집단 평가에 의한 優先順位 決定方法

金 亮 列[1)]

Ⅰ. 序論

무엇을 결정한다는 것은 객관성 정도에 따라 의지 결정이나 의사 결정이 된다. 意志決定은 목표를 완수하려고 하는 마음의 능동적 작용을 포함한 결정 방식으로 主觀性이 많이 개입된 형태이고, 意思決定은 무엇이 올바른가를 여러 각도에서 客觀的으로 평가하여 냉정한 판단에 의한 결정 방식이라고 할 수 있다. 불확실한 정보하에서 올바른 의사 결정이 되도록 평가의 효율성을 높이기 위한 방법의 하나가 결정 과정에 다수의 평가자를 참여시키는 集團意思決定法이다. 단일 의사 결정자에 의한 평가와 달리 복수의 평가 위원에 의한 평가 방법에서는 각 평가 위원의 개별 의견을 종합하는 방법이 중요하다. 집단에 의한 평가가 효율적으로 이루어지려면 평가 행위에 필수적인 모든 구성 요소들이 갖추어져야 하며, 이 구성 요소들은 서로 적절한 관계를 이루어 하나의 유기적 시스템을 형성해야 한다. 또한 이렇게 형성된 시스템에 대하여 모든 평가자는 어느 정도 일치된 見解를 가져야 한다.

다수의 평가 대상이 있을 때, 이들 간의 우선 순위를 결정하기 위해서는 각 선택 대안의 魅力을 하나의 척도로 평가할 수 있어야 한다. 평가 과정에서 각 평가 대상은 평가 목표 또는 속성으로 불리는 평가 항목에 비추어 매력의 정도가 평가된다. 평가 항목이 하나이고 또 이를 객관적으로 평가할 수 있다면 우선 순위의 결정은 비교적 용이하다. 그러나 연구개발 과제의 평가에서는 대부분 객관성의 확보를 기대하기 곤란하여 이러한 이유로 다수의 평가 항목이 사용된다. 평가 항목은 평가목적을 기초로 구체화되며 평가 항목의 수가 많아지면 항목간에 의미상의 重複 혹은 漏落이 발생할 여지가 커지기 때문에 평가 속성을 체계적으로 정리할 필요가 있다. 이처럼 평가 목표가 다수이거나(multiple objectives) 목표가 하나일지라도 이를 측정하기 위한 속성이 다수일 때(multiple attributes) 이러한 문제를 다기준 의사 결정(multiple criteria decision making)이라고 한다.

다기준 의사 결정 모형에는 평가 기준들이 상호 보완될 수 있다고 가정하는 선호보정 모형(compensatory models)과 평가 기준들의 중요도를 상대적으로 비교할 수 없어 이들이 서로 보완될 수 없다고 가정하는 선호비보정 모형(noncompensatory models)으로 구분할 수 있다. 후자에서는 어떤 한 평가 요소에서의 불리한 평가와 다른 요소에서의 유리한 평가가 서로 상쇄되지 못한다. 그러므로 대안간의 비교는 각 요소별로만 가능하게 된다. 선호비보정 모형이 技術性과 經濟性으로 평가하는 연구 과제에 적용된다면 기술적 열등이 경제적 우등으로 보완될 수 없으므로 하나의 과제가 다른 과제 보다 높은 우선 순위를 가지기 위해서는 모든 기준에서 우세를 보이거나 사전에 정한 규칙을 만족시킬 수 있어야 한다. 그러므로 이 방법은 평가 과정이 단순하다는 장점은 있으나 평가 제도가 精巧하지 못하여 특별한 경우를 제외하고는 이용 빈도가 낮다. 여기에서는 이용 빈도가 높은 선호보정 모형만을 다루고자 한다.

선호보정 모형에서도 평가 대상의 매력 정도를 등급으로만 표현하는 序數的 방법과 점수나 거리와 같이 선호의 상대적 정도를 평가하는 基數的 방법이 있다. 흔히 사용되는 평가 기법 중 ranking 방법은 서수적 방법이라 분류되는 것들이고, rating이나 scoring은 기수적 방법이라 분류되는 방법이다. 평가 대상을 기수적으로 평가하든 서수적 방법으로 평가하든 어느 경우에나 평가자로 하여금 각 대안의 우선 순위를 평가 항목별로 평가하게 하거나 각 항목의 평가 결과를 종합하여 자신의 견해를 제시하게 할 수 있다. 전자의 방법이 객관성을 높인다는 의미에서 많이 이용되고 있으나, 하나의 대안에 대한 매력의 정도를 개별 평가 항목의 종합으로 측정할 수 있는가는 확실하지 않다. 본 논고에서는 일반적으로 총체적 판단법(holistic judgement)으로 알려진 후자의 대표적 유형인 投票法을 먼저 검토한 후, 개별 평가 항목에 대한 평가 결과를 종합하여 평가하는 다기준 평가에 의한 우선 순위 결정법을 다루고자 한다.

Ⅱ. 投票에 의한 우선 순위 결정법

투표에 의한 의사 결정은 의사 결정에 참여한 이해 관계자들의 의견을 공정하게 반영한다는 점에서 민주적

의사 결정 방법이라고 할 수 없다. 그러나 이 방법에서는 투표에 참여한 사람들의 專門性이 반영될 수 없고 개인의 주관적 가치관이 의사 결정의 목적과 상치될 수 있어 최선의 방법인가에 대해서는 의문의 여지가 있다. 그러나 총체적인 매력 정도로 각 평가 대상의 우선 순위를 결정할 수밖에 없는 상황에서는 유효한 방법이다. 또한 이 방법은 평가자간의 의견이 서로 相反될 경우 의견 수렴을 위한 효과적인 수단이 된다.

1. 비서열적 투표제

정치적 대표자를 선출할 때 가장 보편적으로 이용되는 방법이다. 이 방법에서는 모든 평가자가 평가 대상인 연구 과제에 대하여 자신의 選好與否만을 밝힌다. 최선의 대안 하나만을 선택해야 할 경우와 둘 또는 그 이상을 뽑을 때 제도의 운영에 약간의 차이가 있다.

다수의 후보 과제 중 하나의 대안을 뽑는 과정은 비교적 단순하다. 단순 다수 득표제(spot vote, the-first-past-the-post, simple plurality system)는 1회의 투표에서 다수 득표 과제를 선택한다. 그러나 이 방법은 평가 대상 과제의 수가 셋 이상일 때, 전체적 의견 수렴에 실패할 수 있다. 이러한 문제를 보완해 주는 방법이 절대 다수 확보제(majority representation system)이다. 첫 투표에서 절대 다수를 확보한 대안이 없으면 반복 투표(repeated ballot)를 통하여 평가 대상을 압축해 나간다. 압축 과정은 협상이나 설득이 될 수도 있고, 다수 득표 상위 두 과제에 대한 재투표(second ballot)와 같은 형식을 취할 수도 있다.

선택해야 할 대안의 수가 둘 이상인 경우에는 다양한 투표 방식을 적용할 수 있다. 투표자에 몇 개의 투표권을 부여할 것인가, 동일 대상에 하나 이상의 투표를 허용하는가 등에 따라 투표방식이 구분된다. 가장 단순한 형태는 모든 투표자가 한 표씩을 행사한 후 다수 득표자 순서로 원하는 만큼의 대안을 선정하는 단수 투표제(single nontransferable vote) 방식일 것이다. 적용이 용이하다는 장점이 있으나 투표자의 의견 반영이 불완전하다. 복수 투표제(multiple vote)에서는 모든 투표자가 선정하고자 하는 대안의 수 만큼의 투표권을 갖는다. 그러나 동일 과제에 한 표 이상을 투표할 수 없다.

이러한 제도의 단점을 투표자가 자신이 선호하는 研究分野에 속하는 과제들에 투표를 집중할 우려가 있다는 점이다. 단수 투표제와 복수 투표제의 절충 방식으로 제한 투표제(limited vote)가 있다. 이 방법은 동일 과제에 한 표 이상을 투표할 수 없다는 점은 복수 투표제와 같으나 투표자에게 선출 대상 과제의 수보다 적은 수의 투표권을 附與한다.

지금까지의 방식에서는 동일 과제에 한 표 이상을 투표할 수 없었으나, 이를 허용하는 것도 가능할 것이다. 즉 투표자에게 선출 대상 과제의 수 만큼의 투표권을 부여하고 모든 투표자가 자신의 의지대로 투표권을 배분할 수 있도록 허용해 주는 누적 투표제(cumulative vote)이다. 마지막으로 소개하는 approval system은 모든 투표자에게 자신이 원하는 만큼의 투표권을 행사할 수 있게 인정해 준다. 그러나 하나의 과제에는 한 표 이상을 투표할 수 없도록 제한한다. 평가 위원에게 다수의 투표권을 부여할지라도 특정 과제에 대한 선호가 강하다면 한 표만 행사할 것이다. 이 방법은 투표자가 좀 더 신중한 자세로 투표한다는 장점이 있으나 제도의 운영이 복잡하다는 점이 短點으로 지적된다.

2. 서열 투표제

다수의 평가 위원이 후보 과제에 대하여 자신의 관점에서 중요하다고 생각하는 순서를 매길 수 있다. 앞에서 검토한 비서열적 방법보다 평가자들이 자신의 선호를 보다 정밀하게 표현할 수 있으므로 보다 정교한 제도라고 할 수 있다. 그러나 이 경우의 문제는 이들 개인 선호를 어떻게 집단 선호로 收斂하는가이다. 즉 평가자가 평가 대상 과제에 우선 순위를 부여했을 때, 평가자 집단 전체의 만족을 최대로 하는 연구 과제들의 우선 순위를 얻도록 이들 결과를 종합하는 방식의 개발이 문제가 된다. 이러한 목적으로 개발된 방법이 사회 선택 함수(social choice function)이다. 다음에서는 이들 중 일부를 소개하고자 한다.

1) Condorcet's function

투표에서 Condorcet 원칙은 두 대안간의 비교에서 어느 한 대안이 다른 어떤 대안보다 득표수가 많으면 그 대안을 선택하는 것이다. 그러나 이러한 대안이 존재하지 않을 경우 다음의 방법으로 계산한 함수값의 순서로 우선 순위를 결정한다.

$f_c(\chi)=\mathrm{Min}_{y\ A}[@i \mid x\ Pi\ y]$

위에서 x Pi y는 평가자 i가 y보다 x를 더 선호한다는 것을 의미하고, [@i | x P y]는 y보다 x를 선호하는 평가자의 수이다. 그러므로 $f_c(x)$는 쌍대 비교에서 대안 x가 우세하다고 보는 투표자수 중 최소값이다. 그러므로 이 방법은 maximin 방법 중의 하나라고 할 수 있다.

2) Borda's function

18세기 프랑스 수학자인 Borda는 각 대안별로 다른 대안보다 우세하다고 평가한 투표자들의 수를 모두 합하여 이 값이 큰 순서로 우선 순위를 부여하는 방법을 제안하였다.

$$f_b(x) = \sum_{y \in A} \{@i \mid x\ Pi\ y\}$$

이것은 우리가 흔히 이용하는 rank-sum 방식의 다른 표현이다. 세 개의 대안이 있을 때, 1등에 2점, 2등에 1점, 3등에 0점을 주어 해당하는 투표자의 수를 곱한 후 합하면 위의 $f_c(\chi)$와 동일한 값이 얻어진다.

3) Copeland's function

가장 우수한 대안은 다른 어떤 대안도 그것보다 우수하지 않는 대안이다. 그러나 이러한 대안이 존재하지 않다면 우리는 적당한 타협 방법을 모색하지 않을 수 없다. Copeland는 모든 대안에 대해서 그 대안이 단순다수 득표 원칙으로 우세를 보인 대안의 수에서 열세를 보인 대안의 수를 差減하여 평가치를 구하는 방식을 제안하였다.

$f_{cp}(\chi)=[@y \mid y \in A \text{ and } x\ P\ y] - [@y \mid y \in A \text{ and } y\ P\ x]$

우수한 대안일수록 위의 평가치는 높은 값을 가질 것이다. 그러므로 $f_c(\chi)$가 큰 순서로 우선 순위를 부여할 수 있다.

4) Nanson's function

앞에서 설명한 재투표 방식과 비슷하게 가장 열등한 대안을 하나씩 除去해 간다. 이 때 대안들의 상대적 우열은 Borda score를 이용하여 평가한다.

5) Dodgson's function

평가 대상 과제의 수가 많을 때, 어느 하나의 과제가 과반수 이상의 득표를 얻는 경우는 많지 않다. 또한 대안간의 우선 순위 전이성(transitivity)이 위배되는 경우도 우리가 흔히 관찰하는 현상중의 하나이다. 하나의 대안이 모든 다른 대안 보다 우세하기 위해서는 몇 사람의 투표자가 자신의 선호를 바꾸어야 하는가를 검토해 볼 수 있다. 이 값이 작을수록 그 대안의 선호도는 높다고 할 수 있다.

6) Eigenvector function

하나의 행렬이 있을 때, 그 行列의 고유벡터(eigenvector)는 행렬에 속한 원소들의 분포적 특성을 가장 잘 표현해 주는 벡터라고 할 수 있다. 평가 대상 과제들의 상대적 선호 정도를 평가하여 평가 행렬을 만들고 고유벡터의 성질을 이용하여 평가 행렬로부터 대안들의 우선 순위를 얻을 수 있다.

n_{ij}를 대안 i를 대안 j보다 선호하는 투표자의 수라 하고 $d_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{ji}}$ 로 만들어진 행렬을 D라 하자. 그러면 다음을 만족하는 벡터 w는 평가 대상 과제들의 상대적 優先程度가 된다.

$(D - \lambda I)\omega = 0$

$\sum \omega = 1$

행렬 D에는 대안들에 대한 평가자들의 선호 행태가 내재되어 있으므로 이 행렬의 고유벡터는 대안들의 선호 정도를 반영하게 된다. 위에서 λ는 행렬 D의 固有値로 일반적으로 D의 랭크 수(대안의 수) 만큼 존재하지만 위의 계산에서는 가장 큰 값을 이용한다.

7) Cook and Seiford's function

평가 위원 각각이 부여한 등위 순서에 가장 잘 부합하는 우선 순위를 결정하기 위하여 선형 계획법을 이용할 수 있다. 평가 위원 i가 대안 j에 부여한 등급을 γ_{ij}라 하자. 그러면 대안 j의 우선 순위를 k로 할 때, 각 평가자가 부여한 등급과의 차이는

$$d_{jk} = \sum_{i=1}^{I} \left| r_{ij} - k \right|$$

가 되므로 다음의 할당 문제(assignment problem)를 풀게 되면 최적 우선 순위가 얻어진다.

$$\begin{aligned} Max \quad & \sum_{j} \sum_{k} d_{jk} x_{jk} \\ s.t. \quad & \sum_{j} x_{jk} = 1, \qquad k = 1, \dots, m \\ & \sum x_{jkj} = 1, \qquad j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

x_{jk} = 0 or 1

위에서 결정 변수 x_{jk}는 대안 j에 등급 k가 부여되면 1이 되고 그렇지 않는 경우 0의 값을 갖는다.

8) SPAN

앞에서 설명한 여러 방법들은 기본적으로 평가자들의 전문성이 同一하다고 가정하고 있다. 그러나 현실적으로 평가자들의 의견이 중요성 측면에서 동일하지 않는 경우가 많다. 이 점을 받아들일 수 있다면 의견 수렴 과정에서 상대적으로 중요하다고 인정되는 평가자의 의견이 그렇지 않는 사람의 의견 보다 더 많이 반영될 수 있는 방법이 고안되어야 한다. SPAN(successive proportional additive numeration)법은 평가자들의 중요성 정도를 반영하되 그들에 대한 중요성 평가를 평가자들이 스스로 하게 하는 방법이다. 즉, 각 평가 위원에게 기본 점수(100점)를 배정하고 이 점수를 타평가위원과 평가 대상 과제에 할당하게 한다. 이 때 자신보다 평가 능력이 우수하다고 판단되는 타 평가 위원에게 자신의 점수를 할당해 준다. 이와 같이 다른 평가

위원으로부터 위임받은 점수는 자신이 사전에 정한 비율로 각 평가 대상 과제에 再配定된다.

Ⅲ. 다기준 평가에 의한 우선 순위 결정법

다기준 의사 결정에서도 평가자의 수가 1인인가 아니면 다수인가에 따라 운영절차가 상이하다. 평가자가 다수인 경우는 한 사람인 경우를 포함하므로 후자에 대해서만 검토하기로 한다. 평가자가 다수인 경우 즉 집단에 의한 평가시에도 평가자 모두가 동일한 기준을 이용하는 합의 기준법과 평가자들이 각각 상이한 기준으로 대안을 평가하는 개인별 등위법으로 구분할 수 있다. 이들 각각의 적용 방법을 서수적 방법과 기수적 방법으로 나누어 살펴보자.

1. 서수적 방법(ordinal approach)

1) 합의 기준법(agreed approach)

이 방식에서는 모든 평가 위원이 사전에 합의한 평가 항목만을 사용하여 각 항목별로 평가 대상 프로젝트들의 서열을 평가하게 하고, 이것을 源泉 資料로 하여 평가 위원들의 개별 의견에 가장 수렴된 하나의 서열을 찾는다. 먼저 평가 위원들의 의견을 Borda의 점수법으로 각 평가 항목별로 요약한다. 즉, a_{ijk}를 평가 기준 j에 대하여 평가위원 k가 연구 과제 i에 부여한 등위라면

$$b_{ij} = \sum_{k=1}^{k} (m - a_{ijk})$$

으로 Borda 점수를 계산하고 이 점수순으로 각 연구 과제의 서열을 부과한다. 여기서 m은 평가대상 과제의 수이고 K는 평가 위원의 수이다. 이와 같은 방법으로 우리는 (m x p) 행렬을 만들 수 있다. 이 과정은 집단 의견을 要約하는 과정으로 평가자가 한 사람이라면 생략될 수 있는 절차이다.

이렇게 얻어진 행렬을 이용하여 또 하나의 행렬, 등위 행렬을 만든다.

$$d_{ijp} = \begin{cases} 1 & \text{if 기준 p에서 프로젝트 i의 서열이 j} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

평가 항목의 중요도가 상이하다면 가중치를 이용하여 평가 기준별 평가치를 종합할 필요가 있다. 즉 평가 항목 p의 加重値를 ω_p라고 하면,

$$g_{ij} = \sum_{p=1}^{p} d_{ijp} w_p$$

그러면 행렬 G = [gij]는 평가자들이 각 대안 i에 등급 j를 부여하는 것이 바람직하다고 느끼는 정도를 나타내는 행렬이 된다. 이것을 이용하여 우리는 다음의 할당문제를 풀어 우선 순위를 정할 수 있다.

$$Max \quad \sum_i g_{ij} x_{ij}$$

$$s.t. \quad \sum_i x_{ij} = 1, \qquad j = 1, \ldots, m$$

$$\sum_j x_{ij} = 1, \qquad i = 1, \ldots, m$$

$$x_{ij} = 0 \ or \ 1$$

2) 개인별 등위법(individual criteria approach)

위의 방법에서는 G 행렬을 얻기 전에 평가자들의 의견을 먼저 종합하였다. 이것은 모든 평가 위원이 동일한 평가 기준을 적용할 때 사용 가능한 방법이다. 그러나 평가 위원들이 모두 상이한 기준으로 평가한다면 이 방법은 적용하기 어렵다. 이 경우에는 각 평가자별로 먼저 평가 기준별 等位를 종합하게 한 후 Borda 방법으로 종합 순위를 결정한다. 즉 윗첨자 k가 평가자 k에 해당한다면,

$$g_{ij}^k = \sum_{p=1}^{P} d_{ijp}^k w_p^k$$

이제 K개의 G^k 행렬이 있으므로 K개의 할당 문제를 풀어 평가자 각각에 대한 최적 서열을 계산한다.

$$Max \quad \sum_i \sum_j g_{ij}^k x_{ij}^k$$

$$s.t. \quad \sum_i x_{ij}^k = 1, \qquad j = 1, \ldots, m$$

$$\sum_j x_{ij}^k = 1, \qquad i = 1, \ldots, m$$

$$x_{ij}^k = 0 \ or \ 1$$

위 문제의 해는 평가자 k의 관점에서 평가한 프로젝트의 우선 순위가 된다. 그러므로 Borda 방법으로 평가자들의 평가 결과를 종합할 수 있다.

2. 기수적 방법(cardinal approach)

앞에서와는 달리 모든 평가 대상 연구 과제의 매력 정도를 점수로 평가한다. 평가 항목별로 선호도를 평가한 후 합리적이라고 생각되는 방법으로 이들을 종합하여 하나의 指標로 수치화하고 이 값의 크기에 따라 우선 순위를 결정한다.

1) 합의 기준법

가중 점수법(additive weighted value) : 이것은 다기준 의사 결정 규칙으로는 가장 단순한 방식에 속한다. 모든 평가자(k)는 각 평가 요소(j)의 상대적 중요도(W_j^k)를 기수적 수치로 평가한 후 이것을 가중치로 평가

항목 평가치(d_{ij}^k)들의 가중합을 구하여 대안들을 비교한다. K명의 평가자가 각각 상이한 가중치를 이용하는 경우 평가 대안 i의 종합 점수는 다음과 같이 계산된다.

$$s_i = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} w_j^k d_{ij}^k$$

위의 식으로 계산된 값이 클수록 그 연구 과제는 더 높은 우선 순위를 갖는다. 위의 계산 공식에서 알 수 있는 바와 같이 가중합 점수는 가중치와 항목별 평가치에 의해 결정되나, 이들의 결정이 간단하지 않다. 그러나 평가 항목을 階層構造로 체계화할 수 있다면 가중치의 결정 및 제도의 운영이 비교적 쉬워진다.

계층이 1개인 완전한 계층 구조를 가정하자. 그리고 W^k를 (k-1) 계층에 속한 평가 항목으로 평가한 k 계층 평가 항목들의 평가치라면 최하부 단계(평가 대상 대안)의 우선 순위는 다음의 공식으로 계산할 수 있다. 이 방법은 AHP(analytic hierachy process)라고 알려진 기법의 기본을 이룬다. 위에서 최상위의 기준은 하나라고 가정하고 있다.

$$W^k = W_l^k W_{l-1}^k W_{l-2}^k \cdots W_2^k$$

개별 평가 항목에 대한 평가치의 가중합으로 특정 과제의 매력을 평가하는 위의 방법은 결국 결과치 종합 방식의 하나인 加算方式을 의미한다. 이 밖에도 승산 방식, 가승 방식, 가중치 계수 방식, 확률 방식 등 여러 형태가 있다. 가산 방식에서는 평가 항목간의 완전한 보정(compensation)을 가정하나 승산 방식에서는 보정 관계의 불완전성을 감안한 종합 방식이라 할 수 있다.

TOPSIS : 의사 결정 과정에서 의사 결정자는 가정 이상적이라고 생각하는 대안(IS : ideal solution)과 最悪의 선택이라고 생각하는 대안(NIS : negative ideal solution)을 마음 속에 가지고 있을 것이다. 그러므로 평가 대상 과제들의 우선 순위를 결정할 때 IS에 가까울수록 NIS에서 멀리 떨어져 있을수록 높은 우선 순위를 주는 방법은 타당성을 갖는다.

대안 i의 평가 항목 j에 대한 평가치의 정규화한 값을 s_{ij}^k라 하고 가중치로 조정한 값을 v_{ij}^k라 하자. 즉,

$$v_{ij}^k = s_{ij}^k w_j^k$$

이렇게 조정한 v_{ij}^k 를 이용하여, 모든 평가자의 의견을 평가 항목별 평균값으로 종합한다.

$$v_{ij} = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{K} v_{ij}^k$$

다음에는 각 대안의 상대적 근접도를 계산해야 한다. 즉 S^+를 IS로부터 떨어진 거리라 하고 S^-를 NIS로부터 떨어진 거리라 하면 이들은 각각 다음의 식으로 계산할 수 있다.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^+\right)^2} \quad v_j^+ = Max_j\, v_{ij}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad v_j^- = Min_j\, v_{ij}$$

모든 대안에 대해 이들 값을 계산하면 각 대안의 IS에 대한 상대적 近接度는 다음의 C^+로 평가할 수 있다.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

위의 식은 0과 1사이의 값을 가지며 평가 대안이 IS에 가까울수록 1에 가까운 값을 갖는다. 그러므로 C^+가 큰 값의 순으로 우선 순위를 부여할 수 있다.

2) 개인별 등위법

가중 점수법에 의한 우선 순위 결정 과정은 합의 기준법과 동일하다. 그러나 TOPSIS 방법의 적용에는 약간의 차이가 있다. 평가자별 가중치로 조정한 평가치 v_{ij}^k를 이용하여 상대적 근접도를 계산한 후 평가자별로 평가 대상 과제의 우선 순위를 결정한다. 이렇게 결정한 개인별 우선 순위를 Borda 점수법으로 집단 선호 순서화한다.

Ⅳ. 가중치 결정 방법

가중치는 하나의 평가 목표를 측정하기 위한 평가 항목이 다수개 존재할 때, 이들 각각에 부여한 상대적 중요도이다. 일반적으로 評價目的에 미치는 영향이 크거나 목적 달성과 밀접한 관계를 가지고 있는 항목은 높은 가중치를 갖는다. 또한 달성이 어려운 내용을 포함한 평가 항목의 가중치는 상대적으로 높게 하는 것이 좋으며, 평가치의 객관성이 높거나 變動이 큰 항목에 높은 가중치를 부여한다.

평가 항목들간의 상대적 중요도의 크기를 평가하기 위하여 흔히 사용되는 방법은 두 개 평가 항목간의 雙對比較이다. 다수 평가 항목들의 상대적 중요도를 전체적으로 보기보다는 둘씩 짝지어 비교한다면 중요도의 평가가 보다 용이하기 때문이다. 그러나 쌍대 비교에서는 평가 항목의 수가 커짐에 따라 비교 횟수가 폭발적으로 증가한다는 단점이 있다. 이러한 문제는 AHP에서와 같이 평가 항목을 계층화할 수 있다면 어느 정도 해결이 가능하다.

쌍대 비교에서 평가 항목 i와 j의 중요도를 표현하는 방법, 하나의 항목이 다른 항목에 비하여 더 좋은가 나쁜가와 같이 상대적 우열만을 평가하는 방법과 우열의 정도를 일정한 제약하에 평가하는 방법으로 구분할 수 있다. 전자를 서수치 비교법(ordinal comparison)이라 하고 후자를 기수치 비교법(cardinal comparison)이라 한다.

1. 서수치 비교법

1) 매트릭스법

평가 항목간의 상대적 중요도를 다음과 같이 어느 쪽이 더 중요한가 만으로 평가한다.

$$b_{ij} \begin{cases} 1 & \text{if 항목 } i\text{가 항목 } j\text{보다 중요하면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

중요성이 높다고 판단되는 항목에 해당하는 행에는 '1'이 많을 것이다. 그러므로 행의 합(row sum)은 상대적 중요도를 反影한다고 볼 수 있다. 이 값을 이용하여 가중치를 얻을 수 있다.

$$b_i = \sum_j b_{ij}$$

$$b = \sum_i b_i$$

$$w_i = \frac{b_i}{b}$$

이 방법의 장점은 적용의 용이성이다. 평가 항목들의 각 쌍에 대한 단순한 우열비교이므로 평가자간의 차이가 작고, 또 이들의 결과치를 종합하기도 쉽다. b_{ij}^k를 평가자 k의 평가치라면 위의 계산식에서 bi만 바꾸면 된다.

$$b_i = \sum_{j,k} b_{ij}^k$$

그러나 정밀성이 떨어진다는 단점이 있다. 동등한 경우와 열등한 경우가 구별되지 않고, 중요성 정도를 반영할 수 없다.

2) 3등급 평가법

위에서는 대안간의 비교를 우열로만 구분하였다. 이를 조금 발전시킨다면 우세, 동등, 열등으로 평가하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 즉,

$$b_{ij}\begin{cases}2 & \text{: 항목 i가 항목 j보다 중요}\\ 1 & \text{: 항목 i와 항목 j가 동등}\\ 0 & \text{: 항목 i보다 항목 j가 중요}\end{cases}$$

위에서와 같은 방법으로 하나의 선호 행렬 B가 얻어지면. 다음의 계산 순서를 반복하여 이 선호 행렬에 가장 근사한 하나의 가중치 벡터를 구할 수 있다.

$$w^o = (1,1,\ldots,1)^t$$

$$w^k = Bw^{k-1}, \quad k = 1,2,3,\ldots$$

$$\lambda_k = \sum_i w_i^k, \quad w^k = \frac{1}{\lambda_k} w^k$$

행렬 B가 분할 행렬이 아니라면 이 방법은 반드시 수렴하게 된다. 그러나 위의 반복계산에서 k가 충분히 커질 때 수렴한다는 의미는 다음의 관계가 성립한다는 것을 뜻하므로, 가중치는 행렬 B의 고유벡터(eigenvector)임을 알 수 있다.

$$w = \frac{1}{\lambda} BW \qquad \text{또는} \qquad Bw - \lambda w = 0$$

즉, 3등급 평가로 선호 행렬 B가 얻어지면 이 선호 행렬을 가장 잘 설명해 줄 수 있는 가중치 벡터는 그 행렬의 고유벡터가 된다.

2. 기수치 비교법

1) 고유벡터(eigenvector)법

이 방식도 가중치를 계산하는 방법은 위의 3등급 평가법과 동일하다. 3등급 평가법과의 차이는 선호행렬의 구성과정에 있다. 기수치 비교법에서는 항목간의 중요도를 몇 배 만큼 중요한가 하는 정도로 표현한다. 두 개의 평가 항목 i와 j의 상대적 중요도를 각각 wi와 wj라 하면 쌍대 비교에서 두 항목의 중요도 비율 aij는 wi/wj가 된다. 그러므로 쌍대 비교를 통하여 행렬 A = {aij}를 얻었다면 이것으로부터 가중치를 導出할 수 있다.

쌍대 비교 과정에서 평가자가 완전한 일관성을 유지한다면, 평가 항목이 n개인 경우 Aw = nw의 관계가 성립한다. 그러나 대부분의 경우 일관성은 완전하지 못하며 결국 우리는 A에 가장 근사한 가중치벡터를 찾을 수 밖에 없다. 행렬 A의 고유치 중 최대값을 λ라 하고 Aw = λw 되는 w를 구하면 w가 가중치가 된다. 즉,

|A - λI|=0되는 λ 중 최대값을 구하고 이 값에 대해

(A -λI)w = 0과 $\sum_i w_i = 1$ 되는 w를 구한다.

2) 가중 최소 자승법

평가 항목간의 중요도 평가 행렬 A를 얻은 후, 어떤 가중치벡터가 행렬 A를 가장 잘 설명할 수 있는가를 결정하기 위해 最小自乘 기준을 이용할 수 있다. 즉,

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

이므로 $|a_{ij}w_i - w_i|$는 오차도라 할 수 있다. 그러므로 誤差度의 크기를 최소로 하는 가중치벡터의 결정은 의미가 있다.

$$Min \quad z = \sum_i \sum_j \left(a_{ij} w_j - w_i\right)^2$$

$$st \qquad \sum_i w_i = 1, \qquad w_i \geq 0, \quad i = 1, \ldots, n$$

위의 최적화 문제는 다음과 같이 Lagrangean 함수를 정의하여 최적해를 구할 수 있다.

$$L = \sum_i \sum_j \left(a_{ij} w_j - w_i\right)^2 + 2\lambda\left(\sum_i w_i - 1\right)$$

이 문제는 poorness of fit를 최적화하도록 가중치를 결정하는 방법이다.

3. 기타

1) 엔트로피법

두 요소 중 한 요소에 대해서는 모든 대안이 비슷한 평가치를 가지고 다른 요소에 대한 평가치에는 변동의 폭이 클 때, 대안간의 우선 순위는 후자에 의해 결정된다. 즉 후자의 결정력(가중치)이 더 중요하게 된다. 정보 이론에서 불확실성의 정도를 평가하는 엔트로피 개념을 이용하면 평가치의 변동성 정도를 고려하는 가중치를 계산할 수 있다.

평가 항목 i에 대한 과제 k의 평가치 s_{ik}를 얻은 후 다음과 같은 방법으로 가중치를 계산한다.

$$e_{ik} = \frac{s_{ik}}{Max_k s_{ik}}$$

$$e_i = \sum_k e_{ik}$$

$$E_i = \frac{-1}{\log K} \sum_{k=1}^{K} \frac{e_{ik}}{e_i} \log \frac{e_{ik}}{e_i}$$

첫 번째 계산식은 항목별 척도의 규모를 조정하기 위한 절차이고 Ei는 항목 i의 엔트로피이다. K는 평가 대상 연구 과제의 수를 나타낸다. Ei는 평가 항목 i의 불확실성의 정도를 나타내며 0과 1사이의 값을 가지므로 다양성의 비율로 가중치를 결정하기 위해서는 다음의 계산식을 이용해야 한다.

$$w_i = \frac{1 - E_i}{I - \sum_i E_i}$$

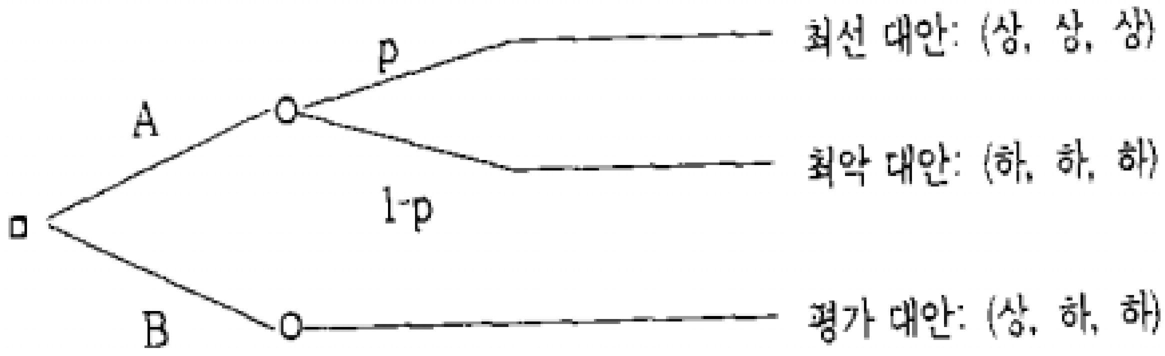
위에서 I는 평가 항목의 수이다. 위의 계산식을 보면, 평가 항목 i에 대한 평가치가 모든 과제에 대해 동일하다면 Ei = 1이 되어 가중치 wi는 0이 된다. 이 방법은 평가 결과의 특성(정보적 가치)을 반영해 준다는 장점이 있으나, 평가자가 중요하다고 느끼는 屬性의 분산도를 크게 평가하지 않는 한 각 항목의 事前的 중요성을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 이 후자의 단점은 위에서 계산한 가중치에 평가자의 주관적 중요도를 곱하여 조정할 수 있다. 즉 항목 i의 사전적 가중치가 v_i라면

$$w_i^{*} = \frac{v_i w_i}{\sum_i v_i w_i}$$

2) 프로필법

이 방법은 의사 결정자가 평가 대상 과제의 선호 정도를 개별 속성치의 합으로 평가하기보다는 각 속성이 결합된 하나로 보아 總體的으로 평가한다는 점을 중시하고 있다. 예를 들어 연구 과제의 평가에서 가장 중요한 세 가지 평가 항목이 기술성, 경제성, 시의성이라고 하고 각 항목을 상, 중, 하의 3단계로 평가한다면, P1(상,상,하)와 P2(상,하,상)의 선호를 비교하여 경제성을 중요하게 보는가 아니면 시의성을 중요하게 보는가를 알아볼 수 있다.

이러한 방식으로 가중치를 결정하기 위해서는 效用函數의 가법성(additive utility)을 가정하고 로터리를 비교한다.



각 평가 항목의 상급에 대한 효용 U(상)=1, 하급의 효용 U(하)=0으로 두고 위의 로터리에서 A와 B가 동등하게 될 p를 결정할 수 있으면 기술성의 가중치를 얻을 수 있다. 즉, A와 B가 동등하면

EU(A) = EU(B)

이므로

$p(w_1U_1(상) + w_2U_2(상) + w_3U_3(상) + (1-p)(w_1U_1(하) + w_2U_2(하) + w_3U_3(하)) = w_1U_1(상) + w_2U_2(하) + w_3U_3(하)$

또는

$P(w_1+w_2+w_3) = w_1$

즉 확률 p는 기술성의 가중치가 된다.

이와 비슷하게 평가 항목 개개의 중요도를 직접 평가하지 않고 속성치의 결합형태인 가상적인 대안들의 우선 순위를 평가하게 하여 가중치를 도출하는 방법에 컨조인트법(conjoint), 다중 회귀분석법, LINMAP 등이 있다.

지금까지 평가 항목들 간의 상대적 중요도인 가중치를 결정하기 위해서 사용되고 있는 몇 가지 방법을 제시하였다. 이들 방법들은 가중치 결정 과정을 가능한 한 합리화하기 위한 시도로서 어느 방법이 가장 우수하다고 말하기는 곤란하다. 평가 항목의 객관성, 항목의 수, 평가치의 분포 등을 감안하여 적당한 방법을 선택해야 한다. 가능한 한 평가자와 피평가자 모두가 납득할 수 있도록 의견 수렴 과정을 거쳐야 하며 모두가 합리성을 인정할 수 있는 가중치 결정이 중요하다. 왜냐하면 평가 정보가 확실하지 않은 상황에서의 평가행위는 절대적으로 옳다거나 최선이라는 결정이 곤란하므로 이해 당사자들의 합리적인 의견 조정과 합의형성만이 현실적으로 인정할 수 있는 최선의 방안이다. 이해 관계자 전원이 만족할 수는 없다 할지라도 절대적 다수가 수긍할 수 있는 대안이 도출되어야 실행가능성이 높아진다. 그러므로 평가자는 정책 결정자의 입장에서 가중치를 결정하여야 한다.

주석 1) 성균관대학교 경영학과 교수