

도로사업 투자우선순위 평가의 PROMETHEE 기법 도입 방안 연구

An Introduction to PROMETHEE Technique for Highway Investment Priority Decision

김정화 교토대학교 도시사회공학전공 박사과정(제1저자)
Kim Junghwa Ph.D Candidate, Division of Urban Management,
Kyoto Univ.(Primary Author)
(kim@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

최기주 이주대학교 환경건설교통공학부 교수
Choi Keechoo Professor, Division of Environmental,
Civil and Transportation Engineering, Ajou Univ.
(keechoo@ajou.ac.kr)

목 차

- I. 서론
- II. 이론적 고찰
 - 1. 기존 정책 및 연구 검토
 - 2. PROMETHEE 기법 검토
- III. 도로 투자우선순위 평가방법 개발
 - 1. 기존 평가방법의 한계
 - 2. PROMETHEE 적용 평가방법 제안
- IV. 사례분석
 - 1. 자료구축 및 선호함수 설정
 - 2. 결과 분석
- V. 결론

I. 서론

중앙정부 및 지방자치단체 등에서는 심각한 교통난 해결을 위해 교통시설 확충에 막대한 투자를 시

행하고 있으며 이 같은 과정에서 합리적으로 이루어져야 되는 부분 중 하나가 투자우선순위의 평가다. 한정된 예산하에서 장기적인 효율성을 극대화시킬 수 있는 도로 또는 철도 등 다양한 교통사업들의 투자계획을 수립하는 것이 궁극적인 목적임에도 불구하고 현재 투자우선순위 평가과정은 표준화된 판단기준과 방법에 대한 지침이 없는 실정이다. 이 때문에 투자계획 수립과정이 중앙정부 및 지방자치단체 등 정책결정자의 주관적인 판단에 의존할 수밖에 없는 사안이 되어 버렸다.

지방자치단체가 5년 주기로 시행하는 도로정비기본계획 수립절차에 도로사업 투자우선순위 평가과정이 포함되고 있으나 평가방법에 대한 명확한 방향을 제시하지 않고 있기 때문에 지자체별로 평가기준을 선정하고 그의 중요도를 자체적으로 결정하여 수행하고 있다. <표 1>을 통해 도단위의 주요 지자체만을 비교했을 경우에도 고려되는 평가기준과 그의 중요도에 차이가 있음을 알 수 있다.

평가기준의 중요도 결정 시 일부 지자체에서는 계층화분석(Analytical Hierarchical Process: AHP) 기법을 적용하여 평가기준의 가중치를 산출하고 있지만 이는 가중치 산정 시에만 신뢰성을 확보할 뿐 각 대안의 우선순위를 결정하는 과정에 있어서는 굉장히 단순하며 객관성이 부족한 실정이다. <표 2>와 같은 조건 아래 B/C만을 평가기준으로 고려하여 두 대안의 투자우선순위를 평가해야 하는 경우,

표 1_ 주요 지자체 투자우선순위 평가기준

지역	구분		중요도
	평가기준	세부기준	
충청남도	경제성	B/C	20
		V/C	20
	지역균형개발촉진	접근성	10
		도로밀도	10
		주민숙원	10
	상위계획연계성	도 정책	10
상위계획 연계성		20	
전라북도	1일교통량		20
	주민이용도		10
	중심생활권 연계성		5
	교통안전 향상		25
	상위도로 연계		5
	물류비 절감		20
	교통유발시설과 연계		5
	주민숙원도		10
경상북도	사업효율성	주행시간 단축	35
		주행비용 감소	
		교통사고 감소	
	환경	생태계 및 토양 수질환경 보전	5
		경관보전 및 문화재 보호	2
	주민생활	대체우회도로 활용	13
		대중교통서비스 향상	8
		주변지역 연계성 강화	20
지역균형발전	지역격차 해소	6	
	지역주민 숙원도	11	

표 2_ B/C만을 고려한 투자우선순위평가 예시

기준	대안1	대안2
편익	2,500억 원	3,100억 원
비용	2,083억 원	2,605억 원
B/C	1.2	1.19

두 대안의 B/C는 0.01의 미미한 차이를 보이고 있지만 기존 방법론을 적용한다면 대안 1에 우선순위가 갈 것이다. 하지만 일반적으로 교통시설 타당성 평가 시 1.0 이상의 B/C를 갖는 사업에 있어서는 모두 경제적 타당성을 가지고 있다고 간주하고 있으므로 0.01의 미미한 차이를 보이는 경우 두 대안의 우선순위를 결정하는 것은 사실상 의미가 없다.

PROMETHEE 기법에는 총 6개의 선호함수가 있으며 평가기준별로 선호함수 및 선호임계치를 지정함으로써 평가기준이 가지고 있는 특성을 분석과정에서 반영하여 우선순위를 평가할 수 있다. 따라서 그 자체의 이론적 배경을 Ranking 산출에 두고 있는 PROMETHEE 기법을 도로 투자우선순위 평가에 적용시킨다면 <표 2>에서 나타나는 바와 같은 한계점을 보완 및 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 교통시설 수립계획 및 재정 배분계획의 기본이라 할 수 있는 도로사업 투자우선순위 평가에 대해 기존의 일부 지방자치단체의 투자우선순위 평가에서 적용되고 있는 계층화분석(AHP) 기법을 부정하기보다는 다양한 다기준의사결정법(Multicriteria Decision Making Method)을 검토하여 현재의 방법론을 보완하면서 합리적인 평가 결과를 제시할 수 있는 새로운 방안을 구축하며 우리나라 실정에 적용시켜 보는 것에 그 목적이 있다. 따라서 다기준의사결정법 중 Ranking 산출에 그 이론적 바탕을 두고 있어 도로 투자우선순위 평가에 가장 적합하다고 판단되는 PROMETHEE

(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) 기법을 투자우선순위 평가에 적용하고자 하였으며 이때 발생하는 강점 및 한계점을 분석하였다. 또한, 개선된 평가기법의 적용 가능성을 검토하기

위해 강원도 춘천시를 대상으로 총 8개의 도로망 대안에 대해 사례분석을 실시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 기존 정책 및 연구 검토

1999년 2월 도로법이 개정되면서 도로정비기본계획을 법정계획으로 수립하도록 제도화되었으며 도로법 제23조에는 도로정비기본계획의 계획 수립연도는 10년, 내용은 도로정비의 목표 및 방향, 관리 계획, 소요재원의 조달방안 등의 사항을 포함하고 있다. 이를 위해 지방자치단체에서는 국토해양부에서 수립한 “도로정비수정계획(2005.12)”에 기초한 “지방도 등 도로정비기본계획 수립 및 협의지침”을 바탕으로 도로정비기본계획을 수립하고 있으나 계획수립의 기본원칙과 포함될 내용 등에 대해서는 명확한 방향을 제시하고 있는 반면, 투자우선순위 평가를 위한 수립절차 및 협의 기준에 대해서는 다소 미비하므로 합리적인 분석이 어려운 실정이다.

미국의 경우 도로투자사업의 평가를 위해 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)의 기준을 활용하고 있으며, 미연방도로청(FHWA)에서 발간한 HERS(Highway Economic Requirements System)를 소프트웨어로 사용하고 있다. AASHTO는 순수하게 화폐가치로 환산이 가능한 정량적 요소만을 평가기준으로 채택함으로써 경제

적 효율성을 감안하고 있으며, 최종적으로는 재정적 능력과 사회적 효과를 함께 고려한 종합적인 판단기준을 통해 도로 투자우선순위를 결정한다. HERS의 경우 비용편익비와 순 현재가치를, 공공투자사업에서는 다기준평가기법을 주로 사용하고 있으나 편익부분 중 외부효과로서 환경효과의 증감을 고려하지 못한다는 문제점이 지적된다.

최근 영국정부에서는 도로투자계획의 집행 여부를 가리기 위하여 정부의 예산배당을 기다리는 도로사업들에 대해 새로운 교통투자 평가기법을 적용하였다. 새로운 교통투자 평가기법은 교통수단 간 공정한 비교가 가능하도록 5개의 정량적(Quantitative), 정성적(Qualitative) 평가기준에 의거하여 분석된 평가대상사업의 경제, 환경 및 사회적 영향에 대해 요약한 1페이지의 평가 요약표(Appraisal Summary Table: AST)를 작성하도록 되어 있다. 여기에는 환경·안전성·경제성·접근성·통합성의 5개 기준에 의거한 평가의 주요 결과를 제시한다.

독일은 연방교통부에서 발간한 FTIP 투자평가 지침을 따르고 있으며 여기에는 ① 교통비용의 절감, ② 통행시간의 절감, ③ 안전도의 향상, ④ 접근성 향상 등의 구조 공간 개선, ⑤ 환경여건 개선, ⑥ 자연과 조경 환경 개선, ⑦ 교통체계 이외의 편익 등의 기준들을 목표로 설정하고 이에 대한 분석이 이루어지고 있다.¹⁾

일본 동경도 북부 사이타마현에서는 도로의 정비우선순위 검토에 있어서 기능향상 지원도, 개발향상 지원도, 개발계획과의 연계성, 현재 및 장래의 교통혼잡도, 네트워크 기능의 증진(노선의 연속성)과 같은 기준을 통해 평가하고 있으며, 평가기준에 중요성이 높은 순서로 3점, 2점, 1점을 각각

단순 부여하여 우선순위를 검토하고 있다.

정병두(2002)는 도로 투자우선순위를 결정하는데 있어 다기준의사결정법 중 AHP 기법을 활용하였으며 이제까지 경제성 외에 소홀하게 다루어졌던 환경적인 측면, 주민생활과 지역균형발전 등을 반영한 종합평가를 실시하여 평가기준별 가중치를 설정하고 각 기준별 평가지표에 대한 도로투자사업 평가배점의 기준을 마련토록 하였다.

이중호(2000)는 교통사업 투자우선순위 평가방법에 집단 의사결정이론(group decision theory) 중 퍼지이론이 접목된 퍼지집단이론(fuzzy group decision theory)을 적용하였다. 일반적인 교통사업의 투자우선순위는 의사결정자 개인에 의하여 결정되지 않으며, 의사결정자 개인별로 교통사업들에 대한 선호는 다르지만 개인효용의 극대화를 추구하지 않는다는 점을 고려하여 퍼지집단이론을 통해 개인의 대안별 우선순위로부터 집단의 우선순위를 도출할 수 있고 도출된 투자우선순위 결과에 대한 집단의 동의수준을 추정할 수 있는 방법론을 제안하였다.

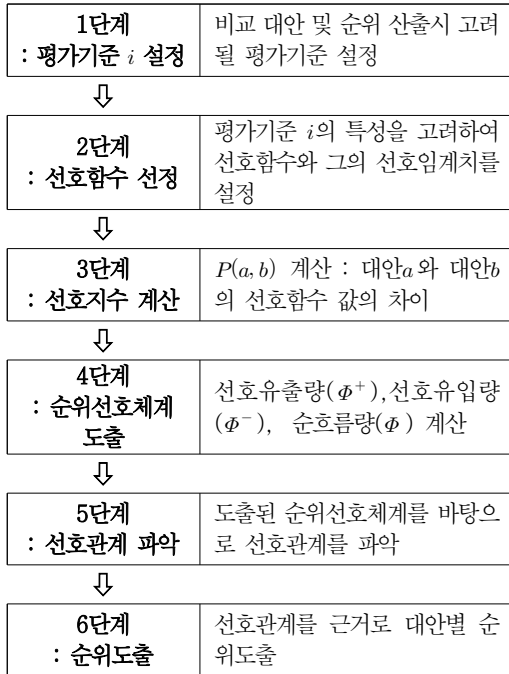
성현영·장현봉(2004)은 지자체의 도로 투자우선순위 평가 시 객관성 확보를 위해 정량화할 수 있는 교통사고 자료를 신규평가기준으로 추가함으로써 주민의견이나 지자체 여건 등에 의한 유동적인 결과 도출이나 내부의 주관적 요인이 평가결과에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방안을 강구하였다.

2. PROMETHEE 기법 검토

Brans & Vincke(1985)는 선호유출량(leaving flow, Φ^+)과 선호유입량(entering flow, Φ^-) 개념을 이용하여 대안들의 순위선호를 도출하는

1) 오재학·안승범. 1996. 교통시설투자분석기법의 정립방향. 경기 : 한국교통연구원.

PROMETHEE 기법을 제안했으며 분석과정은 다음과 같다.



PROMETHEE 기법에서는 <그림 1>과 <표 3>과 같이 이분형(Usual Criterion), U형(Quasi

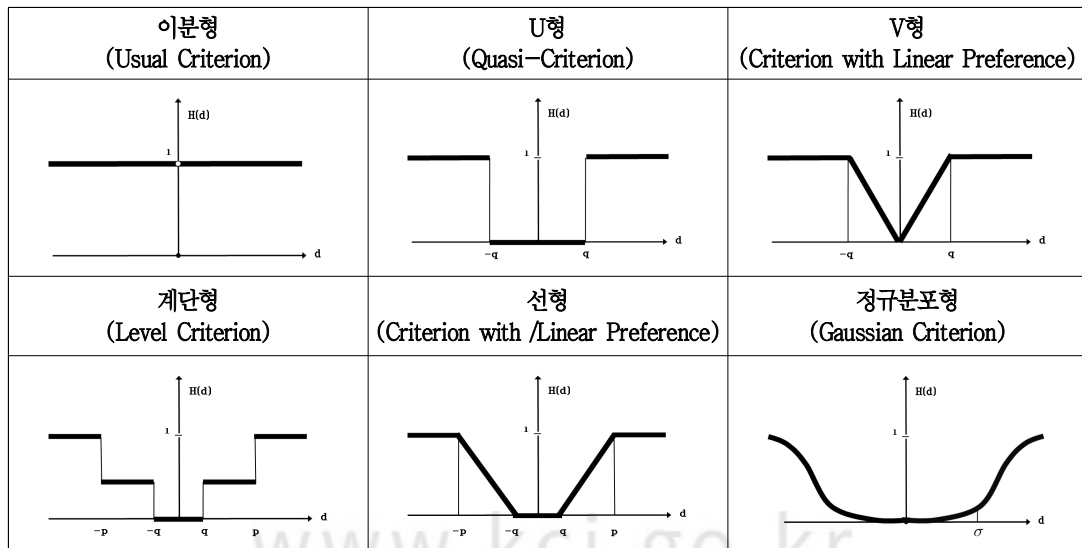
표 3 PROMETHEE 기법의 선호함수 및 선호임계치

유형	선호함수	선호임계치
이분형	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d=0 \\ 1 & \text{if } d \neq 0 \end{cases}$	-
U형	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } -q \leq d \leq q \\ 1 & \text{if } d < -q \text{ or } d > q \end{cases}$	q
V형	$H(d) = \begin{cases} d & \text{if } -p \leq d \leq p \\ 1 & \text{if } d < -p \text{ or } d > p \end{cases}$	p
계단형	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq p \\ \frac{1}{2} & \text{if } q < d \leq -p \\ 1 & \text{if } p < d \end{cases}$	q, p
선형	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } d \leq q \\ \frac{(d -q)}{(p-q)} & \text{if } q < d \leq -p \\ 1 & \text{if } p < d \end{cases}$	q, p
정규분포형	$H(d) = 1 - \exp(-\frac{d^2}{2\sigma^2})$	σ

-Criterion), V형(Criterion with Linear Preference), 계단형(Level Criterion), 선형(Criterion with /Linear Preference), 정규분포형(Gaussian Criterion)의 6가지 선호함수를 정의하고 있다.

<식 1>과 <식 2>의 $P_i(a, b)$ 는 선호지수의 개

그림 1 PROMETHEE 기법의 선호함수 형태



념으로 평가기준 i 에 대해 각 대안의 선호함수값의 차이 값이며 이는 대안 a 와 대안 b 의 평가점수 차이에 대한 평가자의 선호성향(0~1)을 나타낸다. <식 2>는 대안의 순위산출 시 2개 이상의 평가기준이 있을 경우 해당되며 π_i 는 평가기준 i 의 가중치를 의미한다.

$$P_i(a,b) = H(a_i - b_i) \quad \text{<식 1>}$$

$H(x)$ =선호함수
 $P(a,b)=0$: a 와 b 는 무관, 또는 a 와 b 사이에는 아무런 선호도가 없다.
 $P(a,b) \sim 0$: a 를 b 에 비해 약간 선호
 $P(a,b) \sim 1$: a 를 b 에 비해 많이 선호
 $P(a,b)=1$: a 를 b 에 비해 절대 선호

$$\Pi(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^k \pi_i P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^k \pi_i} \quad \text{<식 2>}$$

$\Pi(a,b)=0$: a 와 b 는 무관, 또는 a 와 b 사이에는 아무런 선호도가 없다.
 $\Pi(a,b) \sim 0$: a 를 b 에 비해 약간 선호
 $\Pi(a,b) \sim 1$: a 를 b 에 비해 많이 선호
 $\Pi(a,b)=1$: a 를 b 에 비해 절대 선호

앞서 구해진 선호지수 $P_i(a,b)$ 를 바탕으로 선호유출량(Φ^+)과 선호유입량(Φ^-), 그리고 순흐름량(Φ)을 구함으로써 순위선호체계가 도출된다.

<식 3>의 $\Phi^+(a)$ 는 대안 a 의 선호지수값의 합계로 대안 a 가 비교대안들의 집합 K 에 포함되는 나머지 모든 대안들을 지배하는(dominating) 정도를 나타낸다. 따라서 $\Phi^+(a)$ 가 클수록 대안 a 가 나머지 대안들 b (여기서, $b \in K$)보다 우월하다는 것을 의미한다. 반면, $\Phi^-(a)$ 는 대안 a 가 나머지 모든 대안들에 지배되는(dominated) 정도를 나타내는 것으로 이 값이 클수록 대안 a 가 나머지 대안들 b

보다 열등함을 의미한다. 순흐름량 $\Phi(a)$ 는 선호유출량 $\Phi^+(a)$ 에서 선호유입량 $\Phi^-(a)$ 을 차감한 값으로 $\Phi(a)$ 가 큰 대안일수록 우월한 대안임을 나타낸다.

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in K} \Pi(a,b)$$

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in K} \Pi(b,a)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad \text{<식 3>}$$

여기서, K 는 비교대안들의 집합, ($a, b \in K$)

선호유출량(Φ^+)과 선호유입량(Φ^-)을 이용한 대안 a 와 비교대안집합 K 에 포함되는 대안 b 의 선후관계는 <식 4>, <식 5>와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{cases} aP^+b & \text{iff } \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \\ aI^+b & \text{iff } \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \end{cases} \quad \text{<식 4>}$$

$$\begin{cases} aP^-b & \text{iff } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \\ aI^-b & \text{iff } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \end{cases} \quad \text{<식 5>}$$

여기서, aP^+b 는 대안 a 의 선호유출량(Φ^+)이 대안 b 의 선호유출량(Φ^+)보다 큰 값을, aP^-b 는 대안 a 의 선호유입량(Φ^-)이 대안 b 의 선호유입량(Φ^-)보다 작은 값을 가짐을 나타낸다. aI^+b 는 대안 a 와 대안 b 의 선호유출량(Φ^+)이, aI^-b 는 대안 a 와 대안 b 의 선호유입량(Φ^-)이 동일함을 보여준다. <식 4>와 <식 5>의 선후관계를 기준으로 <표 4>에서 보이는 조합을 바탕으로 비교 대안 간의 순위를 도출할 수 있겠다.

PROMETHEE 기법은 대안들의 평가순위를 결정하는 방법으로 선호유출량 Φ^+ 과 선호유입량 Φ^- 을 이용하는 PROMETHEE I과 선호의 순흐름량 Φ 을 이용하는 PROMETHEE II로 구분된다. 전자는 비교불가능한 대안들에 대한 정보를 제공해 줄 수

표 4_ 순위 결정 조합

관계	선호관계의 조합
순위선호 관계 $aP_1 b$ (대안 a 가 대안 b 보다 우월)	aP^+b 그리고 aP^-b 또는 aP^+b 그리고 aI^-b 또는 aI^+b 그리고 aP^-b
무차별한 관계 $aI_1 b$ (대안 a 와 대안 b 동일)	aI^+b 그리고 aI^-b
비교불가능한 관계 aIb (대안 a , 대안 b 비교 불가능)	그 외 조합

있으나, 후자의 경우는 그렇지 못하다.

PROMETHEE I에서 보여지는 비교불가능한 관계는 무차별한 관계와는 다른 개념으로, 예를 들어 대안 a 의 선호유출량과 선호유입량이 각각 0.7과 0.3이고, 대안 b 의 선호유출량과 선호유입량은 0.5와 0.1인 경우, 선호유출량의 관점에서는 대안 a 가 우월하나 선호유입량 관점에서는 대안 b 가 우월하여 대안의 우열을 가리기 힘든 상황임을 말한다.

III. 도로 투자우선순위 평가방법 개발

1. 기존 평가방법의 한계

일반적으로 다수의 지사체는 도로 투자우선순위 평가 시 AHP 기법을 통해 평가기준별 가중치를 산정한 후 각각의 하위요소에 대해서는 평점부여에 의한 절대 평가법을 조합하여 사용하고 있다. AHP 기법은 평가자가 특정 사안의 계층구조를 구성하는 각 하위 요소 간의 주관적 경험과 판단에 의한 비교를 통해 이루어지는 방법이다. 즉 언급된 장점 이외에 주관성 개입이라는 문제는 AHP 기법의 단점으로 제기될 수 있을 것이다.

또한 최근에 들어서는 특정 사안을 결정하는 데

에 있어 한 사람의 평가자가 아닌 다수의 평가자를 필요로 한다는 점에서 분석 시 객관성 확보는 매우 중요한 문제임에 분명하다.

따라서 이와 같은 방법론을 사용할 경우 평가기준별 특성이 반영되지 않거나 하위요소의 평점 부여 시 주관적 판단에 전적으로 의존할 가능성이 있으므로 객관적인 투자우선순위를 평가가 어려울 뿐 아니라 하위요소들의 평

점과 기준별 가중치를 곱한 값의 크기에 따라 대안들이 나열되기 때문에 이는 대안의 동시 투자 가능성을 배제시킬 수 있다.

또한, AHP 기법에 전적으로 적용할 경우, 비교 대상의 수가 증가함에 따라 의사결정자가 판단해야 할 평가횟수 $n(n-1)/2$ 는 급증하게 되며 평가기준의 가중치 산출과 대안들의 상대적 선호도 측정을 위해 수행되는 이원비교는 평가기준 및 비교대안의 수가 추가되거나 삭제될 때마다 다시 수행되어야 하는 번거로움 또한 있다. 도로사업 같은 경우는 민원 혹은 경쟁노선의 유무에 따라 사업의 추진여부가 불투명해지는 경우가 적지 않으므로 이러한 상황을 고려한다면 도로 투자우선순위 산출 시 AHP 기법의 적용은 비효율적인 정책결정 과정이라고 사료된다.

2. PROMETHEE 적용 평가방법 제안

비교가 곤란한 대안들을 비교불가능한 대안으로 분류해 주는 강점을 가지는 PROMETHEE 기법은 각 사업의 우위를 절대적인 수치로 가릴 수 없는 현실적인 경우를 고려하여 동시투자에 대해 판단 지표를 제공해 줄 수 있으므로 예산 배분 시 적절하

게 적용될 수 있다.

또한, 의사결정자가 평가기준별 선호함수를 결정하게 되면 내부 알고리즘에 의하여 대안들 간의 이원비교가 자동적으로 수행되어 결정되므로 평가자가 직접 이원비교를 수행해야 하는 번거로움이 없으며 따라서 대안이 추가되거나 삭제되는 경우에도 PROMETHEE 기법은 AHP 기법보다 신속하고 효율적인 이원비교를 수행할 수 있다.

평가기준의 가중치가 사전에 결정되어 있고, 선호함수를 의사결정자가 명확히 부여할 수 있는 상황에서 순위번호 관계에 기초를 두고 있는 PROMETHEE 기법은 최적해 선택을 위한 방법론인 AHP 기법보다 도로투자우선순위 평가에 있어 보다 적합한 기법이라 할 수 있겠다.

하지만 PROMETHEE 기법은 계층구조화에 대한 구체적인 방법을 제시하지 못하고 평가기준의

가중치가 사전에 결정되어 있어야 한다는 점에서 한계점을 가진다. 따라서 이에 강점을 가지고 있는 AHP 기법과 결합하여 도로 투자우선순위 평가에 적용된다면 기존의 방법론보다 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 평가기준의 가중치 산정 시 AHP 기법을 부분적으로 적용하되 전반적인 과정에서는 PROMETHEE 기법을 바탕으로 한 평가 방법을 <그림 2>와 같이 제안하고자 한다.

IV. 사례분석

1. 자료구축 및 선호함수 설정

사례분석은 춘천시의 8개 노선계획을 대상으로 PROMETHEE 기법을 적용한 제안된 평가방법이 실제 도로정비기본계획 수립 시 수행되는 도로망 투자우선순위 평가에 적용될 수 있는지 검증하는 것에 그 목적을 두고 수행되었다. 평가기준은 <그림 3>과 <표 5>와 같이 효율성 측면, 공급자 측면 그리고 이용자 측면을 고려한 7개의 기준으로 설정하였으며 효율성 측면의 평가기준은 ‘경제성’과 ‘도로의 연계성’으로 구성하였다. 공급자 측면의 평가기준은 ‘사업구간의 위계’와 ‘지방자치단체의 의견수렴’으로, 이용자 측면의 평가기준으로는 ‘사업구간의 혼잡도’와 ‘기존 도로의 혼잡개선 정도’로 설정하였다. 각 평가기준별 가중치 산정 시 AHP 기법 적용을 위해 춘천시 건설과 공무원 7명을 대상으로 설문조사를 시행하였다. ‘km당 사업비’ 기준의 가중

그림 2_ 제안된 평가방법

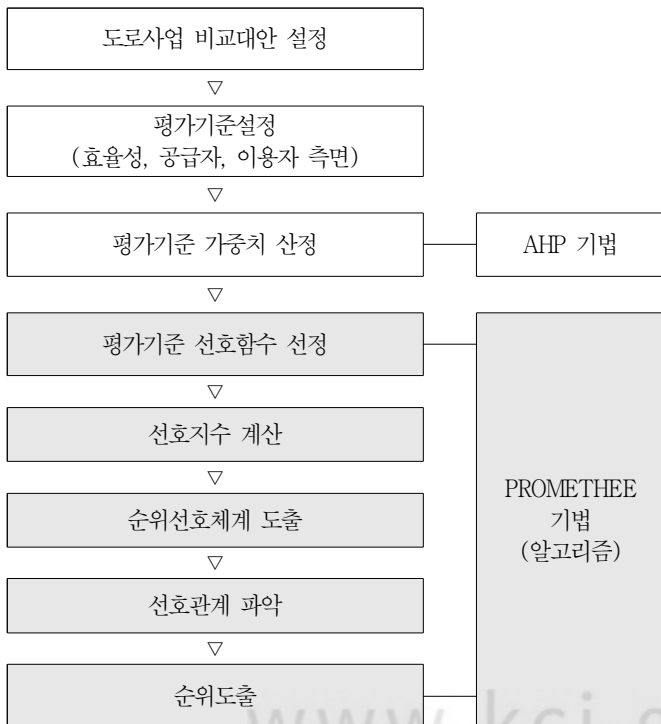


그림 3_ 투자우선순위 평가기준 계층구조

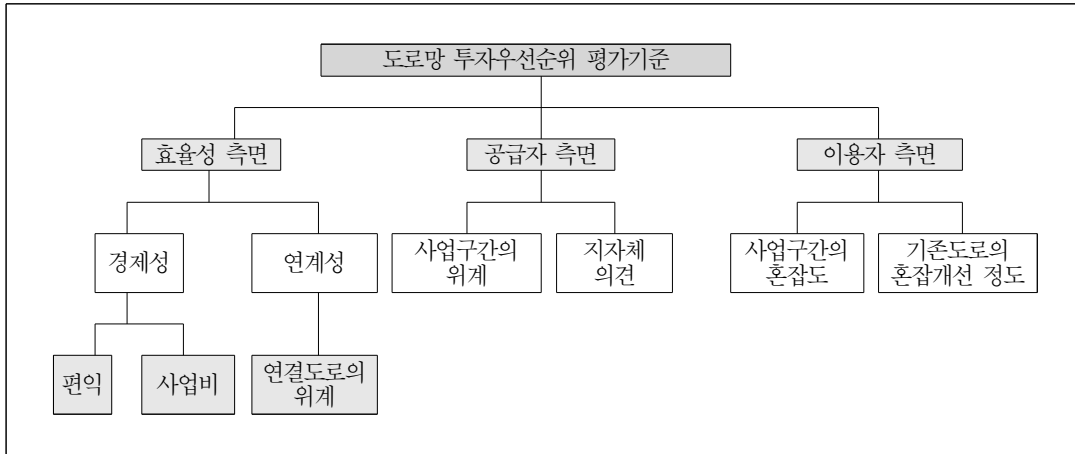


표 5_ 사례분석 평가기준

구분		내용	
효율성 측면	경제성	사업비(10억/km)	km당 사업비를 10억 단위로 변환
		편익(10억/km)	초기목표연도 2015년 기준
	연계성	연결도로의 위계	국도, 지방도, 시도로 구분되어 있으며 설문조사에 기초한 값(국도: 22.1, 지방도: 15.0, 시도: 12.9)
공급자 측면	사업구간의 위계		국도, 지방도, 시도로 구분되어 있으며 설문조사에 기초한 값(국도: 22.1, 지방도: 15.0, 시도: 12.9)
	지방자치단체 의견수렴		설문조사에 기초한 값
이용자 측면	사업구간의 혼잡 정도		분석 tool의 산출값(단위 v/c)
	기존 도로의 혼잡개선 정도		분석 tool의 산출값(단위 v/c)

치가 0.194로 가장 높게 산정되었으며 ‘km당 편익’ 기준이 0.058로 7개의 평가기준 중 가장 낮게 산정되었다.

평가기준별 선호함수는 각 기준의 특성을 반영하여 설정하였으며 ‘km당 사업비’와 ‘사업구간의 혼잡 정도’는 일정범위 내의 차이로는 그 선호도를 판단할 수 없으므로 V형 선호함수를 적용하였다. 그 외 평가기준들은 대안별 차이가 증가할수록 그 선호도가 선형으로 증가하다가 한계값 p 이상의 차이가 있을 경우에는 절대선호를 보인다고 판단

되므로 선형 선호함수를 적용하여 분석을 수행하였다.

2. 결과 분석

본 사례분석은 PROMETHEE 기법의 알고리즘으로 대안별 선호도를 계산할 수 있었으며 그 결과는 <표 7>과 같다. PROMETHEE I의 알고리즘으로 춘천시의 도로 투자우선순위를 산출하였으며 이에 대해 간단한 예를 들면 다음과 같다.

표 6_ 평가기준별 선호함수

평가기준		선호함수	파라미터	선호함수식
사업비 (10억/km)	Min	선형	q = 10 p = 65.33	$H_1(x) = \begin{cases} 0, & x < 10 \\ \frac{x-10}{55.33}, & 10 \leq x \leq 65.33 \\ 1, & x > 65.33 \end{cases}$
초기 목표연도편익 (10억/km)	Max	V형	p = 99.32	$H_2(x) = \begin{cases} \frac{1}{99.32}, & x < 99.32 \\ 1, & x \geq 99.32 \end{cases}$
연결도로의 위계	Max	V형	p = 7.1	$H_3(x) = \begin{cases} \frac{1}{7.1}, & x < 7.1 \\ 1, & x \geq 7.1 \end{cases}$
사업구간의 위계	Max	V형	p = 9.2	$H_4(x) = \begin{cases} \frac{1}{9.2}, & x < 9.2 \\ 1, & x \geq 9.2 \end{cases}$
지자체 여건과 의견 수렴	Max	V형	p = 7	$H_5(x) = \begin{cases} \frac{1}{7}, & x < 7 \\ 1, & x \geq 7 \end{cases}$
사업구간의 혼잡정도	Min	선형	q = 0.2 p = 0.82	$H_6(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.2 \\ \frac{x-0.2}{0.62}, & 0.2 \leq x \leq 0.82 \\ 1, & x > 0.82 \end{cases}$
기존도로의 혼잡개선정도	Max	V형	p = 90.52	$H_7(x) = \begin{cases} \frac{1}{90.52}, & x < 90.52 \\ 1, & x \geq 90.52 \end{cases}$

표 7_ 대안별 선호도 산출 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7	대안8	ϕ^+
대안1	-	0.630	0.523	0.289	0.572	0.328	0.232	0.702	3.276
대안2	0.038	-	0.062	0.085	0.035	0.028	0.034	0.223	0.503
대안3	0.000	0.107	-	0.027	0.057	0.022	0.027	0.240	0.480
대안4	0.020	0.388	0.281	-	0.334	0.112	0.000	0.501	1.637
대안5	0.000	0.058	0.019	0.034	-	0.025	0.027	0.211	0.373
대안6	0.000	0.302	0.227	0.059	0.269	-	0.027	0.411	1.295
대안7	0.069	0.489	0.412	0.127	0.431	0.187	-	0.508	2.222
대안8	0.103	0.183	0.180	0.176	0.197	0.120	0.047	-	1.005
ϕ^-	0.230	2.156	1.703	0.797	1.896	0.821	0.392	2.796	-

대안 3과 대안7을 비교하였을 때
 leaving flow $\phi^+(3)=0.480 < \text{leaving flow}$
 $\phi^+(7)=2.222$

entering flow $\phi^-(3)=1.703 > \text{entering}$
 flow $\phi^-(7)=0.392$
 이므로 대안 7이 대안 3보다 선호된다고 볼 수 있으

표 8_ 대안들의 선호도 산출 값

구분	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7	대안8
Φ^+ (선호유출량)	3.276	0.503	0.480	1.637	0.373	1.295	2.222	1.005
Φ^- (선호유입량)	0.230	2.156	1.703	0.797	1.896	0.821	0.392	2.796
Φ (순흐름량)	3.046	-1.653	-1.223	0.840	-1.522	0.474	1.830	-1.792

그림 4_PROMETHEE I 적용 시 투자우선순위

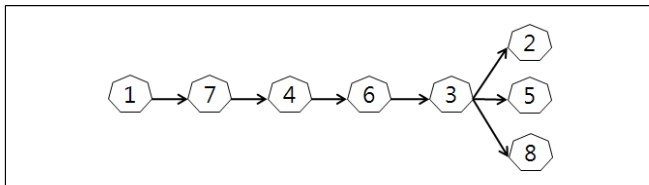
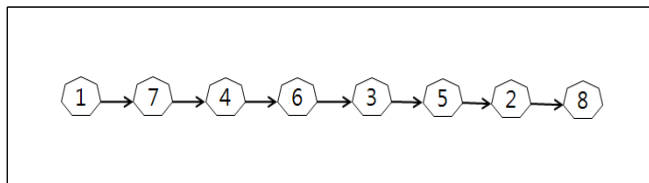


그림 5_PROMETHEE II 적용 시 투자우선순위



며, ${}_7P_3$ 로 나타낼 수 있겠다.

이 같은 방법으로 춘천시의 도로사업 투자우선 순위를 평가하면 <그림 4>와 같으며 대안 2와 대안 5 그리고 대안 8은 대안의 우열을 가리기 힘든 비 교불가능한 관계를 가지는 것으로 나타났다.

비교불가능한 관계를 가지는 대안들이 산출되 지 않기 위해서는 선호 순흐름량 개념을 이용하는 PROMETHEE II 기법을 추가적으로 수행해야 한 다. 이를 위해 <표 8>과 같이 선호의 순흐름량을 산정하였다. 3.046으로 선호의 순흐름량이 가장 높은 대안 1에 먼저 투자우선순위가 배정되는 것으 로 산출되었으며 대안 8의 노선이 -1.792의 값을 가짐으로써 가장 낮은 투자우선순위를 가지는 것

으로 나타났다.

비교불가능한 관계를 가지는 대안 2, 대안 5, 대안 8을 제외하고서 PROMETHEE II기법의 산출 결과도 PROMETHEE I기법과 동일하게 나 타났다. 따라서 춘천시는 향후 도로 투자를 위한 재정계획 수립 시 위의 우선순위 산출결과를 기본으로 대안 1과 대안 7, 대안 4 등의 순서로 도로 사업을 추진할 수 있는 재정을 확보 하되, 대안 2와 대안 5 그리고 대안 8에 대해서는 투자를 유보하거나 장

래 춘천시의 재정이 확보된 후에 동시투자, 혹은 단 계적으로 투자하는 방안을 고려해볼 수 있겠다.

V. 결론

본 논문에서는 SOC 투자에 막대한 재정이 배정되 고 있지만 투자우선순위 평가에 있어서 표준화된 지침이 부재하다는 것에 문제점을 제기하고 도로 정비기본계획 수립 시 일반적으로 사용되고 있는 투자우선순위 평가방법의 한계점을 검토하였다. 또한 교통 분야에 최초로 PROMETHEE 기법을 적 용하여 기존의 정책을 보완할 수 있는 방법론을 제 안하였다.

제안된 방법론은 도로사업의 투자우선순위 산출을 위한 평가기준의 가중치 산정 시 AHP 기법을 부분적으로 적용하되 전반적인 과정에서 순위선호 관계에 기초를 두고 있는 PROMETHEE 기법의 적용을 기본으로 하고 있다. 이를 통해 기존의 평가 방법에서 나타날 수 있는 주관적 판단의 전적인 의존 가능성과 대안들의 동시투자 가능성 배제 등의 한계점을 보완하였으며 사업비나 V/C와 같은 평가 기준의 특성을 반영할 수 있게 되었으므로 지자체의 도로정비기본계획 수립 시 본 논문에서 제안된 방법론을 적용한다면 보다 합리적인 결과를 도출할 수 있다고 판단된다.

또한, 도로정비기본계획 수립 시에 제안된 방법론이 현실적으로 적용될 수 있는지를 검토하는 과정을 거쳤으며 이를 위해 강원도 춘천시를 대상지역으로 설정하고 사례분석을 수행하였다. 춘천시의 장래 도로망 계획 중 8개의 대안에 대해 투자우선순위를 평가하였으며 이 중 3개의 대안(대안 2, 대안 5, 대안 8)에 대해서는 비교불가능한 관계로 판별되었으므로 향후 재정계획 수립 시 이와 같은 결과를 반영하여 3개의 대안에 대해서는 동시투자 방안도 고려해 볼 수 있을 것으로 기대된다.

하지만 춘천시 공무원들의 설문조사에 의존한 본 사례분석은 각 평가지표의 선호함수 선정에 따라 우선순위 결과가 달라질 수 있는 가능성이 있으므로 향후 이 방법론이 지침으로 발전하기 위해서는 다양한 전문가들의 충분한 사전검토를 통하여 평가지표별 선호함수와 그의 선호임계치를 확실히 제시하는 것이 보다 필요할 것으로 판단된다. 또한, ‘도로사업 투자계획’이라는 한정된 범위 내에서만 제안된 방법론의 적용가능성을 검토하였으므로 향후에 사회의 전반적인 편익을 증대할 수 있는 방향으로 투자계획을 수립하기 위해서는 수단의 구분 없이 모든 교통시설 투자의 종합적 효과를 비

교 측정할 수 있는 지표를 개발하고 그의 타당성 및 투자우선순위가 동시에 평가될 수 있는 방법론이 연구되어야 하겠다.

참고문헌

- 강원도. 2007. 도로정비기본계획 수정안.
 국토해양부. 2005. 도로정비기본계획 수정계획.
 _____. 2007. 교통시설 투자평가지침.
 김강수·최홍석. 2004. 교통시설의 지역경제 파급효과 추정을 위한 다지역 산업연관 모형구축 및 분석. 경기: 한국교통연구원.
 대구광역시. 2005. 도로정비 기본계획.
 민재형·송영민. 2003. “PROMETHEE를 이용한 다기준의사결정”. 서강대학교 BK21 연구논문.
 박동주·오주택. 2004. “불확실성을 고려한 교통시설의 적정 투자시기 결정에 관한 연구”. 국토연구 제41권. 경기: 국토연구원. pp167-185.
 박진경·엄진기·이준. 2008. “지속가능한 고속철도망 계획을 위한 투자우선순위 선정에 관한 연구: 다원-속성 효용이론을 이용하여”. 한국철도학회논문집 제11권. 서울: 한국철도학회. pp45-53.
 박형일. 2007. 수도권 고속도로망 구축 실행계획연구. 국토연구원.
 성현영·장현봉. 2004. “교통사고요소를 포함한 도로 투자우선순위의 결정: 대전광역시를 중심으로”. 건축도시환경연구 제12권. 대전: 목원대학교 건축도시연구센터. pp11-22.
 수원시. 2003. 도로정비기본계획.
 오재학·안승법. 1996. 교통시설투자분석기법의 정립방향. 경기: 한국교통연구원.
 원광희. 2003. 충청북도 도로정비기본계획. 충북: 충북개발연구원.
 윤장호. 1998. “영국의 신교통투자 평가기법”. 월간교통 10월호. 경기: 교통개발연구원. pp43-45.
 이광훈·손기민·김승준. 2008. 바람직한 수도권철도로 SOC 투자 확대방안. 서울: 서울시정개발연구원

- 이성근·이환범·이관률. 2006. “지방투자심사 대상사업의 유형화와 평가기준 및 가중치 산정”. 지방행정연구 제20권. 서울 : 한국지방행정연구원. pp3-19.
- 이인원·최기주·조성빈. 1993. 도로투자우선순위 결정기법에 관한 연구. 서울 : 서울시정개발연구원.
- 이재길. 2007. “환경적 요인을 고려한 도로정비기본계획의 투자 우선순위 재정립”. 교통 기술과 정책 제4권 제2호. 서울 : 대한교통학회. pp122-131.
- 이종호. 2000. “퍼지집단의사결정이론을 적용한 교통사업투자우선순위의 결정방법”. 대한교통학회지 제18권. 서울 : 대한교통학회. pp87-94.
- 정병두. 2002. “AHP를 이용한 도로사업의 우선순위 분석”. 대한교통학회지 제20권. 서울 : 대한교통학회. pp45-54.
- 조응래·김재령. 1999. 도로사업의 투자우선순위 결정방안. 경기 : 경기개발연구원.
- 조응래·정재은. 2007. “도로정비기본계획 수립체계의 개선방안”. 교통 기술과 정책 제4권 제2호. 서울 : 대한교통학회. pp109-121.
- 평택시. 2008. 도로정비기본계획.
- 하현구. 1999. 선진외국의 교통시설 투자체계. 경기 : 한국교통연구원.
- 한상진·박준석·정유진. 2005. “AHP 분석기법을 활용한 ASEAN 도로망 투자우선순위 분석”. 대한교통학회지 제23권. 서울 : 대한교통학회. pp55-65.
- 행정자치부. 1999. 지방도 정비사업 장기계획 수립지침.
- 홍성준·빈재연·이용대·김승권. 2005. “상수도관망의 위험요소 우선순위 평가를 위한 PROMETHEE와 ANP 모형”. 대한토목학회 정기학술대회 자료집. 서울 : 대한토목학회. pp2430-2433.
- Brans, J. and P. Vincke. 1985. “A Preference Ranking Organization Method (the PROMETHEE Method for Multi Criteria Decision-making)”. *Management Science* vol.31, no.6. USA : INFORM. pp647-656.
- Eckenrode, R. 1965. “Weighting Multiple Criteria”. *Management Science* vol.12, no.3. USA : INFORM. pp180-192.
- Goums, M. and Lygerou, V. 2000. “An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploitation Projects”. *European Journal of Operational Research* vol.123. Netherland : Elsevier. pp606-613.
- Huylenbroeck, G. V. 1995. “The Conflict Analysis Method: Bridging the Gap between ELECTRE, PROMETHEE and ORESTE”. *European Journal of Operational Research* vol.82. Netherland : Elsevier. pp490-502.
- Junn-Yuan TENG. 1996. “A Multiobjective Programming Approach for Selecting Non-independent Transportation Investment Alternatives”. *Transportation Research Part B* vol.30, no.4. Netherland : Elsevier. pp291-307.
- Keyser, W. D. and Peeters, P. 1996. “A Note on the Use of PROMETHEE Multicriteria Methods”. *European Journal of Operational Research* vol.89. Netherland : Elsevier. pp457-461.
- Klass De Brucker. 2004. “Alain Verbeke and Cathy Macharis, The Applicability of Multicriteria-Analysis to the Evaluation of Intelligent Transport System(ITS)”. *Research in Transportation Economics* vol.8. Netherland : Elsevier. pp151-179.
- Litman. T. 2007. “Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning”. *Transportation Research Record* 2017. USA : Transportation Research Board. pp10-15.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker and Verbeke. 2004. “A PROMETHEE and AHP: The Design of Operational Synergies in Multicriteria Analysis(Strengthening PROMETHEE with idea of AHP)”. *European Journal of Operational Research* vol.153. Netherland : Elsevier. pp457-461.
- Roy, B. 1991. “The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods”. *Theory and Decision* vol.31. USA : Springer. pp49-73.

- 논문 접수일: 2010.10.11
- 심사 시작일: 2010.10.18
- 심사 완료일: 2010.11.22

ABSTRACT

An Introduction of PROMETHEE Technique for Highway Investment Priority Decision

Keywords: Investment Priority, SOC Investment, PROMETHEE, Multicriteria Decision Method

The current road maintenance master plan by municipalities, which is established every five years, includes evaluation procedures on road investment priority for the SOC financing plan; however, there is no guideline objective, distinctive criteria. In this study, in order to establish efficient and objective financing plans involving massive SOC investments, the current methodologies for road investment priority evaluation were examined, and improved methodologies were proposed.

Also the possibility of mutual complementation of the AHP technique and the PROMETHEE technique was examined. As a result, AHP was only applied to weighting of evaluation variables, and PROMETHEE was applied to investment priority of alternatives as basic technique since the technique had the strength of reflecting the characteristics of evaluation variables as more objective and efficient, and preferred functions.

The proposed methodologies were applied in evaluating investment priority of eight alternatives for the future road network plans of Chuncheon City, Gangwon Province, in a bid to verify their validity.

도로사업 투자우선순위 평가의 PROMETHEE 기법 도입 방안 연구

주제어: SOC 투자, 투자우선순위, 투자계획, PROMETHEE, 다기준의사결정법

여러 대안이 존재할 경우의 도로투자 우선순위는 네트워크설계기법으로부터 간단한 경제성분석에 이르기까지 다양하다. 현재의 지방자치단체의 도로정비기본계획에는 도로투자우선순위 평가절차를 포함하고 있지만 표준화된 평가기준의 부재로 확실적인 지침이 제공되지 못하고 있는 실정이다. 이로 인해 정책결정자에 따라 절차 및 평가기준을 상이하게 적용하고 있으며 주관적인 판단에 의존하고 있는 경우도 있으므로 지방도 투자우선순위에 대한 지침의 객관성과 공정성을 보다 높일 필요가 있겠다.

본 논문은 SOC 부분에 막대한 재정이 배정되고 있는 추세를 반영하여 객관적인 재정계획 수립을 위해 개선된 도로투자우선순위 평가기법을 제시하는데 있다. 이를 위해 먼저 국내외 도로투자우선순위 평가지침과 도로정비기본계획을 사례로 들고, 기존에 연구되었던 개선방안에 대해 검토 후 그의 한계점을 정리하고 이를 보완할 수 있는 개선안을 제시하였다. 개선된 기법으로는 이론의 바탕을 Ranking 산출에 두고 있는 PROMETHEE 기법을 적용하는 방법론을 제안하였으며 현실적인 적용가능성을 판단하기 위해 춘천시를 대상으로 사례분석을 실시하였다.