 항목이 발생하였으면 초기확률값을 조건부발생확률로 대체하여 진행

하고, 그 항목이 발생하지 않았으면 초기확률값을 조건부비발생확률로 대체하여 진행한다.

<단계 5> 예측대상이 되는 항목이 모두 선택될 때까지 나머지 항목에 대해 이와 같은 작업을 반복한다.

이상의 <단계 3>에서 <단계 5>까지의 과정을 N회(1,000회 이상) 시행한 후, 각 항목이 받은 1의 갯수의 평균값이 구하고자 하는 항목간 상호영향을 고려한 그 항목의 최종확률값이 된다.

잘 알려진 Gordon & Hayward 이후에 여러 가지 개량모델이 개발되어 왔다. 이러한 모델들을 시간순서(time sequence), 시간종속(time dependence), 수리적 일관성(mathematical consistency), 시뮬레이션 방법(simulation method) 등의 관점에서 폭넓게 확장되어왔다[9]. 본 연구에서 상호관계를 갖는 기술적인 대안에 대한 우선순위를 설정하기 위한 AHP의 개량모형인 CIH모형을 개발하기 위해 기본적인 상호영향의 개념을 도입하고 이 개념을 AHP와 결합시킨다.

### 2.2 계층분석과정

1970년대 초반 T.L. Saaty에 의하여 개발된 계층분석과정(AHP) 의사결정 모형은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(pairwise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 의사결정을 지원하는 하나의 새로운 방법론으로서[1, 2, 18, 19], AHP는 일반적으로 다음과 같은 4단계의 작업으로 수행된다.

<단계 1> 의사결정문제를 상호관련된 의사결정사항들의 계층으로 분류하여 의사결정계층(Decision Hierarchy)을 설정한다. AHP모형의 적용에서 가장 중요한 단계라 할 수 있는 첫 번째 단계에서 의사결정분석자는 상호 관련되어 있는 여러 의사결정사항들을 계층화한다. 계층의 최상층에는 가장 포괄적인 의사결정의 목적이 놓여지며, 그 다음

의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 속성들로 구성된다. 계층 내의 각 요소들은 서로 비교 가능한 것이어야 하며, 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 의사결정대안들로 구성된다.

<단계 2> 의사결정 요소들 간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다. 이 단계에서는 상위계층에 있는 목표를 달성하는 데 공헌하는 직계 하위계층에 있는 요인들을 쌍대비교하여 행렬을 작성한다. 쌍대비교를 통하여 상위항목에 기여하는 정도를 9점 척도를 사용하여 부여한다.

<단계 3> 고유값 계산방법을 사용하여 의사결정 요소들의 상대적인 가중값을 산정한다. 이 단계에서, 판단의 일관성을 일관성 비율(Consistency Ratio : CR) 지수를 통하여 체크할 수 있다. 통상 그 비율이 10%이내에 들 경우, 해당 쌍대비교 행렬은 일관성이 있다고 본다.

<단계 4> 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 의사결정 사항들의 상대적인 가중값을 종합화한다.

이 모형은 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 여러 의사결정분야에서 널리 응용되어 왔으며 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다[23, 26, 27]. 연구가 집중되고 있는 주제중의 하나가 R&D프로젝트의 선정이나 기술의 우선순위 설정에 관한 문제이다. R&D프로젝트의 선정이나 기술의 우선순위 설정을 위한 의사결정지원도구로서 AHP를 이용하는 지금까지의 연구는 많은 학자들에 의해 폭넓게 행해져왔다.

Liberatore[12]는 산업R&D프로젝트의 우선순위를 설정하는 문제에 있어 AHP의 응용가능성을 검토해왔다. 그의 연구에서 R&D프로젝트의 선정을 위한 AHP의사결정모형이 개발되었고, 다수의 프로젝트대안의 순위결정에 도움을 주기 위해 스프레드시트 모델을 연결시켰다. Ramanujam & Saaty[17]는 저개발국가에 의해 수입된 기술의 평가 및 선정을 위한 실제적인 접근방법을 제시하

였다. 저개발국가에서 기술변화에 직면하고 있는 경제적, 사회적, 정치적 문제를 다루기 위한 유망한 방법론으로서 AHP를 도입하였다. Prasad & Somasekhara[24]는 인도의 정보통신기술의 선택 문제를 위해 AHP의 응용가능성에 초점을 두었다. 그들이 사용한 방법론은 적합한 대안적인 설계기술의 순위부여를 위해 AHP와 Delphi법의 결합에 근거하였다. Suh and Back[25]은 한국통신의 장기R&D계획수립을 위해 정보통신기술의 우선순위 설정을 연구하였다. 평가기준 및 기술적인 대안의 우선순위 부여에 의사결정지원도구로서 AHP를 이용하였다. Lee and Ahn[10]은 군사무기체계의 상대적 가치를 설정하는데 AHP의 응용가능성을 탐색하였다.

AHP를 이용하여 R&D프로젝트의 선정이나 기술의 우선순위 설정의 시도에 관한 이상의 연구는 의사결정대안이 상호영향을 갖는 기술일 경우에는 간과할 수 없는 문제가 있다. 그 문제는 기술의 상호영향 때문에 발생한다. 기술대안간 상호영향의 정도가 대안들의 미래시점에서의 완료 및 미완료에 따라 달라지기 때문에 그들의 최종적인 우선순위가 달라질 수 있다. 그러므로, 상호영향을 갖는 기술대안의 우선순위를 결정해야 하는 경우에는 하나의 대안적인 접근방법이 요구된다 하겠다.

### 3. CIH모형의 설계

#### 3.1 상호영향 추정모형

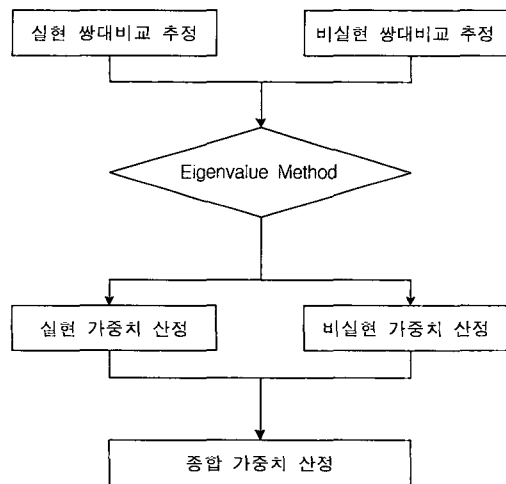
의사결정계층의 최하위 계층인 대체안이 갖는 속성이 기술이며 동시에 그들간의 관계가 독립적인 관계가 아닌 '촉진'과 '저해'라는 형태로 상호영향을 미치는 관계일 경우, 각 기술대체안의 미래시점에서의 '실현' 또는 '비실현'에 따라 기술대체안의 상대적 중요도는 달라지게 된다고 본다. 이러한 관점에서 각 기술대체안이 실현되었을 때, 또는 실현되지 않았을 때 발생하는 기술대체안간의 상호영향을 추정하여 각 기술대체안의 상대적 가중치

를 산정하고자 하는 논리는 합리적이라고 할 수 있을 것이다.

특정 상위 기준하에서 각 대체안이 실현되었다고 가정할 때, 대체안간의 중요도에 대한 쌍대비교행렬을 '실현 쌍대비교행렬(Occurrence Pairwise Comparison Matrix)'이라 칭하고 그 값을 추정함과 동시에 각 대체안이 실현되지 않았다고 가정할 때의 대체안간 중요도에 대한 쌍대비교행렬을 '비실현 쌍대비교행렬(Nonoccurrence Pairwise Comparison Matrix)'로 칭하고 그 값을 추정하도록 한다.

이렇게 추정된 실현 쌍대비교행렬과 비실현 쌍대비교행렬로부터 「고유치방법」을 이용하여 각 대체안의 중요도 가중치를 산정함에 있어, 이를 '실현 중요도 가중치(Occurrence Importance Weights)'와 '비실현 중요도 가중치(Nonoccurrence Importance Weights)'로 명명하고, 이들을 각 하나의 중요도 가중치 행렬로 통합한다.

이와 같이 대체안간에 상호영향이 있을 때, 대체안의 실현 또는 비실현에 따른 상호영향을 추정하여 종합 중요도 가중치를 산정하기 위한 상호영향 추정모형은 [그림 1]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 1] 상호영향 추정모형

[그림 1]의 상호영향 추정모형이 갖는 구체적인

수행절차 및 알고리즘은 계층별 상대적 중요도 가중치 산정, 실현 쌍대비교행렬 추정 및 실현 중요도 가중치 산정, 비실현 쌍대비교행렬 추정 및 비실현 중요도 가중치 산정, 중요도 가중치의 통합이라고 하는 다음의 4가지로 단계가 구성된다.

<단계 1> 쌍대비교행렬 추정과 상대적 중요도 가중치 산정

인접한 상위수준에 대한 하위수준의 쌍대비교행렬을 작성하여 상위수준에 대한 하위수준의 상대적 중요도 가중치를 산정한다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

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

쌍대비교를 통하여 상위항목에 기여하는 정도를 9점 척도로 그 중요도를 부여하는데 이 때 '역수성(reciprocal)'의 원리를 따르도록 하여 '대각원소(diagonal element)'를 1이 되도록 한다.

그 다음, 고유치방법을 사용하여 의사결정요소들의 상대적인 중요도 가중치를 산정하는데, 한 계층내에 존재하는  $m$ 개 의사결정요소를  $h_l (l=1, 2, \dots, m)$ 이라 하고 비교대상이 되는  $m$ 개 요소의 가중치를  $w_l$ 이라 하면, 총가중치의 집합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[h_1, h_2, \dots, h_l, \dots, h_m] = [w_1, w_2, \dots, w_l, \dots, w_m]$$

<단계 2> 실현 쌍대비교행렬 추정과 상대적 중요도 가중치 산정

인접한 상위기준하에서 상호작용하는 기술대체안  $x_k (k=1, 2, \dots, n)$ 가 실현될 경우, 대체안간의 상호영향을 고려한 쌍대비교 판단을 행하여 실현 쌍대비교행렬을 추정하고 상위기준에 대한 기술대

체안의 상대적 중요도를 산정하여 실현 가중치행렬을 구한다.

먼저, 기술대체안  $x_k$ 가 실현되었다고 상정하고, 각 대체안별로 상위기준에 대한 대체안의 중요도를 9점 척도로 쌍대비교하여 실현 쌍대비교행렬  $X_k$ 를 추정하도록 한다.

● 실현 쌍대비교행렬  $X_k$

$$= \begin{bmatrix} 1 & x_k a_{12} & x_k a_{13} & \cdots & x_k a_{1n} \\ x_k a_{21} & 1 & x_k a_{23} & \cdots & x_k a_{2n} \\ x_k a_{31} & x_k a_{32} & 1 & \cdots & x_k a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_k a_{n1} & x_k a_{n2} & x_k a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

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

즉, 행렬요소  $x_k a_{ij}(i, j, k=1, 2, \dots, n)$ 는 기술대체안  $x_k$ 의 실현을 가정할 경우, 기술대체안  $j$ 에 대한 기술대체안  $i$ 의 상대적 중요도를 의미하며, 행렬요소는 역수성을 유지하면서 대각원소는 1이 부여되도록 한다.

그 다음, 고유치방법에 의하여 특정상위 기준하에서의 기술대체안의 상대적 중요도를 산정하는데, 기술대체안  $x_k$ 가 실현되었을 때 기술대체안  $x_k$ 의 가중치를  $x_k w_i$ 라 하고, 그 때의 대체안  $x_k$ 의 실현 가중치행렬을  $X_k W$ 로 나타낸다.

●  $x_k$ 의 실현 가중치행렬  $X_k W = \begin{bmatrix} x_k w_1 \\ x_k w_2 \\ \cdots \\ x_k w_i \\ \cdots \\ x_k w_n \end{bmatrix}$

$k-1$ 개의 나머지 기술대체안에 대해서도 이러한 과정을 순차적으로 수행하여 실현 쌍대비교행렬과 실현 가중치행렬을 각각 구한다.

<단계 3> 비실현 쌍대비교행렬 추정과 상대적 중요도 가중치 산정

인접한 상위기준하에서 상호작용하는 각 기술대체안  $x_k$ 가 미래의 일정시점까지 실현되지 않을 경우, 대체안간의 상호영향을 고려한 쌍대비교 판단을 행하여 비실현 쌍대비교행렬을 추정하고 그 기술대체안의 상대적 중요도를 산정하여 비실현 가중치 행렬을 구한다.

먼저, 기술대체안  $x_k$ 가 실현되지 않았다고 상정하고, 각 대체안별 상위기준에 대한 대체안의 중요도를 9점 척도로 쌍대비교하여 비실현 쌍대비교행렬  $\overline{X}_k$ 를 추정한다.

● 비실현 쌍대비교행렬  $\overline{X}_k$

$$= \begin{bmatrix} 1 & \overline{x}_k a_{12} & \overline{x}_k a_{13} & \cdots & \overline{x}_k a_{1n} \\ \overline{x}_k a_{21} & 1 & \overline{x}_k a_{23} & \cdots & \overline{x}_k a_{2n} \\ \overline{x}_k a_{31} & \overline{x}_k a_{32} & 1 & \cdots & \overline{x}_k a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \overline{x}_k a_{n1} & \overline{x}_k a_{n2} & \overline{x}_k a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

단,  $\overline{x}_k a_{ij} = 1/\overline{x}_k a_{ji}$ ,  $\overline{x}_k a_{ii} = 1$ ,  $\forall i$

즉, 행렬요소  $\overline{x}_k a_{ij}(i, j, k=1, 2, \dots, n)$ 는 기술대체안  $x_k$ 의 비실현을 가정할 경우, 기술대체안  $j$ 에 대한 기술대체안  $i$ 의 상대적 중요도를 의미하며, 행렬요소는 역수성을 유지하면서 대각원소는 1이 부여되도록 한다.

이어, 고유치방법에 따라 특정상위 기준하에서의 기술대체안의 상대적 중요도를 산정하는데, 기술대체안  $x_k$ 가 실현되지 않았을 때 기술대체안  $x_k$ 의 가중치를  $\overline{x}_k w_i$ 라 하고, 그 때의 대체안  $x_k$ 의 비실현 가중치행렬을  $\overline{X}_k W$ 로 나타낸다.

●  $x_k$ 의 비실현 가중치행렬  $\overline{X}_k W = \begin{bmatrix} \overline{x}_k w_1 \\ \overline{x}_k w_2 \\ \cdots \\ \overline{x}_k w_i \\ \cdots \\ \overline{x}_k w_n \end{bmatrix}$

나머지  $k-1$ 개의 기술대체안에 대해서도 이러

한 과정을 순차적으로 수행하여 비실현 쌍대비교 행렬과 비실현 가중치행렬을 각각 구한다.

<단계 4> 가중치행렬의 종합

<단계 2>와 <단계 3>에서 구한 기술대체안  $x_k$ 의 실현 가중치행렬  $X_kW$ 와 비실현 가중치행렬  $\overline{X}_kW$ 를 2개의 가중치행렬  $XW$ 와  $\overline{X}W$ 로 통합한다(단, 각 행렬 상단의 요소는 해당요소의 실현 및 비실현을 의미함).

- 실현 가중치 종합 행렬  $XW$

$$= \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \cdots & x_k & \cdots & x_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_1w_1 & x_2w_1 & \cdots & x_kw_1 & \cdots & x_nw_1 \\ x_1w_2 & x_2w_2 & \cdots & x_kw_2 & \cdots & x_nw_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1w_i & x_2w_i & \cdots & x_kw_i & \cdots & x_nw_i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1w_n & x_2w_n & \cdots & x_kw_n & \cdots & x_nw_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- 비실현 가중치 종합 행렬  $\overline{X}W$

$$= \begin{matrix} & \overline{x}_1 & \overline{x}_2 & \cdots & \overline{x}_k & \cdots & \overline{x}_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \overline{x}_1w_1 & \overline{x}_2w_1 & \cdots & \overline{x}_kw_1 & \cdots & \overline{x}_nw_1 \\ \overline{x}_1w_2 & \overline{x}_2w_2 & \cdots & \overline{x}_kw_2 & \cdots & \overline{x}_nw_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x}_1w_i & \overline{x}_2w_i & \cdots & \overline{x}_kw_i & \cdots & \overline{x}_nw_i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x}_1w_n & \overline{x}_2w_n & \cdots & \overline{x}_kw_n & \cdots & \overline{x}_nw_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

이상에서와 같은 수행절차와 추정 알고리즘을 통하여 상호영향 추정모형은 완성된다.

3.2 실현확률 추정모형

기술대체안의 우선순위를 결정하는 의사결정의 문제일 경우에는 최종대체안이 되는 R&D항목이 궁극적으로 추구하는 미래시점에서의 성공가능성에 대한 구체적인 예측자료가 필요하다. 이는 특정 기술의 실현 또는 비실현 여하에 따라 기술군 상호간의 중요도가 달라질 수 있기 때문이다. 이러한 기술간의 상호영향을 고려한 기술실현확률을 추정하는 방법은 기술예측수법의 하나인 상호영향분석(CIA)방법으로서, 이 방법을 이용하여 기술대체안의 실현확률을 추정토록 한다.

상호작용하는 기술의 실현확률을 추정하기 위해서는 2종류의 예측자료가 요구되는데, 즉, 기술상호간의 영향을 고려하지 않고 기술들간의 독립성을 전제로 추정한 결과인 초기확률과 기술상호간의 영향을 고려하여 추정한 조건부 확률이 그것이다. 여기서는 조건부 확률을 예측대상이 되는 전체 대체안 중에서 임의의 한 대체안이 실현될 경우 나머지 대체안들이 실현될 확률인 실현 조건부 확률과 임의의 한 대체안이 실현되지 않을 경우 나머지 대체안들이 실현될 확률인 비실현 조건부 확률로 구분하기로 한다.

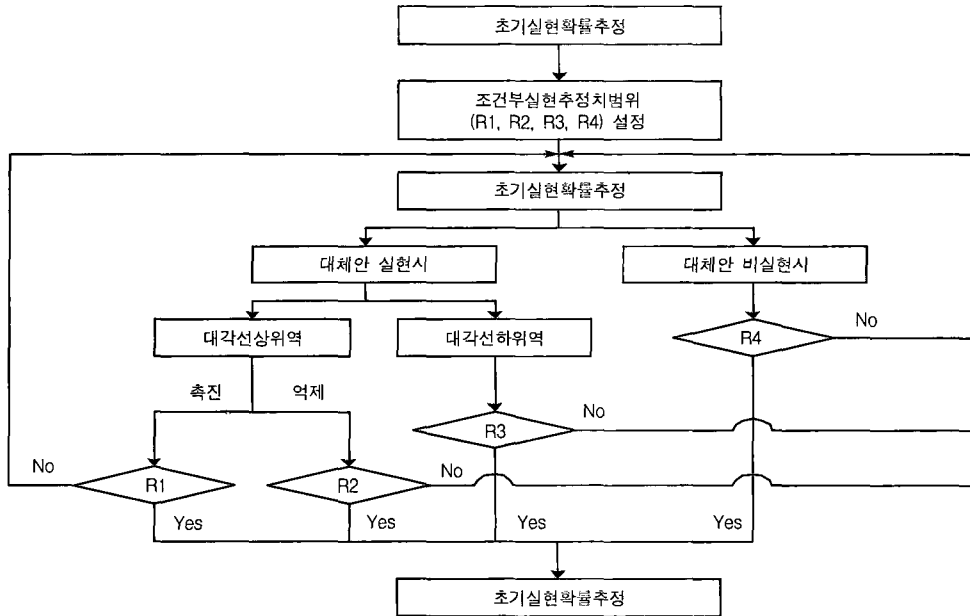
이러한 대체안의 초기 실현확률과 조건부 실현확률을 추정하는 방법은 델파이법과 같은 절차에 따라 전문가의 합의를 도출하는 방식을 기본으로 한다. 그런데, 예측의 결과는 초기확률보다 조건부 확률에 따라 크게 달라지기 때문에 조건부 확률에 대한 보다 정확한 추정이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 A.P. Sage[20]의 추정법을 이용하기로 하는데, 이는 각 조건부 실현 및 비실현 행렬은 열 대체안의 실현 및 비실현 여부에 따라 행 대체안의 실현확률을 추정하는 방식으로, 실현행렬의 대각선 원소는 1이 되며, 비실현행렬의 대각선 원소는 0이 된다.

이와 같이 대체안의 실현 및 비실현 확률을 추정하기 위한 실현확률 추정모형은 [그림 2]와 같이 구성되는데, 이의 구체적인 수행절차와 추정 알고리즘을 설명한다.

먼저, 각 기술대체안간의 상호영향을 고려하지 않은 독립적 실현확률인 초기 실현확률을 추정한다. 다음으로, 조건부 실현확률은 <표 1>과 같은 실현행렬과 <표 2>와 같은 비실현행렬로 나누어서 추정되는데, 전자는 열의 기술대체안이 실현되었다고 가정했을 때 행의 기술대체안이 실현될 확률을 추정하는 것이고, 후자는 열의 기술대체안이 실현되지 않는다고 가정했을 때 행의 기술대체안이 실현될 확률을 추정하는 것이다.

결국, 실현확률 추정모형은 다음과 같이 3단계의 추정절차를 갖는 것으로 설계한다.



[그림 2] 실현확률 추정모형

<단계 1> 기술대체안  $x_i$ 의 초기 실현확률  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )를 추정하여 <표 1>의 좌측항에 그 확률값을 표시한다.

<단계 2> 특정 기술대체안의 실현을 가정한 기술대체안의 조건부 실현확률을 추정한다.

<단계 3> 특정 기술대체안의 비실현을 가정한 기술대체안의 조건부 실현확률을 추정한다.

그런데, 앞에서 언급한 바처럼 기술대체안의 우선순위에 대한 최종결과가 조건부 확률값에 따라 크게 변하기 때문에 초기확률보다는 기술대체안간의 상호영향을 고려한 조건부확률의 추정이 매우

중요하다는 인식에 따라 본 연구에서는 통계적으로 유의한 조건부확률의 범위를 구하고자 하는 A.P. Sage[20]의 추정방법을 사용하기로 하고 그 구조를 다음과 같이 검토하기로 한다.

A. 실현시 조건부확률의 추정

<표 1>과 같은 실현확률행렬을 먼저 작성한다. 행렬의 대각원소는 대체안  $i$ 가 실현되었을 때 대체안  $i$ 가 실현될 확률이므로 항상 1이 된다.

대각선의 위에 전개되는 상위역 조건부확률(Conditional Probability above the Diagonal)  $P(i/j)$ 의 범위는 실현된 대체안의 특성에 따라 크게 2가

<표 1> 실현확률행렬

대체안 실현확률	대체안의 실현 가정 :				
	$x_1$	$x_2$	...	$x_{n-1}$	$x_n$
$x_1 = P_1$	1	$P(1/2)$	...	$P(1/n-1)$	$P(1/n)$
$x_2 = P_2$	$P(2/1)$	1	...	$P(2/n-1)$	$P(2/n)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_{n-1} = P_{n-1}$	$P(n-1/1)$	$P(n-1/2)$	...	1	$P(n-1/n)$
$x_n = P_n$	$P(n/1)$	$P(n/2)$	...	$P(n/n-1)$	1



<표 2> 비실현확률행렬

대체안 비실현확률	대체안의 비실현 가정 :				
	$x_1$	$x_2$	...	$x_{n-1}$	$x_n$
$x_1 = P_1$	0	$P(1/\bar{2})$	...	$P(1/\overline{n-1})$	$P(1/\bar{n})$
$x_2 = P_2$	$P(2/\bar{1})$	0	...	$P(2/\overline{n-1})$	$P(2/\bar{n})$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_{n-1} = P_{n-1}$	$P(n-1/\bar{1})$	$P(n-1/\bar{2})$	...	0	$P(n-1/\bar{n})$
$x_n = P_n$	$P(n/\bar{1})$	$P(n/\bar{2})$	...	$P(n/\overline{n-1})$	0

지로 나누어진다.

- (1) 촉진/증가(enhance/increase)의 경우로서, 대체안  $j$ 의 실현이 대체안  $i$ 의 실현확률을 증가시킬 때 식 (1)과 같은 범위가 주어진다.

$$P(i) \leq P(i|j) \leq [P(i)/P(j)] \quad (1)$$

단,  $P(i)$  : 대체안  $i$ 의 초기독립 실현확률  
 $P(i|j)$  : 대체안  $j$ 의 실현시 대체안  $i$ 의 조건부 실현확률

- (2) 저해/감소(inhibit/decrease)의 경우로서, 대체안  $j$ 의 실현이 대체안  $i$ 의 실현확률을 감소시킬 때 식 (2)와 같은 범위가 주어진다.

$$1 + \{[P(i) - 1]/P(j)\} \leq P(i|j) \leq P(i) \quad (2)$$

식 (2)의 계산값이 음수일 경우는 0으로 놓고 1보다 큰 값일 경우는 1로 놓는다.

초기확률을 이용하여 식 (1), 식 (2)와 같이 조건부확률의 범위를 계산하고 난 후, 조건부확률의 대각선 상위역의 각 요소를 추정한다. 단, 확실한 근거하에서 얻어진 추정치라면 계산된 범위를 벗어나는 추정치도 선택될 수 있다.

한편, 대각선 아래에 전개되는 하위역 조건부확률(Conditional Probability below the Diagonal)  $P(j|i)$ 는  $P(i|j)$ 가 식 (1)과 식 (2)에 설정된 범위에 있다면 식 (3)처럼 베이저안 룰(Bayes' Rule)을 이용하여 구할 수 있다.

$$P(j|i) = [P(i|j)/P(i)]P(j) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{즉, } P(j|i) &= \frac{P(j \cup i)}{P(i)} \\ &= \frac{P(i)P(j|i)}{P(i)} \text{ or } \frac{P(j)P(i|j)}{P(i)} \end{aligned}$$

단,  $P(i|\bar{j})$  : 대체안  $j$ 의 비실현시 대체안  $i$ 의 조건부 실현확률

$P(i|j)$ 가 제한된 범위를 벗어나거나 베이저안 룰을 이용하여 계산된 추정치에 동의하지 않으면, 합리적인 값을 주관적으로 추정할 수도 있다.

#### B. 비실현시 조건부확률의 추정

한 대체안의 실현이 다른 대체안의 실현에 영향을 주는 것처럼 한 대체안의 비실현이 다른 대체안의 실현에 영향을 준다는 가정하에, <표 2>와 같은 비실현 행렬을 작성한다. 행렬의 대각원소는 대체안  $i$ 가 실현되지 않았을 때 대체안  $i$ 가 실현될 확률이므로 항상 0이 된다.

식 (4)를 이용하여 비실현시의 조건부확률  $P(i|\bar{j})$ 을 구한다. 그러나, 다른 추정치에 대한 합리적인 근거가 있을 경우에는 그 때의 추정치를 이용할 수도 있다.

$$P(i|\bar{j}) = [P(i) - P(j)P(i|j)]/[1 - P(j)] \quad (4)$$

단,  $P(i \cup j)$  : 대체안  $i$  또는 대체안  $j$ , 또는 둘 다 실현될 확률

식 (4)의 계산값이 음수일 경우는 0으로 놓고 1

보다 큰 값일 경우는 1로 놓는다.

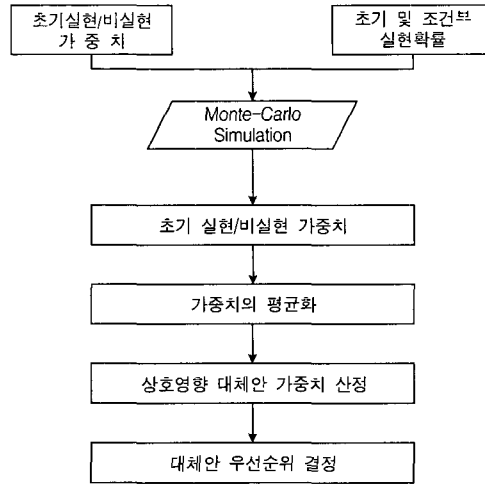
<표 1>과 <표 2>의 모든 행렬원소가 식 (1)~식 (4)에 의해 계산된 결과와 동일하다면, 그 때의 초기확률과 조건부확률은 ‘상호일관성(mutually consistent)’을 갖추게 된다고 보는 것이다.

### 3.3 우선순위 결정모형

주요 기술대체안 골, 주요 R&D항목을 한정된 자원내에서 선정하고자 하는 경우에는 이러한 상호영향이 계산된 대체안 가중치와 또한 기술대체안에 부여된 실현/비실현 확률을 근거로하여 궁극적으로 대체안의 우선순위를 결정하는 모형을 설계하지 않으면 안된다.

이를 위하여 본 연구에서는 상호관련이 있는 기술의 실현시기를 예측하는 방법인 CIA방법의 시뮬레이션 절차에 따라 대체안의 실현/비실현 가중치의 변화를 실현/비실현 가중치 행렬에서 계산할 수 있는 모형을 아래의 논리에 따라 설계하고자 한다.

- (1) 먼저, 상호영향 추정모형에서 산정된 초기 실현 및 비실현 가중치 행렬과 실현확률 추정모형에서 추정된 초기 및 조건부 실현확률을 결합하여 상호영향을 고려한 대체안 가중치를 도출한다.
- (2) 그리고 1회의 시뮬레이션을 시행한 후, 각 기술대체안의 실현/비실현의 조합에 따라 기술대체안의 실현/비실현 가중치 행렬의 조합이 결정된다. 그 행렬조합을 산술평균하여 기술의 상호영향을 고려한 가중치를 구한다. 가중치는 1회 시뮬레이션의 결과이다. 이러한 절차를 일정횟수 이상 반복수행하면 특정 값으로 수렴하게 되는데 조합의 변화값을 산술평균함으로써 상호영향 대체안 가중치를 도출한다.
- (3) 상위목표에 대한 기준들의 가중치와 상호영향 대체안 가중치를 종합적으로 검토하여 최종 상호영향 대체안의 우선순위를 결정한다. 이제, [그림 3]에서 나타낸 우선순위 결정모형은



[그림 3] 우선순위 결정모형

최종적인 기술대체안의 우선순위를 결정하고자 하는 아래와 같은 원리에 따라 설계된 것이다.

- (1) 먼저, 기술대체안의 실현여부에 따른 가중치의 변화를 결정하고자 각 기술대체안 중 하나를 무작위로 선택하여 선택된 기술대체안의 초기확률과 0~1사이에서 발생된 난수와 비교한다. 발생된 난수가 초기확률보다 작거나 같으면 그 기술대체안은 실현되었다고 보고 그렇지 않으면, 기술대체안은 실현되지 않았다고 본다. 여기서, 나머지 기술대체안의 초기확률은 먼저 선택된 기술대체안의 실현/비실현의 조건부확률로 대체된다.
- (2) 나머지 기술대체안들 중 하나를 다시 무작위로 선택하여 이러한 과정을 반복한다. 모든 기술대체안이 선택될 때까지 이상의 전 과정을 반복 시행하면 1회의 시뮬레이션이 끝나게 되고, 이를 일정횟수만큼 반복 시행한다.
- (3) 매번 시행될 때마다 각 기술대체안의 실현/비실현을 체크한 후, 실현여부에 따라 실현/비실현 가중치 행렬에서 실현시의 열벡터와 비실현시의 열벡터의 산술평균을 계산한다. 그 산술평균 값이 1회 시뮬레이션한 만큼 다시 산술평균하면 최종 상호영향을 고려한 기술대체안 가중치가 도출되는 것이다.

이러한 원리에 따라 이루어지는 우선순위 결정 방식을 실질적으로 적용하기 위한 알고리즘을 구체적으로 제시하기로 한다.

<단계 1>  $k$ 개의 기술대체안  $x_k$  중 하나를 무작위로 선택한다.

<단계 2> 0~1사이의 난수  $R_i$ 를 발생시킨다.

<단계 3> <단계 2>에서 발생된 난수  $R_i$ 와 <단계 1>에서 선택된 대체안의 초기실현확률  $P_i$ 를 비교하여 대체안 실현여부를 결정하며, 이 때의 비교원리는 다음과 같다.

[비교원리]

$R_i \leq P_i \Rightarrow$  대체안  $i$ 의 실현

$R_i > P_i \Rightarrow$  대체안  $i$ 의 비실현

<단계 4> <단계 3>의 결과에 따라 나머지 대체안의 초기실현확률이 선택된 대체안의 조건부 실현확률로 대체된다.

<단계 5> 나머지 대체안에 대해 <단계 1>~<단계 4>의 과정을 반복한다. 단, <단계 4>에서 바뀐

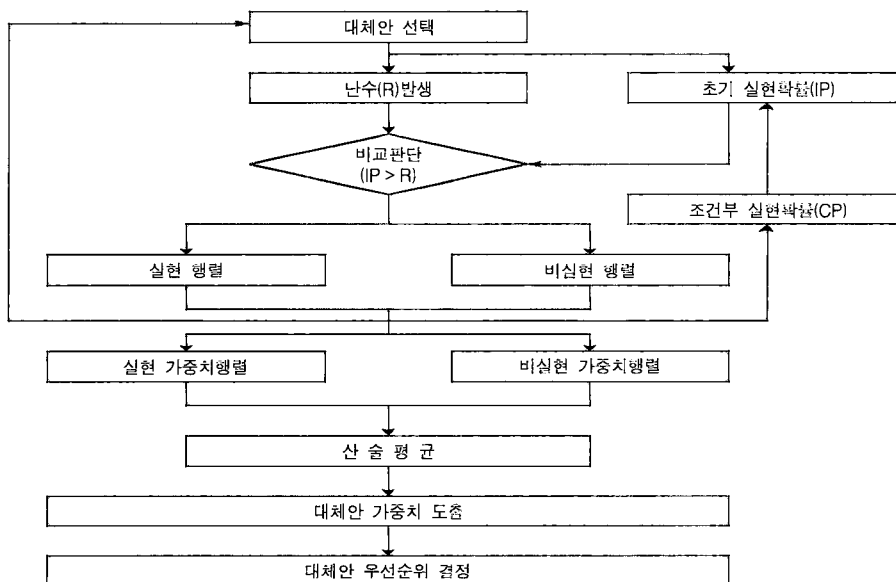
초기실현확률과 새로 발생된 난수를 다시 비교하여 대체안의 실현여부를 결정한다.

<단계 6>  $k$ 개의 대체안이 모두 선택될 때까지 <단계 1>~<단계 5>의 과정을 반복하면 1회의 시뮬레이션이 종료된다. 이를 일정 횟수 이상 반복 시행한다.

<단계 7> 매회 시행시, 기술대체안  $x_k$ 의 실현여부에 따라 실현 가중치 행렬  $XW$ 의 열벡터인  $X_kW$ 와 비실현 가중치 행렬  $\bar{X}W$ 의 열벡터인  $\bar{X}_kW$ 의 조합이 구성된다. 그 조합의 행벡터를 산술평균하여 1회 시뮬레이션한 상호영향 대체안의 가중치로 규정한다. 매회 얻어지는 가중치 조합의 값을 다시 산술평균하여 최종 상호영향 대체안의 가중치를 산정한다.

<단계 8> <단계 7>에서 구한 최종 상호영향 대체안 가중치에 계층별 중요도 가중치를 곱어줌으로써 즉, 두 가중치의 승산구조를 취함으로써 최종 상호영향 대체안의 우선순위를 결정하게 된다.

이상과 같은 절차에 따라 수행되는 기술대체안 우선순위의 결정알고리즘은 [그림 4]와 같다.



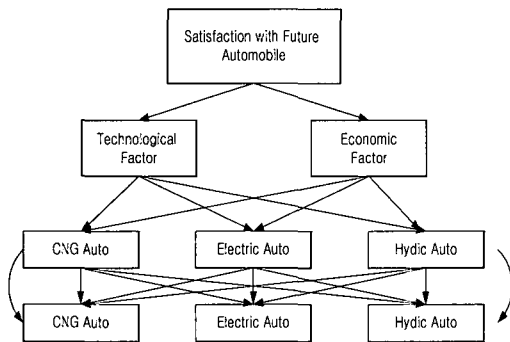
[그림 4] 우선순위 결정알고리즘

결국, 이러한 특정기준에 대한 상호영향 대체안의 중요도의 변화, 그리고 상위목표에 기여하는 기준에 대한 미래 기술대체안의 상대적 중요도의 변화를 통합함으로써 기업의 R&D프로젝트 선정과 이에 근거하는 사업전략수립의 정밀성은 일층 증대될 수 있을 것으로 본다.

#### 4. CIH모형의 수치예

CIH모형을 이해하는데 도움을 주기 위해 구체적인 수치예를 제시한다. Green Energy Automobile(GEA)이라고 하는 미래의 자동차 개발을 계획하고 있는 어느 자동차 회사를 가정해 보자. 고려되고 있는 자동차로는 CNG Auto, Electric Auto, 그리고 Hydric Auto가 있다. 의사결정 문제는 이러한 자동차들 중에서 어느 것을 선택하는가이다.

CIH모형을 적용하기 위한 첫 번째 단계는 문제를 계층구조로 만드는 것이다. 계층의 레벨 1에서는 전체적인 목표 또는 미래의 자동차에 대한 만족에 초점을 맞춘다. 레벨 2에는 기술성과 경제성의 두 가지 요인 또는 기준이 있다. 레벨 3에는 두 번째 레벨의 기준 하에서 평가되는 세 개의 미래자동차들이 있다. 미래자동차를 선정하는 예로써 [그림 5]에서 계층을 도식화하여 보여주고 있다.



[그림 5] GEA예의 계층구조

두 번째 단계는 각 대안에 대해서 두 종류의 발생확률을 추정하는 것이다. 하나는 초기(또는 주변)확률이고, 다른 하나는 조건부확률이다. 본 연

구의 예로서 이러한 확률들은 A, B가 촉진, C가 저해이고  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ 가 촉진,  $\bar{C}$ 가 저해인 각각의 경우에 대해서 <표 3>과 <표 4>에서 보여주고 있다. 발생확률행렬의 대각선상의 요소들은 각 대안이 발생했다는 조건하에서의 발생할 확률이므로 1이다. 대안의 비발생확률이 0이므로 비발생확률 행렬의 대각선상의 요소들은 모두 0임을 주의해야 한다.

<표 3> GEA예의 발생확률행렬

발생확률	대체안 실현 ;		
	A	B	C
A(0.85)	1.00	0.95	0.70
B(0.70)	0.80	1.00	0.60
C(0.40)	0.45	0.50	1.00

<표 4> GEA예의 비발생확률행렬

비발생확률	대체안 실현 ;		
	A	B	C
A(0.15)	0.00	0.10	0.90
B(0.30)	0.25	0.00	0.85
C(0.60)	0.55	0.60	0.00

세 번째 단계는 상호영향 추정단계이다. 먼저, AHP에서와 같이 계층의 두 번째 레벨의 요소들을 행렬로 배치하고 전체 목표에 대해서 <표 5>와 같이 그 하위레벨에 있는 요소인 평가기준에 대해 쌍대비교를 행한다.

<표 5> 평가기준의 쌍대비교행렬

	기술성	경제성	중요도 가중치
기술성	1.00	2.00	0.667
경제성	0.50	1.00	0.333

그 다음에는 상호영향 쌍대비교라고 하는 최저 레벨에서의 요소들인 기술대안간 쌍대비교를 한다. 이들 기술 대안들을 비교할 때 하는 질문들은 다른 레벨들과는 다르다. 즉, 대안들 중 어느 하나가 발생했을 때(또는 발생하지 않았을 때), 가정된 그 대안에 관련된 모든 대안들의 각 쌍에 대해서 어느 것이 더 중요하고 각 기준에 대해서 얼마나 더 중요한가? 라고 질문하게 된다.

<표 6> 발생 및 비발생 쌍대비교행렬 및 중요도 가중치

(a) 발생의 경우

기술성 (A 발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	2	4	0.571
B	1/2	1	2	0.286
C	1/4	1/2	1	0.143

기술성 (B 발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1/2	4	0.308
B	2	1	8	0.615
C	1/4	1/8	1	0.077

기술성 (C 발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1	4	0.444
B	1	1	4	0.444
C	1/4	1/4	1	0.112

경제성 (A 발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1/2	1/4	0.143
B	2	1	1/2	0.286
C	4	2	1	0.571

경제성 (B 발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1/4	1/2	0.143
B	4	1	2	0.571
C	2	1/2	1	0.286

경제성 (C 발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	2	4	0.571
B	1/2	1	2	0.286
C	1/4	1/2	1	0.143

그 결과, <표 6>에 제시된 바와 같이 대안들에 대한 6개의 3×3 발생쌍대비교행렬과 6개의 3×3 비발생 쌍대비교행렬이 도출된다. 편의상, 모든 행렬은 일관성이 있는 것으로 한다.

(b) 비발생의 경우

기술성 (A 비발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1/2	1/4	0.143
B	2	1	1/2	0.286
C	4	2	1	0.571

기술성 (B 비발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	2	1/4	0.182
B	1/2	1	1/8	0.091
C	4	8	1	0.727

기술성 (C 비발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1	2	0.400
B	1	1	2	0.400
C	1/2	1/2	1	0.200

경제성 (A 비발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	2	4	0.571
B	1/2	1	2	0.286
C	1/4	1/2	1	0.143

경제성 (B 비발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1/2	1/8	0.091
B	2	1	1/4	0.182
C	8	4	1	0.727

경제성 (C 비발생)	A	B	C	중요도 가중치
A	1	1/2	2	0.286
B	2	1	4	0.571
C	1/2	1/4	1	0.143

이러한 행렬들의 중요도 가중치들은 각 평가기준에 관련한 대안들의 최종적인 우선순위를 도출하기 위해서 하나의 행렬로 결합된다. 발생과 비발생의 경우들에 대한 통합된 행렬은 다음의 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 발생 및 비발생 종합가중치행렬

(발생의 경우)

기술성	A	B	C
A	0.571	0.308	0.444
B	0.286	0.615	0.444
C	0.143	0.077	0.112

(비발생의 경우)

기술성	A	B	C
A	0.143	0.182	0.400
B	0.286	0.091	0.400
C	0.571	0.727	0.200

(발생의 경우)

경제성	A	B	C
A	0.143	0.143	0.571
B	0.286	0.571	0.286
C	0.571	0.286	0.143

(비발생의 경우)

경제성	A	B	C
A	0.571	0.091	0.286
B	0.286	0.182	0.571
C	0.143	0.727	0.143

마지막으로, 대안들에 대한 우선순위를 도출한다. 계층에 있는 모든 요소들의 가중치를 종합하기 전에 최저 레벨에 있는 대안들의 우선순위가 결정되어야 한다. 일관성 있는 가중치들의 집합을 결정하기 위해서 통합된 발생 및 비발생 가중치 행렬들에 대해 다음의 단계에 따라 몬테카를로 시뮬레이션을 행한다.

<단계 1> 무작위로 대안 하나를 선택한다. 여기서는 <표 3>의 대안 B라고 하자.

<단계 2> 0에서 1사이의 무작위 숫자를 발생시키고, 각 대안의 발생여부를 결정하기 위해서 대안의 초기확률과 비교한다. 무작위 숫자가 0.5라 가

정하면, 0.5는 대안 B의 초기확률인 0.7보다 작기 때문에 대안 B는 발생한 것으로 가정한다. 만일 무작위 숫자가 0.7보다 크면 대안 B는 비발생으로 간주한다.

<단계 3> 남아있는 각 대안의 초기확률은 <단계 2>에서 발생 또는 비발생한 대안이 주어졌을 때의 조건부확률로 대체된다. 예를 들어, 대안 B가 <단계 2>에서 발생했으므로 대체되는 값은  $P(A) = 0.95$ ,  $P(C) = 0.50$ 이 될 것이다. 따라서 기술성이라는 평가기준에 대한 대안들의 가중치는  $A = 0.308$ ,  $B = 0.615$ ,  $C = 0.077$ 이 되고, 이들의 경제성에 대한 가중치는  $A = 0.143$ ,  $B = 0.571$ ,  $C = 0.286$ 이 된다.

<단계 4> 남아있는 대안 A와 C중에서 두 번째 대안이 선택되고 <단계 1>부터 <단계 3>까지 반복된다. 여기서 <단계 2>에서 사용된 확률은 그 이전에 수행된 <단계 3>에서 결정된 값이다. 그러므로, 만일 대안 B가 첫 번째 수행에서 발생했고 두 번째에서 대안 A가 선택되었다면 두 번째 수행의 <단계 2>에 사용된 대안 A의 확률은  $P(A | B) = 0.95$ 이다. 만일 이 확률이 무작위 숫자보다 작다면 비발생 통합행렬의 첫 번째 열을 취하게 된다.

<단계 5> <단계 1>에서부터 <단계 4>까지를 통해 설명된 절차는 세 개의 대안 모두가 선택될 때까지 반복된다. 이러한 절차는 일반적으로 1,000회 또는 더 많은 횟수동안 반복된다. 매번 이 절차가 수행되고 대안들의 발생 또는 비발생되었을 때의 가중치가 선택되어지고 그것들의 평균이 구해지게 된다.

본 예에서 1,000회를 반복한 결과, 기술성 기준에서의 대안 A, B, C의 중요도 가중치는 각각 0.39, 0.38, 0.23으로 나타났으며, 경제성 기준에서의 대안 A, B, C의 중요도 가중치는 각각 0.27, 0.38, 0.35로 나타났다. 나아가, 평가기준의 가중치를 곱한 종합가중치는 0.349, 0.386, 0.265로 나타났는 바, 최종적으로 대안 B가 가장 중요한 것으로 판명되었다.

## 5. 결 론

다수의 평가기준 및 대체안을 갖는 상태에서 대체안간의 우선순위를 결정하는 수법으로 개발된 AHP모형의 유용성은 널리 알려져 왔다. 그러나, R&D프로젝트의 평가선정 문제에서처럼 대체안의 속성이 기술이면서 이들 기술 대체안간에 상호영향이 존재하는 경우에는 대체안 상호간의 영향을 고려하지 않는 기존의 AHP모형으로는 이들 대체안간의 우선순위를 정확하게 결정할 수가 없다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 R&D활동이 장래예측을 전제로 하며 항목간 상호영향을 고려하는 기술예측수법의 하나인 CIA모형과 다차원적 다수기준에 근거하여 대체안들간의 우선순위를 결정하는 의사결정모형인 기존의 AHP모형과를 결합시킨 새로운 CIH모형을 개발하였다.

CIH모형의 개발작업을 통하여 본 연구가 얻은 성과는 다음과 같다.

- (1) 기술대체안들간에 전개되는 미래의 상호영향을 고려하면서 동시에 다계층 평가기준의 체계를 거쳐 기술경영의 최종목표를 만족시키는 우선순위 결정의 알고리즘을 개발하였다.
- (2) 기존의 대체안 우선순위 결정모형인 AHP에 R&D항목간 장래의 상호영향을 고려하는 기술예측수법인 CIA를 결합시킴으로써, 미래에 개발될 기술대체안들이 갖는 「기술예측성」과 이들 기술대체안들이 상호관련을 가질 수 밖에 없는 「기술 종속성」을 동시에 고려하여 순위결정을 행할 수 있는 통합의 사결정모형을 개발하였다.

금후 보다 깊이 검토되어야 할 몇 가지의 연구과제를 제시하면 다음과 같다.

- (1) 기존 CIA의 결점으로서 지적되고 있는 문제로서, 상호관련성이 있는 기술대체안들이 개발완료되는 완성의 순서 및 시기간에 존

재하는 시간적 간격에 따라 상호영향을 미치는 정도가 다를 수 있는 점까지도 고려한 CIH모형을 개발한다면 한층 정교한 모형이 될 것이다.

- (2) 기술대체안의 실현여부에 따른 가중치의 변화를 결정하기 위하여 「본테카플로 시뮬레이션」을 실시하는 단계에서, 조건부 실현확률을 반영할 때 하나의 기술대체안이 일단 완성된다고 가정된 조건부 실현확률을 고려하였으나, 복수의 기술 대체안이 동시 완성되었을 때의 조건부 실현확률까지도 고려한 모형의 개발도 검토될 필요가 있다.

마지막으로, 이 모형에 대한 적용타당성 여부는 향후 실제 자료를 활용하거나, 풍부한 가상자료를 활용하여 검토해 나가고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 조근태, 「R&D의 예측과 결정」, 자유아카데미, 1999.
- [2] 조근태, 홍순욱, 권철신 역, 「리더를 위한 의사결정」, 동현출판사, 2000.
- [3] Ali A., M.V. Kalwani, and D. Kovenock, "Selecting Product Development Projects : Pioneering versus Incremental Innovation Strategies," *Management Science*, Vol.39 (1993), pp.255-274.
- [4] Baker N.R., "R&D Project Selection Model : an Assessment," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.21, No.4 (1974), pp.165-171.
- [5] Cabral-Cardoso C. and R.L. Payne, "Instrumental and Supportive Use of Formal Selection Methods in R&D Project Selection," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.43, No.4(1996), pp.402-410.

- [6] Edward Fox G, et al, "Economic Models for R&D Project Selection in the Presence of Project Interactions," *Management Science*, Vol.30, No.7(1984), pp.890-902.
- [7] Gear T.E. and G.C. Cowie, "A Note on Modeling Project Interdependence," *Decision Science*, Vol.11(1980), pp.738-748.
- [8] Gordon T.J. and H. Hayward, "Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting," *Futures*, Vol.1, No. 2(1968), pp.100-116.
- [9] Kim S.H., et al, "A Delphi Technology Forecasting Approach Using a Semi-markov Concept," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.40, No.3(1991), pp.273-288.
- [10] Lee Y.W. and B.H. Ahn, "Static Valuation of Combat Force Potential by the Analytic Hierarchy Process," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 38, No.3(1991), pp.237-244.
- [11] Lee J., S. Lee, and Z. Bae, "R&D Project Selection : Behavior and Practice in a Newly Industrializing Country," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.33, No.3(1986), pp.141-147.
- [12] Liberatore M.J., "An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R &D Project Selection and Resource Allocation," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.34, No.1(1987), pp. 12-18.
- [13] Lieb E.B., "How Many R&D Projects to Develop?," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.45, No.1(1998), pp.73-77.
- [14] Lockett G., et al, "Modeling a Research Portfolio Using AHP : a Group Decision Process," *R&D Management*, Vol.16, No.2 (1986), pp.151-160.
- [15] Mehrez A. and Z. Sinuany-Stern, "Resource Allocation to Interrelated Risky Projects Using a Multiattribute Utility Function," *Management Science*, Vol.29, No.4 (1983), pp.430-439.
- [16] Porter P.L., et al., *Forecasting and Management of Technology*, John Wiley & Sons, 1993.
- [17] Ramanujam V. and T.L. Saaty, "Technological Choice in the Less Developed Countries : An Analytic Hierarchy Approach," *Technological Forecasting and Social Change*, Vo.19(1981), pp.81-98.
- [18] Saaty T.L., "Priority Setting in Complex Problem," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.30, No.3(1983), pp. 140-155.
- [19] Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [20] Sage A.P., *Methodology for Large-scale Systems*, McGraw-Hill, New York, 1977.
- [21] Schmidt R.L., "A Model for R&D Project Selection with Combined Benefit, Outcome and Resource Interactions," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.40, No.4(1993), pp.403-410.
- [22] Schmidt R.L. and J.R. Freeland, "Recent Progress in Modeling R&D Project Selection Processes," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.39, No.2(1992), pp.189-200.
- [23] Shim, J. P., "Bibliographical Research on the Analytic Hierarchy Process," *Socio-Economic Planning Sciences : An Interna-*



- tional Journal*, Vol.23, No.4(1989), pp.161-169.
- [24] Sivarama Prasad A.V. and N. Somasekhara, "The Analytic Hierarchy Process for Choice of Technologies : an Application," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 38(1990), pp.151-158.
- [25] Suh C., E. Suh, and K. Back, "Prioritizing Telecommunications Technologies for Long-range R&D Planning to the Year 2006," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.41, No.3(1994), pp.264-274.
- [26] Vargas L.G., "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications," *European Journal of Operations Research*, Vol.48, No.1(1990), pp.2-8.
- [27] Zahedi F., "The Analytic Hierarchy Process - a Survey of the Method and Its Application," *Interfaces*, Vol.16, No.4(1986), pp. 96-108.