

# 기술예측에의 적용을 위한 상호영향분석법의 이론적 고찰: 한계와 연구방향

조근태\* · 권철신\*\*

## 〈 목 차 〉

1. 서론
2. CIA의 원형
3. 주제별 분석
4. 결론

**Summary:** One of the systematic attempts for technological forecasting is Delphi Method that externalizes and manipulates unformalized experts opinion in a particular problem or subject. It has, however, a critical shortcoming that it can not reflect the degree of interaction that exists among forecast events or subject. Gordon and Hayward (1969) criticize that when the forecast events are strongly interrelated, a totally unrealistic consensus may result. They proposed a new forecasting method that considers the interaction of events, that is, Cross Impact Analysis (CIA). A number of related models have been developed after them. In this study, we examine a variety of research results related to CIA obtained by literature survey and propose the limitation and future research direction. This analysis would be expected to help us to create a strategic scenario on future technology development at the government and firm level.

## 1. 서론

지금까지 기술예측수법의 대부분은 어떤 기술이 언제 현실화될 것인가에 대한 성공시기를

\* 성균관대학교 시스템경영공학부 조교수 (e-mail : ktcho@yunim.skku.ac.kr)

\*\* 성균관대학교 시스템경영공학부 교수 (e-mail : cskwon@yunim.skku.ac.kr)

추정하기 위한 것들로서, 미래에 출현할 기술상호간에 존재하는 연관성 내지는 교호성의 문제가 엄밀하게 고려되지 못한다는 측면에서 비교적 단순한 모형들이었다. 따라서, 복잡한 기술항목 내지는 연구개발항목들의 미래행태를 예측하고자 할 때에는 먼저, 이들 항목들이 갖는 상호영향의 인과구조를 파악하고, 이 구조의 행태적 결과를 결정하는 일이 매우 중요하다.

R&D 항목간의 상호영향 (cross impact)에 관한 문제로서 이의 예측을 위한 적절한 이론적 인과구조의 틀이나, 이러한 틀 (framework)이 검증될 수 있는 충분한 자료를 확보하는 것이 중요한 문제이다. 지금까지 이러한 문제에 대처해 온 하나의 방법으로는, 특정시스템의 인과구조에 대한 'mental model'을 가지고 있는 각 기술분야에서의 전문가를 활용해 왔던 바, 이를 좀 더 체계화하고자 한 시도가 우편을 통한 질문서를 이용하여 사회적 압력을 최소화하면서 전문가집단으로부터 예측치를 추출하고자 하는 「델파이법」이었다.

미래예측의 한 방법으로서 Dalkey & Helmer (1963)에 의해 고안된 이 수법은 예측하고자 하는 문제에 대하여 전문가간에 내재하는 의견의 분산을 합리적으로 조정하여 하나의 근접한 의견으로 수렴시켜나가는 방법으로서, 참가자의 익명성 보장, 체계적 절차, 반복적 피드백과정 등 기존의 회의방법에 비해서는 여러가지 뛰어난 강점을 갖고 있다. 나아가, 특정분야 또는 특정기술이 아닌 과학기술 전문분야를 대상으로 예측을 행할 때는 관련분야 전문가들의 의견을 체계적으로 수렴해 나갈 수 있다는 점에서 유용한 방법으로 알려져 있다. 지난 1999년에 KISTEP과 STEPI가 공동으로 수행한 제2회 과학기술예측 (2000~2025)에서도 산업별로 미래기술의 실현시기를 예측할 때에 이 방법을 사용한 바 있다 (한국과학기술평가원·과학기술정책연구원, 1999). 그러나, 이 방법은 막대한 시간 및 노력의 요구, 참가자의 통찰력에 대한 무자극 등 많은 약점도 갖고 있으며, 무엇보다도 예측하고자 하는 다수의 항목들간에 존재하는 상호작용의 영향을 추정할 수 없다는 한계를 안고 있다.

그래서, Gordon & Hayward (1969)는 예측치를 얻고자 하는 대상항목이 상호관련이 있을 때, 「델파이법」으로는 결국 비현실적인 합의에 도달할 수 밖에 없다는 비판을 가하고, 이를 극복하기 위한 시도로서 항목간의 상호작용을 고려한 새로운 예측수법을 제안하였는데, 「상호영향 매트릭스법 (Cross Impact Matrix Method: CIM법)」이 바로 그것이다.

이 방법이 「델파이법」에 비하여 갖는 가장 큰 특징은 항목간의 종속성 (interdependency)을 예측과정에 적극적으로 반영한다는 점이다. 즉, 임의의 어떤 R&D항목이 완성된다면 그것이 다른 항목의 완성에 어떠한 영향 (촉진적, 억제적)을 주는 가를 정량적으로 파악하여, 그 값을 예측치 속에 포함시킨다고 하는 점이다. 그런데, 이러한 영향의 정도를 예측치에 반영하는 방식으로는 분석적 방법에 의존하는 것이 거의 불가능하기 때문에, 일반적으로는 컴퓨터를 이용한 「시뮬레이션 방식」을 구사한다.

Gordon모형의 개발 이후, 이에 관련하는 수많은 모형들이 등장했는데, 「상호영향분석(Cross Impact Analysis; CIA)」으로 통칭될 수 있는 이들 연구가 항목간의 상호영향을 고려하지 않은 「델파이법」을 비롯한 많은 수법들에 비하여 상술한 특징적 장점을 갖고 있는 반면에, 과도한 입력자료의 요구, 예측결과의 검증불능, 확률추정치의 일관성 결여 등 여러가지 해결해야 할 문제도 안고 있다.

본 연구는 기술의 실현시기를 예측할 때에 Delphi법에 의존하는 기존의 연구방법에서 탈피하여 보다 정밀한 예측수법으로서의 상호영향분석법의 적극적 활용 차원에서 기존의 CIA 연구들을 광범위하게 조사하여 주제별로 정리하고, 그 한계와 추후연구방향을 제시하는 것에 목적을 둔다.

따라서, 본 연구에서는 먼저, Gordon & Hayward가 처음 개발한 「CIM법」에 대하여 그 구체적인 내용을 고찰한다. 나아가, 「CIM법」과 관련한 제연구들 즉, 그동안 「CIA」가 어떤 주제를 갖고, 어떤 방법으로 접근하여 왔는지에 대해서 연구주제별로 기존문헌을 고찰한다. 마지막으로 기존의 CIA연구들의 한계를 검토하고, 추후 연구의 방향을 제시한다.

## 2. CIA의 원형

동태적인 탐색적·시스템적 수법체계에 속하는 「상호영향행렬(Cross Impact Matrix ; CIM)법」은 Gordon 과 Hayward가 1969년에 처음 개발한 기술예측의 한 수법으로서, 「상호영향분석법(Cross Impact Analysis ; CIA)」, 또는 「상호영향기법(Cross Impact Technique ; CIT)」과 유사한 개념으로 혼용되고 있다.

그런데, Gordon이 개발한 초기의 「CIM법」이 기본형이 되어, 이에 대한 비판 및 보완을 행한 많은 연구들이 등장했는데, 이러한 후속연구들에서는 「CIM법」이라는 용어보다는 대체로 「CIA」라는 용어를 쓰고 있다.

본 연구에서는 이러한 배경을 감안하여 Gordon의 「CIM법」과 「CIM법」을 개량해 나간 많은 후속연구에서의 「CIA」와 가능한 구분하여 사용하도록 하며 특히, 「CIM」이란 용어는 「CIM법」이라고 하는 수법이 아니라 상호영향행렬 곧, 상호영향매트릭스 그 자체를 나타낼 때 사용하는 것으로 한다.

이들 방법은 예측항목간에 존재하는 상호관계를 무시하는 직관적 기술예측수법의 하나인 「델파이법」의 문제점을 개선하기 위하여 고안된 것으로서, 한 항목의 발생확률을 예측하거나 다른 예측항목과의 사이에 존재하는 상호작용에 대한 판단을 행하고 그 판단에 비추어서 지금 예측하고자 하는 항목의 발생확률에 대하여 수정을 가하는 방법이다. 즉, 조건부확률을

구하고자 하는 것이다.

여기서, 항목간의 상호작용효과를 고려해야 하는 이유는 다음의 3가지로 요약될 수 있다.

(1) 어떤 영역의 진보는 다른 영역의 진보와 상관성이 있기 때문에 다른 영역의 진보를 촉진시키기도, 억제하기도 하여, 다른 영역의 문제에 대하여 예기치 않은 해답을 주는 일이 빈번히 발생한다는 점.

(2) 여러 항목의 진보가 함께 이루어지면 각 항목의 진보의 부분합보다 더 큰 새로운 전체가 될 수도 있으며, 또 예기치 않은 혁신을 초래할 수도 있다는 점.

(3) 예측하고자 하는 대상항목군은 서로 배타적인 항목을 포함하고 있을 수 있고 어떤 사상이 일어날 기회는 다른 사상의 발생 또는 비발생에 의해서 강해지는 항목을 포함하고 있을 수도 있다는 점이다.

「CIM법」에서는 이러한 상호작용의 효과를 고려하기 위하여 다음과 같은 세가지 요소를 설정한다.

(1) 관련의 정도 (모드)

상호관련의 여부와 정도를 모드라 하며, 이는 무관계 (—), 촉진 (↑), 억제 (↓) 등 3종류의 형태가 있다.

「촉진관련」은 처음 항목이 발생함에 따라 제2항목의 발생확률이 개선되는 관련으로서, 이러한 관련은 다음의 두가지 메커니즘에 의해 발생하는 것으로 본다.

① Enabling형 : 항목  $D_m$ 의 발생에 따라 항목  $D_n$ 이 쉽게 실현되는 경우 또는  $D_n$ 이 실용적이 되는 경우.

② Provoking형 :  $D_m$ 의 발생에 따라  $D_n$ 의 실현을 위한 노력이 요구되는 경우,  $D_n$ 이 실현되면  $D_m$ 이 유효하게 사용되기 때문인 경우, 그리고 치료나 방지의 목적으로  $D_n$ 의 실현이 시급해지는 경우.

「억제관련」은 처음의 항목이 발생함에 따라 다음 항목의 발생확률이 감소하는 경우로서, 이것 또한 다음의 두가지 메커니즘에 기인한다.

① Denigrating형 :  $D_m$ 의 발생에 의해  $D_n$ 의 실현이 어렵게 되는 경우 또는 실현되어도 비실용적이 되고 마는 경우.

② Antagonistic형 :  $D_m$ 의 발생에 의해  $D_n$ 이 유효하게 사용되도록 또는 치료나 방지의 목적으로  $D_n$ 이 실현되지 않도록 노력이 요구되는 경우.

이러한 개념은 <표 1>과 같이 적어도 두개 항목간의 관계를 나타내는 모드에 대한 모형을 세울 수 있기 때문에 그 의미가 매우 크다.

<표 1> 예측항목간의 상호영향의 예

항 목	D1	D2	D3	D4
D1	×	—	—	↑
D2	↑	×	—	↑
D3	—	—	×	—
D4	—	↓	—	×

(2) 관련의 강도

이는  $D_m$ 의 발생이  $D_n$ 의 발생확률에 미치는 상대적 효과를 나타낸다.

(3) 시간의 정도

시간효과는  $D_m$ 이 발생한 경우,  $D_n$ 의 발생확률에 변화가 생기는데 필요한 시간을 의미한다.

이제 한 예로서, 예측항목을  $D_1, D_2, \dots, D_m, \dots, D_n$ 이라 하고, 각 항목의 발생확률을  $P_1, P_2, \dots, P_m, \dots, P_n$ 이라고 하자. 그러면, 초기확률과 「상호영향 (Cross Impact: CI)」을 고려한 후의 조건부확률간에는 식(1)과 같은 관계가 성립한다.

$$P_n' = f(P_n, M, S, t_m, t) \quad (1)$$

단,  $P_n$  :  $D_m$  이 일어나지 않을 경우의  $D_n$ 의 발생확률

$P_n'$  :  $D_m$ 이 일어난 후의  $D_n$ 의 발생확률

$M$  : 관련 모드(상호관계의 방법)의 파라미터

$S$  : 관련의 강도

$t_m$  :  $D_m$ 의 발생시기

$t$  : 예측하고자 하는 장래의 시기

만일  $P_n$ 과  $P_n'$ 의 관계를 2차식으로 가정하면, 식(2)와 같은 형태를 갖는다.

$$P_n' = a P_n^2 + b P_n + c \quad (2)$$

여기서,  $P_n = 0$ 이면,  $P_n' = 0$ 이고,  $P_n = 1$ 이면,  $P_n' = 1$ 이기 때문에 식(2)는 식(3)이 된다.

$$P_n' = a P_n^2 + (1-a)P_n \quad (3)$$

그리고,  $a$ 의 값은 역제의 경우  $0 < a < 1$ , 축진의 경우  $-1 < a < 0$ 이 되며,  $t_m, t, S$ 와  $a$ 간의 관계는 식(4)에서와 같은 선형관계로 가정한다.

$$a = kS \frac{t - t_m}{t} \quad (4)$$

단,  $k$ 는 모드에 의해 결정되고 (-1)이나 (+1)을 갖는다.

$S$ 는 관련의 강도를 나타냄.

$0 < S < 1$ 이 되고 값이 적을수록 약한 관계를 나타냄.

$S = 0$ 는 두 항목이 무관계임을 나타냄.

마지막으로, 식(4)를 식(3)에 대입하면, 식(5)와 같이 최종확률  $P_n'$ 를 구할 수 있다.

$$P_n' = kS \frac{t - t_m}{t} P_n + [1 - kS \frac{t - t_m}{t}] P_n \quad (5)$$

이러한  $P_n'$ 값을 결정하기 위한 절차를 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

<단계 1> 상호영향을 고려하지 않은 초기확률  $P_j$  및  $P_{j|i}$ 를 추정한다.

$$\text{즉, } P_{j|i} = P_j + \Delta P_{j|i} \quad (6)$$

단,  $\Delta P_{j|i}$ 는 양의 경우도, 음의 경우도 있을 수 있다.

$$\Delta P_{j|i} \neq \Delta P_{i|j}$$

이와 같이 하여 「초기확률표 (Initial Probability Table; IPT)」를 만든다.

<단계 2> 각 항목에 대하여 상호영향매트릭스 (CIM)을 만든다.

<단계 3> 시뮬레이션을 행하고 그 결과를 <표 2>와 같은 「성공실패표 (Success Failure Table ; SFT)」에 기입한다. 시뮬레이션은 우선 항목  $D$ 중에서 난수표를 이용하여 무작위하게 하나를 선택하고 확률  $P_i$ 에서 발생할 확률을 모의한다.

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

<표 2> 성공실패표 (SFT)

개별항목	반복번호	합	최종확률
	1 2 3 . . . . . 1000		
D <sub>1</sub>	0 1 1 . . . . .	$\sum S_1$	$\sum S_1/1000$
D <sub>2</sub>	1 1 1 . . . . .	$\sum S_2$	$\sum S_2/1000$
D <sub>3</sub>	1 1 0 . . . . .	$\sum S_3$	$\sum S_3/1000$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
D <sub>n</sub>	. . . . .	$\sum S_n$	$\sum S_n/1000$

<단계 4> 확률표로부터 D<sub>i</sub>행을 제거하고 <단계 2>로 되돌아간다. 이러한 반복을 확률 표로부터 항목이 없어지기까지 즉, 전체항목이 시뮬레이션의 결과, 성공이나 실패가 결정되기까지 수행한다. 그 결과, 「SFT」의 제 1 열째의 각 행은 1이거나 0이 된다.

<단계 5> 여기서 <단계 1>로 되돌아 가서 <단계 1>부터 <단계 4>까지의 프로세스를 N회 반복한다(보통 N = 1000 이상 즉, 1000회 이상 반복한다).

<단계 6> 「SFT」의 가로합 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ..., S<sub>n</sub>을 구하고 이 값을 N으로 나누면 이 값이 각 항목의 최종확률이 된다.

Gordon 등은 식(5)의 타당성을 검증하기 위하여 미사일 예측에 있어서의 「CIM법」의 예(예측시기 1950년)를 제시하였다. 즉, 1950년의 시점으로 거슬러 올라가 그 시점에서의 지식에 근거하여 미사일의 개발에 관련한 28항목에 대하여 「CIM법」을 적용하여 각각의 실현확률을 추정하였다.

검증과정은 다음과 같은 절차를 따라 「Monte Carlo Simulation」을 이용하여 Computer Simulation을 1000회 정도 실시하였다.

(1) 식(5)를 프로그램하여 28×28의 항목간의 각 쌍에 대한 모드, 강도, 시간 등을 입력한다.

(2) 컴퓨터는 우선, 선행항목 중에서 무작위로 한개의 항목을 뽑아서 난수를 이용하여 그 항목이 실현되는지의 여부를 결정한다.

(3) 만일, 실현된다고 나오는 경우에는 남아있는 다른 항목의 실현확률을 수정하고 다음 항목을 선택한다.

(4) 이 과정을 전체항목의 실현여부가 결정될 때까지 반복한다.

Gordon 등이 제시한 이 「CIM법」은 먼저, 상호작용 전부의 모드를 조직적으로 기술하든

가 이들 상호작용의 강도를 평가하는 일이 비교적 복잡하지만 방법론적으로는 매우 중요하다. 왜냐하면, 이들의 기술 내지는 척도를 명확히 함으로써 새로운 통찰력을 제공하고 예측의 정확도를 높일 수 있기 때문이다.

또한, 이러한 상호영향의 일반적인 이론이 완성되면 항목간의 과급효과를 상세히 조사할 수 있다. 마지막으로, 이 방법은 보다 적은 투자에 의해 목표에 달성하는 수단을 찾아내는데 유효하다는 측면에서 그 의의가 매우 크지만, 다음과 같은 해결되어야 할 문제도 많이 안고 있다.

- (1)  $P$ 와  $P$ 간의 관계를 2차식으로 가정하고 있다는 점이다.
- (2) 강도, 시간 등의 개념과 기울기간의 관계를 선형적인 관계로 가정하고 있다는 점이다.
- (3) 「CIM」 작성시, 체계적이고 합의적인 판단방식 도입의 필요성이 제기된다.
- (4) 서로 공통점이 없는 항목을 포함함으로써 발생하는 미지효과 (unknown effect)를 고려하여야 한다는 점이다.

### 3. 주제별 분석

이제 Gordon이 처음으로 제시한 「CIM법」에 관련하여 전개되어온 다양한 연구의 주요 논쟁점을 ‘시간순서 관련연구’, ‘시간중속 관련연구’, ‘수리적 일관성 관련연구’, ‘시물레이션 모형 관련연구’ 등 네가지 주제별로 분류하고, 그 중 대표적인 연구내용을 그 목적, 방법, 결과, 그리고 문제점 등으로 구분하여 검토해 보고자 한다.

여기서, 시간순서 관련연구란 Gordon의 「CIM법」은 시물레이션 실행과정에서 항목의 발생순서를 고려하지 않고 R&D항목의 선택을 무작위하게 이루어지도록 한다는 점을 비판한 연구들이고, 시간중속 관련연구는 발생 및 비발생확률이 시간에 따라 일정하다는 것을 전제로 하고 있다는 점을 비판하고 있는 연구들이다. 그리고, 수리적 일관성 관련연구는 주어진 항목에 대한 추정확률이 수학적으로 일관성을 갖춘 확률집합으로 이루어져 있지 않다는 점을 비판하고 있으며, 시물레이션 모형 관련연구는 기존의 CIA에서 이용되고 있는 시물레이션 모델이 과도하게 수리적이고 기술적인 속성을 갖고 있다고 비판하고 있는 연구들이다.

#### 3.1 시간순서 (time-sequence) 관련연구

##### 3.1.1 Blackman의 연구

Blackman (1973)은 기존의 제품믹스로부터 얻을 수 있는 미래의 추정매출액과 장기적인 목표 매출액간의 격차, 소위 sales gap을 해소할 수 있는 신제품개발 프로그램의 성공과 실



패에 대한 불확실성 효과와 그 프로그램의 장기계획 매출액에 대한 프로그램간 상호작용의 효과를 반영할 수 있는 새로운 장기계획 모형을 개발하고자 하였다.

이러한 모형을 설계하기 위하여 「Monte-Carlo Method」를 이용하여 프로그램의 시간순서 효과를 반영할 수 있는 수정된 「상호영향기법 (Cross-Impact Technique ; CIT)」을 개발하였다.

「Sales Gap 분석」을 위한 이 기법의 적용절차는 다음과 같이 구성된다.

(1) 프로그램 각각에 대한 주관적 초기 발생확률 및 시간별 각 프로그램의 매출액 공헌도를 추정한다.

(2) 프로그램 상호간의 영향정도를 나타내 주는 「CIM」을 작성한다. 이때, 발생시간의 크기 순으로 각 프로그램의 순서를 정한다.

(3) 미래의 일정기간 동안 기대매출액에 대한 프로그램 상호작용의 효과를 결정하기 위한 컴퓨터 프로그램을 구성하기 위하여 「Monte-Carlo Simulation」을 적용했다.

이 연구는 연간 기대매출액을 도출함으로써 장기계획을 쉽게 작성할 수 있다는 점과 발생 또는 비발생 개념을 'win or lose'의 개념으로 전개한 점이 특징이다. 그리고 프로그램의 발생순서를 사전에 결정함으로써 「CIM」 작성에 요구되는 입력자료의 양과 계산과정을 대폭 간소화할 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다.

그러나, 프로그램의 미래 발생시점을 사전에 그것도 단일시점으로 정확히 점추정한다는 일은 매우 어려운 작업이며, 각 프로그램의 발생시점에 따라 영향의 정도가 달라지는데, 이 점을 간과하고 발생시점에 따른 프로그램간 효과의 불변성을 무리하게 가정하고 있다는 점이 결정적인 약점이라 할 수 있다.

### 3. 1. 2 Novaky & Lorant의 연구

Novaky & Lorant (1978)는 상호관련된 항목의 발생확률을 추정할 수 있을 뿐만 아니라, 특정항목의 연쇄효과, 항목의 예측치간에 발생하는 모순 등을 파악하여 제거할 수 있는 새로운 상호영향방법을 개발하고자 하였다. 나아가, 이 방법을 헝가리의 경제성장을 결정짓는 항목들의 상호영향을 검토하고, 경제성장에 대한 장기에측치를 제시하는 작업에 적용하였다. 이 방법은 다음과 같은 절차로 구성되어 있다.

<단계 1> 항목규정 및 초기확률의 추정

<단계 2> 최대 및 최소확률의 추정

<단계 3> 「CIM」의 작성

<단계 4> 항목의 계층화

<단계 5> 초기확률의 수정과정

초기확률의 수정과정은 다음의 2단계로 구성된다.

최상위 항목의 초기확률과 난수 (random number)를 비교하는 것이 제1단계이다. 이때, 초기확률이 난수보다 크거나 같으면 그 항목은 발생한 것으로 간주하고, 초기확률이 난수보다 작으면 비발생하는 것으로 간주한다.

제2단계는 다음 순서의 항목의 확률값을 변화시키는 과정으로서 식 (7)과 식(8)에 따른다. 그리고, 이러한 과정을 반복 시행한다.

$$P'_j = P_j + (P_{jmax} - P_j) \sum_{i=1}^h Z_{ij} \quad \text{if } \sum_{i=1}^h Z_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

$$P'_j = P_j + (P_j - P_{jmin}) \sum_{i=1}^h Z_{ij} \quad \text{if } \sum_{i=1}^h Z_{ij} < 0 \quad (8)$$

여기서,  $P'_j$  : 항목 j의 변화된 확률

$P_j$  : 항목 j의 초기확률

$h$  : 계층상에 있는 요소 j-1의 serial No. ( $h=1,2, \dots, n-1$ )

이 방법론은 항목의 발생확률 추정시 과도한 주관성 배제라는 특징을 가지면서 의사결정 효과의 정량화, 특정 항목이 갖는 효과의 연쇄반응 (chain reaction) 분석, 그리고 항목의 예측치간 상충성을 탐색, 제거할 수 있는 예측그룹 내의 일관성 검증이 가능하다는 점에서 여러가지 장점을 내포하고 있다.

<표 3> 시간순서 (time Sequence) 관련 연구

No.	Authors	Pub. Yr.	Problems addressed (Research Objectives)	Problems Solved (Research Approach)
1	Amara	1972	· 주관적 확률추정치에 영향을 미치는 예측대상들의 시간적 순서문제 제기	· 항목들의 시간적 순서가 CI결과에 미치는 효과의 평가를 위한 절차 개발
2	Blackman	1973	· 프로그램 매출액에 대한 판매예측을 행하여 프로그램간 상호효과와 추정을 위한 「CIA」의 개발	· 개량 「CIM」법 개발 (Time Sequence를 고려한 몬테카를로시뮬레이션형 「CIA」의 개발 및 적용)
3	Novaky Lorant	1978	· 항목간 관계에 대한 이론적 해석의 미비	· 개량 「CIA」개발 ④ max & min 확률 추정 ⑤ CI의 간편 매트릭스 개발 ⑥ 항목의 계층적 순서화 시도

그러나, 이 연구에서는 단순한 수치예로서 이 방법을 검증하는데 그침으로써, 확률계산에 의한 일반화를 시도하지 못했다는 점이다. 나아가, 항목의 계층적 순서를 결정할 때, 다른 항목에 가장 많은 영향을 주는 항목의 순서로 발생순서를 결정함으로써, 발생의 시간적 의미가 무시되었다는 점과 함께 각 항목의 발생시점에 따른 효과의 변화를 전혀 고려하지 않고 있다는 점이 이 연구의 한계라고 판단된다. 이상으로 시간적 발생순서와 관련된 대표적 선행연구들을 <표 3>으로 요약한다.

### 3.2. 시간종속 (time-dependency) 관련 연구

#### 3.2.1 Eymard의 연구

Eymard(1977)는 Time Dimension이 명시적으로 고려된 시나리오를 도출하기 위하여 'Markov-Chain Theory'를 근거로 한 'CIA'를 제시하고, 에너지생산을 위한 원자로의 설치문제에 이 방법을 적용하였다.

이 모델의 적용은 다음의 3단계 과정으로 진행된다.

<단계 1> 항목을 선정하고, 항목간 상호작용을 정성적으로 분석한다.

<단계 2> 「전이행렬 (transition matrix)」를 결정하는데 필요한 최소질문수로 구성되는 질문서를 작성한다.

<단계 3> 질문서에 대한 답변을 처리한다.

확률추정치 수를 삭감시켜 예측결과의 신뢰도를 높이기 위해서 이 연구에서는 5개의 항목만 고려하였다.

전문가로부터의 답변서를 정리분석한 결과, 각 항목의 발생시점에 대한 분포함수를 추정하여 각 항목의 성공확률이 50%가 되는데 소요되는 기간은 각각 3년, 15년, 20년, Never, 11년 등인 것으로 밝혀졌다.

그리고, 명확한 time scale을 갖는 시나리오 즉, 「Trend Scenario」를 찾아내기 위해서 가장 가능성 있는 상태 (state)의 순서 (sequence)를 고려한 결과, 'trend sequence contrasting scenarios'가 도출되었다.

마지막으로 이 방법의 안정성을 시험해 본 결과, 모든 초기 상태에 대해서는 변화가 없고, 획득된 시나리오 또한 거의 변화가 없기 때문에 이 방법은 상당히 가치가 있는 것으로 판명되었다.

#### 3.2.2 Cho, Jeong, Kim의 연구

Cho, Jeong, Kim 등 (1991)은 연속적인 기술개발과정이 갖는 확률적 속성을 적절히 설

명해 줄 수 있는 「Semi-Markov Theory」에 근거한 기술예측의 새로운 방법론을 제시하고자 하였다.

이 방법은 기존의 델파이 조사자료에서 간과되는 정보의 이용에 초점을 두었는데, 이는 기존의 「CIA」에서 요구하는 조건부확률의 추정치가 복잡하고 방대하기 때문에 이를 추정하기 어려울 뿐만 아니라, 그 결과에 대한 신뢰성도 떨어지기 때문이다. 따라서, 간단한 통계량을 이용하여 연속적인 기술개발항목간의 상호작용을 「델파이법」에 의해 추출된 추정치로부터 「Semi-Markov Model」의 공식적인 구조를 도출하고자 하였다.

델파이 조사에서 참가자들의 예측결과가 서로 일치하지 않는다고 보고, 그 과정은 Semi-Markov process에서 하나의 추계적 구조 (stochastic process structure)로 나타내었다.

특히, 전문가 집단을 R&D항목에 대한 전문성을 고려하여 2개의 집단으로 분류하고, 각 집단에 대한 상이한 가중치를 부여함에 있어, 높은 전문성을 가진 집단이 추정한 예측치의 분산이 반대의 집단의 분산보다는 작다는 개념을 적용하였다는 점이 특징적이다.

즉, 다음과 같은 식(9), (10)의 형태로 A집단의 가중치  $W_A$ , B집단의 가중치  $W_B$ 를 부여하였다.

$$W_A = \overline{S}_B \cdot n_A / (\overline{S}_B \cdot n_A + \overline{S}_A \cdot n_B) \quad (9)$$

$$W_B = \overline{S}_A \cdot n_B / (\overline{S}_B \cdot n_A + \overline{S}_A \cdot n_B) \quad (10)$$

이 모델은 비교적 간단하여 적용하기가 쉽고, 특히 델파이 예측결과의 사후분석시, 매우 유용한 도구가 될 수 있다. 그리고 상호작용에 대한 정보를 이용하여 개발과정을 예측하기 위한 시뮬레이션의 절차가 제시되었다는 점에 의의가 있다 하겠다. 그러나, 예측결과의 활용성이라는 측면에서 이 연구는 자원배분과 같은 의사결정문제와 접목된 포괄적인 방법론의 개발까지는 진행되지 못하고 있다.

이상의 시간종속과 관련된 연구는 <표 4>에 요약되어 있다.

<표 4> 시간종속 (Time-dependency) 관련 연구

No.	Authors	Pub. Yr.	Problems addressed (Research Objectives)	Problems Solved (Research Approach)
1	Eymard	1977	· Markov Chain에 의한 Time dimension 고려	· Markov-chain을 근거로 한 「CIA」 개발 · 원자료 설치문제에 적용
2	Cho, Jeong, Kim	1991	· 기술개발과정에 대한 확률과정론적 접근 (uncertain sequence of development)	· Semi-Markov 이용 · 응답집단에 대한 가중치 부여 (전문분야에 따른 집단 구분)

### 3.3. 수리적 일관성(mathematical consistency) 관련 연구

#### 3.3.1 Duperrin & Godet의 연구

Duperrin & Godet (1975)은 지금까지 개발된 「CIA」는 주어진 항목에 대한 추정확률이 수학적으로 일관성있는 확률집합을 구성하지 못한다는 점을 지적하고, 「Quadratic Programming; QP」을 이용하여 시나리오에 대한 확률 rating에 따르는 일관성 있는 확률 시스템을 구축하고자 하였다.

이러한 새로운 방법의 원리는 (1) 주어진 항목에 대한 발생의 1차 및 2차 확률을 추정하고, (2) 고차확률의 일관성을 고려하면서 이를 수정하는 것이다.

이 모형에서는 n개의 항목이 주어졌을 때, 추정되어야 하는 확률을 다음의 3가지 형태로 규정했다.

- $P(i)$  : 고려 중인 기간동안의 항목  $e_i$ 의 발생확률
- $P(i|j)$  : 항목  $e_j$ 가 발생한 후에  $e_i$ 가 발생할 확률
- $P(i|\bar{j})$  : 항목  $e_j$ 가 발생하지 않은 후에  $e_i$ 가 발생할 확률

여기서, 조건부 확률  $P(i|j)$ ,  $P(i|\bar{j})$ 는 두개의 항목 i와 j의 발생순서를 규정하지 않는다. 이 방법의 핵심적 사항은 항목의 State of System 즉, 식 (11)과 같은  $E_k$ 의 도입이다.

$$E_k = (X_1, \dots, X_n) \quad k=1, 2, \dots, 2^n \quad (11)$$

- 여기서,  $X_i = 1$  :  $e_i$ 가 발생할 경우
- $X_i = 0$  :  $e_i$ 가 비발생할 경우

State  $E_k$ 의 발생확률 또는 n차원 시나리오확률은  $P(E_k)$  또는  $P(X_1, \dots, X_n)$ 이라 할 때, 2차원확률의 일관성 있는 추정치  $P^*(i, j)$ 와  $P^*(i, \bar{j})$ 는 다음의 식(12)와 같은 「QP」문제의 해로서 얻어질 수 있다고 주장하고 있다.

$$J = \sum_i \sum_j \{P(i|j)P(j) - P^*(i, j)\}^2 + \sum_i \sum_{\bar{j}} \{P(i|\bar{j})P(j) - P^*(i, \bar{j})\}^2 \Rightarrow \min\{P(E_k)\} \quad (12)$$

제약식;

$$P^*(i, j) = \sum P(X_1, \dots, X_i=1, \dots, X_j=1, \dots, X_n)$$

$$P^*(i, \bar{j}) = \sum P(X_1, \dots, X_i=1, \dots, X_j=0, \dots, X_n)$$

$$\sum P(X_1, \dots, X_n) = 1$$

$$P(X_1, \dots, X_n) \geq 0$$

### 3.3.2 Mitchell & Tydeman의 연구

상호영향확률에 있어서의 비일관성 문제를 극복하기 위해 「QP」를 이용하여 시나리오 확률의 일관성 집합과 확률의 rating을 도출하고, 이를 통해 시나리오의 cardinal ranking을 부여하고자 한 Dupperin & Godet 연구에 대해 Mitchell & Tydeman (1976)은 다음과 같은 3가지 문제를 제기하였다.

첫째, 「QP」를 통해 시나리오의 Cardinal Ranking을 이끌어냈다고 하지만, 그 순위는 유일하지 않다. 즉, 「QP」는 일반적으로 다른 똑같은 좋은 해를 갖는다.

둘째, Quadratic Criteria를 만족시키는 확률집합의 수가 잠재적으로 매우 많다.

셋째, 모든 가능한 해를 나타낼 수 있는 대안적 방법의 이용이 가능하고, 이 방법은 또한 해들 중에 선택할 수 있는 추가적인 기준의 도입을 허용한다.

그런데, Dupperin & Godet이 제시한 모델의 제약식에 있는 방정식은  $N = \frac{n(n+1)}{2} + 1$ 에서  $r = 2^n$ 개의 변수를 포함하는데, 이 식의 기저해는  $r-N$ 개의 변수들을 0으로 놓고, 나머지  $N$ 개의 변수에 대해 풀면 구할 수 있다.  $rC_N$ 개의 기저해가 존재하고 일부는  $\Pi_k \geq 0$ 이 되는 가능해이다. 또한 기저가능해의 선형결합 또한 해가 되고, 거기에는 적어도 하나의 가능해가 있으며, 5개의 항목에 대하여 기저해의 수는 6억개 이상이다.

따라서, 「LP」의 non-uniqueness를 극복하기 위해서는 다음과 같은 식(13)으로 정식화되어야 한다고 주장하고 있다.

$$\text{minimize } Z = \sum_i^m [P(i | \bar{j}) - P^*(ij)]^2 + \sum_j^m [P(i | \bar{j})P(j) - P^*(i) + P^*(ij)]^2 \quad (13)$$

제약식;

$$\sum_{i=1}^m P^*(i) - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m P^*(ij) \leq 1,$$

$$P^*(ij) \geq 0, \quad \text{all } j > i,$$

$$P^*(i) \leq 1, \quad \text{for all } i,$$

$$P^*(i) \geq P^*(ij) \quad \text{for all } j > i,$$

$$P^*(j) \geq P^*(ij) \quad \text{for all } j > i$$

이 문제는  $\frac{n(n+1)}{2}$  개의 변수를 가지며, 이 문제에 대한 해는 유일하고, 모든 기저가능해를 구하기 위하여 이러한 제약식을 사용할 수 있다고 한다.

### 3.3.3 Kelly의 연구

Kelly (1976)는 Duperrin & Godet의 방법은 시나리오 확률의 계산문제에서 유일해를 제공하지 못한다는 Mitchell & Tydeman의 지적이 옳지만, 그들이 제시한 대안적인 방법에도 문제가 있음을 지적하고 있다. 즉, Mitchell & Tydeman의 연구는 부적절한 데이터집합의 조작에 불과하다는 것이다. 이 데이터에는 2개 이상의 항목을 포함하는 시나리오에 대한 확률을 결정할 수 있는 충분한 정보가 포함되어 있지 않다는 점이다.

즉, 시나리오  $E_k$ 의 확률  $\Pi_k$ 를 다음의 식(14)에서 식(17)까지의 과정을 통해 결정하고자 하였다는 점이다.

$$\Pi_k = P(E_k) \tag{14}$$

단,  $E_k$  : n개의 항목으로 구성된  $2^n$ 개의 가능한 시나리오 중의 하나.

$$E_k = [e_1 e_2 e_3 \cdots e_n] \tag{15}$$

$e_i$  : 항목의 발생여부를 나타냄

여기서, 전통적인 확률이론에 입각하여 기술하면 식(16), (17)과 같다.

$$\Pi_k = P(e_1 e_2 e_3 \cdots e_n), \tag{16}$$

$$P(e_1 e_2 e_3 \cdots e_n) = P(e_1) P(e_2 / e_1) P(e_3 / e_1 e_2) \cdots P(e_n / e_1 e_2 e_3 \cdots e_{n-1}) \tag{17}$$

이와 관련하여 그는 다음과 같은 세가지 사실을 지적했다.

첫째, 모든 조건부확률이 독립적인 양일 수 있다는 사실의 관점에서  $n > 2$ 에 대해서 그 문제가 결정된다는 것은 놀라운 일이 아니다.

둘째,  $(n-1)$ 차로 확장하지 않고 그 함수의 최소화 조건을 만족시키면서 일관성 관계에 근거한 목적함수는  $\Pi$ 의 무한개의 집합을 갖는다.

셋째, 더욱이,  $n > 3$ 에 대한 모든 부가집합은 제약식 기준 ( $\sum \Pi = 1, \Pi_k \geq 0$ )에 의해 정의된 허용공간 외부에 존재한다.

확률일관성 관계에 근거한 유일한 목적함수는  $(n-1)$ 차까지의 모든 조건부 확률에 근거하기 때문에 식(18)을 통해서 「QP」와 관련된 형태로 목적함수를 구성하도록 제안하고 있다.

$$F(\Pi) = \Pi A \Pi + b' \Pi \quad (18)$$

그리고, 행렬 A와 벡터 b의 성질은 A가 대각행렬인 경우를 제외하고,  $\min F(\Pi)$ 가 부가 집합의 무한집합에 의해 만족되는 방법으로 서로 관련되어 있다. 이는 (n-1)차까지 모든 조건부 확률을 포함하는 term들로 구성된 일관성 관계로부터의 결과이다. 그것은 식(19)과 같은 형태이다.

$$\text{Term}[F(\Pi)] = P(e_1) P(e_2 / e_1) P(e_3 / e_1 e_2) \cdots P(e_n / e_1 e_2 e_3 \cdots e_{n-1}) - \Pi_k \quad (19)$$

여기서,  $\Pi_k : e_1 e_2 \cdots e_n$  모두가 발생하는 시나리오 확률

### 3.3.4 McLean의 연구

McLean (1976)은 Duperrin & Godet 방법을 둘러싼 논란의 주요쟁점을 명확히 하고, 새로운 「CIA」의 연구방법을 제시하고자 하였다. 그는 지금까지의 Duperrin & Godet이 제시한 방법을 둘러싼 논쟁에서 확률자료의 비적절성과 함께 비일관성의 문제를 취급하면서 이를 하나의 문제로 인식하는 오류를 범했다는 것이다. 즉, 수학적인 전환과정에서 비일관적이고 비완전한 정보를 일관되고 완전한 정보로 전환하려고 하였다는 점이다.

그러나, 중요한 사항은 전문가로부터 획득되는 조건부 확률이 아무리 정확하고, 일관성을 갖추고 있다 하더라도 전체 시나리오 확률을 결정할 수 있을 만큼 충분한 정보를 결코 포함할 수는 없다고 지적하고 있다. 즉, 지금까지의 연구는 확률 추정치의 추정 및 개선에 집중함으로써, 그 추정치가 사회경제적 과정의 인과적 구조를 이해하는데 있어서는 일시적인 대체물일 뿐이라는 사실을 망각하고 있으며, 개념적 문제보다는 계산적 문제를 강조함으로써 이 접근방법에 내재된 모순을 숨기는 경향이 있어 왔다는 점이다.

따라서, 「CIA」는 정확하고 깔끔한 해를 제공할 수 있는 기법이라기 보다는 예측자가 시도하고자 하는 복잡한 문제영역에 대한 이해를 도모할 수 있는 축차적인 기법이라고 보아야 하며, 이러한 「CIA」의 속성을 올바르게 이해함으로써 또다른 관점으로부터의 접근방법이 가능해질 수 있을 것이라고 주장하고 있다.

이상의 수리적 일관성과 관련된 연구를 <표 5>로 요약한다.



<표 5> 수리적 일관성 (mathematical consistency) 관련 연구

No.	Authors	Pub. Yr.	Problems addressed (Research Objectives)	Problems Solved (Research Approach)
1	Duperrin Godet	1975	· 「CIA」에 의한 최종확률이 inconsistent probability임.	· 고차확률을 고려하면서 「QP」를 이용하여 Consistent Probability System을 구축
2	Mitchell Tydeman	1976	· Duperrin & Godet연구에 대한 문제제기 : - unique solution - quadratic 기준을 만족시키는 과도한 확률집합의 수	· 모든 가능해를 나타낼 수 있는 방법 제시 · 가능해 간의 선택기준 제시
3	Kelly	1976	· Mitchell & Tydeman 연구의 문제제기 : - 부적절한 데이터 조작에 불과함. (2개 event이상을 포함하는 시나리오에 대한 확률 결정의 정보 미흡)	
4	McLean	1976	· Duperrin & Godet연구를 둘러싼 논점정리 및 새로운 방향제시 (총체적 비판)	· 확률추정치의 조작 및 처리에만 집중 · 개념적 구조보다 계산적 문제에 편중

### 3.4. 시뮬레이션 모형 (simulation model) 관련 연구

#### 3.4.1 Kane의 연구

Kane (1972)은 기존의 「CIA」에서 이용되고 있는 시뮬레이션 모형은 너무 수리적이기 때문에 주관적인 변수를 배제시킬 가능성이 있고, 또한 고도의 기술적인 속성으로 인해 정책입안자가 자유롭게 사용하기 어렵기 때문에 초보자도 쉽게 이해할 수 있도록 새로운 시뮬레이션 언어를 개발하고, 이를 「KSIM」이라 하였다.

Kane의 시뮬레이션은 식(20)과 같은 미분방정식을 사용하여 초기값으로부터 한번에 한 단계씩 진행된다.

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N (a_{ij} + b_{ij} \frac{dX_j}{dt}) X_i \ln X_i \quad (20)$$

단,  $X_i$  : 변수

$N$  : 변수의 총 개수

$X_j$  : 영향을 미치는 변수

$a_{ij}$  :  $X_i$ 에 대한  $X_j$ 의 장기적 영향

$b_{ij}$  :  $X_i$ 에 대한  $X_j$ 의 단기적 영향

이러한 logistic CI 방정식의 해는 식(21)과 같다.

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t)^{P_i(t)} \quad (21)$$

단,  $X_i(t + \Delta t)$  : 마지막 Time period에서의 변수의 값

$X_i(t)$  : 첫 Time period에서의  $X_i$ 의 값

$\Delta t$  : Time period

$$P_i(t) = \frac{1 + \Delta t (X_i \text{에 대한 억제영향의 합})}{1 + \Delta t (X_i \text{에 대한 촉진영향의 합})}$$

여기서,  $P_i(t)$ 를 수식적으로 나타내면, 식(22)가 된다.

$$P_i(t) = \frac{1 + 0.5 t \sum_{j=1}^N [ | I_{ij}(t) | - I_{ij}(t) ] X_j(t)}{1 + 0.5 t \sum_{j=1}^N [ | I_{ij}(t) | - I_{ij}(t) ] X_j(t)} \quad (22)$$

$$\text{단, } I_{ij} = a_{ij} + \frac{b_{ij}}{X_j(t)} [dX_j(t) / dt]$$

그러나, 이 모델은 다음과 같은 4가지 가정을 전제로 하고 있다는 점이 한계로 지적되고 있다.

첫째, 모든 변수가 상태변수이고, 이들 초기값은 주어져 있어야 한다. 둘째, 모든 변수는 a의 영향, b의 영향 그리고 a와 b의 동시영향에 의해서만 영향을 받는다. 셋째, 변수에 대한 영향은 가산적이다. 넷째, 변수는 S자 형태의 성장 및 쇠퇴패턴을 갖는다.

### 3. 4. 2 Burns & Marcy의 연구

Burns & Marcy (1979)는 사회경제학적 시스템을 모델링하기 위한 방법으로서 Kane의 「KSIM」과 Forrester의 「시스템 다이내믹스 (System Dynamics ; SD)」를 상호 비교분석함에 있어 인과성(causality)을 규정하고 분류하는 관점에서 보았다.

즉, 「KSIM」에 사용된 「CIM」과 「SD」에 사용되는 인과적 다이어그램의 동질성을 제시하면서, 「KSIM」에서 이용된 Class와 「SD」에서의 Class간의 유사성을 정확히 밝혀보고자 하였다.

이 연구는 어떤 조건하에서도 Unmodulated Kane Form이 Linear Forrester Form으로 변환가능하며, 그 역도 가능하다는 점을 보이고 있다. 결론적으로, Forrester Model에서 명시적으로 제시할 수 없는 직접적 인과관계 (causal link)가 Kane Model에서는 보다 쉽게 규정될 수 있다는 점을 밝히고 있다.

### 3. 4. 3 Mohapatra & Vizayakumar의 연구

Mohapatra & Vizayakumar(1989)는 Bruns & Marcy 연구에서 제기한 문제에 초점을 놓고, 「SD」와 「KSIM」모형에서 중요한 인과성 문제를 검토한 결과, Forrester의 「SD Model」이 인과적 특성을 표현하는데 훨씬 더 광범위한 개념모델이라고 주장하고 있다. 또한, 문제의 개념화와 'Boundary-fixing Stages'에 대한 「SD법」에서 이용가능한 여러가지 diagramming aids를 「KSIM」모델에서 이용할 필요가 있다고 주장한다.

이상의 시뮬레이션 모형개발과 관련한 연구는 <표 6>으로 요약될 수 있다.

<표 6> Simulation 모형 관련 연구

No.	Authors	Pub. Yr.	Problems addressed (Research Objectives)	Problem solved (Research Approach)
1	Kane	1972	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시뮬레이션 모델의 문제점 지적</li> <li>- 수리적 --&gt; 주관적 변수 배제</li> <li>- 과도한 기술적 속성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 초보자 이용가능한 시뮬레이션 언어 「(KSIM)」개발</li> </ul>
2	Burns Mavey	1979	<ul style="list-style-type: none"> <li>· KSIM」의 「CIM」과 「SD」의 「인과 Diagram」의 동질성 제시, 인과성의 속성에 관한 가정 비교</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Linear System dynamics Model 제시</li> </ul>
3	Mohapatra Vizay-	1989	<ul style="list-style-type: none"> <li>· KSIM」과 「SD」에 관한 비교연구</li> </ul>	

### 3.5. CIA연구의 한계

기술예측의 수법체계 중에서 개개의 기술시스템적인 성격을 기준으로 하여 현재 여러가지 연구개발이나 시장수요동향 등에 근거하는 시즈나 니즈로부터 장래의 기술실현가능성을 예측하고자 하는 탐색적·시스템적 수법에 속하는 「CIA」는 예측대상이 되는 R&D항목간에 존재하는 상호관계를 무시하는 델파이법의 문제점을 개선하기 위하여 상호작용이 고려된 항목들의 완성확률을 추정할 수 있도록 고안된 하나의 기술예측 수법이다.

지금까지 살펴본 바와 같이, 다양한 측면에서 「CIA」에 관한 연구는 진행되어 왔는데, 이를 주제별로 분류하여 그 특징과 한계를 요약해 보기로 한다.

#### 3.5.1 시간적 순서 (time sequence) 중시 연구영역에서의 문제 :

Gordon의 「CIM법」을 적용해 나가는 과정에서 개별항목 각각의 초기확률 및 조건부확률 등의 추정된 자료가 갖추어져야 하는데, 항목수가 증가하면, 그에 따른 확률추정치의 양이

급격히 증가하기 때문에 이를 확보하기가 극히 어렵다는 점이다. 나아가, 시뮬레이션 실행과정에서 항목의 발생순서를 고려하지 않고, R&D항목의 선택을 무작위하게 이루어지도록 한다는 점이다.

이에, Amara (1972)는 처음으로 주관적 확률추정치에 영향을 미치는 항목의 시간순서 문제를 제기하고, 이 문제가 상호영향결과에 미치는 효과를 평가하기 위한 절차를 제시하였으며, Blackman (1973)은 프로그램 매출액에 대한 판매예측을 결정하는 프로그램간 상호작용 효과를 추정하기 위하여 새로운 「CIM법」을 개발하고, 프로그램 발생의 순서를 고려하였다. 그리고, Novarky & Lorant (1978)도 상호관련된 항목의 예측치간에 발생하는 모순 등을 제거할 수 있는 새로운 「CIA」를 개발하면서, 발생의 시간적 순서를 고려하는 이전의 연구와는 달리 영향을 미치는 다른 항목의 개수가 많은 순으로 계층을 정하거나, 상호영향 매트릭스상의 각 셀 (cell)에 있는 항목의 절대값이 큰 순으로 항목의 계층적 순서를 설정하는 방식을 취하였다.

이상에서처럼 항목발생의 시간순서를 고려할 때, 그 방식에 약간의 차이는 있지만, 이러한 연구는 기존의 「CIA」에서 단점으로 지적되고 있는 막대한 확률추정자료의 대폭적인 축소 및 그에 따른 예측결과의 신뢰성 증진을 도모할 수 있다는 점에서 강점을 갖고 있다.

그러나, 이러한 연구가 안고 있는 약점도 있는데, 무엇보다 항목간 완성시기의 순서를 결정하는 문제이다. 즉, 방대한 R&D항목의 미래의 완성시점을 예측하고 그 결과인 단순 점추정치를 갖고 일목요연하게 그 순서를 정하는 것이 가능한 것인가, 그리고 그것이 얼마나 정확할 것인가에 대한 문제이다. 이들의 연구에서는 이러한 문제에 대하여 너무 쉽게 접근하고 있다.

또 한가지는 항목간 완성시기의 간격을 고려하는 문제이다. 항목의 완성순서를 결정하는 문제와 함께 한 항목의 완성시기와 그 항목에 영향을 미치는 다른 항목의 완성시기간의 시간적 길이를 간과하고 있다. 즉, 기간이 길수록 다른 항목에 더 큰 영향을 미친다고 보는 것이 타당하다고 본다.

### 3.5.2 시간적 차원 (time dimension) 중시 연구영역에서의 문제 :

Gordon의 「CIM법」은 주어진 일정기간 동안의 확률의 변화를 포착하고자 하는 방법이기 때문에 여기에는 시간적 차원을 고려하고 있지 않다. 즉, 주어진 일정기간내의 특정시점에서 항목이 갖는 확률값을 파악할 수가 없는데, 이는 완성 및 미완성 확률이 시간에 따라 일정하다는 것을 전제로 하고 있기 때문이다.

그러나, 모든 항목의 확률은 시간이 경과함에 따라 변하게 된다고 본 Eymard (1977)는 시간적 차원이 명시적으로 고려된 시나리오를 도출하기 위해서 「Markov-Chain Theory」

를 근거로 한 「CIA」를 제시하고, 이 새로운 방법을 에너지 생산을 위한 원자로 설치문제에 적용하였다. 즉, 「Markov이론」을 도입하여 항목의 조합으로 상태를 구성하고 전이확률을 조작하여 예측기간내의 변화에 따른 항목의 확률시간, 그에 따른 항목의 순서, 항목발생의 평균시간 등 타항목에 대한 효과가 시간에 따라 어떻게 변화하는가를 모형화했다.

그러나, 이 연구는 먼저 항목의 수에 따라 상태가 기하급수적으로 증가하기 때문에 전이확률을 추정하기 위한 초기예측자료의 요구가 엄청나다라는 현실적 실행과정상의 어려움을 갖고 있으며, 또한 어떤 상태든 그 상태에 머무르는 시간은 일정한 것으로 가정한다는 방법론적인 한계를 갖고 있다.

이러한 문제를 해결하고자 Cho, Jeong, Kim 등 (1991)은 연속적인 기술개발과정이 갖는 확률적 속성을 파악하기 위하여 「Semi-Markov Model」에 근거한 기술예측 방법론을 개발하고자 하였다. 즉, 연속적인 R&D항목간의 상호작용을 델파이법에 의해 추출된 추정치에 근거한 「Semi-Markov Model」의 공식적인 구조를 도출하고자 하였다.

그러나, 이 연구 또한 2개의 항목이 동시에 발생할 수 없고, 표본의 수 (sample size)가 충분히 커야하며, 각 항목이 Semi-Markov Concept으로 발생해야 한다는 전제가 만족되어야 하는 약점을 내포하고 있다.

### 3. 5. 3 수학적 일관성 (mathematical consistency) 증시 연구영역에서의 문제 :

Gordon의 「CIM법」은 주어진 항목에 대한 추정확률이 수학적으로 일관성을 갖춘 확률집합으로 이루어져 있지 않다. Duperrin & Godet (1975)은 이러한 문제를 먼저 간파하고, 「QP」를 이용하여 시나리오에 대한 확률 rating에 따르는 일관성을 갖춘 확률시스템을 구축하고자 하였다. 그들은 주어진 항목에 대한 1차 및 2차 완성확률을 추정하고, 고차 확률의 일관성을 고려하면서 이를 수정하고자 하였다.

이 연구에 대하여 Mitchell & Tydeman (1976)은 시나리오 Ranking에 대한 유일해를 추출할 수 없고, Quadratic Criteria를 만족시키는 확률집합의 수가 너무 많다는 문제점이 있다고 지적하고, 「QP」의 Non-uniqueness를 극복하기 위해서 모든 가능해를 나타낼 수 있는 방법으로 수정된 「QP」에 의한 모델을 제시하였다.

Kelly (1976)는 Duperrin & Godet의 모델이 시나리오 확률의 계산문제에서 유일해를 제공하지 못한다는 Mitchell & Tydeman의 지적이 옳지만, 그들이 사용하고 있는 자료에는 2개 이상의 항목을 포함하는 시나리오에 대한 확률을 결정할 수 있는 충분한 정보가 포함되어 있지 않다는 점을 지적하였다.

McLean (1976)은 이러한 Duperrin & Godet모델을 둘러싼 모델에서 확률자료의 비적절성과 비일관성의 문제를 동일한 것으로 인식하는 오류를 범했다고 주장한다. 여기서 중요한

것은 전문가로부터 획득되는 조건부 확률이 아무리 정확하고, 일관성을 갖추고 있다 하더라도, 전체의 시나리오 확률을 결정할 수 있는 만큼 충분한 정보를 포함하고 있지 않다는 점이다.

무엇보다도, 「CIA」는 정확하고 깔끔한 해를 제공할 수 있는 기법이라기 보다는 예측자가 시도하고자 하는 복잡한 문제영역에 대한 이해를 도모할 수 있는 축차적인 기법으로 인식해야 한다.

#### 3.5.4 시뮬레이션모형 및 「SD」의 중시 연구영역에서의 문제 :

기존의 「CIA」에서 이용되고 있는 시뮬레이션 모형은 주관적인 변수를 배제시킬 가능성이 있고, 또한 정책입안자가 자유롭게 사용하기 어려울 만큼 과도하게 수리적이고 기술적인 속성을 갖고 있다.

Kane (1972)은 이러한 점에 착안하여 「KSIM」이라는 초보자도 쉽게 이해할 수 있는 시뮬레이션 언어를 개발하였으며, Burns & Marcy (1979)는 Kane의 「KSIM」에서 사용되는 「CIM」과 Forrester의 「SD」에서 사용되는 「인과 다이어그램」의 Class간의 유사성을 규명하고자 하였다. 그리고, Mohapatra & Vizayakumar (1989)는 Burns & Marcy가 연구한 「SD」와 「KSIM」모형에서 중요한 인과성(causality) 문제를 재검토하고, Forrester의 「SD」모형이 인과적 특성을 표현하는데 훨씬 더 광범위한 개념모델이라고 하는 분석적 결과를 제시하였다.

## 4. 결 론

지금까지 Gordon이 「CIM법」을 제안한 후, 이를 둘러싼 수많은 연구에서 제기된 논쟁점들의 형태 및 방향에 관한 개별적 분석과 종합적 검토를 통하여 나타난 「CIA」의 여러가지 문제점 내지는 한계를 근거로 향후 CIA관련 연구의 방향을 크게 세가지로 정리해 보고자 한다.

첫째, 항목간의 상호작용을 고려함에 있어 항목의 완성시기가 갖는 시간적 특성을 심층적으로 다룬 연구가 거의 없다는 점이다. 이 문제는 다시 3가지 연구주제로 나눌 수 있다. 먼저, 항목들의 완성시기에 대한 발생순서의 문제이다. 항목들의 발생순서가 갖는 영향의 차이를 무시한 것은 Gordon모형의 결정적인 허점으로 그 후 몇몇 연구자가 형태는 약간 다르지만 이러한 문제에 접근하고자 하였으나 확실한 모형구축이 이루어지지 않았다는 점이다. 다음은 항목의 완성시기의 추정에 대한 문제이다. Amara, Blackman, Novalsky & Lorant 등은 개별항목의 완성시기를 단일 점추정치로서 예측하고, 그 결과에 의해서 항목들의 발생

순서를 결정하고자 하였던 바, 이는 매우 위험한 결과를 초래할 수도 있다고 본다. 연구개발이라는 것이 그 속성상 미처 예견하기 어려운 우연적 요인에 의한 성공의 경우 (serendipity)도 빈번히 발생하기 때문에 그 완성시기에 대한 정확한 추정이란 거의 불가능할지도 모르기 때문이다.

따라서, 이를 해결할 수 있는 한가지 방안으로는 항목의 완성시기를 확률변수로 간주하여 그 분포함수 (distribution function)를 추정하여 항목들의 발생순서를 결정하는 방식이 유효하며, 이것이 가능하게 되면 예측의 정도는 한층 향상될 수 있을 것으로 본다.

마지막으로, 항목의 완성시기간의 간격에 대한 문제이다. 기존의 연구는 영향을 미치는 R&D항목의 완성시점이 1년 전에 이루어졌거나, 10년 전에 이루어졌거나 그 시간간격이 다른 항목에 미치는 영향의 정도는 동일하다고 가정하고 있다. 그러나, 영향을 미치는 항목이 영향을 받는 항목의 완성 직전에 완성되었다면, 그 영향은 미미할 것이다. 따라서, 상호작용하는 두 항목간의 완성시기의 차이에 따라 영향을 미치는 정도를 달리 적용시켜야 할 것이다. 이를 위해서는 시간영향 (time impact)의 정도를 나타낼 수 있는 새로운 파라미터의 설계가 필요하며, 이 시간영향의 정도는 사회적 니즈의 관점과 기술적 시즈의 관점에서 그 영향의 형태를 고려할 수 있도록 설계되어야 바람직하다고 본다.

둘째, R&D항목의 완성시기에 따른 상호영향효과와 추정 특히, 복합효과와 추정에 관련된 연구가 없다는 점이다.

기존연구를 총망라하여 조사한 결과, 이러한 문제를 직접적으로 다룬 연구는 없었다. 일반적으로 R&D항목 개개의 효과를 추정하는 문제는 R&D프로젝트의 「비용효과분석 (cost-effectiveness analysis)」을 통하여 해결해 왔다 (권철신, 김정훈, 1991). 그러나, R&D과제를 평가하는 분석작업의 경우에도 개발항목간의 상호관련성 문제는 배제되어 왔으며, 이러한 상호관련이 R&D항목의 완성에 크게 영향을 준다는 점도 무시되어 왔다.

따라서, 기술예측의 관점에서 연구개발 중인 항목들이 성공시에 얻게 될 효과를 정확히 추정하기 위하여는 상호관련성이 고려되면서 효과영향의 정도를 나타낼 수 있는 새로운 파라미터가 설계되어야 한다. 나아가, 다항목간의 복합효과와 이러한 효과들을 전부 통합한 총효과와 개념설정 및 추정방법을 개발할 필요가 있다 하겠다.

셋째, 기술예측의 결과활용을 위한 전략적 문제에 접근하려는 연구가 부족하다는 점이다. 물론, 예측과정에 대한 연구와 그 결과의 활용과정에 대한 연구는 별개일지도 모른다. 그러나 정교한 기술예측을 통해 도출된 결과치가 의미를 갖기 위해서, 그리고 이를 전략적 차원에서 활용하기 위해서는 의사결정의 문제와 결합되어야 한다는 지적이 있어 왔다 (Kim, 1991).

이러한 측면에서 고려해 볼 수 있는 것이 기술예측과 자원배분 문제를 통합시킨 방법론의

개발이라 할 수 있겠다. 이는 기업차원에서든 국가차원에서든 중장기 기술전략을 수립함에 있어 필수불가결한 것이기 때문이다.

기술예측이란 것이 현재의 상태에서 미래의 시나리오를 예상해 보는 것이라고 볼 때, 적극적으로 그 시나리오를 통제하여 원하는 형태의 시나리오를 형성시켜 나갈 필요가 있다. 이러한 전략적 대응방안 중의 하나는 제한된 자원을 전략적으로 배분해 나가는 것이다.

이상과 같이 CIA관련연구를 주제별로 정리, 그 장·단점을 분석하고, 기존의 방법들이 갖고 있는 한계를 검토하여 추후 연구방향을 제시한 본 연구의 결과를 토대로 CIA가 방법론적으로나 현장적용적 측면에서 적극적이고 발전적으로 논의 및 활용되어 궁극적으로는 우리 기업이나 정부차원에서의 중장기 기술전략을 수립하는데 큰 도움이 될 수 있기를 기대한다.

### 〈참 고 문 헌〉

- 권철신·김정훈 (1991), "A Design of the Cost-Effective Analysis System for Evaluating Planning Alternatives of R&D Project", 『Proceedings of IE』, pp. 192.
- 한국과학기술평가원·과학기술정책연구원 (1999), 『한국의 미래기술: 제2회 과학기술예측』.
- 牧野 昇, 白根禮吉 編(1970), 『技術の豫測と計劃』, 日刊工業新聞社.
- Allen, T. H. (1978), "Cross-Impact Analysis: A Technique for Managing Inter-disciplinary Research", *Journal of the Society of Research Administrators*, Vol. 10, No. 1, pp. 11-18.
- Alter, S. (1979), "The Evaluation of genetic Cross-Impact Models", *Futures*, Vol. 11, No. 2, pp. 132-150.
- Amara, R. C. (1972), "A Note on Cross-Impact Analysis : a Calculus for Sequence-Dependent Events", *Futures*, Vol. 4, No. 3, (Sept.), pp. 267-271.
- Beasley, J. E. (1984), "Forecasting Environmental Protection Legislation Using Cross-Impact Analysis", *Long Range Planning*, Vol. 17, No. 6, (Dec.), pp. 132-138.
- Blackman, A. W. (1973), "A Cross Impact Model Applicable to Forecasts for Long Range Planning", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 5, No. 3, pp. 233-242.
- Bloom, M. F. (1977), "Time-dependent Event Cross-Impact Analysis : Results



- from a New Model", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 10, pp. 181-201.
- Burns, J. R. and W. M. Marcy (1979), "Causality : Its Characterization in System Dynamics and KSIM Models of Socio-economic Systems", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 14, No. 4, (Sept.), pp. 387-398.
- Dalkey, N. C. (1972), "An Elementry Cross-Impact Model", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 3, No. 3, pp. 341-351.
- Dalkey, N. C. and O. Helmer (1963), "An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts", *Management Science*, Vol. 9, No. 3, p. 458.
- Duperrin, J. C. and M. Godet (1975), "SMIC-74 - A Method for Construction and Ranking Scenarios", *Futures*, Vol. 7, No. 4, (Aug.), pp. 302-312.
- Enzer, S. (1980), "INTERAX-An Interactive Model for Studying Future Business Environments : Part I", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 17, pp. 141-159.
- Enzer, S. (1980), "INTERAX-An Interactive Model for Studying Future Business Environments : Part II", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 18, pp. 211-242.
- Eymard, J. (1977), "A Markovian Cross-Impact Model", *Futures*, Vol. 9, pp. 216-228.
- Gordon, T. J. (1969), "Cross-Impact Matrices-An Illustration of Their Use for Policy Analysis", *Futures*, Vol. 1, No. 6 (Dec.), pp. 527-531.
- Gordon, T. J. and H. Hayward (1968), "Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting", *Futures*, Vol. 1, No. 2, (Dec.), pp. 100-116.
- Helmer, O. (1981), "Reassessment of Cross-Impact Analysis", *Futures*, Vol. 13, (Oct.), pp. 389-400.
- Ishikawa, M., S. Toda, and Y. Kaya (1980), "An Application of the Extended Cross Impact Method to Generating Scenarios of Social Change in Japan", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 18, pp. 217-233.
- Jantsch, E. (1968), *Technological Forecasting in Perspective*, OECD.
- Kane, J. (1972), "A Primer for a New Cross-Impact Language: KSIM", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 4, pp. 129-142.
- Kaya, Y., et al. (1979), "A Revised Cross-Impact Method and Its Applications to

- the Forecast of Urban Transportation Technology”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 14, No. 3, (Aug.), pp. 243-257.
- Kelly, P. (1976), “Further Comments on Cross Impact Analysis”, *Futures*, Vol. 8, (Aug.), pp. 341-345.
- Kim, S. H. et al. (1991), “A Delphi Technology Forecasting Approach Using a Semi-Markov Concept”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 40, No. 3, (Nov.), pp. 273-288.
- Lipinski, H. and J. Tydeman (1979), “Cross-Impact Analysis: Extended KSIM”, *Futures*, Vol. 11, pp. 151-154.
- McLean, M. (1976), “Does Cross Impact Analysis Have a Future?”, *Futures*, Vol. 8, (Aug.), pp. 345-349.
- Meltzer, R. J. (1993), “Closing the Technology Impact Gap : Mandate for the '90s”, *Research Technology Management*, Vol. 36, No. 5, (Sep./Oct.), pp. 8-12.
- Mitchell, R. B. and J. Tydeman (1976), “A Note on SMIC 74”, *Futures*, Vol. 8, (Feb.), pp. 64-67.
- Mohapatra, P. K. J. and K. Vizayakumar (1989), “Revisiting Causality in System Dynamics and KSIM Models”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 36, No. 4, (Dec.), pp. 363-388.
- Novaky, E. and K. Lorant (1978), “A Method for the Analysis of Interrelationships between Mutually Connected Events: A Cross-Impact Analysis”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 12, No. 2-3, (Aug.), pp. 201-212.
- Porter, A. L. (1991), *Forecasting and Management of Technology*, John Wiley & Sons.
- Turoff, M. (1972), “An Alternative Approach to Cross-Impact Analysis”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 3, pp. 309-339.
- Wissemma, J. G. and J. Benes (1980), “A Cross-Impact Case Study: the Dutch Construction Sector”, *Futures*, Vol. 12, (Oct.), pp. 395-404.