

R&D프로젝트군의 효과추정을 위한 복합효과 평가시스템의 설계

A Design of Cross Effect Evaluation System for Estimating the Effectiveness of R&D Projects

강 일중*, 권 철신*, 박 준호**

* 성균관대학교 시스템경영공학부

** 성균관대학교 과학기술연구소

Abstract

「Cost Effectiveness Analysis」 has been widely used to evaluate the effectiveness of R&D resources. But, almost of cost effectiveness evaluation systems have some problems, especially the cross effect among R&D projects has not been considered.

To solve this problem, we have designed a new 「Cross Effect Evaluation System(CEES)」, which are able to estimate multi-effects and cross effects by completion time among several projects.

1. 서론

상호효과(Cross Effect Status)개념은 프로젝트들간에 존재하는 효과의 상호종속성을 의미하는 것으로, 임의의 어떤 프로젝트가 완성된다면 그것이 다른 프로젝트의 완성효과에 어떠한 영향을 주는가를 정량적으로 파악하여 그 값을 프로젝트의 효과 평가치에 반영할 필요가 있다.

이는 Gorden이 최초로 기술예측의 수법으로 개발한 「상호영향 매트릭스법(Cross Impact Matrix Method: CIM)」의 개념을 확장한 것인데, 원래의 「CIM」은 프로젝트간에 존재하는 상호영향을 추정함에 있어 과도한 입력자료의 요구, 추정결과의 검증불능, 확률추정치의 일관성 결여 등 많은 문제점을 안고 있다.

특히, R&D프로젝트의 완성시기에 의한 상호영향효과의 정도가 파악될 수 없으며, 또한 R&D프로젝트간의 상호작용을 시간의 영향형태까지 고려한 복합효과 나아가 프로젝트간 상호영향의 정도가 반영된 개별 프로젝트의 상호효과 역시 산출불가능한 점이 상호효과에 의한 복합효과평가시스템을 구축하는 작업에 걸리적 걸림들이 되어 왔다.

본 연구에서는 프로젝트 상호간의 시간영향이 고려된 효과를 추정하기 위하여 프로젝트간의 특정관계에 근거한 효과영향 파라미터를 설계함으로써 프로젝트들의 복합효과와 개별프로젝트의 상호효과를 추정하고자 하며, 그 개략적인 내용은 다음과 같다.

1) 효과영향 파라미터의 추정

프로젝트들에 대한 'Cross Matrix Table'을 만들어 두 프로젝트들간에 존재하는 효과영향 파라미터를 전문가로부터 추정한다.

2) 복합효과의 추정

완성순서에 따른 효과영향 파라미터의 값을 각 프로젝트별로 산출된 단독효과치에 곱하고, 이들을 종합하여 복합효과를 추정한다.

3) 효과체감율의 산출

효과의 시간적 가치를 고려한 일종의 패널티개념으로서, 효과의 체감율은 의사결정자의 Policy에 따라 산출된다.

4) 상호효과의 산정

완성순서에 따라 후속 R&D프로젝트군의 복합효과에서 선행 R&D프로젝트군의 복합효과를 감하여 개별 프로젝트들의 상호효과를 산출한다.

2. 선행연구의 검토

Blackman(1973)은 기존의 '제품믹스(Product Mix)'로부터 얻을 수 있는 미래의 추정매출액과 장기적인 목표매출액간의 격차, 소위 'Sales Gap'을 해소할 수 있는 신제품개발 프로그램의 성공 및 실패에 대한 불확실성의 효과와 그 프로그램의 장기적인 계획매출액에 대한 프로그램간 상호작용의 효과까지 반영할 수 있는 새로운 장기계획모형을 개발하고자 하였다.

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

그러나, 프로젝트의 미래 발생시점을 사전에 그것도 단일시점으로 정확히 점추정한다는 것은 거의 불가능한 작업이며, 또한 각 프로젝트의 목표가 달성되는 시점 즉, 완성시기에 따라 상호영향의 정도는 달라지게 되는데, 이점을 간과한 채 발생시점에 따른 프로젝트간 효과의 불변성을 가정하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 연구에서는 각 프로젝트의 발생시점을 확률변수로 취하고, 이에 대한 분포함수를 추정한 후에, 각 프로젝트간 상호작용의 효과를 평가하는 설계를 행한다.

Novaky & Lorant(1978)는 상호관련된 항목의 발생확률을 추정할 수 있을 뿐만 아니라, 특정항목의 연쇄효과, 항목의 예측치간에 발생하는 모순 등을 파악하여 제거할 수 있는 새로운 상호영향방법

의 연쇄효과, 항목의 예측치간에 발생하는 모순 등을 파악하여 제거할 수 있는 새로운 상호영향방법을 개발하여 평가리의 경제성장을 결정짓는 항목들의 상호영향을 검토하고, 경제성장에 대한 장기예측치를 제시하는 작업에 이 방법을 적용하였다.

이 방법은 항목의 발생확률 추정시, 과도한 주관성의 배제라는 입장에 근거하여, 기대효과와 정량화, 특정항목이 갖는 효과의 연쇄반응 분석, 그리고 항목의 예측치간에 존재하는 상충성을 탐색하여 제거할 수 있는 예측그룹 내의 일관성 검증 등이 가능하다는 점에서 많은 장점을 내포하고 있다.

그러나, 이 연구에서는 항목의 계층적 순서를 결정함에 있어, 다른 항목에 가장 많은 영향을 주는 항목의 순서로 발생순서를 결정함으로써 발생의 시간적 의미가 무시되었다. 그리고, 각 항목의 발생 시점에 따른 효과의 변화도 전혀 고려되지 않았다는 점에 커다란 문제가 있다.

권철신 & 조근태(2002)는 기술예측의 대상이 되는 R&D항목의 총효과를 최대로 하는 R&D자원 투입에 대한 최적항목의 조합을 도출함으로써 한정된 R&D자원을 효과적으로 배분하는 모형 즉, R&D항목간의 시간영향과 효과영향을 동시에 고려한 전략적 「기술연관 예측모형」을 개발하였다.

이 연구는 기술예측의 대상이 되는 R&D항목의 완성시기에 따라 달라지는 시간영향의 정도와 나아가서는 완성시기의 시간적 간격에 따른 영향까지도 반영된 효과영향 추정방법을 제시함으로써 체계적이고 총합적인 기술예측을 가능하게 하였고, 이러한 예측수법에 의한 결과를 자원배분과 통합시켜 기술예측이 갖는 전략적 활용도를 크게 높였다는 점에서 큰 의의가 있다 하겠다.

그러나, 각 프로젝트에 미치는 개별효과를 측정하기 위한 평가요인의 설정 및 선정의 방법, 가중치의 부여방법, 개별효과와 총합화방법이 구체적으로 제시되고 있지 않아, 개별프로젝트에 대한 우선순위를 결정하기 위한 효과분석에 직접 적용하기에는 약간의 무리가 따른다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 본 연구에서는 연구개발중인 프로젝트들의 효과를 정확하게 분석하기 위해 먼저 가치합수 측면에서 프로젝트가 미치는 효과를 측정한다. 둘째, 평가자의 가치관을 표현할 수 있는 가중치 부여방식을 통하여 가중치를 정확히 부여한다. 셋째로는 상호효과영향의 정도를 나타낼 수 있는 파라미터를 설계하여 항목간의 복합효과를 추정한다. 끝으로, 이에 근거하여 상호영향을 고려할 수 있는 새로운 개별효과 추정방법을 개발하고자 하는 것이다.

3. 복합효과와 추정체계

3-1. 복수프로젝트

먼저, 2개의 R&D프로젝트 P_i 와 P_j 가 완성되는 경우, 이 두 프로젝트(P_i, P_j)의 복합효과 E_{ij} 는 식 (1)과 같이 구한다.

$$E_{ij} = E_{ij} + E_{ji} = e_{ij} \cdot E_i + e_{ji} \cdot E_j \quad \dots(1)$$

만약, 프로젝트 P_i 와 프로젝트 P_j 가 상호관련이 있을 경우, 우선, $E_{ij} = E_i + E_{ji}$ (프로젝트

트 P_i 가 완성된 후 프로젝트 P_j 가 완성되는 경우)로 볼 수 있다. 그러나, 여기서 P_i 의 효과 E_i 는 t_j 시점에서 P_j 의 영향을 받기 때문에 두 프로젝트간의 관계에 따라 크든 적든 E_{ij} 의 값으로 변화한다.

따라서, 두 프로젝트 P_i 와 P_j 의 복합효과 E_{ij} 는 P_j 가 완성되었을 때 P_i 의 변화된 효과값 E_{ij} 와, P_i 가 완성되었을 때 P_j 의 변화된 효과값 E_{ji} 와의 합으로 나타낼 수 있다.

결국, E_{ij} 는 P_i 가 먼저 완성되고, 뒤늦게 P_j 가 성공한 경우의 상호영향효과이며, E_{ij} 는 P_j 가 먼저 완성되고, 뒤늦게 P_i 가 성공한 경우의 상호영향효과이다. 또한, e_{ji} 란 E_{ji} 와 E_j 의 몇 배인가를 나타내는 효과영향 파라미터의 값으로, P_i 와 P_j 간의 관계가 경쟁적 관계일 때는 $e_{ji} \leq 1$, 보완적 관계일 때는 $e_{ji} \geq 1$, 독립적 관계일 때는 $e_{ji} = 1$ 이 된다.

3-2. 다수프로젝트

R&D프로젝트의 수가 3개일 경우의 복합효과 E_{ijk} 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{ijk} &= E_{ijk} + E_{jik} + E_{kji} \\ &= e_{ijk} \cdot E_i + e_{jik} \cdot E_j + e_{kji} \cdot E_k \end{aligned} \quad \dots(2)$$

여기서, E_{ijk} 는 프로젝트 P_j, P_k 가 이미 완성된 후에 뒤늦게 프로젝트 P_i 가 완성되는 경우에 P_i 가 갖는 효과가 되며, E_{jik}, E_{kji} 에 대해서도 마찬가지이다. 또한 $e_{ijk}, e_{jik}, e_{kji}$ 는 효과영향의 파라미터 값으로서, 이들에 대한 추정을 전문가로부터 구하게 되면, 그 파라미터 e_{ijk} 의 총수는 n^3 의 차수가 되고(여기서 n 은 프로젝트의 수), n 이 조금 크게 되면 사실상 추정행위가 불가능하게 된다. 이를 해결하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하여 e_{ijk} 를 추정하기로 한다.

(a) P_i 가 P_j, P_k 의 어느 것보다도 경쟁적 관계에 있는 경우 ; $e_{ijk} = \min(e_{ij}, e_{ik})$

(b) P_i 가 P_j, P_k 의 어느 것보다도 보완적 관계에 있는 경우 ; $e_{ijk} = \max(e_{ij}, e_{ik})$

(c) P_i 가 P_j 와 경쟁적이고, P_k 와는 보완적 관계에 있는 경우 ;

낙관적 입장을 갖는 경우 ;

$$e_{ijk} = \max(e_{ij}, e_{ik})$$

비관적 입장을 갖는 경우 ;

$$e_{ijk} = \min(e_{ij}, e_{ik})$$

이를 다수 프로젝트 경우로 일반화하면, P_j, P_k, \dots, P_n 가 이미 완성된 후에 P_i 가 완성

된 경우, P_i 의 완성에 의한 효과 $E_{ij^1, j^2, \dots, j^n}$ 는 식 (3)과 같게 된다.

$$E_{ij^1, j^2, \dots, j^n} = e_{ij^1, j^2, \dots, j^n} \cdot E_i \dots \dots \dots (3)$$

여기서, 파라미터 $e_{ij^1, j^2, \dots, j^n}$ 에 관하여 아래와 같은 세 가지의 관계가 성립되는 것으로 가정한다.

(a) P_i 가 $P_{j^1}, P_{j^2}, \dots, P_{j^n}$ 의 모두와 경쟁관계에 있는 경우 ;

$$e_{ij^1, j^2, \dots, j^n} = \min(e_{ij^1}, e_{ij^2}, \dots, e_{ij^n})$$

(b) P_i 가 $P_{j^1}, P_{j^2}, \dots, P_{j^n}$ 의 모두와 보완관계에 있는 경우 ;

$$e_{ij^1, j^2, \dots, j^n} = \max(e_{ij^1}, e_{ij^2}, \dots, e_{ij^n})$$

(c) P_i 가 $P_{j^1}, P_{j^2}, \dots, P_{j^n}$ 중의 일부 프로젝트와는 경쟁적이고 나머지 프로젝트와는 보완적 관계에 있는 경우 ;

$$e_{ij^1, j^2, \dots, j^n} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n e_{ij^k}} = \sqrt[n]{e_{ij^1} \times e_{ij^2} \times \dots \times e_{ij^n}}$$

4. 상호효과의 산출체계

4-1. 효과체감율의 산출

R&D활동에서 그 목적의 기반이 되고 있는 사회적 니즈의 정도는 시간의 경과에 따라 변화해 가는데, 이는 사회환경의 변화 및 가치관의 변화에 기인한다. R&D프로젝트가 수반하는 효과를 사회적 니즈에 대한 충족도라고 본다면 니즈의 변화는 곧, 효과의 변화가 되어 나타난다.

이 효과의 변화를 간략화하기 위해서 R&D프로젝트 P_j 의 완성시기를 t 년 후로 할 경우, 그 완성에 의한 효과는 식 (4)로 나타내진다.

$$E_j(t) = f(t) E_j \dots \dots \dots (4)$$

기업의 R&D활동을 고려해 볼 때, 그 활동이 종료된 시점에서부터 기업에 이윤을 가져다준다면, R&D프로젝트의 완성시기가 그 기업에게 주는 공헌의 정도는 효과값의 현재가치를 나타내주는 식 (5)와 같은 함수형이 적절할 것이다.

$$f(t) = e^{-rt} \dots \dots \dots (5)$$

여기서, r 은 연구개발의 완성시기가 t 년 지연됨에 따라 연구개발의 완성효과가 얼마나 감소되는지를 나타내는 값으로, 이 값의 결정은 조직 또는 의사결정자의 정책(Policy)에 의존된다. 만일, 이 값이 크다면 프로젝트의 적시성이 대단히 크다는 것을 의미하기 때문에 프로젝트의 완성시기가 지연되면 될수록, 그 완성에 의한 효과는 크게 기대할 수 없게 된다. 반대로, 이 값이 작으면 적시성 곧, 완성의 긴급성은 크지 않다는 뜻이다.

한편, R&D활동이 사회적 니즈에 따라 이루어지는 것이라 한다면 그 니즈에 입각한 다른 대체적인 연구개발이 완성되지 않는 한, 그 실용화는 지속되는 것으로 볼 수 있다.

즉, 경쟁적 관계에 있는 R&D프로젝트들의 완성에 의한 효과의 영향 곧, 효과의 변화를 별도의 상호영향관계로 따로 검토하면, 이들 연구개발을 독촉하는 사회적 니즈가 소멸되지 않는 한, 그 효

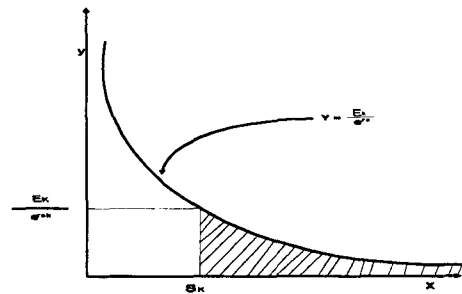
과는 소멸되지 않는다고 보는 것이다.

또한, 이 값은 원래 각 R&D프로젝트의 특성에 의존되고, 각 프로젝트 특유의 효과체감율은 각각 다른 값을 갖는다고도 볼 수 있으나, 한편으로는 사회적 니즈나 정책적인 방침에 따라서 좌우되는 것으로도 볼 수 있는 복잡한 특성을 갖고 있기 때문에, 본 연구에서는 일단 일정한 값으로 규정한다.

따라서, 프로젝트 P_k 의 완성에 의한 효과의 양을 E_k 라 하면 그 완성시기의 시점에서 계산하여 그 효과의 총합은 식 (6)으로 구할 수 있다. 이를 <그림 1>의 사선부 면적으로 표현할 수 있다.

$$E(P_k) = \int_0^{\infty} E_k \cdot e^{-rt} dt \dots \dots \dots (6)$$

여기서, r : 효과체감율



<그림 1> 프로젝트 P_k 의 완성효과

4-2. 상호효과의 산출

R&D프로젝트의 초기완성시기가 전문가에 의해 추정되었을 때, 이 완성시기에 대한 시간영향의 정도에 따라 이들 확률변수로 하는 확률밀도함수가 변화하게 되는데, 시뮬레이션방법으로 이들 프로젝트의 최종 완성시기를 결정한다.

또한, 최종 완성년도의 수치군이 각 개별프로젝트의 상호효과를 결정한다고 가정하고, 프로젝트별 상호효과를 다음과 같은 3단계의 추정절차에 따라 산출한다.

<단계 1> R&D프로젝트 $P_k, P_l, P_m, \dots, P_r$ 이 현 시점에서 실현되면, 그 프로젝트들이 갖는 복합효과($E_{klm\dots r}$)는 아래의 식 (7)에 따라 산출된다.

$$E_{klm\dots r} = \sum_{p=k}^r \max(e_{p/k}, e_{p/l}, \dots, e_{p/r}) \dots (7) \times \min(e_{p/k}, e_{p/l}, \dots, e_{p/r}) \times E_p$$

<단계 2> 프로젝트 P_k 가 t_k 년 후에 실현되면, P_k 의 최종 상호효과는 식 (8)과 같이 산출된다.

$$E(P_k) = \int_{t_k}^{\infty} \frac{E_k}{e^{rt}} dt \dots \dots \dots (8)$$

여기서, r 은 프로젝트의 완성시기가 지연되는데 따른 효과의 체감율이다.

<단계 3> R&D프로젝트 P_1, P_2, \dots, P_n 의 완성 시기를 각각 t_1, t_2, \dots, t_n 년 후로 보고, t 들간의 관계를 $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ 라고 가정하면, 개별프로젝트의 최종 상호효과는 식 (9)에 따라 산출된다.

$$E_{CE}(P_1) = \int_{t_1}^{\infty} E_1 \cdot e^{-rt} dt$$

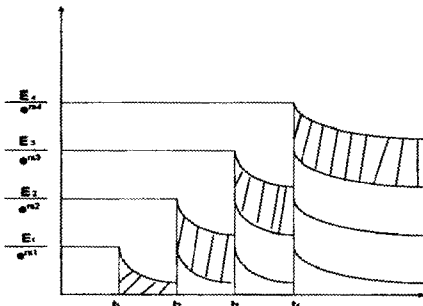
$$E_{CE}(P_2) = \int_{t_2}^{\infty} (E_{12} - E_1) \cdot e^{-rt} dt$$

$$E_{CE}(P_3) = \int_{t_3}^{\infty} (E_{123} - E_{12}) \cdot e^{-rt} dt$$

⋮
⋮
⋮

$$E_{CE}(P_n) = \int_{t_n}^{\infty} (E_{123\dots n} - E_{123\dots n-1}) \cdot e^{-rt} dt \dots\dots(9)$$

이것을 도해하면 <그림 2>가 되는데, 이것은 프로젝트의 수가 4개의 경우로서 사선부의 면적이 프로젝트의 최종 개별효과의 값이다.



<그림 2> 각 프로젝트의 최종 상호효과

6. 결론

본 연구에서는 정밀한 효과평가가 가능하도록 하기 위하여 다수 R&D프로젝트간의 상호영향을 고려한 복합효과, 그리고 완성순서에 따른 개별 프로젝트의 상호효과를 추정하는 새로운 평가방식에 대한 상세설계를 행하였다.

기존의 상호영향 분석방법들이 여러 가지 관점에서 개발되어왔지만, 본 연구에서는 R&D프로젝트들간의 복잡한 상호효과를 손쉽게 평가할 수 있는 하나의 수단으로 '효과영향 파라미터'를 도입함으로써 추정의 용이성과 신뢰성을 확보한 새로운 「복합효과 평가체계」를 구축하였다.

또한, 완성순서에 따른 R&D프로젝트들간의 상호영향효과에 대한 추정방법을 제시함으로써 정부 및 기업차원에서 연구개발의 완성시기와 완성효과를 결합한 복합적 기술전략수립을 가능하게 할뿐만 아니라, R&D프로젝트가 갖는 동태적 효과를 추정할 수 있게 하는 유용한 효과평가방식을 제시하였다는 데에 큰 의의가 있다 하겠다.

본 연구에서는 R&D프로젝트간에 존재하는 상호영향효과를 고려한 「효과평가시스템」을 개발하

면서 프로젝트의 완성순서의 시기는 고려하였지만, 완성시기의 간격은 고려하지 못하였다. 또한, R&D 프로젝트들의 복합효과 추정시, 정순 복합효과와 역순 복합효과가 값이 실질적으로 다를 수 있음에도 불구하고 이를 동일하게 처리하였다는 한계점이 있다.

끝으로, 본 연구의 한계점을 해결하기 위한 추후의 연구과제를 제시하면 다음과 같다.

먼저, 본 연구에서 설계한 프로젝트간 상호영향이 고려된 효과와 상호영향이 고려되지 않은 효과간의 차이를 현장의 실증적 데이터에 근거한 사례분석을 통하여 비교·검토해 볼 필요가 있다.

그리고, 프로젝트의 완성시기에 따른 효과의 정도를 보정하기 위해 도입된 효과의 체감율 r 의 값을 어떻게 결정해야 할 것인가는 여전히 과제로 남아 있다.

<참고문헌>

1. 권철신, 연구개발시스템대체안의 평가 및 선정을 위한 최적전략해, 성균관대학교 논문집 <자연계>, 제32집, 1982, pp.253-270.
2. 권철신, "Feasibility Function의 정량화에 근거한 RDPPL/SAFE의 기능구축", 대한산업공학회지, 제8권, 제2호, 1982, pp.3-14.
3. 권철신, 박종길, "A Selection Structure of the Optimal Prior Research Project for Objective Basic Research", Proceedings of MS/IE, 1989.
4. 권철신, 조근태, "대규모 R&D프로젝트에 있어서 목표대체안처리시스템의 구축을 위한 구조모형의 설계", 산업공학회지 15권 4호, 2002, pp.460-473.
5. 권철신, 조근태, "Design of a Goal Alternatives Disposition System Having Technology Goal Coordinating Subsystems", Proceedings of IE, OR/MS, 1991, pp.455-456.
6. Blackman, A. W., "A Cross Impact Model Applicable to Forecasts for Long Range Planning", TF&SC, Vol.5, No.3, 1973, pp.233-242.
7. Dean, B. V. & Roepcke, L. A., "Cost Effectiveness in R&D Organization Resource Allocation", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.16, No.4, Nov. 1969.
8. Hovanession, S. V., "Research and Development of a Large Scale Electronic System", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.22, No.3, Aug., 1975, pp.94-101.
9. Lanford, H. W. & McCann, T. M., "Effect Planning and Control of Large Projects - Using Work Breakdown Structure", Vol.16, No.2, 1983, pp.38-50.
10. Meltzer, R. J. "Closing the Technology Impact Gap : Mandate for the '90s, Research Technology Management", Vol.36, No.5, 1993, pp.8-12.
11. Novaky, E. & Lorant, K., "A Method for the Analysis of Inter-relationships between Mutually Connected Events: A Cross-Impact Analysis", TF&SC, Vol.12, No.2-3, 1978, pp.201-212.
12. Silverman, B. G., "Project Appraisal Methodology : A Multidimensional R&D Benefit/Cost Assessment Tool, Management Science", Vol.27, No.27, July, 1981, pp.802-821.