

척도이론에 근거한 CIA의 간편화 모형 A Simplified Model of the CIA based on Scaling Theory

*전정철, **임동준, ***안기현, ****권철신

*성균관대학교 산업공학과 박사 1년, vanish19@naver.com

**성균관대학교 산업공학과 석사 1년, tgn03@korea.com

***성균관대학교 산업공학과 박사 3년, khahn@skku.edu

**** 성균관대학교 시스템경영공학과 R&D공학 전공 지도교수, cskwon@skku.edu

Abstract

This study is intended to develop a improved version of Cross Impact Analysis Model based on Scaling Theory. In developing the model, we applied the scale transformation technique and regression technique to existing CIA model.

Improved CIA model is composed of two sub-models: 'model for impact value measurement,' and 'model for impact value conversion'.

We applied a technique which measures data by ordinal scale and then transforms them into interval scale and ratio scale data to CIA model.

The accuracy of forecasting and the usability of CIA application have been improved.

1. 서론

연구개발을 기반으로 성장하는 기술기업들에게 미래기술에 대한 예측은 기업의 생존과 직결된 문제이다. 정보기술의 발전과 더불어 기술의 수명주기가 짧아지고 또한 다양한 신기술의 태동하는 현재, 첨단기술의 급격한 변화트랜드를 포착하는 정확한 기술예측의 중요성은 날로 증대되고 있다.

미래의 기술예측 작업을 수행함에 있어 간과해서는 안 될 중요한 점은 유사기술군 내의 기술들 간에 상호영향성이 존재한다는 점이다. 더욱이 방대한 량의 기술이 태동되면서 첨단 기술 간의 융합과 신기술 간의 상호영향이 증대되고 있으나, 기술예측과 기술계획활동에 있어서 이들 기술에 대한 분석은 상호 간의 독립성을 전제로 한 수법들로 일반화되어 있는 실정이다. 따라서 정확한 기술의 예측을 위해

서는 기술 간의 상호영향을 고려한 예측기법에 대한 연구가 어느 때보다 절실한 시점이라 하겠다.

기술예측에서 기술 간의 상호영향을 고려한 연구는 1968년 Gordon이 제시한 「CIM(Cross Impact Matrix)」법을 효시로, 지금까지 「CIA(Cross Impact Analysis)」법이라는 이름으로 오랜기간 연구되어 왔다. 그러나, 이들 수법은 이론연구로 그쳤을 뿐 현실에 적용된 사례는 매우 드물다.

그 중요한 이유로는 예측을 위한 입력자료의 량이 지나치게 과다하다는 점과 더불어 각 입력자료의 획득방법 또한 어려워 예측전문가에게 큰 부담이 된다는 점 때문이다. 상호영향을 산출하기 위해서는 분석 대상기술 간의 비교과정이 필요한데, 상호영향 분석대상이 조금만 늘어나도 비교대상은 기하급수적으로 증가하여 현실적으로 자료를 획득하기가 쉽지 않다. 또한 전문가를 통한 입력자료의 획득 시, 전문가에게 요구하는 자료를 불확실한 미래기술의 상태에 대한 확률치 혹은 시간치와 같은 비율척도 수준의 수치로 요구하게 되어 응답 부담에 따른 신뢰도의 저하가 크다는 사실도 지적되어 왔다.

본 연구에서 핵심이 되는 CIA 간편화모형의 설계는 전문가가 각 비교대상간의 상호영향을 파악하는 과정의 부담을 줄이는 것에 초점을 두고 척도이론의 관점에서 진행하였다. 기존의 CIA이론과 비교하여 척도변화에 따른 데이터의 정보량과 전문가의 측정부담의 변화를 CIA모형에 접목하여 척도이론에 근거한 CIA 간편화 모형을 설계하고자 한 것이다.

본 연구는 CIA연구의 효시가 된 Gordon의 CIA모형의 수리적 구조를 바탕으로 하며, 주

된 연구는 CIA모형의 전개과정 중 초기영향과 상호영향을 도출하는 과정을 초점으로 수행된다.

2. 관련연구의 검토

CIA는 동태적인 직관적·시스템적 수법체계의 기술예측 기법으로 1969년 Gordon과 Hayward가 제시한 「상호영향행렬(Cross Impact Matrix ; CIM)」 [4]에서 시작되었다.

Gordon & Hayward는 1968년 예측치를 얻고자 하는 대상항목이 상호관련이 있을 때, 기존의 기술예측기법 중 하나인 「텔파이법」이 상호영향을 고려하지 못하므로 결국 정확한 합의를 이끌어낼 수 없다는 점을 지적하고 이의 극복방안으로서 항목 간의 상호작용을 고려한 「상호영향 매트릭스법(CIM법)」을 제안하였다.

이후, CIM법에 대한 문제점을 제기하고 이를 보완한 많은 연구들이 실시되었으며, 이러한 후속연구들에서는 「Cross Impact Analysis ; CIA」라는 용어가 사용되었다.

CIM법은 한 항목의 발생확률을 예측하거나 다른 예측항목과의 사이에 존재하는 상호작용에 대한 전문지식에 근거한 판단을 행하고 그 판단에 비추어서 지금 예측하고자 하는 항목의 발생확률에 대하여 수정을 가하는 방법을 취하고 있다. 이러한 방법은 상호영향을 고려해주는 핵심 알고리즘으로 이후 CIA의 이름으로 수행된 많은 연구에서도 이 알고리즘을 통해 상호영향을 고려하고 있으며 본 연구에서는 이 알고리즘 상 전문가 판단의 애로사항을 척도이론에 기반하여 해결책을 모색하고자 한다.

척도이론 분야에서 Dawes[3]는 물리척도와 평점척도로 측정된 결과 사이의 관계를 실험하였다. Dawes는 미국 오레곤 대학 심리학과 25명의 직원들의 키를 측정하는데 Cm와 같은 물리척도가 아닌 평점척도를 이용하여 측정하고 그 결과를 물리척도 측정결과와 비교하는 실험을 실시하였다. 이와 같은 평점척도를 통해 직원들이 동료의 키를 평가한 결과를 물리척도를 이용한 측정결과와 비교한 결과 물리척도와 평점척도의 측정결과를 X, Y축으로 한 평점에 타점한 결과 거의 직선으로 나타났으며, 상관계수는 0.88-0.94로 매우 높은 상관관계가 나왔다.

Dawes의 연구는 평점척도에 의해 수집된 자료가 등간척도 수준을 보이며, 이 등간수준의 결과치가 물리척도를 이용해 수집한 결과치와 선형변환관계에 있음을 실험을 통해 제

시한다는 점에서 등간척도를 통한 측정치의 정확성과 물리척도로의 변환 타당성을 실증하고 있다.

3. CIA 간편화 모형의 설계

본 절에서는 평가내용에 대한 전문가의 부담을 줄임으로써 입력자료의 획득과정을 간편화하는 「척도이론에 근거한 CIA 간편화 모형」을 개발하고자 한다. 본 모형은 다음의 「영향도 측정모형」, 「영향치 산출모형」 두 가지 세부모형으로 구성된다.

3.1. 영향도 측정모형

「영향도 측정모형」에서는 상호영향을 분석하는 대상 간 영향(impact)의 정도를 수리적으로 산출하는 모형을 설계하고자 한다. 영향의 정도를 표현하는 방법에는 척도이론의 관점에서 다음의 네 가지 대표적 척도형태를 들 수 있다. 척도의 형태(type of scale)는 측정하고자 하는 사물 혹은 사건의 속성이 척도가 가질 수 있는 숫자의 특성을 얼마나 가지고 있는가에 따라서 구분되어지는 것으로, 척도는 일반적으로는 명목척도, 서열척도, 등간척도, 비율척도 등 네 가지로 구분된다[1].

위 네 가지 척도형태 중 기존의 CIA이론이 요구한 척도는 확률 또는 시간의 수치인 비율척도이며, 본 연구에서는 비율척도를 대신하여 서열척도를 이용하는 모형을 설계하고자 한다.

본 연구가 추구하는 측정의 간편화와 관련하여 측정의 관점에서 네 가지 척도형태별 특성은 아래와 같이 정리할 수 있다.

여기서 A_k 는 연구(R_k)와 개발(D_k)활동을 통칭하여 나타내며, k 는 n, o, i, r 값을 갖는데 척도 형태를 나타내며 n 는 명목척도, o 는 서열척도, i 는 등간척도, r 은 비율척도를 의미한다.

- e_k : 척도 k 를 이용해 R&D활동 A_k 를 측정된 값
- $I(e_k)$: e_k 정보 요구량
- $L(e_k)$: e_k 측정을 위한 노력
- $C(e_k)$: e_k 측정의 편이

이라고 하면, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$I(e_n) < I(e_o) < I(e_i) < I(e_r)$$

$$L(e_n) < L(e_o) < L(e_i) < L(e_r)$$

$$C(e_n) > C(e_o) > C(e_i) > C(e_r)$$

즉 정보량이 많을수록 측정시 정보의 요구량이 많고, 정보 요구량이 많을수록 측정을 위한 노력이 증가하고 측정의 편이가 감소한다는 것이다.

위의 논리에 의하여, 본 연구는 상호영향분석을 위해 요구되는 비율척도수준의 값을 직

접 추정하는 대신 서열척도 이용해 추정함으로써 전문가의 부담을 줄여주고, 결과적으로 「CIA」 분석과정을 간편화하게 된다.

서열척도를 이용한 실제적 측정방식은 오래 전에 서스톤이 제시한 Thurstone 척도이론[5]에 기반하여 이루어진다. Thurstone 척도법은 각 측정대상의 쌍대비교를 통하여 그 쌍 내에서 어떤 대상이 더 높은 속성수준을 지니는지를 응답자들이 판단하도록 요구하는 방식을 취한다. 하지만, 쌍대비교의 경우 대상의 종류가 많을 때는 응답자에게 그 많은 수의 쌍을 모두 주고서 응답하라고 요구하기가 벅차다. 따라서 단순히 그 대상들을 일렬로 정렬만 해달라고 요구하는 것이 합리적이다[6]. 본 연구에서 이와 같은 이유로 서열척도 측정방식을 상호영향비교대상 간의 순위매김을 통해 추정하도록 한다.

상호영향분석의 대상이 되는 각각의 R&D 활동의 기술을 A_i, A_j 라 하고, A_j 가 발생했을 때 A_i 에 미치는 영향도의 크기 $\Delta\mu(a_{i/j})$ 를 순서에 따라 수치를 부여하여 추정된 값을 $O_{i/j}$ 라고 하면 서열척도를 이용한 상호영향 추정은 아래의 표로 정리된다. 이때 $O_{i/j}$ 값은 $1 \leq O_{i/j} < n, O_{i/j} \in N$ 으로 순위가 된다.

[표 1] 서열척도 상호영향 추정매트릭스

구분	A_1	A_2	A_3	...	A_n
A_1		$O_{2/1}$	$O_{3/1}$...	$O_{n/1}$
A_2	$O_{1/2}$...	$O_{n/2}$
A_3	$O_{1/3}$	$O_{2/3}$...	$O_{n/3}$
.
.
.
A_n	$O_{1/n}$	$O_{2/n}$...	$O_{n/n}$

서열척도를 통해 산출된 상호영향 수치는 순위로 척도수준이 서열 수치가 된다. 상호영향 수치를 CIA모형에 적용하기 위해서는 비율척도 수준의 수치가 요구되며, 서열척도를 직접적으로 비율척도로 변환하는 것은 척도이론상 적합하지 않다. 이 서열척도 수준의 값을 등간척도 수준의 값으로 척도변환이 필요하다. 척도변환을 위해 본 연구에서는 서스톤V모형을 사용한다[2].

서스톤V모형은 쌍대비교법과 같은 차이발생법에 의해 수집된 서열척도를 일차원적인 등간척도로 바꾸어 주는 모델이다. 이 모델은 추정대상에 대한 쌍대비교를 통하여 평가한

집단의 비율의 차이에 근거하여 등간척도 수준의 수치를 추정하는 방식을 취한다. 서스톤V모형은 다양한 검증을 통하여 상당히 타당한 방법임이 밝혀진 모델로서 본 연구에서는 위의 방식으로 서열척도로 구한 값을 등간척도로 변환하게 된다.

이렇게 산출된 등간척도 수준의 상호영향 수치는 다음의 「영향치 산출모형」에서 회귀분석을 통해 비율척도 수준의 수치로 전환되어 CIA모형에서 사용되게 된다.

3.2. 영향치 산출모형

「영향치 산출모형」에서는 전 모형에서 산출된 등간척도 수준의 수치를 비율척도 수준의 수치로 변환하게 된다.

비율척도 수준의 수치를 산출을 위해서는 지금까지 도출한 비율척도 수준의 상호영향 수치와는 별도로 비율척도 수준의 분석대상의 확률 또는 시간의 초기값과 상호영향 결과로 인해 발생된 실제적 추정값이 필요하다. 이 추정값은 전체 상호영향 분석대상 중 하나의 대상만을 선정하도록 한다. 이 하나를 샘플 분석대상이라고 칭한다면, 샘플 분석대상의 실제적 추정값을 전문가로부터 추정한다. 그 후, 이전 단계를 통해 도출한 영향치 수치와 최초 초기치의 비율을 계산하여 영향치 비율을 산출하고 이 영향치 비율과 영향도 간 관계의 함수식을 회귀분석을 통해 추정하게 된다.

회귀식의 형태를 추정하는 방법은 여러 가지가 있는데 본 연구에서는 ‘영향도’ 측정척도의 종류에 따라 회귀식의 형태에 대한 대략적 추정이 가능하다. 여기서 회귀식의 독립변수가 되는 측정척도별 ‘영향도’에 대하여 그 수치단위의 간격을 분석함으로써, 간격의 특성이 실제 회귀분석에서 종속변수와와의 관계에 미치는 영향을 추정할 수 있다. 또한, 「회귀분석」을 위한 종속변수를 확보하기 위하여 ‘영향도’ 중 전체를 대표할 수 있는 몇 개의 $EF_{i/j}$ 를 샘플로 선정하여 전문가로부터 실제적 ‘영향치 결과($t_{i/j}'$)’를 추정토록 한다. 여기서, 샘플선정 방법 역시 ‘영향도’ 측정척도에 따라 각기 달라진다.

순위로 측정되고 서스톤V모형을 통해 등간척도 수준으로 척도변환된 ‘영향도’는 눈금이 등간격인 등간척도 수치로 표현된다.

등간척도인 상호영향 수치와 비율척도인 ‘영향효과’와의 관계는 선형관계가 성립하며, 이것은 Dawe의 연구[3]에서 밝혀진바 있다. 선형관계의 회귀식의 형태는 선형함수식이 되며 선형식의 추정을 위해서는 무영향인 경우 초기값을 제외한 추가적인 하나의 데이터만 이용하여 선형식의 추정이 가능하다. 독립변수는

이미 모두 있으므로 1개의 종속변수만 선정하여 단순회귀함수를 추정하면 되는 것이다.

이와 같은 회귀분석 결과로 도출된 상호영향이 고려된 데이터가 CIA모형에 사용되어 결과적으로 전문가 부담이 경감된 CIA 분석이 이루어진다.

4. 결론

본 연구에서는 「CIA」 관련연구들을 검토하여 분석절차상에서 전문가가 갖는 예측부담 문제를 제기하고, 척도이론을 바탕으로 이를 해결할 수 있는 개선된 「CIA」 모형을 개발하고자 하였다.

연구의 성과와 그 의의는 크게 다음과 같이 정리할 수 있다.

「CIA」의 입력치를 서열척도를 이용해 1차적으로 측정하고, 서열척도 수준의 측정치를 등간척도 수준의 영향수치로, 이것을 비율척도 수준의 영향수치로, 그리고 최종적으로 상호영향이 반영된 효과수치를 추정하는 절차를 갖춘 모형을 설계하였다.

또한 척도변환 기법과 회귀분석을 「CIA」 모형에 접목하여 영향효과를 추정할 때 ‘확률치’ 혹은 ‘시간치’와 같은 추정이 어려운 데이터를 요구하지 않고 ‘순위(Rank)’ 척도와 같은 간결한 측정척도를 제공하여 전문가 부담을 줄인 「CIA」 모형을 개발하였다.

이로써 전문가 관점에서 「CIA」를 간편화하여 수법의 활용성을 높였다.

이상의 본 연구가 거둔 성과와 현실적 의의를 통해 「CIA」의 적용이 간소화되고, 실용적인 상호영향분석이 가능해질 것으로 예상된다.

하지만 본 연구는 상호영향 데이터 수집을 위한 척도로 서열척도를 사용함으로써, 모형적용 기획자의 조정으로 관리할 수 있는 부분이긴 하나 이론적으로 상호 비교의 수가 많은 경우 본 이론의 적용이 용이하지 않다는 문제점을 안고 있다.

금후 서열척도 뿐만 아닌 명목 혹은 등간척도를 이용한 영향수치 추정이 가능한 모형을 검토하여 개발함으로써 모형의 적용성을 확장하고 이를 통해 실용성을 더욱 높일 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 채서일, 「사회과학 조사방법론」, 학현사, 2002,

pp.203-207, pp.220-224.

[2] Cliff. N., "What is and isn't Measurement?" In Keren (Ed.), Statistical & Methodological Issues in Psychology & Social Sciences Research, 1982, pp.3-38.

[3] Dawes. R. M., "Suppose we measured height with rating scales instead of rulers", Applied Psychological Measurement, 1, pp267-273.

[4] Gordon,T.J. & Hayward,H. "Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting", Futures, Vol.1, No.2, Dec., 1968, pp.100-116.

[5] Thurstone, L. L., "Theory of Attitude Measurement", Psychological Review, 36, 1929, pp.222-241.

[6] Thurstone. L. L., "Rank Order as a Psychophysical Method", Journal of Experimental Psychology, 14, 1931, pp.187-201.