

## R&D프로젝트의 계획시스템대체안의 선정을 위한 CISAT모형의 개발

강일중\*, 권철신\*\*

### Development of CISAT Model for Selecting R&D Planning System Alternatives

Il Jung Kang\*, Cheol Shin Kwon\*\*

#### Abstract

The purpose of this study is to develop a Cross Impact System Alternatives Tree(CISAT) model necessary for selecting the interdependent R&D planning system alternatives.

This model modifies System Alternatives Tree(SAT) model developed by Kwon et al.. The SAT model is composed of several functions necessary for the achievement of a final goal and several subsystems for satisfying each function.

In case that the relationship of technology alternatives is interdependent, this model overlooked a relative importance derived from occurrence or nonoccurrence of the technology alternatives in the future time variance. However, a complex evaluation process within the ballot system is another disadvantage of the SAT.

To solve such problems, the Cross Impact Analysis(CIA) model is applied in the SAT model so as to consider the cross impact among interdependent system alternatives.

**Keyword :** System Alternatives Tree(SAT), Cross Impact Analysis(CIA),  
Cross Impact System Alternatives Tree(CISAT), Planning System Alternatives(PSA)  
Project Selecting System(PSS)

\* 성균관대학교 과학기술연구소 책임연구원

\*\* 성균관대학교 시스템경영공학과 R&D공학전공 교수

## 1. 서 론

대규모 R&D프로젝트 수행을 위한 계획활동에서 과제별 최종목표의 달성을 위하여 먼저 계획시스템의 다양한 대체안들을 설정하고 그리고 이들 중 최적의 계획시스템을 선정하는 작업은 가장 중요하면서도 난해한 문제의 하나로 제기되어 오고 있다[11]. 이를 해결하기 위하여 등장한 방법 중의 하나가 「시스템대체안수목(System Alternatives Tree : SAT로 약칭)」 구조체이다.

「SAT」는 시스템대체안들을 설정한 후, 수목구조체로 배열시키고, 평가자 투표양식에 근거하여 시스템대체안의 우선순위를 결정하는 모형이다. 그런데, 기존의 「SAT」 모형은 기술적 속성을 갖는 시스템대체안 상호간의 영향성이 전혀 고려되지 않고 있다[1, 12].

이러한 기술적 속성을 갖는 시스템대체안 상호간의 영향이 고려된 우선순위 결정모형을 설계하기 위해서는 기존의 「SAT」 모형에 각 시스템대체안의 기술항목들에 대한 실현확률을 예측할 수 있는 어떠한 수법이 결합된 새로운 형태의 의사결정모형이 개발될 필요가 있다.

본 연구에서는 검토의 대상이 되는 기술항목들 간에 상호관련성이 있을 때, 항목들 간에 존재하는 '상호중속성(Interdependency)'을 예측과정에 적극적으로 반영하기 위하여 항목간의 '촉진영향(Enhancing impact)'과 '억제영향(Inhibiting impact)'을 구분하여 포착하고, 시뮬레이션방식을 이용하여 그 값을 예측치 속에 포함시키는 「상호영향분석(Cross Impact Analysis ; CIA로 약칭)」의 방법론[2, 6, 9, 14, 15]을 도입하고자 한다.

기존의 「SAT」 모형을 기반으로 하면서 시스템대체안간의 기술적 상호중속성을 고려하여 우선순위를 결정하도록 새롭게 개발된 수법이 본 연구에서 제시하는 「상호영향형 시스템대체안수목(Cross Impact type System Alternatives Tree : CISAT로 약칭)」 모형이다. 따라서, 본 논문에서는 이 「CISAT」 모형의 전개구조 즉, 「CISAT」 모형이 갖는 우선순위

의 결정알고리즘을 제시함으로써 본 모형의 타당성을 검토하고자 하는 것이다.

## 2. 선행연구의 검토

### 2.1 Relevance Tree 모형

「관련수목법(Relevance Tree Method : RTM으로 약칭)」 [3, 4]은 시스템전개의 흐름에 근거한 하나의 규범적 예측수법으로서, 어떤 목표를 달성하기 위해 각 요인이 복잡하게 얽혀 있는 상황에서 미래의 특정 시점에 바람직한 목표를 설정하는 경우, 목표달성을 위한 기준을 시계열로 구하는 것이 가능하다.

즉, 관련수목법은 목표달성에 필요한 일련의 개발과제를 명확히 전개시키는 수법으로서, 수단이 되는 과제(Project)가 목표(Goal)에 대하여 어느 정도의 중요성을 갖는가를 명확히 하기 위해 수목(Tree)의 형태로 제시된다.

관련수목법은 구조적으로 볼 때, 'Interest field'와 'Concept field'를 유기적으로 결합하는 것이 특징으로서, 전자가 보완적, 가산적인 성격이 강한데 반하여, 후자는 대체적, 경합적인 성격이 강하다고 볼 수 있다.

이와 같이 작성된 '관련수목체(Relevance Tree Structure : RTS로 약칭)'를 이용한 시스템의 우선순위를 결정하는 방법은 먼저, '목표(Mission)'와 '시스템(System)'을 모두 포함한 관련수목의 제요소에 대하여 평가자로부터 상대평가된 점수를 얻는다.

이 평가된 결과를 가지고 목표에 대한 중요도 가중치와 시스템에 대한 상대적 중요도 가중치를 계산한 후, 각 요소의 값을 통합하게 된다. 이 통합점수는 목표의 중요도 가중치와 시스템의 상대적 중요도 가중치의 곱으로 계산되는데, 이것이 'SRN(System Relevance Number)'이다.

이 'SRN'을 시스템의 비용으로 나누어 시스템의 '편익비용비율(Benefit-to-Cost Ratio)'을 계산하고, 최대의 '편익비용비율'을 갖는 시스

템이 1이 되도록 정규화시키는데, 이것이 시스템의 '상대적 편익비용비율(Relative Benefit-to-Cost Ratio)'이 된다.

그런 후에, 목표와 기준, 시스템에 대한 평가치를 변화시켜가면서 감도분석을 행하게 된다. 이상의 단계를 거쳐 도출된 상대적 편익비용비율 및 감도분석의 결과로부터 목표에 부합하는 최적시스템을 선정한다[8].

이 방법은 목표와 각 과제 또는 각 기술이 복잡하게 교착되어, 일견해서는 어떻게 목표를 달성하는 것이 좋은지 해석하기 어려운 문제의 경우에 그 유용성이 크다. 동시에 각 개발과제의 기술적 문제점이나 기술적 실현성 등도 파악할 수 있다는 점이 강점이라 하겠다[8].

한편, Barbiroli[7]는 이러한 'RTS'를 기반으로 하여 기술의 전략적 특징을 최하위레벨에 놓고, 이들을 일괄적으로 종합하는 방식을 채용했는데, 기술의 경우에는 분할계층에 따라 그 특성이 달라질 수 있다는 점을 간과하였다.

하나의 기술은 그것을 구성하는 부분기술들이 존재하기 때문에 '기능계층(Function level)'의 레벨과 '대상계층(Object level)' 곧, '시스템계층(System level)'으로 계층적으로 분할시켜 나가면서, 각 계층에 맞는 평가기준과 평가방식을 적용해야만 하는 것이다.

「RTM」은 이러한 기술분할에 대한 구조적인 문제점 때문에, R&D영역에서 기술프로젝트의 전개방식으로는 적합지 않은 결함을 내포하고 있다.

## 2.2 PATTERN 모형

R&D프로젝트의 평가선정에 「RTM」를 본격적으로 도입한 H. Wells의 연구를 바탕으로, 미국의 Honeywell Co.는 이를 발전시켜 「PATTERN(Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers)」을 개발하였다.

「PATTERN」[5, 17]에서는 우선 R&D과제에 대한 시나리오를 작성하여 5단계로 실행된다.

Ph. 1 : '관련수목체(RTS)'의 작성

Ph. 2 : 평가투표와 'BR(Balloted Relevance)'의 계산

Ph. 3 : 'TDR(Total Direct Relevance)' 계산 및 평가표의 작성

Ph. 4 : 'URB(Unvoted Relevance Ballots)'의 작성

Ph. 5 : 실험평가투표와 평가표의 작성

이와 같은 5단계를 통하여 순위를 도출함으로써 목표달성에 필요한 일련의 R&D과제의 선정작업을 명확히 할 수 있어, 규범적 기술예측의 유력한 수법이 되어 왔다.

한편, 이 수법에서는 규범적인 목표를 설정함에 있어, 목표를 달성하기 위한 부분시스템들이 어떻게 구성되어야 하는지, 그리고 그 부분시스템을 충족시켜주기 위해서는 어떤 요소들이 요구되는 지에 따라서 이들을 순차적으로 세분화해 나간다.

그러나, 기본적으로 「RTM」에 근거한 「PATTERN」은 다음과 같은 몇 가지의 문제점을 지니고 있다.

첫째, 평가는 어디까지나 계층(Level) 내의 상대평가이기 때문에 'SRN'은 가장 큰 요소가 귀속하는 블록의 계층에 따라 상이한 것이 당연하다. 따라서 단순히 기계적으로 'SRN'이 큰 요소 내지는 과제부터 개발에 착수해야 한다고 말할 수는 없고, 개별과제를 달성한다는 것은 목표를 달성하는 과정에 불과하기 때문에 PATTERN도면 전체를 보아가며, 체계적으로 계획을 수립해나가야 한다. 이러한 관점에서 볼 때, 이 수법은 지나친 목표지향적 구조로서 계획지향적 구조가 빈약하다는 취약점을 안고 있다고 하겠다.

둘째, 이 수법은 목적, 목표, 분야, 과업, 시스템, 기능, 부분시스템, 기술결합과 같은 8단계로 전개된다. 여기서 상위의 4단계는 가산적이고 보완적인 논리에 근거한 '규범적 전개원리(Normative Deployment Principle : NDP)'를 따르는 'Interest field'로, 그리고 하위의 4단계는 경험적이고 대체적인 논리에 근거한 '탐색적 전개원리(Explorative Deployment Principle : EDP)'

를 따르는 'Concept field'로 구성된다.

따라서 하위레벨로 내려갈수록 대체적인 형태를 띠기 때문에 기능의 침식이 불가능하고, 또한 하위레벨로 세분화될수록 'TDR'의 수치가 적어지므로 감도가 많이 떨어진다.

결국, 기능침식의 신축성을 가지면서도 세분화시켜나가 감도가 높은 새로운 시스템이 요구된다. 즉, 장래에 설정해 놓은 수준을 어느 정도 만족시킬 수 있는지, 또는 특정 기능을 만족시키기 위해 현재의 기술수준에서 어느 정도까지 개발할 수 있는지라는 탐색적 발상에서 볼 때, 기능을 만족시킬 수 있는 시스템은 다수가 존재할 수 있다고 보아야 한다.

그런데, 이 다수의 방법들이 전부 만족될 수도 있고, 거의 만족되지 못할 수도 있으므로 이들을 최적화시킬 수 있는 개량된 시스템구성이 필요한데, 이는 본 연구에서 And  $\rightarrow$  Or  $\rightarrow$  And  $\rightarrow$  Or ..... 으로 반복적 분화과정을 따르는 '가역설계(Feedback design)'를 행하게 되는 근거를 제시해 주는 것이라 하겠다.

따라서, 본 연구모형에서처럼 시스템대체안(기능과 대상)에 대한 '설정단계(Setting phase)'로부터 예비적 평가를 거쳐 최종대체안을 위한 '선정단계(Selecting phase)'에 도달할 때까지 규범적 및 탐색적 기술예측원리를 정합적으로 수용하여 기능과 시스템을 세분화하고, 이를 가역적으로 통합시켜나가는 수법이 강구되어야 할 필요가 있다.

셋째, 「PATTERN」에서는 기술적 요소를 평가할 때, 1을 상대적 중요도에 따라 분할하여 가중치를 부여하는 방법을 취하고 있으나, 이 방식은 기준이 많아질 경우에는 무의미하게 된다. 따라서 인접한 상위계층의 기준 하에서 하위계층의 각 기준들에 대한 상대적 중요도를 나타내는 수치로 구성된 쌍대비교행렬을 작성하여, 상위계층에 있는 기준의 관점에서 하위계층에 있는 각 기준들의 가중치를 측정하도록 설계되어야 할 필요가 있다.

이는 결국, 최상위계층의 목표를 달성할 수 있도록 최하위계층에 있는 대체안들의 상대적인 우선순위를 결정해주는 방식이 요구되는 것이다.

## 2.3 권철신, 홍순욱, 조희준 모형

권철신, 홍순욱, 조희준[1, 12]은 복잡한 대규모 R&D프로젝트의 계획시스템대체안을 설정함에 있어, 목표달성을 위한 계획대체안이 필요로 하는 기능과 그 기능을 만족시키는 대상 곧, 부분시스템을 순차적으로 계층분할해나가 최종적인 단말시스템(Terminal System)을 최적화시키고, 이들 부분기능과 부분시스템을 상위레벨로 통합하는 적절한 계층제어방식을 구사함으로써 계획시스템대체안의 설정을 위한 모형을 구축했다.

이 연구에서는 목표설정시스템에서 최종적으로 선정된 목표를 달성하기 위한 다양한 계획시스템대체안들을 설정함에 있어, 먼저 '규범/탐색(Normative/Explorative)'의 복합전개원리[1, 10]와 'And-Or'의 결합논리체계를 확립하여 「SAT」라는 독특한 구조체를 만들었다. 그리고, 'Ballot Form'을 설계하여 각 기능 및 시스템 레벨의 요소에 대한 '전문가 평가'를 실시하여 'SPN(System Priority Number)'을 도출하고, 이에 입각한 우선순위 결정방식을 제시하였다.

이들의 연구는 시스템대체안을 설정하고 선정하는 모형을 개발한 것으로, 독창적인 개념구성 및 전개원리 그리고 합리적인 논리체계를 보유하고 있다.

그러나, 복잡한 대규모 R&D프로젝트를 수행할 때, 다수의 기능레벨과 시스템레벨이 「SAT」상에 존재하게 되고, 형제요소집합의 수도 상당히 많아지게 되므로 'Ballot Form'의 작성과 이를 이용한 전문가의 평가작업이 능률적이지 못하다는 결점을 안고 있다.

뿐만 아니라, 최종적인 목표를 달성하기 위한 기능과 시스템을 상호독립을 전제로 하여 우선순위를 결정하여 대체안을 선정하고 있는데, 시스템계층은 기술적 속성을 갖기 때문에 상호종속성 내지는 상호영향성을 고려하는 것이 타당함에도 불구하고, 이에 대한 검토가 이루어지지 않았다.

### 3. 연구모형의 설계

#### 3.1 연구문제의 제기

이상에서 분석한 문제점들을 정리하면 다음과 같이 요약될 수 있는데, 본 연구는 이들 문제점을 해결하기 위한 모형설계에 초점이 놓여진다.

(1) 「RTM」과 「PATTERN」은 기술구조의 면밀한 조사를 행할 수 있고, 계획경로의 파악 또한 용이하다는 장점을 지니고 있다.

반면에, 규범적인 기술예측의 한 수법인 「Scenario writing Method」에 의한 규범적 판단에 크게 의존하고 있고, 대안적인 목표를 무시하는 결점을 지니고 있다. 또한, 기술예측 수법 중에서도 예측력이 상당히 낮은 문제점을 안고 있어서, 높은 예측력과 정밀성을 요하는 R&D 계획시스템을 설계하고자 하는 경우에는 적합하지 못하다.

(2) 「PATTERN」에서의 평가는 어디까지나 계층 내에서의 상대평가로부터 얻은 'SRN'에 의해 우선순위가 결정되기 때문에, 다수의 기술대체안간의 상호종속성이 내재되어 있는 R&D 프로젝트들의 우선순위를 결정하는 작업에는 적합하지 않다.

(3) 기존의 「SAT」모형에서는 대규모 R&D 프로젝트를 위한 계획대체안의 설정 및 선정작업에 있어서 시스템대체안들이 기술적으로 상호 독립적이라는 전제하에 우선순위를 결정하고 대체안들을 선정해 나갔다.

그러나, R&D활동의 경우에는 하위레벨의 기술적인 부분시스템대체안들 간에 대부분의 경우에 상호종속성 내지는 상호관련성이 존재하기 때문에 기술대체안들 간의 종속성을 전제로 한 우선순위의 결정방식에는 적합하지 않다.

(4) 기술대체안들 간의 관계가 '독립'의 형태가 아닌 '촉진' 또는 '저해'라는 형태로 상호영향을 미치는 관계일 경우, 각 기술대체안들이 미래의 특정 시점에서 실현되거나 비실현되는 경우에 따라서 기술대체안의 상대적 중요도는 크게 달라지게 된다. 이러한 관점에서 각 대체안

이 실현되었을 때에, 또는 실현되지 않았을 때에, 발생하는 부분시스템들 간의 상호영향을 추정하여 각 부분시스템들의 상대적 가중치를 산정하는 것이 합당하다 하겠다.

(5) 계층분할된 기능 및 시스템에 대한 평가작업에 있어서, 각 계층에 대하여 평가기준을 설정하고, 평가기준이 갖는 가중치를 부여하여 우선순위를 결정해나가는 것은 상당히 번거로운 작업일 뿐만 아니라, 특히 복잡한 대규모 R&D프로젝트를 전제로 하는 경우에는 각 레벨별로 평가기준을 설정하는 것은 매우 힘든 일이다.

(6) 여기서, 기술적 속성을 갖는 부분시스템 레벨에 대해서는 형제요소레벨 내의 부분시스템들 간에 전개되는 미래적 상호영향까지 고려할 수 있는 계획시스템대체안 선정모형의 개발이 요구된다.

(7) 기능레벨과 부분시스템레벨에서의 평가를 간편화하기 위해서는 「AHP」에서의 쌍대비교방식의 도입을 검토해 볼 필요가 있다.

여기서, 의사결정의 문제를 다루는 작업에 있어서는 판단의 일관성 정도를 검토하는 일이 매우 중요하다. 무작위로 나타나는 낮은 일관성을 갖는 판단에 근거해서 결정이 내려져서는 안되기 때문이다.

「AHP」를 이용하게 되면 '일관성 비율(Consistency Ratio)'에 의해 판단의 일관성이 측정되어, 평가의 일관성 검토가 가능해져 각 요인에 대한 평가가 일관성있게 수행되었는지 손쉽게 파악할 수 있게 된다.

#### 3.2 개념모형의 틀

3.1에서 검토한 문제제기를 본 연구의 해결과제로 삼고 여기서는 본 연구의 목적에 부합되는 「Cross Impact type System Alternatives Tree : CISAT로 약칭」모형의 구조설계를 위한 개념모형의 틀을 제시하고자 한다.

본 연구에서 설계하고자 하는 「CISAT」모형은 크게 「의사결정 계층모형」, 「상호영향 추정모형」, 「실현확률 추정모형」, 그리고 후자의 두 모형 곧, 「상호영향 추정모형」과

「실현확률 추정모형」의 결합을 통해 시스템 대체안에 대한 최종 중요도의 가중치를 도출하게 되는 「우선순위 결정모형」이라고 하는 네 개의 부분모형으로 구성된다.

첫째, 「의사결정 계층모형」에서는 기존의 「SAT」와 동일한 형태로 ‘피드백 기술예측’의 논리 즉, ‘N/E 전개원리(NDP/EDP)’에 의해 기능과 시스템대체안을 결합하는 논리구조를 설계한다[10].

둘째, 「상호영향 추정모형」에서는 설정된 의사결정계층에 대하여 각 계층별 상대적 중요도와 함께 기술의 ‘실현’ 및 ‘비실현’이라는 관점에서 시스템대체안 간에 상호영향의 정도를 추정할 수 있는 산출구조를 설계한다.

셋째, 「실현확률 추정모형」에서는 시스템대체안의 ‘독립적 실현확률’ 및 ‘조건부 실현확률’을 추정할 수 있는 산출구조를 설계한다.

넷째, 「우선순위 결정모형」에서는 전술한 두 개의 모형, 즉 상호영향 추정모형과 실현확률 추정모형의 구조를 통합하여 계획시스템대체안에 대한 우선순위의 결정구조를 설계한다.

이상에서와 같은 「CISAT」의 개념모형을 설계해나가는 모형완성의 구성절차는 아래와 같이 5단계로 전개된다.

<단계 1> 시나리오를 작성하여 의사결정모형의 계층을 구성하는 작업으로, 최상위의 목적과 의사결정의 상황에 부합하는 다계층에 걸친 다수의 기준 그리고 최하위에 배열되는 다수의 단말시스템을 설정하는 제 1차적 주요단계이다.

<단계 2> 의사결정 계층별로 항목간의 ‘쌍대 비교(Pair-wise Comparison)’의 판단을 행한 후, 각 중요도 가중치를 산출한다. 동시에 부분시스템레벨에 대해서는 부분시스템 각각의 독립적 실현확률 곧, 초기확률과 더불어 타 부분시스템으로부터의 영향을 고려한 각 부분시스템의 조건부 실현확률을 추정한다.

<단계 3> 각 부분시스템의 실현/비실현의 경우를 가정하고, 각각의 경우에 따른 시스템대체안 간의 쌍대비교판단을 행하여 그 중요도의 가중치를 산출한다.

<단계 4> 실현/비실현의 중요도 가중치와 독립적 및 조건부의 실현확률을 바탕으로 시뮬레

이션수법을 구사하여 부분시스템에 대한 상호영향의 중요도 가중치를 도출한다.

<단계 5> <단계 2>에서 산출한 각 기능의 중요도 가중치와 <단계 4>에서 도출한 각 부분시스템의 상호영향 중요도 가중치를 곱하여 ‘CIDR(Cross-impact type Integrated Direct Relevance)’을 도출하고, 단말부분시스템의 조합으로 구성된 계획시스템대체안의 ‘CISPI(Cross Impact System Priority Index)’를 도출한다. 이 상호영향 대체안의 ‘CISPI’값으로부터 최종적 우선순위를 결정한다.

## 4. 구조모형의 설계

### 4.1 의사결정 계층모형

R&D프로젝트의 목표가 확정된 후, 그 목표를 달성하기 위한 계획시스템을 설계함에 있어서, ‘현재의 기술수준(State of the Art)’과 아직 극복되고 있지 않는 ‘기술적 결함(Technical Deficiency)’이 명확히 되면, 그것을 해결하기 위한 여러 가지의 시스템구성을 검토하게 된다.

그러나 현재까지 개발되어 보유하고 있는 기술을 장래에 연장하는 탐색적 기술예측의 원리를 구사하여 어떤 특정의 기능이나 파라메타에 관한 약간의 정보는 얻을 수 있으나, 계획시스템이 갖는 포괄적인 미래의 가능성에 대한 정보는 구할 수 없다. 그러므로, 계획시스템을 구상함에 있어서는 먼저 목표를 분명히 확정해야 계획시스템이 갖추어야 할 필요충분한 제기능을 규정할 수 있다.

다음에 각각의 기능에 대하여 현재의 기술수준을 고려하고, 탐색적 기술예측의 원리를 구사하면서 그 기능을 만족하는 부분시스템대체안을 생각할 수 있는 만큼 열거한다. 더욱이 각 부분시스템을 정확히 설정한 후, 부분시스템이 가져야 할 제기능을 규정한다. 이와 같은 작업을 반복함으로써 계획시스템을 순차적으로 하위부분시스템까지 ‘수목구조상(Tree Structure)’으로 전개시켜 나간다. <그림 1>은 이러한 구성과정을 제시하고 있다.

본 논문에서는 다음과 같은 세 개의 기본단계를 근거로 하여 「CISAT」의 구조를 전개시켜 나간다.

<단계 1> 시나리오를 작성하고, 목표달성에 공헌할 것으로 보이는 기술분야를 전부 도출한다. 나아가 이 목표가 달성된 단계에서 그들 기술이 갖고 올 발전가능성을 고려한 장래의 사회환경을 기술적으로 묘사한다. 이 시나리오를 기초로 시스템을 구체적으로 정의하며 무엇보다 계획시스템이 갖추어야 할 필요충분한 기능을 상호독립이 되도록 도출한다.

<단계 2> 계획시스템의 주요기능이 도출되면 이들 주요기능을 만족시키는 부분시스템대체안을 설정한다.

이와 같은 절차를 반복하며 계획시스템을 수목상으로 전개하는 「SAT」를 작성한다. 여기서, 기능적 요소를 나열시키는 단계를 ‘기능계층(Function level)’, 부분시스템대체안을 병렬시키는 단계를 ‘시스템계층(System level)’이라고 정의한다.

이처럼 기능레벨과 시스템레벨을 계층별로 ‘분화(Decomposition)’시킴으로써 「SAT」가 갖는 각 요소의 의미를 명확히 한다. 즉, <그림 1>에서처럼 기능레벨, 시스템레벨의 반복 분화과정을

갖는 부분계획시스템대체에서 기능을 결정한다고 하는 규범적 성분과 다시 그 기능을 충족시키는 부분시스템대체안을 결정하는 탐색적 성분에 의한 피드백기술예측의 논리, 즉 ‘N/E 전개원리’에 의해 설계되는 것이다.

<단계 3> 계획시스템(또는 하나의 부분시스템)과 하위기능간의 결합관계는 ‘Inclusive And’의 논리체계를, 이의 하위부분시스템 대체안 간의 결합관계는 ‘Exclusive Or’의 논리체계를 각각 적용하여 계획시스템대체안을 구성하는 체계를 전개시킨다.

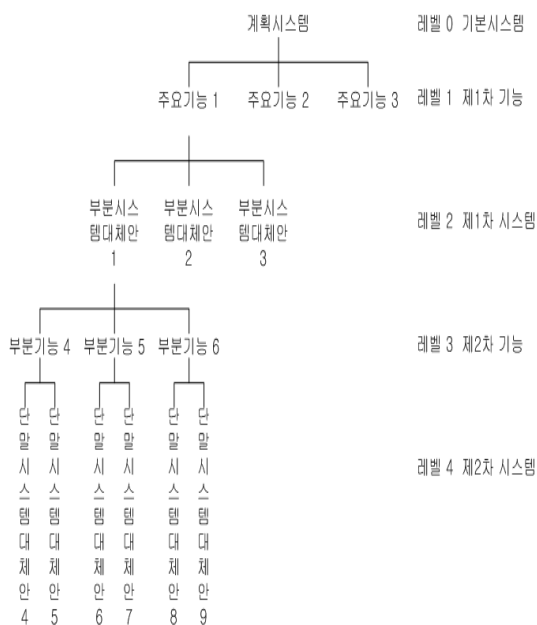
### 4.2 상호영향 추정모형

「의사결정 계층모형」에서 의사결정의 상황에 부합하는 기준과 대체안이 계층적으로 설정된 후, 의사결정계층 상의 시스템레벨이 갖는 속성은 대상기술이 된다. 여기서, 그들 간에 독립적인 관계가 아닌 ‘촉진’ 또는 ‘저해’라는 형태로 상호영향을 미치는 관계일 경우, 각 부분시스템레벨에서 미래시점에서의 ‘실현’ 또는 ‘비실현’에 따라 부분시스템들의 상대적 중요도는 달라지게 되고, 그에 따라 계획시스템대체안의 상대적 중요도 또한 달라지게 되는 것이다.

이러한 관점에서, 각 부분시스템이 실현되었을 때, 또는 실현되지 않았을 때, 발생하는 부분시스템 간의 상호영향을 추정하여 각 기술대체안의 상대적 가중치를 산정하고자 하는 논리는 합당하다 하겠다.

특정 상위기준 하에서, 각 부분시스템이 실현된다고 가정할 때, 부분시스템 간의 중요도에 대한 쌍대비교행렬을 ‘실현 쌍대비교행렬’로 규정하고 그 값을 추정함과 동시에, 각 부분시스템이 실현되지 않는다고 가정할 때 부분시스템간의 중요도에 대한 쌍대비교행렬을 ‘비실현 쌍대비교행렬’로 규정하고 그 값을 추정하도록 한다.

이렇게 추정된 ‘실현 쌍대비교행렬’과 ‘비실현 쌍대비교행렬’로부터 「고유치방법(Eigenvalue Method)」을 이용하여 각 부분시스템이 갖는 중요도의 가중치를 산정하게 되는데, 이를 ‘실현 중요도 가중치’와 ‘비실현 중요도 가중치’로 구분하고, 이들을 각각 하나의 중요도 가중치 행



<그림 1> SAT의 구성도

렬로 통합한다.

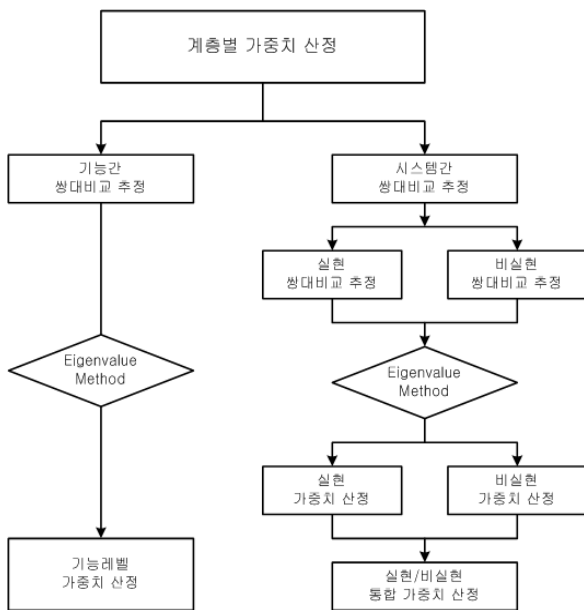
이와 같이 부분시스템 간에 상호영향이 있을 때, 부분시스템의 실현 또는 비실현에 따른 상호영향을 추정하여 통합 중요도 가중치를 산정하기 위한 「상호영향 추정모형」은 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다.

<그림 2>에서 제시한 「상호영향 추정모형」이 갖는 구체적인 수행절차 및 알고리즘은 다음의 4단계 구성체로 설계된다.

<단계 1> 계층별 쌍대비교행렬의 추정과 상대적 중요도의 가중치 산정

인접한 상위기능에 대한 하위시스템의 쌍대비교행렬을 작성하여, 상위수준에 대한 하위수준의 상대적 중요도의 가중치를 산정한다.

이를 위하여 먼저, 각 계층별 쌍대비교행렬 A를 추정하도록 한다.



<그림 2> 상호영향 추정모형

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

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

여기서, 「고유치방법」을 사용하여 의사결정 요소들의 상대적인 중요도 가중치를 산정하는데, 한 계층내에서 존재하는 m개의 의사결정 요소를  $h_l(l = 1, 2, \dots, m)$ 이라 하고, 비교대상이 되는 m개 요소의 가중치를  $w_l$ 이라 하면, 총가중치의 집합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[h_1, h_2, \dots, h_l, \dots, h_m] = [w_1, w_2, \dots, w_l, \dots, w_m] \quad (\text{식 1})$$

A. 기능계층의 중요도 가중치 추정

각 기능레벨에 상응하는 평가기준을 설정한 후, 각 계층별로 3단계의 「AHP」를 적용하고, 쌍대비교를 행하여 각 기능에 대한 중요도의 가중치를 추정한다.

B. 시스템계층의 중요도 가중치 추정

각 시스템레벨에 대응하는 평가기준을 설정한 후, 각 계층별로 3단계의 「AHP」를 적용하고, 쌍대비교를 행하여 각 부분시스템에 대한 중요도 가중치를 추정한다.

<단계 2> 실현 쌍대비교행렬의 추정과 상대적 중요도의 산정

인접한 상위기준하에서 상호작용하는 부분시스템  $x_k(k = 1, 2, \dots, n)$ 가 실현될 경우, 부분시스템 간의 상호영향을 고려한 쌍대비교행렬을 추정하고, 상위기준에 대한 부분시스템의 상대적 중요도를 산정하여 실현 가중치행렬을 구한다.

(a) 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 부분시스템  $x_k$ 의 실현을 가정할 경우, 부분시스템  $j$ 에 대한 부분시스템  $i$ 의 상대적 중요도를 의미하며, 행렬요소는 역수성을 유지하면서 대각원소는 1이 부여되도록 한다.

「고유치방법」에 의하여 특정 평가기준 하에서의 부분시스템의 상대적 중요도를 산정한다. 여기서 부분시스템  $x_k$ 이 실현되었을 때, 부분시스템  $x_k$ 의 가중치를  $x_k w_i$ 라 하고, 그 부분시스템  $x_k$ 의 실현 가중치행렬을  $X_k W$ 로 나타낸다.

(b)  $x_k$ 의 실현 가중치행렬

$$X_k W = \begin{bmatrix} x_k w_1 \\ x_k w_2 \\ \vdots \\ x_k w_j \\ \vdots \\ x_k w_n \end{bmatrix}$$

$k - 1$ 개의 나머지 부분시스템에 대해서도 이와 같은 과정을 순차적으로 수행하여, 실현 쌍대 비교행렬과 실현 가중치행렬을 각각 구한다.

<단계 3> 비실현 쌍대비교행렬의 추정과 상대적 중요도의 가중치 산정

인접한 상위기준(평가기준)하에서 상호작용하는 각 부분시스템  $x_k$ 가 미래의 일정시점까지 실현되지 않을 경우, 부분시스템간의 상호영향을 고려한 쌍대비교판단을 행하여 비실현 쌍대 비교행렬을 추정하고, 그 부분시스템의 상대적 중요도를 산정하여 비실현 가중치행렬을 구한다.

먼저, 부분시스템  $x_k$ 가 실현되지 않는다고 상정하고, 각 부분시스템별 평가기준에 대한 부분시스템의 중요도를 9점척도로 쌍대비교하여 비실현 쌍대비교행렬  $\overline{X}_k$ 를 구한다.

(a) 비실현 쌍대비교행렬

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

$$\text{단, } \overline{x_k a}_{ij} = 1 / \overline{x_k a}_{ji}, \overline{x_k a}_{ii} = 1, \forall i$$

이는 부분시스템  $x_k$ 의 비실현을 가정할 경우에 부분시스템  $j$ 에 대한 부분시스템  $i$ 의 상대적 중요도를 의미하며, 행렬요소는 역수성을 유지하면서 대각원소는 1이 부여되도록 한다.

「고유치방법」에 의하여 특정 상위기준 하에서의 부분시스템의 상대적 중요도를 산정하는데, 부분시스템  $x_k$ 가 실현되지 않을 때, 부분시스템  $x_k$ 의 가중치를  $\overline{x_k w}_i$ 라 하고, 그 때의 부분시스템  $x_k$ 의 비실현 가중치행렬을  $\overline{X}_k W$ 로 나타낸다.

(b)  $x_k$ 의 비실현 가중치행렬

$$\overline{X}_k W = \begin{bmatrix} \overline{x_k w}_1 \\ \overline{x_k w}_2 \\ \vdots \\ \overline{x_k w}_j \\ \vdots \\ \overline{x_k w}_n \end{bmatrix}$$

$k - 1$ 개의 나머지 부분시스템에 대해서도 이와 같은 과정을 순차적으로 수행하여, 실현 쌍대 비교행렬과 실현 가중치행렬을 각각 구한다.

<단계 4> 실현/비실현 통합가중치의 추정

<단계 2>와 <단계 3>에서 구한 부분시스템  $x_k$ 의 실현 가중치행렬  $X_k W$ 와 비실현 가중치행렬  $\overline{X}_k W$ 를 2종의 가중치행렬  $XW$ 와  $\overline{X}W$ 로 통합한다(단, 각 행렬 상단의 요소는 해당요소의 실현 및 비실현을 의미).

(a) 실현가중치 통합행렬

$$XW = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \cdots & x_k & \cdots & x_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_1 w_{11} & x_2 w_{11} & \cdots & x_k w_{11} & \cdots & x_n w_{11} \\ x_1 w_{21} & x_2 w_{21} & \cdots & x_k w_{21} & \cdots & x_n w_{21} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_1 w_{i1} & x_2 w_{i1} & \cdots & x_k w_{i1} & \cdots & x_n w_{i1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_1 w_{n1} & x_2 w_{n1} & \cdots & x_k w_{n1} & \cdots & x_n w_{n1} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(b) 비실현가중치 통합행렬

$$\bar{X}W = \begin{matrix} & \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \cdots & \bar{x}_k & \cdots & \bar{x}_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \bar{x}_1 w_{11} & \bar{x}_2 w_{11} & \cdots & \bar{x}_k w_{11} & \cdots & \bar{x}_n w_{11} \\ \bar{x}_1 w_{21} & \bar{x}_2 w_{21} & \cdots & \bar{x}_k w_{21} & \cdots & \bar{x}_n w_{21} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \bar{x}_1 w_{i1} & \bar{x}_2 w_{i1} & \cdots & \bar{x}_k w_{i1} & \cdots & \bar{x}_n w_{i1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \bar{x}_1 w_{n1} & \bar{x}_2 w_{n1} & \cdots & \bar{x}_k w_{n1} & \cdots & \bar{x}_n w_{n1} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

이상에서와 같은 수행절차와 추정알고리즘을 통하여 기능레벨의 가중치 추정과 그에 따른 부분시스템레벨에 대한 상호영향 추정모형이 완성된다.

### 4.3 실현확률 추정모형

기술대체안의 우선순위를 결정하는 의사결정의 문제일 경우, 최종대체안이 되는 R&D의 대상기술이 궁극적으로 달성코자하는 미래시점에서의 성공가능성에 대한 구체적인 예측자료가 요구된다. 이는 특정기술의 실현 또는 비실현 여부에 따라 기술군 상호 간의 중요도가 달라질 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 기술 간의 상호영향을 다각도로 고려하여 기술의 실현확률을 추정하기 위하여 개발된 「CIA」 모형[2, 6, 9, 14, 15]을 이용하여 기술대체안의 실현확률을 추정하도록 한다.

상호작용하는 기술의 실현확률을 추정하기 위해서는 2종의 예측자료가 요구된다. 즉, 기술들 상호 간의 영향을 고려하지 않고 이들 간의

독립성을 전제로 추정된 결과인 초기확률과 이들 상호 간의 영향을 고려하여 연관성을 전제로 추정된 조건부확률이 그것이다.

여기서는, 조건부확률을 예측대상이 되는 전체 기술대체안들 중에서 임의의 한 대체안이 실현된 경우에 나머지 대체안들이 실현될 확률인 실현 조건부확률과 임의의 한 대체안이 실현되지 않을 경우에 나머지 대체안들이 실현될 확률인 비실현 조건부확률로 2분하기로 한다.

이러한 대체안의 초기 실현확률과 조건부 실현확률을 추정해내는 방법은 델파이법과 유사한 절차(Delphi-like Procedure)에 따라 전문가가자의 함의를 도출해내는 방식을 기본틀로 하여 각 평가자의 실현확률에 따라 시뮬레이션을 실시하도록 한다.

여기서, 무엇보다 중요한 것은 예측의 결과가 초기확률보다 조건부 확률에 따라 크게 달라지기 때문에 조건부확률에 대한 보다 정확한 추정이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 「Sage의 추정법」[16]을 이용하기로 하는데, 이는 각 조건부 실현 및 비실현행렬은 열 부분시스템의 실현 및 비실현 여부에 따라 행 부분시스템의 실현확률을 추정하는 방식으로 여기서, 실현행렬의 대각선 원소는 1이 되며, 비실현행렬의 대각선 원소는 0이 된다.

이와 같이 부분시스템의 실현 및 비실현 확률을 추정하기 위한 「실현확률 추정모형」에서의 구체적인 수행절차와 추정알고리즘을 다음과 같이 설계하고자 한다.

먼저, 각 부분시스템의 상호영향을 고려하지 않은 독립적 실현확률인 초기 실현확률을 추정한다. 다음으로는 상호영향을 고려한 조건부 실현확률을 실현행렬과 비실현행렬로 나누어서 추정하는데, 전자는 열의 부분시스템이 실현된다고 가정할 때 행의 부분시스템이 실현될 확률을 추정하는 것이고, 후자는 열의 부분시스템이 실현되지 않는다고 가정할 때 행의 부분시스템이 실현될 확률을 추정하는 것이다.

결국, 실현확률 추정모형은 다음과 같은 3단계의 추정절차를 갖는 것으로 구성된다..

<표 1> 실현행렬

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	...	$P(2/n-1)$	$P(2/n)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_{n-1} = P_{n-1}$	$P(n-1/1)$	$P(n-1/2)$	...	1	$P(n-1/n)$
$x_n = P_n$	$P(n/1)$	$P(n/n-1)$	...	$P(n/2)$	1

<표 2> 비실현행렬

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

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

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

<단계 3> <표 2>에서처럼 특정 부분시스템의 비실현을 가정한 부분시스템의 조건부 비실현확률을 추정한다.

그런데, 앞에서 언급한 바처럼 부분시스템의 우선순위에 대한 최종결과가 조건부 확률값에 따라 크게 변하기 때문에, 초기확률보다는 부분시스템 간의 상호영향을 고려한 조건부확률의 추정이 매우 중요하다는 인식에 근거해서, 본 연구에서는 통계적으로 유의한 조건부확률의 범위를 구하는 「Sage의 추정방법」에 근거하여, 그 구조를 다음과 같이 설계하기로 한다.

A. 실현시 조건부확률의 추정

실현행렬의 대각원소는 부분시스템  $i$ 가 실현 되었을 때, 부분시스템  $j$ 가 실현될 확률이므로

항상 1이 된다.

대각선 상부에 전개되는 ‘상위역 조건부확률 (Conditional Probability above the Diagonal)’  $P(i | j)$ 의 범위는 실현된 부분시스템의 특성에 따라 크게 두 가지로 나누어진다.

(a) 촉진 내지 증가(Enhance or Increase)의 경우  
부분시스템  $j$ 의 실현이 부분시스템  $i$ 의 실현확률을 증가시킬 때, (식 2)와 같은 범위가 주어진다.

$$P(i) \leq P(i | j) \leq [P(i)/P(j)] \quad (\text{식 2})$$

단,  $P(i)$  : 부분시스템  $i$ 의 초기 독립 실현확률  
 $P(i | j)$  : 부분시스템  $j$ 의 실현시에 부분시스템  $i$ 의 조건부 실현확률

(b) 저해 내지 감소(Inhibit or Decrease)의 경우  
부분시스템  $j$ 의 실현이 부분시스템  $i$ 의 실현확률을 감소시킬 때, (식 3)과 같은 범위가 주어진다.

$$1 + \{[P(i)-1]/P(j)\} \leq P(i | j) \leq P(i) \quad (\text{식 3})$$

(식 3)의 계산값이 음수일 경우는 0으로 놓고, 1보다 큰 값일 경우는 1로 놓는다.

초기확률을 이용하여 (식 2), (식 3)과 같이 조건부확률의 범위를 산출한 후, 조건부확률의 대각선 상위역의 각 요소를 추정한다. 단, 확실한 근거 하에서 얻어진 추정치라면 계산된 범위를 벗어나는 추정치도 선택될 수 있다.

한편, 대각선 하부에 전개되는 ‘하위역 조건부확률(Conditional Probability below the Diagonal)’  $P(j|i)$ 는  $P(i|j)$ 가 (식 2), (식 3)에 설정된 범위에 있다면, (식 4)처럼 ‘베이저안 룰(Bayes' Rule)’을 이용하여 구할 수 있다.

$$P(j|i) = [P(i|j) / P(i)] P(j) \quad (\text{식 4})$$

즉,  $P(j|i) = \frac{P(j \cup i)}{P(i)} = \frac{P(i) P(j|i)}{P(i)}$  or  $\frac{P(j) P(i|j)}{P(i)}$

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

$P(i|\bar{j})$ 가 제한범위를 벗어나거나 베이저안 룰을 이용하여 계산된 추정치에 동의하지 않으면, 합리적인 값을 주관적으로 추정할 수도 있다.

#### B. 비실현시 조건부확률의 추정

한 부분시스템의 실현이 다른 부분시스템의 실현에 영향을 줄 수 있는 것처럼, 한 부분시스템의 비실현이 다른 부분시스템의 실현에 영향을 줄 수 있다는 가정 하에, 비실현행렬을 작성한다. 행렬의 대각원소는 부분시스템  $i$ 가 실현되지 않았을 때, 부분시스템  $i$ 가 실현될 확률이므로 항상 0이 된다.

(식 5)를 이용하여 비실현시의 조건부확률  $P(i|\bar{j})$ 을 구한다. 그러나, 다른 추정치에 대한 합리적인 근거가 있을 경우에는 그 때의 추정치를 이용할 수도 있다.

$$P(i|\bar{j}) = [P(i) - P(j)P(i|j)] / [1 - P(j)] \quad (\text{식 5})$$

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

(식 5)의 계산값이 음수일 경우는 0으로 놓고, 1보다 큰 값일 경우는 1로 놓는다.

실현행렬<표 1>과 비실현행렬<표 2>의 모든 행렬원소가 (식 2) ~ (식 5)에 의해 계산된 결과와 동일하다면, 그 때의 초기확률과 조건부확률은 모두 ‘상호일관성(Mutually Consistent)’을 갖추게 된다.

#### 4.4 우선순위 결정모형

주요 R&D항목 끝, 주요 기술대체안을 선정하고자 하는 경우에는 이러한 상호영향이 계산된 대체안 가중치와 함께 기술대체안에 부여된 실현 또는 비실현 확률을 근거로 하여 궁극적으로는 대체안의 우선순위를 결정하는 모형을 설계하지 않으면 안된다.

이를 위하여 본 연구에서는 상호관련을 갖는 기술들의 실현시기(완성시기)를 예측하는 방법인 「CIA」의 시뮬레이션 절차에 따라 대체안의 실현/비실현 가중치의 변화를 실현/비실현 가중치행렬에서 계산하게 되는데, 본 모형의 전개는 아래의 설계논리에 근거한 것이다.

(1) 먼저, 「상호영향 추정모형」에서 산정된 초기의 실현 및 비실현 가중치행렬과 「실현확률 추정모형」에서 추정된 초기 및 조건부의 실현확률을 결합함으로써 상호영향을 고려한 부분시스템의 가중치를 도출한다.

(2) 그리고 1회의 시뮬레이션을 시행한 후, 각 부분시스템의 실현/비실현의 조합에 따라 부분시스템의 실현/비실현 가중치행렬의 조합이 결정된다. 그 행렬조합을 산술평균하여 기술의 상호영향을 고려한 가중치를 구한다. 그 가중치는 1회 시뮬레이션의 결과이다. 이러한 절차를 일정횟수 이상 반복 수행하면 특정값으로 수렴하게 되는데, 그 조합의 변화값을 산술평균함으로써 상호영향 부분시스템의 가중치를 도출한다.

(3) 「상호영향 추정모형」에서 산정된 기능레벨의 중요도 가중치와 (2)에서 도출된 상호영향 부분시스템의 가중치를 수직방향으로 승산

하여 '상호영향 IDR(Cross-impact type Integrated Direct Relevance)'값 곧 'CIDR'을 산출하고, 단말부분시스템대체안들이 갖는 'CIDR'값의 합에 의해서 계획시스템대체안의 'CISPI'를 산출한다.

(4) 상위목표에 대한 기준들의 가중치와 상호영향 대체안의 'CISPI'를 종합적으로 검토하여 최종 상호영향 대체안들의 우선순위를 결정한다.

「우선순위 결정모형」에서 최종적인 계획대체안의 우선순위를 결정하기 위한 부분시스템의 실현 또는 비실현 가중치를 산출하는 작업은 아래와 같은 원리에 따라 설계된다.

(1) 먼저, 부분시스템의 실현여부에 따른 가중치의 변화를 포착하고자 각 부분시스템 중의 하나를 무작위로 선택하여 선택된 부분시스템의 초기확률과 0~1사이에서 발생된 난수를 비교한다.

발생된 난수가 초기확률보다 작거나 같으면 그 부분시스템은 실현된다고 보고, 그렇지 않으면 부분시스템은 실현되지 않는다고 본다. 여기서, 나머지 부분시스템의 초기확률은 먼저 선택된 부분시스템의 실현/비실현의 조건부확률로 대체된다.

(2) 나머지 부분시스템들 중의 하나를 다시 무작위로 선택하여 이러한 과정을 반복한다. 모든 부분시스템이 선택될 때까지 이상의 전 과정을 반복 시행하면 1회의 시뮬레이션이 끝나게 되고, 이를 일정 횟수만큼 반복 시행한다.

(3) 매번 시행될 때마다 각 부분시스템의 실현 또는 비실현을 체크한 후, 실현여부에 따라 실현/비실현 가중치행렬에서 실현시의 열벡터와 비실현시의 열벡터의 산술평균을 계산한다.

그 산술평균값을 1회 시뮬레이션한 상호영향 부분시스템의 가중치로 보고, 매회 구해지는 산술평균값을 시뮬레이션한 만큼 다시 산술평균하면 최종 상호영향을 고려한 부분시스템 가중

치가 산출되는 것이다.

이러한 원리에 따라 이루어지는 우선순위의 결정방식을 실질적으로 적용하기 위한 알고리즘을 다음의 8단계로 제시한다.

<단계 1>  $k$ 개 부분시스템  $x_k$  중의 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 부분시스템의 초기 실현확률  $P_i$ 을 비교하여 부분시스템의 실현여부를 결정하며, 이 때의 비교원리는 다음과 같다.

[ 비교원리 ]

$R_i \leq P_i \Rightarrow$  대체안 실현

$R_i > P_i \Rightarrow$  대체안 비실현

<단계 4> <단계 3>의 결과에 따라, 나머지 부분시스템의 초기 실현확률이 선택된 부분시스템의 조건부 실현확률로 대체된다.

<단계 5> 나머지 부분시스템에 대해서도 <단계 1> ~ <단계 4>의 과정을 반복 수행한다. 단, <단계 4>에서 바뀐 초기 실현확률과 새로 발생된 난수를 다시 비교하여 대체안의 실현여부를 결정한다.

<단계 6>  $k$ 개의 부분시스템이 모두 선택될 때까지 <단계 1> ~ <단계 5>의 과정을 반복 함으로써 1회의 시뮬레이션이 종료하는데, 이를 일정 횟수 이상 반복 시행한다.

<단계 7> 매회 시행 시에, 부분시스템  $x_k$ 의 실현여부에 따라, 실현 가중치행렬  $XW$ 의 열벡터인  $X_k W (k = 1, 2, \dots, n)$ 와 비실현 가중치행렬  $\bar{X}W$ 의 열벡터인  $\bar{X}_k W (k = 1, 2, \dots, n)$ 의 조합이 구성된다.

그 조합의 행벡터를 산술평균하여 1회 시뮬레이션 한 상호영향 부분시스템의 가중치로 규정한다. 매회 얻어지는 가중치 조합의 값을 다시 산술평균하여 최종적인 상호영향 부분시스템의 가중치를 산정한다.

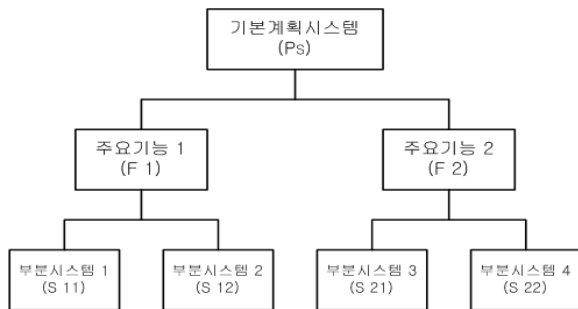
<단계 8> <단계 7>에서 구한 최종 상호영향 부분시스템 가중치에 기능레벨의 중요도 가중치를 부과한다. 즉, 두 가중치의 ‘승산구조’를 취함으로써 단말부분시스템의 ‘CIDR’을 얻게 되고, ‘CIDR’의 ‘가산구조’로부터 계획시스템대체안의 ‘CISPI’를 산정하게 된다.

여기서, 단말부분시스템의 ‘CIDR’산출과 계획시스템대체안의 ‘CISPI’ 결정알고리즘을 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

A. 상호영향 IDR의 결정알고리즘

「CISAT」의 각 요소에 대해서 산출된 중요도 가중치를 사용하여, 각 요소의 전체에 대한 평점을 「CISAT」의 수직방향으로 승산하여 구하도록 한다.

이 평점이 ‘CIDR’이라고 정의되었는데, <그림 3>의 「CISAT」모형에 있어서 각 요소의 ‘CIDR’은 다음과 같이 계산된다.



<그림 3> 제 2차 제어레벨의 CISAT

$$CIDR(P_s) = 1.0$$

$$CIDR(F_1) = CIDR(P_s) \times F_1 \text{의 가중치}$$

$$CIDR(F_2) = CIDR(P_s) \times F_2 \text{의 가중치}$$

$$CIDR(S_{11}) = CIDR(F_1) \times S_{11} \text{의 상호영향 가중치}$$

$$CIDR(S_{12}) = CIDR(F_1) \times S_{12} \text{의 상호영향 가중치}$$

$$CIDR(S_{21}) = CIDR(F_2) \times S_{21} \text{의 상호영향 가중치}$$

$$CIDR(S_{22}) = CIDR(F_2) \times S_{22} \text{의 상호영향 가중치}$$

이와 같이, 「CISAT」에서 각 요소의 ‘CIDR’은 계획시스템으로부터 그 요소가 이르는 경로를 따라 상위요소의 ‘CIDR’과 쌍대비교에 의한

요소의 가중치를 곱하여 계산된다. 따라서 「CISAT」의 요소 k에 관한 ‘CIDR’의 논리식을 두 가지로 나누어 아래와 같이 전개한다.

(a) 주요기능레벨의 경우

$$CIDR_f(k) = \left( \prod_{m=1}^r CIW_s(m-1) \cdot PCW_f(m) \right) \tag{식 6}$$

(b) 부분시스템레벨의 경우

$$CIDR_s(k) = \left( \prod_{m=1}^r CIW_s(m-1) \cdot PCW_f(m) \right) \cdot CIW_s(m) \tag{식 7}$$

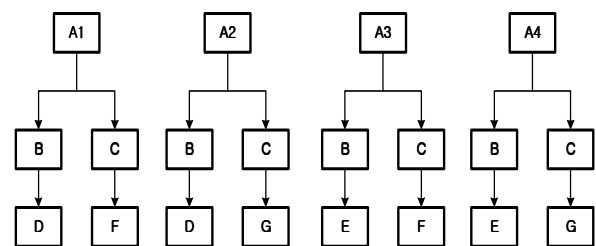
단, PCW ; Pair-wised Comparison Weight(주요기능레벨)

CIW ; Cross-impact Weight(부분시스템레벨)

여기서, 계획시스템의 중요도 가중치  $CIW_s(0)$ 는 1.0으로 하고,  $m(m = 1, 2, \dots, r)$ 은 기능 및 시스템의 차수 곧, 계층레벨의 수를 의미한다.

B. 상호영향 CISPI의 결정알고리즘

「CISAT」에서 도출된 계획시스템대체안에 우선순위를 부여하는 ‘CISPI’ 결정방식은 <그림 4>와 같은 4종의 계획시스템에 대하여 다음과 같이 산출된다.



<그림 4> 계획시스템대체안의 제형태

$$CISPI(A_1) = CIDR_s(D) + CIDR_s(F)$$

$$CISPI(A_2) = CIDR_s(D) + CIDR_s(G)$$

$$CISPI(A_3) = CIDR_s(B) + CIDR_s(F)$$

$$CISPI(A_4) = CIDR_s(B) + CIDR_s(G)$$

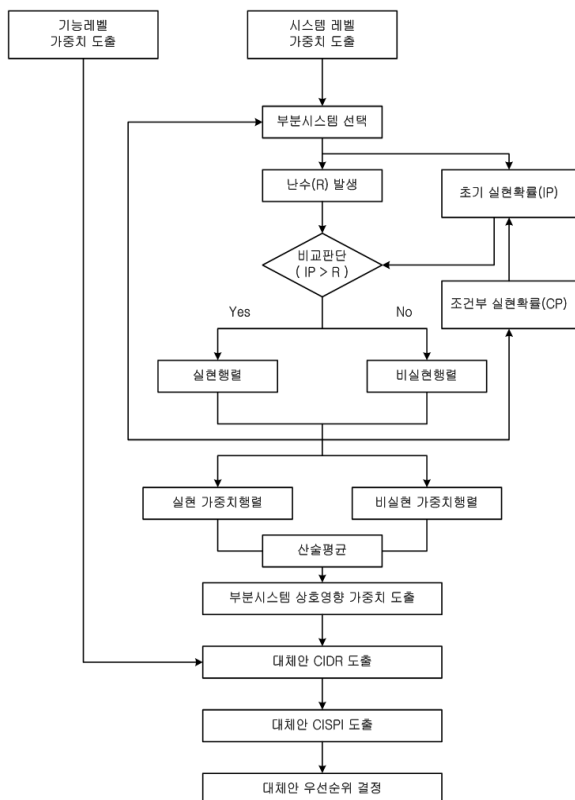
이와 같이, 'CISPI'는 「CISAT」에서 산출된 계획시스템대체안의 단말부분시스템(Terminal Subsystem)이 갖는 'CIDR'의 합으로 계산된다. 이를 수식으로 나타내면,

$$CISPI(P_s) = \sum_{i=1}^u Max\{CIDR_s(j)\} \quad j=1, 2, \dots, p \quad (\text{식 8})$$

(식 8)에서  $CIDR_s(j)$ 는 계획시스템대체안으로 선출된 단말부분시스템으로서,  $l(l=1, 2, \dots, u)$ 은 단말레벨에서 기능의 수가 된다.

이와 같은 과정을 통하여 산출된 'CISPI'는 「CISAT」에서 도출된 계획시스템대체안에 대한 우선순위를 부여하는 상대적 수치가 된다.

이상과 같은 절차에 따라 수행되는 계획시스템대체안의 우선순위 결정알고리즘을 도시하면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 우선순위 결정알고리즘

## 5. 결론

본 논문은 R&D과제를 수행함에 있어서, 최종 계획대체안들 간의 기술적 상호영향을 고려할 수 있는 R&D계획시스템대체안의 선정시스템을 구축하기 위한 「CISAT」모형을 설계한 연구이다.

R&D프로젝트의 계획단계에서 목표에 공헌할 가능성이 있는 기술, 그리고 현재까지 개발되어 있는 기술, 또한 아직 미해결의 결합기술 등을 전체의 계획시스템 내에 바르게 위치시키고, 기술적 종속성을 갖는 부분시스템들 간의 상호영향을 고려하여 계획시스템을 어떤 부분시스템들의 조합으로 전개시킨 후, 이들 계획시스템이 갖는 우선순위를 명확히 할 수 있는 새로운 모형을 개발한 것이 본 연구의 가장 큰 성과라 하겠다.

또한, 다수의 프로젝트 계획시스템대체안들에 대한 R&D실시의 우선순위를 결정하는 과정에 미래의 기술변동 상황을 고려하는 예측의 개념 및 절차를 도입함으로써 의사결정의 수준을 제고시켰다.

나아가 기존의 R&D프로젝트의 평가선정방법론에서는 다루지 못하고 있는 미래 상호영향 기술과제에 대한 평가선정작업을 계획단계에서 가능케 함으로써 프로젝트평가론의 새로운 장을 열었다고 하는 점도 본 연구가 갖는 중요한 의의라 하겠다.

끝으로, 본 연구모형의 설계과정에서 나타난 연구의 한계점과 금후의 과제를 제시함으로써 본 연구를 마감하고자 한다.

본 연구에서 개발한 「CISAT」모형은 R&D과제의 내부전개를 수목구조체로 고찰하는 구조를 취하기 때문에 대상 과제의 규모가 클수록 평가과정이 복잡해지는 단점을 안고 있다.

한편, 논리적, 수리적 측면에서 모형의 타당성을 확인했다 하겠으나, 금후 실제 현장에서의 사례분석을 통하여 구체적인 R&D과제에 대한 「CISAT」을 작성하고 그 유효성을 확인하는 후속연구가 과제로 남겨져 있다.

이러한 연구의 한계 및 과제를 금후 해결해 나감으로써 본 모형의 타당성과 유효성은 증대될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 권철신, 홍순욱, 조희준, “시스템대체안 수목 구조에 의한 R&D 기본계획시스템의 설계”, 대한산업공학회 추계학술대회논문집, 1989. 11.
- [2] 권철신, 조근태, 기술예측에의 적용을 위한 상호영향분석법의 이론적 고찰: 한계와 연구방향, 기술경영경제학회, 기술혁신연구 9 권 1호, 2001. 7.
- [3] 橋本六郎, “關聯樹木法(技術豫測 基礎講座 6)”, *技術と經濟*, No.208(1984), pp.120-126.
- [4] 橋本六郎, “關聯樹木法(技術豫測 基礎講座 7)”, *技術と經濟*, No.209(1984), pp.146-152.
- [5] 横瀬恭平, “PATTERNによる研究開發評價の分析”, *技術と經濟*, No.10(1973), pp.38-44.
- [6] Alarcon, L. F. & Ashley, D. B., “Project Management decision making using cross-impact analysis”, *International Journal of Project Management*, Vol.16, No.3, 1998.
- [7] Barbiroli, G., “Towards a definition and a dynamic measure of strategic technology”, *Technovation*, Vol.12, No.5(1992), pp.285-296.
- [8] Bright, J. R., “Practical Technology Forecasting - Concepts and Exercises”, *The Industrial Management Center, Inc.*(1978), pp.169-197.
- [9] Cho, Kuen Tae & C. S. Kwon, “Hierarchies with dependence of technological alternatives : A cross-impact hierarchy process”, *European Journal of Operational Research*, Vol.156, No.2, pp.420-432, 2004. 5.
- [10] Jantsch, E., “Technological forecasting in Perspective”, *OECD*(1968), pp.23-38.
- [11] Kwon, C. S., R&D Project Total Management System, Development Engineering Association, 1995.
- [12] Kwon, C. S. & H. J. Cho & S. U. Hong, “Design of R&D Planning System Based on the SAT Structure”, 한국경영과학회 추계학술대회발표논문집, 1989. 9.
- [13] Kwon, C. S. & K. T. Cho, “Forecasting the Impact of Time on the Completion Time of R&D Events, Decision Science Institute”, *Asia-Pacific DSI Conference Proceedings*, 1996. 6.
- [14] Kwon, C. S. & K. T. Cho, “Development of a New Cross Impact Model for Estimating the Impact of Time with Interdependency”, *ICC & IE, ICC & IE Proceedings*, 1996. 10.
- [15] Kwon, C. S. & K. T. Cho, “An Estimation Model for Completion Times Considering the Time Interval between Interdependent R&D Events.”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 33, NO. 3-4, 1997. 12
- [16] Sage, A. P. *Methodology for Large Scale Systems*, McGraw-Hill, 1977.
- [17] Sigford, J. V. & R. H. Parvin, “Project PATTERN - A Methodology for Determining Relevance in Complex Decision-Making”, *IEEE Trans. on EM*, Vol.12, No.1, Mar., 1965, pp.9-13.