

■ 論 文 ■

**몬테카를로 시뮬레이션을 통한 AHP결과 해석모형개발  
(도로 및 철도부문 사례를 중심으로)**

A Evaluation Model of AHP Results Using Monte Carlo Simulation  
(Depending on the Case Studies of Road and Rail)

**설 유 진**  
(서울대학교 건설환경공학부  
박사과정)

**정 성 봉**  
(한국교통연구원 책임연구원)

**송 기 한**  
(서울대학교 공학연구소 객원연구원)

**전 경 수**  
(서울대학교 건설환경공학부 교수)

**이 성 모**  
(서울대학교 건설환경공학부 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 기존연구고찰
- III. 연구의 방법론

- IV. 사례분석
- V. 결론 및 향후연구
- 참고문헌

Key Words : 다기준분석법, 분석적 계층화법, 몬테카를로 시뮬레이션, 확률분포, 난수생성  
Multi-attribute decision making, Analytic Hierarchy Process, Monte Carlo Simulation, Probability Distribution, Random Number Creation

요 약

다기준 분석이란 다수의 속성이나 다수의 목적함수를 포함하는 의사결정을 최적화하는 기법이다. 현재 국내에서 여러 가지 쟁점 방안을 고려하여 가장 보편적으로 사용되고 있는 다기준 분석기법은 분석적 계층화법 (Analytic Hierarchy Process: AHP)이다. 그러나 기존의 방법론은 AHP 평가자의 판단의 신뢰성에 대한 검증과정이 누락되어 있으므로, 보다 정확한 판단을 내리기 위해서는 타당성 있는 검증과정이 포함된 새로운 방법론이 필요하다. 이에 본 연구에서는 AHP 평가자가 평가대상에 대한 전문지식이 없는 경우 도출될 수 있는 의사결정 결과를 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 도출하고, 이를 기존의 전문가가 내린 의사결정 결과와 비교하여 보다 합리적인 판단을 내릴 수 있는 새로운 해석모형을 개발하고 이를 기존에 한국개발연구원(KDI)에서 수행한 예비타당성의 도로 및 철도분야의 실제 사례에 적용하여 본 모형의 합리성을 평가해 보았다. 분석결과 기존 방법론에 기인한 최종 판단의 약 20%는 보다 신중한 판단이 필요하다는 결론이 도출되었으며, 최종 판단은 초기 가중치 산정에 큰 영향을 받으므로 향후 연구에서는 초기에 산정된 가중치와 최종판단간의 상관관계 분석이 필요할 것으로 사료된다.

Multi-Criteria Analysis is one method for optimizing decisions that include numerous characteristics and objective functions. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is used as a general Multi-Criteria Analysis considering many critical issues. However, since validation procedures for the decision reliability of AHP valuers had been left off existing methodologies, a new methodology including such validation procedures is required to make more reliable decisions. In this research, idea decision results are derived using Monte Carlo Simulation in cases where AHP valuers do not have expertise in the specific project, and these results are compared with the results derived from experts to develop a new analysis model to make more reliable decisions. Finally, this new analysis is applied to various field case studies of road and rail carried out by the Korea Development Institute (KDI) between 2003 and 2006 to validate the new analysis model. The study found that approximately 20% of decisions resulting from the existing methodology are considered prudent. In future studies, the authors suggest analyzing the correlation between initial weights and final results since final results are enormously influenced by the initial weight.

## I. 서론

다기준 분석(Multi-Criteria Analysis)이란 다수의 속성(Multi-attributes)이나 다수의 목적함수(Multi-Objective)를 포함하는 의사결정을 최적화하는 기법이다. 일반적으로 다기준 분석 최종적인 판단을 내리기에는 신중히 고려해야 하는 쟁점방안이 따르는데, 정량적 분석결과와 정성적 분석결과를 통합하는 방안, 평가의 일관성과 사업의 특수성을 동시에 반영해야 하는 방안, 종합평가에 참여하는 여러 평가자들의 의견을 종합하는 방안들이 대표적이다. 이와 같은 쟁점방안을 고려하여 국내에서 가장 보편적으로 사용되는 기법은 분석적 계층화법(Analytic Hierarchy Process: AHP)이다.

AHP 기법은 평가에 참여하는 개개인의 의견을 종합하여 최종적인 의사결정에 도달하도록 지원하는 집단적의사결정(group decision support system) 방법론이기에 초기에 평가자를 선정하는 것은 그 중요성을 아무리 강조해도 지나치지 않다. 평가자의 조건으로는 다음의 두 가지 조건을 충족해야 한다. 첫째, AHP 평가자는 평가대상에 대한 충분한 지식을 가진 해당분야 전문가여야 한다. 둘째, AHP 평가자는 공공이익의 관점에서 평가대상을 평가할 수 있는 객관성을 지니고 있어야 한다. 즉 평가자는 평가대상에 대해 충분한 지식과 객관성을 지닌 전문가이어야 한다. 그러나 전문가가 내린 의사결정 결과를 그대로 사용하여 최종적인 판단을 내리기 위해서는 해당 전문가가 신뢰성있는 판단을 내렸는지에 대한 검증과정이 필요하다. 그러나 기존의 방법론은 AHP 평가자의 판단의 신뢰성에 대한 검증과정이 누락되어 있으므로, 보다 정확한 판단을 내리기 위해서는 타당성 있는 검증과정이 포함된 새로운 방법론이 필요하다.

본 연구에서는 AHP 평가자가 해당 특정 사업에 대한 전문지식이 없는 경우 도출될 수 있는 의사결정 결과를 몬테 카를로 시뮬레이션을 이용하여 도출하고, 이를 기존의 전문가가 내린 의사결정 결과와 비교하여 보다 합리적인 판단을 내릴 수 있는 새로운 해석모형을 개발하고 이를 기존에 한국개발연구원(KDI)에서 수행한 예비타당성의 실제 사례에 적용하여 본 모형의 합리성을 평가해보고자 한다.

## II. 기존연구고찰

### 1. AHP 기법 및 검증방법론

AHP는 다수의 대안에 대하여 여러 평가기준과 여러

주체에 의한 의사결정을 위해서 고안된 방법으로, 의사결정자의 직관적이고 합리적인 판단을 근거로 정량적인 요소와 정성적인 요소를 동시에 고려함으로써, 의사결정 문제의 해결을 위한 포괄적인 틀을 제공한다. 즉, AHP 기법은 정량적·정성적·직관적 정보를 모두 판단할 수 있는 기법으로 척도가 동일하며, 가중치를 산정함에 있어서 일관성 검증을 실시하여 결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 기법이다. AHP 기법은 인간의 사고체계가 계층적 구조설정, 상대적 중요도 설정, 논리적 일관성 등의 세가지 원리를 지킨다는 것에 기초하여 인간의 사고체계와 유사한 접근방법으로 문제를 구조화할 수 있으며, 모형을 이용하여 상대적 중요도를 비율 척도화하여 정량적인 결과 산출이 가능하다. 한국개발연구원의 기존 예비타당성지침에서는 사업시행 대안이 사업미시행 대안보다 상대적으로 높은 종합평점 (0.5점 이상)을 얻으면 사업의 타당성이 있다고 제시하였다. 그러나 2004년 “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보안연구(제4판)”에서는 사업간 분산이 같다는 가정하에 회색영역을 설정하였다. 회색영역이란 만약 연구진의 구성이 달라진다면 현재의 종합평점의 결과가 뒤바뀌어질 수 있음을 나타내는 영역을 의미하며 다음과 같이 나타내었다.

$$0.5-0.05 < \text{AHP 종합평점} < 0.5+0.05$$

$$\text{즉, } 0.45 < \text{AHP 종합평점} < 0.55$$

이를 4인 기준 평가자 수의 비율과 AHP 종합평점에 따라 정리하면 <표 1>과 같이 나타낼 수 있다.

<표 1> 평가자별 의견일치도와 AHP 평점에 따른 결론

	AHP<0.45	0.45<AHP<0.5	0.5<AHP<0.55	0.55<AHP
4:0	-	-	타당성있음	타당성있음
3:1	feedback	아주신중	약간신중	타당성있음
2:2	AHP<0.42	신중	신중	AHP>0.58
	타당성없음			타당성있음
	AHP>0.42			AHP<0.58
1:3	약간신중	약간신중	아주신중	feedback
	0:4	타당성없음	타당성없음	-

출처: 한국교통연구원(2004), “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보안연구(제4판)”

- 주: 1) ‘시행:미시행’은 사업시행 평가자 수와 사업미시행 평가자 수의 비율(4인 기준)을 나타냄
- 2) AHP는 사업시행 대안의 AHP 종합점수를 나타냄
- 3) ‘-’는 해당사항 없음을 나타냄

의사결정분석 영역에서 AHP가 개발된 이후, 여러 국가의 많은 연구자들은 다양한 학문 분야에서 AHP 에 대

한 이론 개발 및 적용 연구를 수행해 왔다. 이중 이론개발은 그룹판단/합의, 타기법과의 비교, 타기법과의 결합, 일관성측정, 쌍대비교판단, 척도, 가중치도출 등의 연구가 진행되어 왔으며 적용분야는 주제분야를 경제, 경영, 정치, 사회, 기술 등 다섯가지 분야로 구분이 가능하다.

이론개발의 경우 그룹 판단/합의 분야에 연구가 집중되어 있어, AHP가 그룹의사결정의 유용한 도구임을 알 수 있다. 또한, 타기법과의 결합에 비교적 많은 연구가 진행되고 있어, 의사결정분석 영역에서 AHP가 통합모형을 구축하는데 유용하게 활용되고 있음을 알 수 있다. AHP 관련 논문 검토결과 본 논문에서 다루는 AHP 기법의 검증방법론에 관한 연구는 아직까지 없는 것으로 판단된다.

### 2. 몬테카를로 시뮬레이션

통계적 불확실성 추정기법인 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)은 분석적인 방법에 의해 해결되지 않는 문제를 난수(Random Number)를 사용한 무작위적 표본을 이용하여 풀어가는 방법이다. 몬테카를로 시뮬레이션 방법의 장점 중의 하나는 계산 알고리즘이 다른 수학적 방법에 비해 간단하다는 것이며 주로 10% 미만의 오차를 허용할 수 있는 공학적인 문제들을 해결하는데 효과적으로 사용된다. 몬테카를로 시뮬레이션을 실행하기 위해서는 사전에 불확실한 변수에 대해 확률분포 가정이 먼저 이루어 져야 한다. 이는 확률분포를 사전에 정의하여 불확실한 변수가 확률변수로 전환되고 이를 이용하여 모형의 예측값에 대한 분포를 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 입력변수에 대한 확률분포를 산정할 수 없을 경우 경험식 또는 적절한 가정 하에 확률

분포를 가정하여 분석한다. 난수를 생성하기 위해 사용되는 확률분포로는 정규분포, 지수분포, 열량분포 및 카이제곱( $\chi^2$ ) 분포 등이 있다. 이 중 대표적으로 사용되는 정규분포형 난수생성방법은 다음과 같다.

0에서 1사이의 균등분포형 소수 난수는 평균 1/2, 표준편차  $1/\sqrt{12}$  이다. 중심극한정리에 의하여 n개의 소수 난수의 합은 평균 n/2, 표준편차  $\sqrt{n/12}$ 인 정규분포에 가깝다.  $r_1, r_2, \dots, r_n$  이 소수 난수로 주어지면

$$x = \frac{\sigma}{\sqrt{n/12}} \sum_{i=1}^n r_i + \mu - \frac{n}{2} \frac{\sigma}{\sqrt{n/12}} \tag{1}$$

는 근사적으로 평균  $\mu$ , 표준편차  $\sigma$  인 정규분포로부터 얻어진 난수이다. 이 경우 n값이 작아도 분포의 양 끝을 제외하면 매우 좋은 근사치가 된다. 그래서 보통 5~10의 n 값이 사용되며 n=12 를 쓰면 평방근이 제거되므로 편리하다.

### 3. 변수별 확률분포 결정

확률분포 결정단계에서는 선택된 변수의 특성에 따라 각각의 확률분포를 결정한다. 연속성을 가진 변수의 경우 변수에 대한 정보량이 많을 경우, 균등분포(Uniform distribution), 정규분포(Normal distribution) 또는 로그정규분포(Lognormal distribution)를 적용할 수 있으며, 변수에 대한 정보가 부족한 경우, 전문가 판단에 의한 경험적 분포 선택할 수 있다. 단, 이산성을 가진 변수의 경우 변수특성에 따라 적절한 분석수준 결정할 수 있다. 이용택, 남두희(2005)는 건설비용 측면에서의 위험변수의 분포를 <표 2>와 같이 정리하였다.

<표 2> 위험변수의 모수추정시 분포활용 연구사례

분포유형	적용 경우	연구 사례
균등분포	· 자료량이 불충분할 경우 · 자료 변동이 상대적으로 적을 경우 · 최우추정치가 불분명할 경우	· Spooner(1974) · Touran, Bolster(1994)
삼각분포	· 최우추정치가 정확할 경우 · 최대, 최소점의 정보가 확실할 경우	· Maker, Bryant(1990) · Spooner(1974) · Touran, Bolster(1994)
정규분포	· 최우추정치의 가능성이 높은 경우	· Bodie(1993)
베타분포	· 단측(Unimodal) · 한쪽으로 편중된(Skewed) 분포형태	· Touran(1987) · Spooner(1974) · Touran, Bolster(1994)
로그 정규분포	· 단측(Unimodal) · 한쪽으로 편중된(Skewed) 분포형태 · 토목, 전기, 건설 관련 비용의 일반적인 분포형태로 사용	· Touran(1987) · Teichoz(1964), · O'Shea(1966) · Gaarslev(1969)

출처: 이용택, 남두희, (2005), "위험도분석을 활용한 교통투자사업평가의 효율화 방안"

### III. 연구의 방법론

#### 1. 연구의 전제

본 연구에서는 기존의 전문가가 내린 의사결정 결과와 비교하기 위한 대조군으로 AHP 평가자가 해당 특정 사업에 대한 전문지식이 없는 경우 도출될 수 있는 의사결정 결과를 선정하는데 이는 연구의 모형식을 통한 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 도출한다. 여기서 대조군은 사업에 대한 전문성과 객관성이 결여된 임의의 판단자를 의미하며 모형식에 의한 대조군이 내린 결과는 임의적 판단에 가중치를 부여하여 도출된다. 본 연구에서는 이렇게 도출된 임의적인 결론과 이를 기존의 전문가가 내린 의사결정 결과와 비교하기 위해서 전문가가 내린 최종 AHP 평점이 임의의 판단자가 내린 AHP 평점의 95% 신뢰구간에 있다면, 이는 전문가의 판단을 충분히 신뢰할 수 없다고 가정하고, 보다 합리적인 판단을 내릴 수 있는 새로운 해석모형을 개발하고 이를 기존에 시행된 예비타당성을 통한 실제 사례에 적용하여 본 모형의 합리성을 평가해보고자 한다.

본 연구에서의 두 가지 전제는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 해당 특정 사업에 대한 충분한 지식이 없는 임의적 판단자가 무작위적으로 AHP 평가를 수행하는 경우를 대조군으로 설정하고, 이를 본 연구에서 제안한 모형식을 통해 도출한다. 둘째, 임의적 판단자가 내린 AHP 평점의 95% 신뢰구간에 있다면, 이는 전문가의 판단을 충분히 신뢰할 수 없으며, 그 사업은 회색영역으로서 신중한 재검토가 필요하다.

#### 2. 모형구축

본 연구에서 구축한 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 평가대상  $i$  대안의 평점을 도출하는 모형식은 다음과 같다.

$$G_i = \sum_j \sum_k \sum_l W_{jkl} \times P_{ijkl} \quad (2)$$

여기서,

- $G_i$  :  $i$  대안의 평점
- $W_{jkl}$  : 평가항목  $j$ 의 평가항목  $k$ 의 평가항목  $l$ 의 가중치

- $P_{jkl}$  :  $i$  대안의 평가항목  $j$ 의 평가항목  $k$ 의 평가항목  $l$ 의 가중치 평점으로 임의적으로 발생
- $i$  : 평가대안으로서 사업시행시 1, 사업미시행시 0 ( $0 \leq i \leq 1$ )
- $j$  : 계층 1의 평가항목 ( $j \in A_j, A_j$ 는 계층 1의 평가항목집합)
- $k$  : 계층 2의 평가항목 ( $k \in A_k, A_k$ 는 계층 2의 평가항목집합)
- $l$  : 계층 3의 평가항목 ( $l \in A_l, A_l$ 는 계층 3의 평가항목집합)

본 모형식에서는 특정사업  $i$  대안의 평점은 평가항목  $j$ 의 평가항목  $k$ 의 평가항목  $l$ 의 가중치에 임의적으로 발생하는  $i$  대안의 평가항목  $j$ 의 평가항목  $k$ 의 평가항목  $l$ 의 가중치 평점을 곱해서 선정하였다. 여기서 계층 1, 계층 2, 계층 3의 평가항목은 각각  $j, k, l$  로 표시하였으며 상위 계층에 대한 하위 계층의 평가항목개수를 고려하였다.

한국개발연구원(2004), 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보안연구(제4판)에서는 사업의 최적대안 선택을 위한 AHP 구조에서 계층의 개수를 세 개로 제시하였으며, AHP 분석에서 계층의 개수 및 각 계층의 평가항목은 사업의 종류와 전문가의 판단에 따라 차이는 있다.

#### 3. 새로운 알고리즘 개발

AHP 평가의 기존 알고리즘은 초기에 AHP 계층구조 및 평점기준을 설정한 후 AHP 평가를 위한 전문성과 객관성을 지닌 전문가 집단을 선정한다. 이후 AHP 조사를 통해 가중치를 선정한 후 해당사업에 대한 종합평점을 도출한다. 이후 도출된 종합평점과 사업시행 평가자 수와 사업미시행 평가자 수의 비율을 고려하여 사업시행, 사업미시행 그리고 회색부분으로 최종판단을 내린다. 개별사업  $k$ 에 대한 전문가  $i$ 의 평가점수를  $X_{ik}$ 라고 하면,  $X_{ik}$ 는 다음의 분포를 따른다고 할 수 있다

$$X_{ik} \sim N(\mu_k, \sigma^2) \quad (3)$$

여기서,  $\mu_k$ 는  $k$ 번째 사업에 대한 전문가 모집단의 평균을 나타내며,  $\sigma^2$ 은 동 모집단 분산을 나타낸다. 평균의 경우는 사업마다 모집단의 평균이 다를 수 있지만, 분

산의 경우는 사업간 등분산성을 가정하였다. 이제, 해당 사업의 평가자수를  $m$ 이라 하면,  $k$ 번째 사업의 종합평점  $\bar{X}_k$  는 다음의 확률분포를 따른다.

$$\bar{X}_k \sim N(\mu_k, \frac{\sigma^2}{\sqrt{m}}) \quad (4)$$

본 연구에서 제시하는 새로운 알고리즘에는 기존 알고리즘에서 내린 최종판단을 귀무가설 ( $H_0$ )로 설정하고 이를 검증하기 위한 부분을 추가한다. 즉, 개별사업  $k$ 에 대한 비전문가  $j$ 의 평가점수를  $X_{jk}$  라고 하면, 몬테카를로 시뮬레이션이 정규분포형 확률분포를 따른다면, 정규분포형 난수 생성방법을 사용하여  $X_{jk}$  는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{jk} = \frac{\sigma}{\sqrt{n/12}} \sum_{i=1}^n r_i + \mu - \frac{n}{2} \frac{\sigma}{\sqrt{n/12}} \quad (5)$$

일반적으로 0에서 1 사이의 균등분포형 소수 난수는 평균 1/2, 표준편차 1/√12 이다. 중심극한정리에 의하여 소수 난수의 합은 평균 n/2, 표준편차 √n/12 인 정규분포에 가깝다.  $r_1, r_2, \dots, r_n$  이 소수난수로 주어지면 식(5)의  $X_{jk}$ 는 근사적으로 평균  $\mu$ , 표준편차  $\sigma$ 인 정규분포로부터 얻어진 난수이다.

이제, 연구에서 가장한 사업에 대한 전문지식이 없는 임의적 판단자가 무작위적으로 대답하는 상황을 구축하기 위하여 변수별 오차발생의 확률분포 선정하고 이 분포를 바탕으로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행한다. 기존의 방법론으로 얻어진 전문가에 의한 종합점수가 몬테카를로 시뮬레이션 이후 비전문가가 임의적으로 응답한 점수의 95% 신뢰구간 외에 위치하면 귀무가설 ( $H_0$ )을 채택하지만, 그렇지 않은 경우에 새로운 방법론에서는 귀무가설 ( $H_0$ )을 기각하게 되는데  $X_{jk}$ 는 95%의 신뢰수준에 위치하는 것은 다음으로 표시할 수 있다.

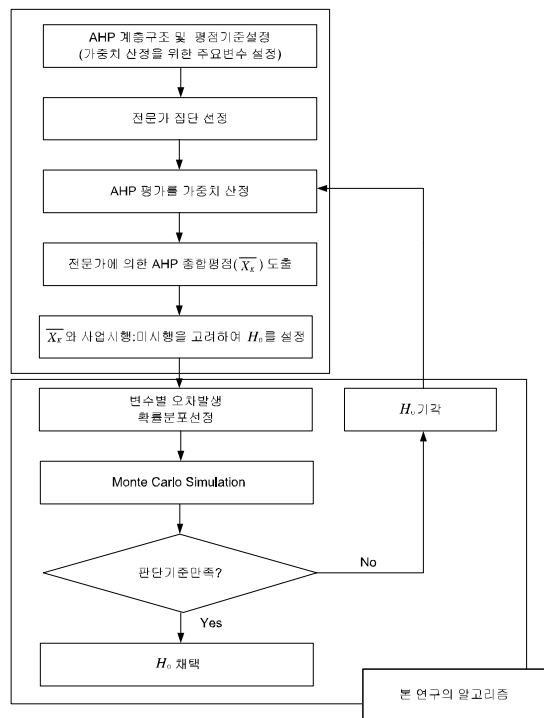
$$\mu_j - Z_{0.05} \times \frac{\sigma}{\sqrt{m}} < \bar{X}_k < \mu_j + Z_{0.05} \times \frac{\sigma}{\sqrt{m}} \quad (6)$$

즉, 이 경우는 전문가로부터 얻어진 사업의 종합평점이 임의적 판단자가 내린 평점 모집단의 95% 신뢰구간에 포함되는 것을 의미하며, 이는 전문가의 판단을 충분히 신뢰할 수 없으며, 그 사업은 회색영역으로서 신중한 재검토가 필요한 구간으로 초기의 AHP 계층구조 및 평점기준 설정으로 환류과정을 거쳐야 된다. 본 알고리즘은 다음의 세 단계로 정리될 수 있다.

〈Step1〉 기존알고리즘을 통한 전문가로부터 얻어진 사업의 종합평점과 사업시행 평가자 수와 사업미시행 평가자 수의 비율을 고려하여 사업시행, 사업미시행 그리고 회색부분으로 판단을 내리며, 이를 귀무가설 ( $H_0$ )로 설정한다.

〈Step2〉 모형식 식(5)을 통해 몬테카를로 시뮬레이션을 수행한 후 신뢰구간 95%에 해당하는 값을 도출한다.

〈Step3〉 Step 1에서 도출된 종합평점이 Step 2에서 도출된 신뢰구간에 포함되지 않는다면 귀무가설 ( $H_0$ )을 채택하지만, 그렇지 않은 경우에 새로운 방법론에서는 귀무가설 ( $H_0$ )을 기각하게 되는데 이 경우 환류과정을 통하여 초기의 AHP 계층구조 및 평점기준 설정으로 돌아간다.



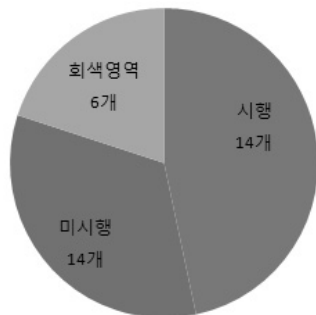
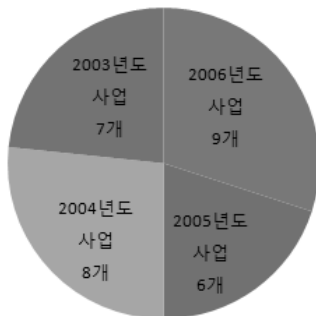
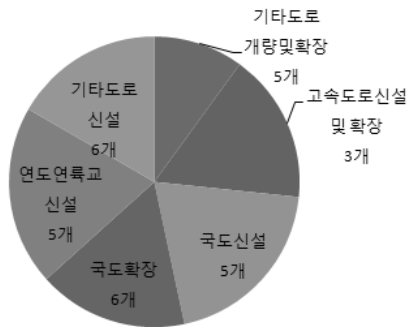
〈그림 1〉 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 AHP결과 해석 알고리즘

## IV. 사례분석

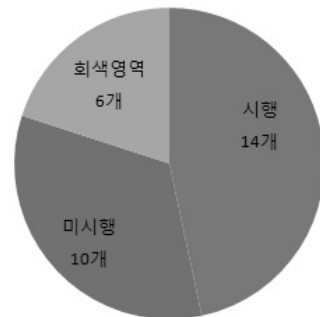
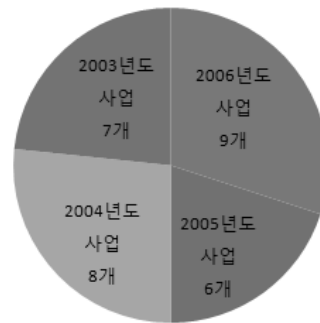
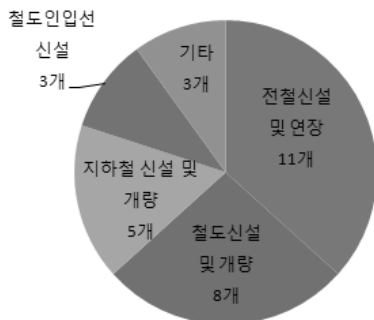
### 1. 기초자료

본 연구에서는 새로운 방법론의 알고리즘의 효용성을 평가하기 위해서 한국개발연구원에서 2003년부터 2006년까지 예비타당성조사를 수행한 사업을 대상으로 도로부

분과 철도부분으로 나누어 사례분석을 실시하였다. 사례분석을 시행한 사업의 수는 도로부분과 철도부분 각각 30개이며 이를 정리한 것은 <그림 2>와 <그림 3>에 나타내었다.



<그림 2> 도로부분 사례분석



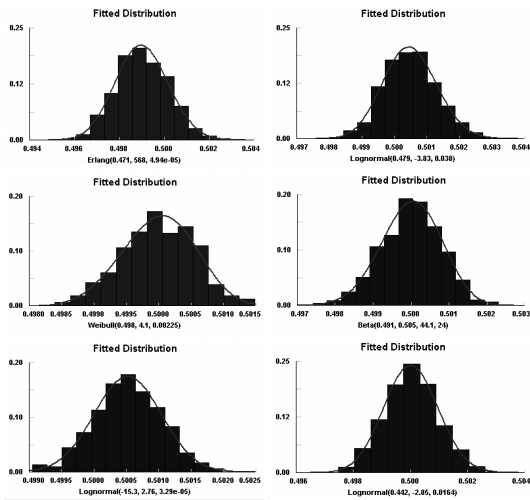
<그림 3> 철도부분 사례분석

국내 예비타당성조사에서 AHP 분석을 통한 사업부분은 도로, 철도, 수자원, 항만 등이 있으나 수자원·항만 부분의 사업사례는 상대적으로 적기 때문에 본 연구에서는 사례분석영역으로 도로와 철도부분에 한정하였으며 다양한 범주에 속하여 다양한 결과를 가지는 사례를 기초자료로서 선택하였다.

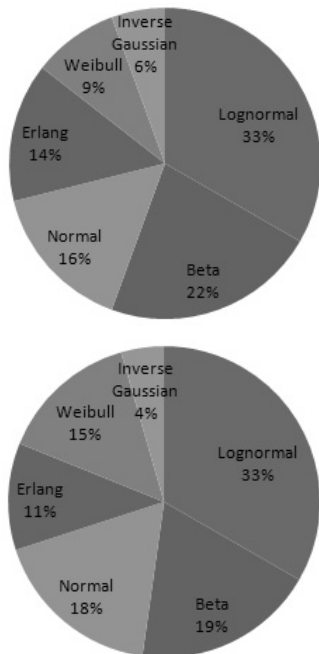
## 2. 결과

### 1) 사업별 평가결과의 확률분포

본 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 발생한 자료들이 따르는 확률분포를 결정하기 위하여 PROMODEL사에 개발한 ProModel 프로그램을 이용하여 모든 사업에 대하여 적합한 분포를 정리하였으며 이는 <그림4>에 정리하였다. 일반적으로 변수의 특성에 따라 적합한 확률분포가 변하는데 본 연구에서는 AHP 계층구조와 평점기준에 따라 적합한 분포로 상위순위에 랭크된 분포로는 웨이블(Weibull)분포, 로그정규(Lognormal)분포, 정규(Normal)분포, 일랑(Erlang)분포, 역가우스분포(Inverse Gaussian)분포 등이었다. 각 사업별로 적합도(good-of-fitness)가 높은 순서대로 3순위까지의 수락분포를 나타내어 총 180개 적합분포를 <그림 5>에 정리하였다.



〈그림 4〉 Promodel 프로그램을 이용한 자료의 적합분포 선정과정



〈그림 5〉 자료에 적합한 분포의 빈도수

60개의 사례분석, 180개의 분포 분석결과 적합한 분포의 순서는 로그정규분포(60개), 베타분포(37개), 정규분포(30개), 일랑분포(23개), 웨이블분포(21개), 역가우스분포(9개)순으로 분석되었다. 결국 순위의 차이는 있지만 모든 사업의 결과가 로그지수분포를 따른다는 것을 알 수 있으며, 따라서 본 연구에서는 로그지수분포를 사용하여 95% 신뢰구간을 지정하였다.

## 2) 알고리즘 수행 결과

새로운 알고리즘의 효용성을 평가하기 위해서 로그지수분포의 95% 신뢰구간을 정리하여 기존 방법론으로부터 도출된 결론과 새로운 방법론으로부터 도출된 결론을 비교하여 두 결론의 일치여부를 도로부분과 철도부분으로 구분하여 〈표 3〉과 〈표 4〉에 각각 정리하였다.

기존방법론과 새로운 방법론의 결과가 차이를 보이는 경우는 두 가지로 구분되었다. 첫 번째 경우는 기존방법론에서 시행 또는 미시행으로 결론났으나 종합평점이 시뮬레이션 결과의 95% 신뢰구간에 속해서 보다 신중한 결론이 필요한 회색영역으로 결론지어진 경우이다. 두 번째 경우는 기존방법론에서 회색영역으로 결론났으나 시뮬레이션 결과의 95% 신뢰구간에 속하지 않아서 사업시행 여부가 결론지어진 경우이다.

〈표 3〉 기존방법론과 새로운방법론 결론비교(도로부분)

Project	AHP 종합 평점	기존 방법론 결론	min 95%	max 95%	새로운 방법론 결론
R01	0.442	미시행	0.422	0.578	회색영역
R02	0.687	시행	0.500	0.500	시행
R03	0.482	회색영역	0.499	0.501	미시행
R04	0.611	시행	0.478	0.522	시행
R05	0.795	시행	0.474	0.526	시행
R06	0.569	시행	0.433	0.567	시행
R07	0.639	시행	0.454	0.546	시행
R08	0.532	회색영역	0.469	0.531	시행
R09	0.444	미시행	0.500	0.500	미시행
R10	0.563	시행	0.495	0.505	시행
R11	0.448	미시행	0.437	0.563	회색영역
R12	0.329	미시행	0.493	0.507	미시행
R13	0.329	미시행	0.399	0.601	미시행
R14	0.529	회색영역	0.500	0.500	미시행
R15	0.702	시행	0.474	0.526	시행
R16	0.623	시행	0.434	0.566	시행
R17	0.322	미시행	0.500	0.500	미시행
R18	0.343	미시행	0.500	0.500	미시행
R19	0.629	시행	0.500	0.500	시행
R20	0.666	시행	0.500	0.500	시행
R21	0.592	시행	0.499	0.501	시행
R22	0.507	회색영역	0.500	0.500	시행
R23	0.590	시행	0.499	0.500	시행
R24	0.515	회색영역	0.500	0.500	시행
R25	0.669	시행	0.500	0.500	시행
R26	0.439	미시행	0.488	0.511	미시행
R27	0.312	미시행	0.500	0.500	미시행
R28	0.789	시행	0.447	0.552	시행
R29	0.466	회색영역	0.494	0.505	미시행
R30	0.443	미시행	0.500	0.500	미시행

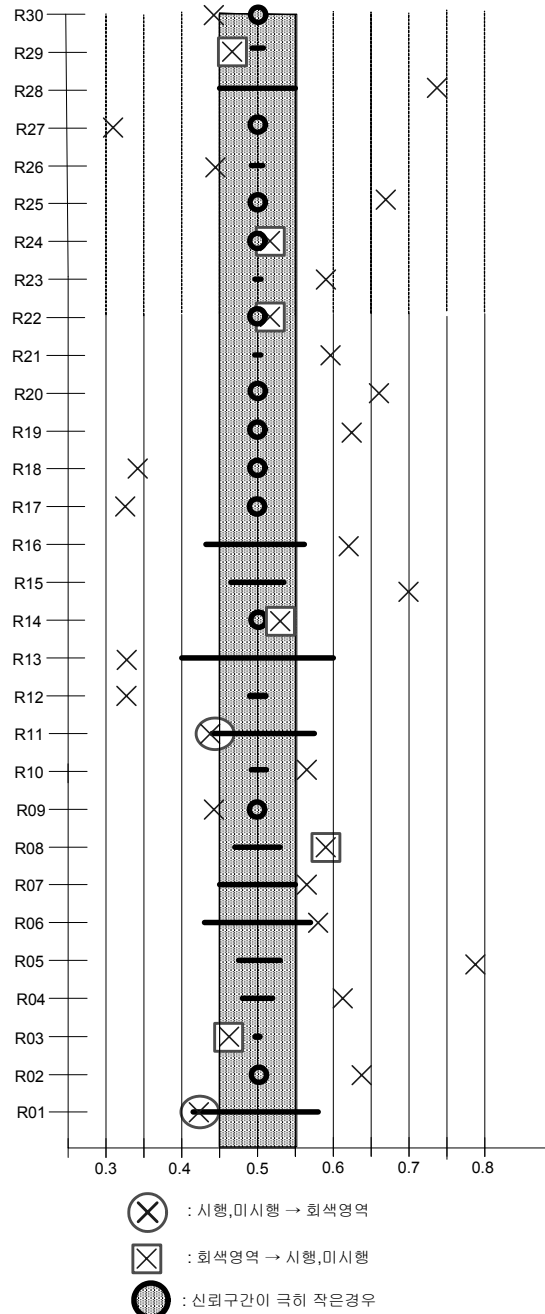
본 연구에서 제시한 새로운 방법론의 결론이 기존 방법론의 결론과 일치하지 않은 경우는 도로부분의 경우 27%, 철도부분의 경우 17%로 나타났다. 즉 기존 알고리즘에서 내린 최종판단을 귀무가설( $H_0$ )이라 했을 때 이를 기각하고 초기의 AHP 계층구조 및 평점기준 설정으로 환류과정으로 회귀해야 하는 사업의 수가 약 22%에 해당한다는 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 기존방법론과 새로운방법론 결론비교(철도부분)

Project	AHP 종합 평점	기존 방법론 결론	min 95%	max 95%	새로운 방법론 결론
T01	0.482	시행	0.426	0.574	회색영역
T02	0.501	회색영역	0.500	0.500	시행
T03	0.507	회색영역	0.468	0.532	회색영역
T04	0.648	시행	0.498	0.502	시행
T05	0.575	시행	0.463	0.537	시행
T06	0.696	시행	0.500	0.500	시행
T07	0.752	시행	0.460	0.540	시행
T08	0.488	회색영역	0.498	0.502	미시행
T09	0.665	시행	0.500	0.500	시행
T10	0.522	회색영역	0.500	0.500	시행
T11	0.452	미시행	0.483	0.517	미시행
T12	0.586	시행	0.500	0.500	시행
T13	0.312	미시행	0.500	0.500	미시행
T14	0.368	미시행	0.500	0.500	미시행
T15	0.502	회색영역	0.500	0.500	시행
T16	0.431	미시행	0.498	0.502	미시행
T17	0.597	시행	0.500	0.500	시행
T18	0.542	시행	0.500	0.500	시행
T19	0.488	미시행	0.500	0.500	미시행
T20	0.298	미시행	0.431	0.569	미시행
T21	0.412	미시행	0.500	0.500	미시행
T22	0.245	미시행	0.500	0.500	미시행
T23	0.481	회색영역	0.437	0.563	회색영역
T24	0.830	시행	0.500	0.500	시행
T25	0.651	시행	0.500	0.500	시행
T26	0.290	미시행	0.413	0.587	미시행
T27	0.762	시행	0.500	0.500	시행
T28	0.792	시행	0.500	0.500	시행
T29	0.450	미시행	0.456	0.544	미시행
T30	0.585	시행	0.484	0.516	시행

사태분석에서 기존 방법론의 종합평점과 시뮬레이션에 의한 결과의 95% 신뢰구간의 범위를 도로분야는 〈그림 6〉과 철도분야는 〈그림 7〉에 각각 정리하였다. 그림에서 ×표시 구간이 기존 방법론의 종합평점을. 굵은 실선부분이 시뮬레이션의 95% 신뢰구간을 나타낸다. 또한 ⊗로 표시된 부분은 기존방법론에서 시행 또는 미시

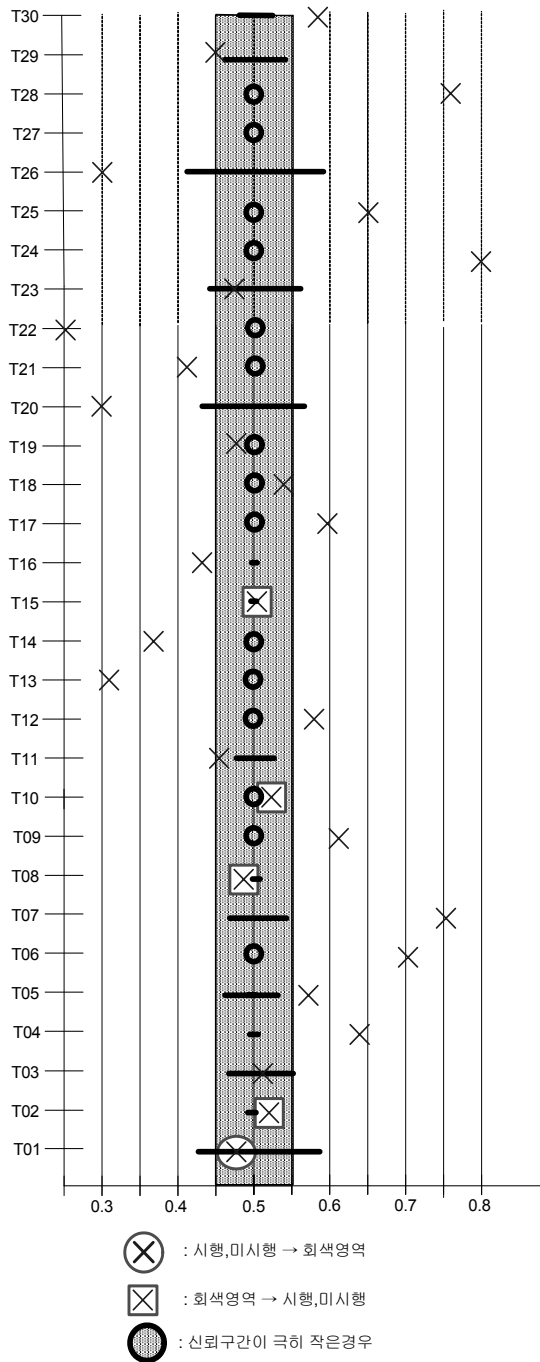
행으로 결론났으나 종합평점이 시뮬레이션 결과의 95% 신뢰구간에 속해서 판단보류로 결론지어진 경우를 나타내며, ⊗로 표시된 부분은 기존방법론에서 회색영역으로 결론났으나 시뮬레이션 결과의 95% 신뢰 구간에 속하



〈그림 6〉 기존방법론과 새로운방법론 결론비교 (도로부분)



지 않아서 사업시행 여부가 결론지어진 경우를 나타낸다. 한편 ●로 표시된 부분은 편차가 극히 작아서 신뢰구간 또한 극히 작은 경우를 나타낸다.



〈그림 7〉 기존방법론과 새로운방법론 결론비교 (철도부분)

### V. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 AHP 결과를 해석하는 새로운 알고리즘을 개발하고 그 효용성을 사례분석을 통하여 검증해 보았다. 사례 분석을 통해 도출된 결론은 다음과 같다. 첫째, AHP 평가를 통한 최종결론 도출시에는 가중치가 반드시 고려되어야 한다는 것이다. 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 자료의 산포는 그 가중치의 구성에 따라서 큰 편차를 보였다. 이는 AHP의 계층구조와 가중치 산정절차와 자료분산 정도의 상관관계 분석을 통해서 계층구조와 가중치 산정절차가 체계적일수록 자료의 분산이 적고 체계적이지 못할수록 분산이 크다는 것이 확인되었다. 둘째, 전문가가 내린 결론과 비전문가가 내린 결론이 같다면 그 사업은 회색영역으로서 신중한 재검토가 필요하며 이 경우에는 AHP 평가 전문가의 새로운 선정이 좋은 대안일 것으로 생각된다. 비전문가가 내린 결론은 가중치에 큰 영향을 받는데 초기에 가중치를 산정하는 하는 것은 초기에 선정된 전문가의 몫이기 때문이다. 그러므로 이 경우에는 새로운 전문가 선정을 통한 가중치 재검토 작업이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 도로 및 철도부분의 22개 사업을 대상으로 새로운 알고리즘의 효용성을 검토해보았으며 사업별로 기존 방법론에 기인한 최종 판단의 약 20%는 신중한 판단이 필요하다는 결론이 도출되었으며, 이에 본 연구는 충분한 의의를 가진다고 할 수 있다. 향후에는 초기 전문가에 의하여 변화하는 각 계층에 대한 가중치가 최종판단에 미치는 영향에 대한 상관관계를 밝히는 연구가 필요하다고 생각된다. 이러한 상관관계를 명확히 함으로써 AHP 분석의 환류과정을 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것이다. 또한 수자원 및 항만 사업을 포함한 많은 사례지역에 사업별로 적용하여 보다 다양한 분야에 대해 본 모형 및 새로운 알고리즘을 검증하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 김성희 외 (2003), “의사결정분석 및 응용”, 영지문화사.
2. 송기환·홍상연·정성봉·전경수 (2002), “다기준 평가항목간 중복도를 반영한 AHP 기법 개발”, 대한교통학회지, 제20권 제7호, 대한교통학회, pp.15~22.
3. 이용택·남두희 (2005), 위험도분석을 활용한 교통투

- 자사업평가의 효율화방안, 교통기술과정책, 제2권 제4호, 대한교통학회, pp.132~151.
4. 정성봉 · 송기한 · 홍상연 · 김동준 · 김동선 (2005), "민원을 고려한 철도대안 우선순위 판단기법 개발", 대학교통학회지, 제23권 제7호, 대학교통학회, pp.87~98.
  5. 조근태 외 (2003) "계층분석적 의사결정", 동현출판사.
  6. 조근태 외 (1999), "리더를 위한 의사결정", 동현출판사.
  7. 한국개발연구원 (2000), "다기준분석 방안연구".
  8. 한국개발연구원 (2004), "예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정 · 보안연구(제4판)".
  9. Frederick S.Hillier et al (2006), "Introduction to Operation Research", Lightning Source Inc.
  10. Saaty,T.L. (1990), "An overview of the analytic hierarchy process and its applications", European Journal of Operational Research, 48, pp.2~8.
  11. Saaty,T.L.(1996), "Decision Making for Leaders", RWS Publications.
  12. Saaty,T.L.(1990), "Multicriteria Decision Making : The analytic Hierarchy Process", RWS Publications.
  13. Saaty,T.L.(1989) "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill.Inc.
  14. Triantaphylou (2001), "Multi-Criteria Decision Making Methods : A Comparative Study", Kluwer Academic Publishers.
  15. Wedley,W.C. et al (2001) , "Magnitude adjustment for AHP benefit/cost ratios", European Journal of Operational Research, 133, pp.342~351.

✉ 주 작성자 : 설유진

✉ 교신저자 : 설유진

✉ 논문투고일 : 2008. 2. 23

✉ 논문심사일 : 2008. 4. 23 (1차)  
2008. 7. 28 (2차)

✉ 심사판정일 : 2008. 7. 28

✉ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필