■ 論 文 ■

퍼지집단의사결정이론을 적용한 교통사업투자우선순위의 결정방법

Application of Fuzzy Group Decision Theory on Deciding Priorities of Transport Investments

이 종 호
(경기대학교 첨단산업공학부 도시 · 교통공학전공 부교수)

목 차

요 약

본 논문은 교통사업들의 투자우선순위 결정시 적용 가능한 방법을 제시한다. 지금의 평가방법을 부정하는 새로운 방법이라기 보다는 기존의 평가방법을 보완하는 기법이다. 특히 특성이 다른 교통사업들간의 평가시 이들 특성들이 평가과정에 감안되지 않을 경우는 평가결과의 대외 설득력이 부족하게 된다. 이를 극복하기 위해 지금까지 각종 정량적 정성적 방법을 동원하였지만 그 범위와 방법에 한계가 존재하였다. 이를 보완하는 대안으로서 본 논문에서는 기존 평가과정에서 고려되기 어려운 사업의 여러 특성들을 전문가들의 경험과 판단을 통해 최대한 반영하는 방법을 제시한다.

이 기법의 기본 이론은 집단의사결정이론(group decision theory)이며, 여기에 퍼지이론이 접목된 퍼지집단결정이론(fuzzy group decision theory)을 적용하였다. 이 이론은 개인의 대안별 선호(우선순위)로부터 집단의 선호관계(우선순위)를 도출할 수 있다. 또한 도출된 투자우선순위결과에 대한 집단의 동의수준(만족도)을 추정할 수 있다. 이러한 정보는 최종 정책결정자의 중요한 판단자료로서 사용되어 질 수 있다.

그 동안 교통사업의 투자우선순위결정과정의 객관성의 부족으로 사업간 우선순위결과에 대한 신뢰가 그리 높지 않았다. 본 논문에서 제시한 방법은 기존의 투자우선순위의 평가방법을 보완하여 대외적인 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅰ. 서론

지역간 교통계획이나 도시교통계획을 수립하는 과정에서 민감한 부분 중 하나가 사업간 투자우선순위의 결정과정이다. 도로 또는 철도 등 다양한 사업들 중 먼저 시행되어야 할 사업들과 나중에 시행해도 될 사업들을 판단하여야 하는 과정은 사업시행자(정책결정자)측으로 보아서는 매우 고민되는 사안이 아닐 수 없다. 이는 판단 기준과 방법에 대한 명쾌한 지침이 없기 때문이다.

지금까지 정부의 교통투자계획은 주로 단위 사업에 대한 경제성, 재무성 등의 계량화가 가능한 평가지표만으로 시행여부를 결정을 해 왔다.

특히, 이용자특성이나 운영특성이 다른 사업들간(예 : 도로, 철도, 공항사업간) 투자우선순위의 결정과정에서 평가기준이 단순히 계량화할 수 있는 지표일 경우에는 사업 고유의 특성들이 평가에서 배제되는 오류를 범하게 된다. 이 특성들은 대부분 정량화하기 어려운 것들이며, 평가 기준으로 채택될 시 논란의 여지가 많다. 따라서 경제성과 같이 정량화된 객관적인(상대적으로 객관적인) 항목만을 평가기준으로 설정함으로 특정 교통사업에 유리한 결과를 초래하게 되어 교통시설간의 균형적인 발전을 저해하고 있는 것도 사실이다(이종호, 1998)(이상건 외, 1999).

물론 최근 KDI 등에서는 타당성조사시 환경비용, 균형개발효과, 재원조달여부 등 정책적 또는 정성적 분석들을 요구하고 있어 그 범위가 확대되었으나, 여전히 이용자 측면의 안전성, 편리성, 정시성, 쾌적성, 심지어 민원 등의 감안되어야 할 사업들의 특성들이 간과되어 왔다. 그러나 현실적으로 다양한 특성들을 모두 정량적 또는 정성적 분석으로 감안할 수 없는 것도 사실이다.

본 논문은 각종 교통사업들의 투자우선순위 평가시 적용 가능한 기법을 제시한다. 지금의 평가방법을 부정하는 새로운 방법이라기 보다는 기존의 평가방법을 보완하는 기법이다. 기존 평가방법에서 감안되기 어려운 사업의 여러 특성들을 전문가들의 경험과 판단을 통하여 최대한 평가과정에 반영하는 방법이다. 이 기법에는 퍼지집단결정이론이 적용된다.

본 논문은 먼저 기존 투자우선순위의 결정 방법의 한계에 대해서 기술한다. 그리고 집단의사결정이론의 종류와 퍼지집단의사결정의 적용 방법에 대해 논하고 실제 적용 방법 및 예를 제시한다.

Ⅱ. 기존 투자우선순위결정방법의 한계

현재 정부에서는 교통시설투자의 우선순위결정 시 객관적으로 적용되고 있는 기법 이 없는 실정이다. 아직도 1980년대 경제기획원의 투자심사편람에서 제시하고 있는 경제성 및 재무성분석 등의 기법들이 통용되고 있다. 그러나 이 기법들은 단위 사업의 타당성 평가에 국한되어야 하나, 문제는 성격이 다른 사업들간의 투자순위를 결정하는데 사용되기도 한다는 점이다.

도시내 1km 구간의 도로확장 사업과 지역간 100km 구간 고속국도 사업간의 투자 순위는 물론 10km 지방도 신설과 50km 고속국도 신설사업간의 투자우선순위를 단순히 각 사업의 경제성 및 재무성분석으로 결정하기에는 많은 무리가 따른다. 더욱이 도로, 철도, 공항과 같이 이용자나 공급자의 특성이 매우 상이한 사업들 간의 투자순위결정시 기존의 분석방법으로는 한계가 있다. 왜냐하면 사업 나름의 특성(규모, 영향력, 지역의 정서, 상위국가정책목표 등)들이 경제성과 재무성만으로는 설명될 수 없기 때문이다.

특히 전국을 대상으로 장기계획인 국토개발계획이나 경제사회발전5개년계획, 또는 특별시 또는 광역시의 교통사업들의 투자우선순위를 단순히 사업별 경제성이나 재무성 등 몇 가지의 평가항목으로 투자순위를 결정하는데는 많은 무리가 따른다. 최근에 이러한 약점을 보완하기 위하여 환경비용, 지역균형개발효과, 재원조달여부 등을 포함시키기도 하나 여전히 제한적이다. 따라서 사업의 각종 특성들을 최대한 감안할 수 있는 평가방법이 보완될 필요가 있다.

그러나 현실적인 문제는 각 사업의 특성들, 즉, 지역의 교통시설의 서비스수준, 주민의 정서, 상위국가정책방향과의 일관성 등, 계량화하기 어려운 정성적인 사항들을 어떻게 평가에 반영하는가 이다. 이들 사항에 대해 각 사업별로 순위 또는 가중치를 부여하여 평가에 반영할 수도 있으나, 사업마다 다른 특성을 같은 잣대로 비교하기가 어렵다. 특히 평가자의 주관이 개입되기 쉬우며, 개입되지 않았더라도 개입된 것으로 의심을 받을 여지가 있기 때문에 평가 결과에 대한 신뢰성이 매우 낮다.

따라서 설정한 평가항목들로서 충분히 감안되지 않는 부분에 대해서는 관련분야 전문가의 경험과 판단을 평가지표로 채택하는 평가방법을 도입하고자 한다. 즉, 관련 전문가들을 사업들의 투자우선순위를 결정

하는 집단(물론 최종 결정은 정책결정자의 몫임.)으로 설정하고, 이들은 정량적 또는 정성적으로 평가하기 어려운 부분이나 설정된 평가항목으로도 설명되지 않는 부분을 평가하게 된다. 물론, 정량적, 정성적 평가자료가 전혀 없을 경우는 이 집단의 결정에 전적으로 의존할 수 도 있다.

먼저 의사결정에 다수, 다인(多人)이 참여하는 多人의사결정이론의 종류 및 특징을 살펴 본다.

Ⅲ. 多人의사결정이론의 비교

투자우선순위의 결정, 즉, 의사결정과정은 의사결정자들의 집합(여기서는 전문가집단)과 가능한 대안들(교통사업들), 그리고 대안들 간의 상대적인 효용가치(utility values), 우선순위(priority) 또는 선호순위(preference ordering)의 관계로 볼 수 있다. 여기서 의사결정에 참여하는 사람의 수가 두사람 이상(multi-person) 일 경우 이들의 목표를 최적화하는 의사결정과정을 다인의사결정이론(multi-person decision theory)이라고 한다. 전통적으로 의사결정에 참여하는 사람의 수가 두사람 이상, 즉 $n(n \geq 2)$ 명의 의사결정은 Von Neumann과 Morgenstern (1944)이 최초로 제시한 게임이론으로 주로 접근을 해 왔다.

한사람에 의한 의사결정과정과 $n(n \geq 2)$ 명 이상에 의한 의사결정의 근본적인 차이점은,

첫째, 의사결정에 참여하는 사람이 多人인 경우 각 의사결정자의 개인별 배경 또는 선호가 다르며,

둘째, 각 의사결정자의 의사결정시 근거를 삼는 각종 정보와 기준이 서로 다를 수가 있다.

n명의 의사결정에 관한 이론은 이 두가지 점의 고려여부에 따라 〈표 1〉과 같이 3가지 종류로 구분이 된다.

먼저 집단의사결정이론(group decision theory)은 의사결정자 개인별로 다른 선호도로부터 집단의 선호순위 또는 우선순위를 도출하는 이론(Arrow, 1963)으로 개별 의사결정자가 고려한 정보의 차이에 대해서는 고려하지 않는다. 반면 팀이론(team theory)은 의사결정자 개인별 선호와 팀의 공동 목표는 같다고 가정하는 대신 개인별 의사결정시 고려하는 정보를 기준으로 팀의 의사결정을 유도한다(Marschak과 Radner, 1972). 마지막으로 $n(n \geq 2)$명 게임이론은 의사결정자 개인별 선호와 개인의 정보를 둘다 고려하여, 각 의사결정자별 효용 또는 기대치를 최대화하는 대안을 선정한다(Von Neumann과 Morgenstern, 1944). 이들 세가지 이론을 비교해보면 $n(n \geq 2)$명 게임이론이 가장 일반화된 이론으로 볼 수 있다. 그러나 이 이론에서는 모든 의사결정자들이 개인 효용의 극대화를 추구하지만, 집단의사결정이론에서는 각 의사결정자는 다른 목표와 가치를 가지지만 개인효용의 극대화는 추구하지는 않는다. 이 이론의 목표는 집단 구성원이 모두 수긍할 수 있는 목표(예 : 교통계획의 목표)에 도달하는 것이다.

〈표 1〉 다인의사결정이론의 종류

	개인별 선호의 차이	개인별 정보의 차이
집단의사결정이론	다르다고 가정	고려되지 않음
팀이론	같다고 가정	고려됨
N명 게임이론	다르다고 가정	고려됨

참고문헌 : (Kickert, 1978)

일반적인 교통사업의 투자우선순위는 의사결정자 일개인에 의하여 결정되지 않으며(多人), 의사결정자 개인별로 대안(교통사업)들에 대한 선호는 다르지만 개인효용의 극대화를 추구하지 않는다. 또한 집단구성원(예 : 의사결정에 참여하는 관련전문가들)이 수긍할 수 있는 목표(예 : 국가 또는 지방자치단체의 교통계획목표)에 도달하여야 하기 때문에 위 세가지 이론 중 집단의사결정이론의 적용이 가장 바람직한 것으로 판단된다.

Ⅳ. 퍼지집단의사결정이론의 적용

본 장에서는 먼저 전통적인 집단의사결정이론를 간략히 설명하고, 이 이론과 퍼지집합이론이 접목한 퍼지집단의사결정이론의 현실적인 적용방법을 제시한다.

1. Arrow의 집단의사결정이론

집단의사결정이론은 Arrow(1951)에 의해 최로로 정립이 되었다고 볼 수 있다. 이 이론은 개인별 의사결정에 필요한 정보 또는 기준이 다르며, 매우 불충분하고 애매한 경우로서 개인별 경험과 분야에 따라 선호가 다른 경우에 적용할 수 있는 이론이다. 이 이론은 서로 다른 개인별 선호(우선순위)를 집단 전체의 우선순위화하는데 초점을 둔다.

이를 모형화해 보면,

- 의사결정(우선순위결정)을 위해 참여자가 n명이 존재한다.
  즉, 의사결정집단 집합 D={b_1, b_2, …, b_k, , b_n}, 여기서 b_k는 k번째 참여 개인
- m개의 대안(우선순위 결정 대상)이 존재한다.
  즉, 대안 집합 A={a_1, a_2, …, a_m}
- n명의 각 개인별 우선순위 집합을 O_1, O_2,…, O_n로 표현한다.
  즉, O_k는 개인 b_k의 m개 대안에 대한 우선순위 집합이 된다. 예를 들어 4개의 대안의 경우 개인 b_k의 우선순위를 a_3, a_4, a_1, a_2 라 하면, 집합은 $O_k=\{a_3, a_4, a_1, a_2\}$로 표현할 수 있다.
- 마지막으로 개인별 우선순위, O_k를 취합하여 집단의 우선순위화한다.

Arrow의 이론을 실제에 적용할 시 직면하는 문제는 개인별 우선순위(설문 등을 토해 얻은 개인별 정보)를 가지고 어떻게 집단의 우선순위화를 도출하는 가이다. 의사결정에 참여하는 한 개인이 a_1 대안보다 a_2 대안을 선호하고 a_2 대안보다 a_3 대안을 선호하면 당연히 a_1 대안 보다 a_3 대안을 선호하여야 하나(이행성:transitivity), 개인의 우선순위를 취합한 집단의 우선순위에서는 그렇지 않은 경우가 존재한다. 즉, Arrow가 증명하였듯이 (Arrow, 1951, 1963) 이와 같은 개인별 대안들의 우선순위를 근거로 집단의 우선순위화하였을 때(aggregation) 그 결과 항상 일관성이 존재하지 않는다. 즉, 어떤 결과가 도출될 지 불확실성(uncertainty)이 존재하며 이는 확률이론으로도 설명하기 어렵다. 이 불확실성을 퍼지집합이론으로 극복한다.

2. 퍼지집합 및 퍼지관계이론의 도입

각 개인별 우선순위를 근거로 집단의 우선순위를 도출하였을 때 그 결과가 항상 일관성이 있다는 가정을 하기가 어렵기 때문에 집단의 우선순위를 퍼지관계로 생각할 수 있다.

Bellman과 Zadeh(1970)가 처음으로 의사결정이론에 퍼지이론을 적용한 이래로 여러 각도에서 퍼지집합이론을 집단의사결정이론에 적용하여 왔다. Blin (1974)는 개인 선호(preferences)로부터 집단 선호를 퍼지선호행렬로 표현하였으며, Orlvosky(1978)는 퍼지관계를 선형으로 가정하여 퍼지관계가 위상조건(topological requirement)을 만족하면 의사결정문제를 비퍼지(crisp) 비지배(nondominant)해를 구할 수 있음을 증명하였다. Kumin과 Ovchinnikov (1980)는 퍼지관계행렬에서 관계를 거리로 표현하여 집단의사결정을 거리기준으로 판단하였다. 또한 Nurmi (1981)는 퍼지개인선호관계로부터 비퍼지 집단선호관계를 유도하여 집단이 선호하는 최적 대안을 선택하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 교통사업투자우선순위 결정시 현실적으로 적용이 용이할 것으로 판단되는 Blin(1974)의 퍼지집단의사결정이론을 채택하였다.

먼저 각 대안간의 선호관계, $(a_i, a_j)\in A\times A$는 $\mu_R(a_i, a_j)$의 소속(membership)함수(즉, 대안 a_i가 대안 a_j 보다 선호되는 정도를 의미)를 가지는 퍼지관계 $A\times A$로 생각할 수 있다. 일반적인 순서관계(crisp order relation)에서는 소속함수 $\mu_R(a_i, a_j)=1$ 이면 대상 집단이 대안 a_i를 대안 a_j 보다 선호하며, $\mu_R(a_i, a_j)=0$ 인 경우는 대안 a_i를 대안 a_j 보다 선호하지 않는다는 의미가 된다. 이러한 경우는 집단 내 모든 구성원, 즉, 의사결정에 참여한 개인들의 만장일치의 경우에만 가능한 상황이다. 현실적으로는 극히 드문 경우이다. 즉, 애매한 순서 관계가 존재하게 되며, 소속함수는 0과 1사이의 값을 가지게 된다.

$$\mu_R : A\times A\rightarrow[0,1]$$

이때 채택할 수 있는 소속함수에 대해서는 Blin과 Whinston(1974)이 다음과 같이 제시하고 있다.

앞 절에서 언급한 바와 같이 O_k를 k번째 의사결정에 참여한 개인의 대안들에 대한 우선순위로 가정하면, $\sigma_{ij}=\left\{O_k \mid a_i \underset{k}{>} a_j\right\}$를 k번째 개인이 대안 a_j 보다 a_i 대안을 선호하는 집합이라 하고, $N(\sigma_{ij})$를 이 집합 원소의 개수로 가정하면, $N(\sigma_{ij})$는 집단내의 a_j 대안보다 a_i 대안을 선호하는 개인의 수를 의미하게 된다.

이 때 고려될 수 있는 가장 간단한 소속 함수는

$$\mu_R(a_i, a_j)=(1/n)N(\sigma_{ij}) \tag{1}$$

로 생각할 수 있는데, 여기서 n은 의사결정에 참여한 개인의 수이다. 즉, 이 함수는 의사결정에 참여한 사람들 중에서 대안 a_i를 a_j보다 선호하는 사람들의 비율(집단의 선호도)을 의미한다. 또는 소속함수를

$$\mu_R(a_i,\ a_j)=\begin{pmatrix} (1/n)[N(\sigma_{ij})-N(\sigma_{ji})], & N(\sigma_{ij})>N(\sigma_{ji}) \\ 0 & ,\ N(\sigma_{ij})\le N(\sigma_{ji}) \end{pmatrix} \quad (2)$$

로 생각할 수도 있다. 이 함수는 a_j 대안 보다 a_i 대안을 선호하는 사람의 수가 그렇지 않은 사람보다 많은 경우에는 그 차이를 전체 집단의 의사결정자수로 나눈 비율을 a_j 대안보다 a_i 대안을 선호하는 집단의 선호도로 표시한다.

한편 퍼지관계 R에서 α 수준(α-cut) 집합 R_α는 $R_\alpha=\{(a_i,\ a_j)|\mu_R(a_i,\ a_j)\ge\alpha\}$로 표현될 수 있다. 이는 a_i 대안보다 a_j를 선호하는 정도가 α 수준을 넘는 대안 쌍, $(a_i,\ a_j)$를 의미한다. 그러므로 $R=U_\alpha R_\alpha$, $0<\alpha\le1$이 된다. 여기서 U는 합집합이며 αR_α는 퍼지집합으로 소속함수는 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$\mu_\alpha R_\alpha(a_i,\ a_j)=\begin{pmatrix} \alpha & \text{for}(a_i,\ a_j)\in R_\alpha \\ 0 & \text{그외의 경우} \end{pmatrix}$$

즉, α 수준은 대안간의 선호관계에 대한 집단의 선호정도를 의미하게 된다.

Blin(1974)에 따르면 다음 절차에 따라 개인의 대안간 선호관계(우선순위)로부터 집단의 선호관계(우선순위)를 도출할 수 있다.

1단계 : $R_\alpha=1=\{(a_i,\ a_j)\mid\mu_R(a_i,a_j)=1\}$를 만족하는 대안 쌍 $(a_i,\ a_j)$을 구한다.
2단계 : $\alpha=1$보다 낮은 수준의 α 수준을 설정한다. (예, 0.9, 0.8 . . .0.1)
3단계 : 각 α 수준을 만족하는 대안 쌍 $(a_i,\ a_j)$들을 구한다.
4단계 : 모든 대안들이 R_α에 포함되어 있으면 끝내고, 그렇지 않으면 2단계로 돌아가 α 수준을 낮춰 반복한다.

Blin이 제시한 이 방법은 집단의 선호관계(우선순위결과)에 대해 소속된 의사결정 구성원 모두의 선호수준(결과에 대한 만족도)을 최대화해 준다. 즉, 모든 대안에 대한 집단의 우선순위가 결정되는 순간 이 순위에 대한 집단 구성원의 동의정도(level of agreement)를 추정할 수가 있다.

V. 실제 적용방법 및 예

위의 이론을 실제 교통사업투자우선순위 결정에 적용해 보기 위하여, 국토개발계획 중 지역간 교통시설 투자사업의 투자우선순위를 결정하는 문제를 생각해 보기로 한다. 이들 사업 중에는 고속도로 사업, 철도 사업, 공항 사업 등이 포함될 수 있다. 여기서는 계산의 간편상 교통사업 수를 4개, a_1, a_2, a_3, a_4로 가정한다. 즉, $A=\{a_1,\ a_2,\ a_3,\ a_4\}$

그리고 이 사업들에 대한 투자우선순위를 결정하기 위하여 설문대상집단을 설정한다. 여기서 설문에 참여하는 자는 교통계획 등 관련분야의 전문가들로서 전문성과 객관성을 지녀야 함은 물론이다. 전통적인 Delphi 방법 시행시 관련 설문의 대상이 되는 전문가 집단으로 가정할 수 도 있다. 이들에게 필요에 따라서는 각 사업들의 수요, 경제성, 재무성 등 기존에 분석된 자료들이 제공될 수도 있다. 여기서는 편의상 설문대상집단이 관련 전문가 10명으로 구성된 것으로 가정한다.

집단내의 10명의 전문가에게 위 4개 사업의 투자우선순위(preference ordering)를 답하게 한다. 전문가는 설문 시점에 제공될 수 있는 각종 계량화된 자료와 계량화되기 어려운 정성적인 자료, 경험, 정황 등을 고려하여 우선순위를 답한다. 그 결과 (O_k)가 아래와 같다고 하자. 예를 들어 전문가 O_8의 대안들에 대한 우선순위는 a_4, a_2, a_1, a_3로 네 번째 대안이 가장 높다.

$$\begin{aligned}
&O_1=\{a_1,\ a_2,\ a_4,\ a_3\},\ O_2=\{a_1,\ a_2,\ a_3,\ a_4\}\\
&O_3=\{a_2,\ a_3,\ a_1,\ a_4\},\ O_4=\{a_2,a_3,\ a_1,\ a_4\}\\
&O_5=\{a_4,\ a_1,\ a_2,\ a_3\},\ O_6=\{a_4,\ a_1,\ a_3,\ a_2\}\\
&O_7=\{a_4,\ a_1,\ a_3,\ a_2\},\ O_8=\{a_4,\ a_2,\ a_1,\ a_3\}\\
&O_9=\{a_4,\ a_3,\ a_1,\ a_2\},\ O_{10}=\{a_4,\ a_3,\ a_2,\ a_1\}
\end{aligned} \quad (3)$$

현실적으로 대안이 많으면 위의 식(3)과 같은 답변을 얻기가 용이하지 않다. 실제로 전문가라 할지라도

모든 대안들(예를 들어 10개 이상의 대안들간의 투자우선순위부여시)의 선호 또는 우선순위를 식(3)과 같이 제시하기란 용이하지 않다. 이는 특히 앞장의 Arrow의 이론에서 언급한 바와 같이 설문 응답시 개인별 이행성 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 위 식(3)의 집합을 이진관계(binary relation) 행렬로 표현하면 설문에 응답하기가 용이해 진다. 즉, a_i를 a_j 보다 선호하면(투자순위가 높다고 답하면) $(a_i,\ a_j)=1$ 그렇지 않으면(그렇지 않거나, 같으면 또는 불확실하면) 0으로 표현한다. 이들 행렬로 각 전문가의 사업간 선호관계(preference relation)를 파악할 수 있다.

$$O_1=\begin{pmatrix}0&1&1&1\\0&0&1&1\\0&0&0&0\\0&0&1&0\end{pmatrix}\quad O_2=\begin{pmatrix}0&1&1&1\\0&0&1&1\\0&0&0&1\\0&0&0&0\end{pmatrix}$$

$$O_3=\begin{pmatrix}0&0&0&1\\1&0&1&1\\1&0&0&1\\0&0&0&0\end{pmatrix}\quad O_4=\begin{pmatrix}0&0&0&1\\1&0&1&1\\1&0&0&1\\0&0&0&0\end{pmatrix}$$

$$O_5=\begin{pmatrix}0&1&1&0\\0&0&1&0\\0&0&0&0\\1&1&1&0\end{pmatrix}\quad O_6=\begin{pmatrix}0&1&1&0\\0&0&0&0\\0&1&0&0\\1&1&1&0\end{pmatrix}$$

$$O_7=\begin{pmatrix}0&1&1&0\\0&0&0&0\\0&1&0&0\\1&1&1&0\end{pmatrix}\quad O_8=\begin{pmatrix}0&0&1&0\\1&0&1&0\\0&0&0&0\\1&1&1&0\end{pmatrix}$$

$$O_9=\begin{pmatrix}0&1&0&0\\0&0&0&0\\1&1&0&0\\1&1&1&0\end{pmatrix}\quad O_{10}=\begin{pmatrix}0&0&0&0\\1&0&0&0\\1&1&0&0\\1&1&1&0\end{pmatrix}\qquad (4)$$

다음은 소속함수를 결정한다. 퍼지관계 R에 속하는 정도를 전체 설문 대상 전문가 10명 중 a_i 사업이 a_j 사업보다 투자우선순위가 높다고 답한 전문가의 비율로서 앞서 제시한 소속함수 식(1)로 표현하면 $\mu_R(a_i,\ a_j)=(1/10)N(\sigma_{ij})$이 된다.

즉, 퍼지 선호(투자우선순위) 행렬, $\mu_R(a_i,\ a_j)$는 아래와 같이 표현된다.

$$\mu_R(a_i,\ a_j)=\begin{pmatrix}0&0.6&0.6&0.4\\0.4&0&0.6&0.4\\0.4&0.4&0&0.3\\0.6&0.6&0.7&0\end{pmatrix}$$

예를들어 $\mu_R(a_1,\ a_2)=0.6$은 전문가집단이 a_1 보다 a_2를 선호하는 정도(수준)를 0.6(최대 1)로 표현한 것이다.

다음은 α 수준, 즉, 집단의 동의수준(level of agreement)을 찾기 위하여, $\alpha=1$부터 $\mu_R(a_i,\ a_j)\mid \mu_R(a_i,\ a_j)\geq\alpha$를 만족하는 사업 쌍을 찾는다. 다음은 α 수준별로 포함되는 사업간 선호(투자우선순위) 관계를 보여준다.

$R_{\alpha=1}=\Phi$

$R_{\alpha=0.9}=\Phi$

$R_{\alpha=0.8}=\Phi$

$R_{\alpha=0.7}=(a_4,\ a_3)$

$R_{\alpha=0.6}=\{(a_4,a_3),\ (a_1,a_2),\ (a_1,a_3),\ (a_2,a_3),\ (a_4,a_1),\ (a_4,a_2)\}$

$R_{\alpha=0.5}=\{(a_4,a_3),\ (a_1,a_2),\ (a_1,a_3),\ (a_2,a_3),\ (a_4,a_1),\ (a_4,a_2)\}$

$R_{\alpha=0.4}=\{(a_4,a_3),\ (a_1,a_2),\ (a_1,a_3),\ (a_2,a_3),\ (a_4,a_1),\ (a_4,a_2),(a_1,a_4),\ (a_2,a_1),\ (a_2,a_4),(a_3,a_1),\ (a_3,a_2)\}$

$R_{\alpha=0.3}=\{(a_4,a_3),\ (a_1,a_2),\ (a_1,a_3),\ (a_2,a_3),\ (a_4,a_1),\ (a_4,a_2),\ (a_1,a_4),\ (a_2,a_1),\ (a_2,a_4),\ (a_3,a_1),\ (a_3,a_2),\ (a_3,a_4)\}$

여기서 예를들어 $R_{\alpha=0.7}=\{(a_4,\ a_3)\}$의 의미는 전문가집단이 a_4 사업보다 a_3 사업의 투자순위가 높다고 동의하는 수준이 0.7(70%)임을 의미한다.

다음은 위 R_α 중 4개의 사업이 모두 포함되는 *Max* α를 찾으면 $R_{\alpha=0.6}=\{(a_4,a_3),\ (a_1,a_2),\ (a_1,a_3),\ (a_3,a_2),\ (a_4,a_1),\ (a_4,a_2)\}$이 된다. 즉, 사업들간의 투자우선순위는 $a_4,\ a_1,\ a_3,\ a_2$ 순이며, 이 우선순위에 대한 전문가집단의 동의수준(만족도)은 0.6 (60%)으로 추정된다. 다시 말해, 전문가집단이 100% 또는 80% 만족하는 투자순위는 없으며, a_4 사업보다 a_3 사업의 투자순위가 높다는 데는 집단이 70% 동의하며, 모든 사업이 포함된 경우인 $(a_4,\ a_1,\ a_3,\ a_2)$의 투자순위에 대해서는 전문가집단이 60%정도 만족한다는 결론을 내릴 수 있다.

이와 같은 전문가집단의 투자우선순위결정방법은 아래와 같은 실제 적용의 범위를 생각할 수 있다.

첫째, 예비타당성조사 등을 통해 경제성, 재무성, 환경비용 등의 기준할 평가지표가 없을 경우나, 없어

도 투자우선순위의 결정이 어렵지 않을 경우, 정책결정자는 대외적으로 전문가집단의 투자우선순위결과를 이 집단의 동의수준과 함께 이용하여 정책결정을 신속히 처리할 수 있다.

둘째, 기 연구 등으로 평가지표가 존재할 경우에 기존 평가지표로 감안되지 못하는 사업별 특성이 존재하기 때문에 기존 평가지표와 병행하여 전문가집단의 설문결과를 정책결정에 이용할 수도 있다.

셋째, 기존 연구된 평가지표를 투자우선설문시 전문가집단에 제공하여 답변시 이들 지표를 감안하도록 유도하고, 이 전문가집단의 투자우선순위결과에 전적으로 의존하여 정책결정을 할 수도 있을 것이다.

Ⅵ. 요약 및 결론

지역간 교통계획이나 도시교통계획을 수립하는 과정에서 민감한 부분 중 하나가 사업간의 투자우선순위의 결정과정이다. 도로 또는 철도 등 다양한 사업들 중 먼저 시행되어야 할 사업들과 나중에 시행해도 될 사업들을 판단하여야 하는 과정은 사업시행자(정책결정자)측으로 보아서는 매우 고민되는 사안이 아닐 수 없다.

본 논문은 각종 교통사업들의 투자우선순위 평가시 적용 가능한 기법을 제시하였다. 지금의 평가방법을 부정하는 새로운 방법이라기 보다는 기존의 평가방법을 보완하는 기법이다. 기존 평가방법에서 감안되기 어려운 사업의 특성들을 전문가들의 판단을 통하여 최대한 반영하는 방법이다.

이 기법에서는 퍼지집단결정이론을 적용하였다. 이 이론은 개인의 대안별 선호(우선순위)로 부터 집단의 선호관계를 도출할 수 있다. 또한 이 이론은 도출된 집단의 투자우선순위에 대한 동의수준(만족도)을 추정할 수 있다.

그 동안 각종 교통사업의 투자우선순위결정과정의 객관성과 신뢰성의 부족으로 교 통사업의 추진에 혼란을 초래한 적도 있었음을 부인할 수가 없다. 본 논문에서 제시한 방법은 기존의 투자우선순위의 평가방법을 보완하여 대외적인 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 무리한 각종 평가지표의 계량화는 평가자의 주관이 개입될 여지 매우 높기 때문에 정성적인 지표는 본 논문에서 제시한 방법과 같이 전문가집단이 의사결정과정에 적극 참여하여 전문가의 지식, 경험, 판단이 평가과정에 감안됨으로서 기존 평가의 객관성과 신뢰성을 충분히 제고할 수 있을 것으로 보인다.

향후 연구로서는 전문가집단의 구성방법이다. 본문에서는 단순히 관련 전문가로만 표현을 하였으나, 교통계획, 도시계획, 교통경제 분야의 전문가를 분야별로 다 포함하여야 하는지, 몇 명으로 구성되는 것이 적절한지에 대한 연구가 필요하다. 이 연구는 실제 문제(우선순위결정)에 대한 시행착오를 통해서만이 가능할 것으로 보인다. 또한 퍼지관계의 소속함수의 종류와 적용에 관해서도 더 발전된 연구가 필요하다. 그리고 퍼지추론 등의 적용으로 본 퍼지집단의사결정 이론의 응용시 지능적인 요소의 첨가도 흥미있는 연구주제가 될 것이다. 이러한 추후 연구는 투자우선순위결정방법에 객관성과 신뢰성을 더욱 제고하게 되어 교통사업을 보다 용이하게 추진할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. 이종호(1998), "지역간 교통계획의 수립방법", 교통계획의 이해, 대한교통학회 교통계획위원회편, pp.251~271, 1998.
2. 이상건, 임영태, 박동주(1999) "21세기 국가수송분담의 효율성제고를 위한 연구(1)", 국토연구원, pp.54~61.
3. Arrow, K.(1951, 1963), "Social choice and individual values", Yale University Press.
4. Bellman, R. E. and Zadeh, L.A., "Decision-Making in A Fuzzy Environment", Mange-ment Science, Vol. 17, No. 4, December, 1970.
5. Bezdek, J. C., Spillman, B., Spillman, R. (1978), "A fuzzy relation space for group decision theory", Fuzzy Sets and Systems 1, pp.255~268.
6. Bezdek, J. C., Spillman, B., Spillman, R. (1979), "A fuzzy relation space for group decision theory", Fuzzy Sets and Systems 2, pp.5~14.
7. Blin, J.(1974), "Fuzzy relations in group decision theory", Journal of Cybernetics, 4, 2, pp.17~22.

8. Blin, J. and Whinston, A.(1974), "Fuzzy sets and social choice", Journal of Cybernetics, 3, 4, pp.28~36.
9. Kickert, W.(1978), "Fuzzy theories on decision-making", Kluwer Boston Inc. pp. 45~47.
10. Kuzmin, V. B., Orchinnikov, S. V.(1980) "Group decisions I : In arbitrary spaces of fuzzy binary relations", Fuzzy Sets and Systems 4, pp.53~82.
11. Kuzmin, V. B., Orchinnikov, S. V.(1980) "Design of group decisions II : In spaces of partial order fuzzy relations", Fuzzy Sets and Systems 4, pp.153-165.
12. Marschark, J. and Rader, R.(1972), "Economic theory of teams", Yale University Press.
13. Nurmi, H.(1981), "A fuzzy solution to a major voting game", Fuzzy Sets and Systems 5, pp.187~198.
14. Nurmi, H.(1981), "Approaches to collective decision making with fuzzy preference relations", Fuzzy Sets and Systems 6, pp.249~259.
15. Orlvosky, S. A.(1978), "Decision making with a fuzzy preferences relation", Fuzzy Sets and Systems 1, pp.155~167.
16. Von Neuman, J and Morgenstern, O.(1944), "Theory of games and economic behaviour", Princeton University Press, Princeton.
17. Zimmermann, H.(1993), "Fuzzy sets, decision making and expert systems", Kluwer Academic Publishers, pp.58~69.