

철도 노선설계 모형의 AHP 평가

신영호* · 김정현**

Shin, Youngho* · Kim, Jeong Hyun**

Implementing AHP of Railway Design Model

ABSTRACT

The appropriateness of railway route design is generally evaluated by the future value corresponding to the travel demand or benefit-cost analysis. These methods may have the limitation for the reasons that all the design alternatives cannot be considered, and the differentiation between the alternatives may not be significant because the alternatives are based on the strict basic scheme such as the design criteria. In addition, the cost varies by the design elements. In this study, all the design alternatives are considered with the automatized tool and the design criteria, and evaluated with the multi-criterion decision making method. The weight for each design element with the analytic hierarchical process may be helpful to derive more efficient railway alignment.

Key words : Railway route, Railway alignment, Route optimization, AHP

초록

철도 노선설계 후 노선의 적합도 평가는 수요의 변화를 기준으로 한 장래 가치의 환산 또는 비용편익 분석을 통한 대안 간 평가 등으로 이루어지고 있다. 그러나 이는 설계 가능한 모든 대안의 조사가 불가능하고, 설계기준과 같은 기본 틀은 편차가 적어 대안간 적합성을 상호비교하는 데에는 적절치 못할 것이다. 또한 비용은 설계요소에 따라 변화되므로 이를 적용하는 데에는 한계가 있다. 본 연구에서는 자동화된 설계방법으로 조사된 모든 대안을 대상으로 하고, 설계기준을 모든 대안에 적용하여 기준을 벗어나지 않도록 하며, 단일 평가항목이 아닌 다 기준 의사결정 방법을 사용하여 선형설계요소의 가중치를 평가하였다. AHP (Analytic Hierarchical Process) 기법을 사용한 가중치 평가결과를 통하여 철도선형 계획에서 중점을 두어야 하는 요소들을 고려함으로써, 보다 최적화된 철도선형을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 철도노선, 철도선형, 노선설계 최적화, 계층분석기법

1. 서론

철도 선형설계요소의 평가는 하나의 항목으로 평가될 수 없는 다기준 의사결정¹⁾문제이다.

현실세계에서의 의사결정은 목적함수의 다양성, 다수의 대안, 평가요소 다양성이란 측면에서 고려해야할 요소가 매우 다양하다. 이를 조합최적화의 문제로 푸는 경우도 있다. 철도 선형설계요소의 평가역시 하나의 변수를 기준으로 대안의 우선순위를 결정하기에는 어려움이 따른다. 따라서 이 문제또한, 다기준의사결정(MCDM: Multi-Criteria Decision Making)문제에 속하게 된다(Kang, 2008).

본 연구에서는 특히, 자동화된 철도선형설계후에 이를 평가하기 위한 방법론을 제시하고자 한다.

수작업에 의한 설계에는 제약이 많아 모든 선형대안을 고려하기 어렵다. 반면, 자동화된 선형설계에서는 대안의 개수의 제약을 두지 않고 분석이 가능하다는 특징이 있다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원 (Korea Railroad Research Institute · yhshine@krii.re.kr)

** 정희원 · 교신저자 · 한국철도기술연구원 책임연구원 (Corresponding Author · Korea Railroad Research Institute · kimjh@krii.re.kr)

Received June 30, 2014/ revised July 28, 2014/ accepted November 17, 2014

본 연구에서는 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다.

- ① 전문가 조사를 통한 철도선형설계요소의 계층화 분해(설문조사)
- ② 각종 인덱스의 계산(C.I., CR, R.I)
- ③ 적합하지 않은 항목에 대한 재조사
- ④ 분류항목의 확정
- ⑤ 1차 분류 평가요소의 정량화
- ⑥ 2차 분류 평가요소의 정량화
- ⑦ 각종 인덱스의 계산(C.I., CR, R.I)후 적합도 판정(적합하지 않은 경우 ③부터 반복)
- ⑧ 철도선형설계요소 평가 종합가중치산정
- ⑨ Decision Value 의 계산

2. 문헌고찰

철도 선형설계요소는 일반적으로 설계기준에적합한지를 검토하거나 검수하는 단계로 설계요소의 검증을 하는 것이 일반적이다. 국토교통부에서는 연구기관을 통해 2010년부터 ‘철도건설 경쟁력 강화를 위한 연구(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)’를 수행해 왔고 이에 따라 여러 차례 개정된 개정안을 고시해 왔다.

Saaty (1982)는 다양한 의사결정문제에 적용할 수 있도록 1982년에 기초이론을 확립하고 2005년에는 이를 다양한 의사결정문제에 적용하였다(Saaty, 2005).

한국개발연구원에서는 공기업, 준정부기관의 ‘예비타당성조사 수행을 위한 지침’ 연구에서 의사결정방법론의 하나로 AHP기법을 제시하였다.

Kwon et al. (2012)은 철도선형설계에 Value-Engineering 기반의 친환경가치평가 모형을 제안하였는데, 이는 평가방법단계와 이를 구체화 하는 단계에서 AHP 모형을 사용하였다.

Yang Min et al. (2007)은 Charnes에 의해 소개된 자료포락분석(Data Envelopment Analysis; DEA)과 AHP 기법을 사용하여 철도 및 버스 등의 대중교통 수단선택 모형에 적용하였다. 이를 통해 복잡한 구조를 갖는 의사결정 문제를 계층화하고 선택요소의 가중치를 활용하여 수단선택 모형을 작성하였다.

Jie Li et al. (2011)은 기간시설과 같이 사업기간이 비교적 긴 PPPs (Public Private Partnerships) 사업의 위험요소를 fuzzy 모형과 AHP모형을 접목하여, 위험요소를 확률적으로 집합화 하였고 이를 계층화 하여 사업의 진행 상태에 따른 위험요소 판단에 적용하였다.

이외의 수많은 적용사례가 있으며, AHP 기법은 다목적 의사결정문제에 있어서 매우 유용한 의사결정 수단임을 알 수 있다. 또한

사회간접자본의 투자에서는 비용문제를 제외 하고도, 기본계획 수립단계부터 운영 및 유지 보수단계에 이르기까지 수많은 의사결정과정을 포함하고 있다. 그러나 이러한 다양한 의사결정 속성을 효율적으로 고려하기란 매우 어려운 문제이다. 문헌고찰에서도 볼 수 있듯이 철도노선설계와 같이 사회간접자본의 투자를 위한 사업 준비단계의 예비타당성 조사단계 및 실시설계 후 노선의 적합성의 판단하기 위한 하나의 수단으로 매우 유용한 방법론이며, 노선설계의 적합성을 판단하기 하여 AHP 기법을 적용한 사례로 평가된다.

3. MCDM문제를 해결하기위한 AHP

AHP기법은 1970년대 초 Pennsylvania 대학의 Thomas Saaty가 미국무부의 무기통제 및 군비축소를 위해 세계적 경제학자, 게임이론 전문가들과 협력 작업을 하는 과정에서 의사결정과정의 비능률을 개선하기 위한 대안의 일환으로 개발한 의사결정방법론으로써 의사결정네트워크과정과 더불어 다기준 의사결정의 문제를 해결하기 위한 방법으로 많이 사용되고 있다.

3.1 AHP 원리

AHP는 문제해결을 위해 의사결정이 다음 3가지 원리가 적용된다는 것을 기반으로 개발된 의사결정기법이다(Saaty, 1982, 2005).

3.1.1 계층구조설정의 원리

인간은 의사결정과정에서 복잡한 현상을 그 구성요소별로, 나누고 필요에 따라 이를 계층구조 형태로 사고하는 특징을 가지고 있다는 것이다. 이때, 동질성을 가진 대분류화와, 이를 작은 부분으로 나눔으로써 거꾸로 생각했을 때 많은 정보를 고려한 의사결정을 효과적으로 할 수 있다는 것이다.

3.1.2 상대적 중요도 설정(weighting)의 원리

인간은 선호도 판단을 위하여 정보를 가공하고 분류하며 이때, 분류된 항목의 가중치를 조절하여 종합적인 판단을 한다는 것이다.

3.1.3 논리적 일관성(consistency)의 원리

일관성은 관련 있는 항목간의 동질성을 바라보는 것과 기준에 의한 상대적 비교를 하게 된다는 것으로 이 쌍대비교의 원리는 Weber's law로 알려졌다. 이 법칙은 두 대상을 비교할 때 비교대상의 절대적 차이보다는 상대적 차이가 중요하다는 것으로서 판단과정에서 쌍대비교의 유용성을 설명하고 있다(Saaty, 2005).

1) 다기준 의사결정 문제 : Multi-Criteria Decision Making Problem

3.2 AHP 전제조건

3.2.1 상호비교(Reciprocal Comparison)

비교항목 간 비교가 가능하여야 하며 중요성의 정도를 나타낼 수 있어야 한다.

3.2.2 동질성(Homogeneity)

일정범위를 갖는 기준으로 비교가 가능하여야 한다.

3.2.3 독립성(Independency)

평가항목은 상호 독립적이어야 한다.

3.2.4 기대성(Expectation)

의사결정을 위한 계층구조는 합리적인 의사결정을 위한 모든 요소가 포함된 것으로 가정한다.

3.3 AHP 평가과정

1단계) 브레인스토밍(Brain Storming) : 문제의 정의 과정

2단계) 계층구조의 설정(Structuring) : Goal, 평가항목, 하위수준의 항목결정

AHP 기법에서는 9점 척도²⁾를 기본형으로 이용하고 있다.

3단계) 가중치의 설정(Weighting) : 항목 간 쌍대비교를 통한 비교행렬의 작성

한 수준에서 n개의 평가항목에 대해 nC_2 회의 쌍대비교를 수행하면 상대적 가중치를 알 수 있고, 이를 이용하여 아래의 쌍대비교행렬 $A_{n \times n}$ 를 구성할 수 있다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

이때 행렬 A를 구성하는 a_{ij} 는 요소 j에 대한 i의 상대적 가중치 w_i/w_j 의 추정치이다.

행렬 A는 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, 주대각선의 원(element)의 값이 모두 1이 되는 성질을 가진 역수행렬(reciprocal matrix)로 정의한다.

행렬 A에 항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 를 곱하면 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

이를 w에 대하여 정리하면 다음과 같다

$$A \cdot w = n \cdot w \quad (3)$$

$$(A - nI) \cdot w = 0 \quad (4)$$

Eq. (4)를 만족시키는 w는 요소 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치 벡터이다.

$w \neq 0$ 이므로, $|A - nI| = 0$ 을 만족시키는 n을 구하면 된다. 이때, 쌍대비교행렬 A와 λ_{\max} (A의 고유치중 가장 큰 값)을 이용하여 고유치 문제의 다음 일반식과 같이 생각할 수 있다.

$$A \cdot w = \lambda \cdot w \quad (5)$$

이때, λ : 고유치(eigenvalue); w : 고유벡터(eigen vector) 따라서,

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (6)$$

Eq. (7)을 전개하면 λ 에 대한 n차 연립방정식을 얻으며 λ 에 대한 n개의 해를 구할 수 있다. 그러나 특성방정식을 계산하는 방식은 행렬의 규모가 증가함에 따라 해를 구하는 과정이 복잡해진다. 따라서 AHP에서는 일반적으로 고유벡터를 통해 얻어지는 우선순위벡터(priority vector)를 기하평균법이나 승수법(power method)을 사용하여 계산한다. 이렇게 해서 얻어진 우선순위벡터를 이용하여 λ_{\max} 를 구할 수 있다. n의 크기가 3 이하인 경우에는 기하평균법을 이용하여 우선순위벡터를 간단하게 구할 수 있으며 그 결과는 승수법을 이용한 방법과 동일하다.

Saaty (2005)는 고유벡터법이 다른 가중치 산출방법에 비해 더 나은 추정치를 계산해 내고, 쌍대비교에 있어, 응답자의 일관성을 측정할 수 있는 유일한 방법으로 제시하고 있다.

가중치를 산출하는 방법은 고유벡터법, 최소자승법, 상수합법, 열행합법, 행평균법, 엔트로피법, LIMAP (Linear Programming technique for Multidimensional Analysis of Preference) 등이 있다(Ra and Kocaoglu, 1990).

4단계) 일관성비율(Consistency Ratio)측정 : 항목에대한 일관성 측정

쌍대비교에 대한 응답이 완전한 일관성을 유지하지 않을 경우

2) 9점 척도의 채택은 1956년 밀러(Miller)의 심리학 실험에서 “인간은 7±2개의 대상을 혼동이 없이 동시에 비교 가능하다”는 결과에 기초

$$\lambda_{\max} > n \tag{7}$$

의 관계가 성립하며, 쌍대비교의 대상이 되는 요소 j에 대한 요소 i의 상대적 중요도의 추정치 a_{ij} 는 다음과 같이 정의된다.

$$a_{ij} = (1 + \delta_{ij}) \frac{w_i}{w_j} \tag{8}$$

이때, δ_{ij} 는 $\frac{w_i}{w_j}$ 에 대한 불일치 정도로

$$\delta_{ij} > -1 \tag{9}$$

여기서, 실제 관찰한 쌍대비교행렬에서 구한 최대고유치 λ_{\max} 와 완전한 일관성을 가진 쌍대비교행렬의 최대고유치 n의 차이는 Eq. (9)로 표현된다.

$$\lambda_{\max} - n = 1/n, \quad \sum_{1 \leq i < j \leq n} \frac{\delta_{ij}^2}{1 + \delta_{ij}} \geq 0 \tag{10}$$

Eq. (10)에서 추정치 a_{ij} 가 정확히 $\frac{w_i}{w_j}$ 에 일치하면, $\delta_{ij} = 0$ 이 되어 $\lambda_{\max} - n = 0$ 이 성립한다(Saaty, 1990).

따라서 λ_{\max} 가 n에 가까울수록 평가자가 쌍대비교 시 일관성 있는 판단을 내렸다고 간주할 수 있다. 이러한 성질에 착안하여 응답의 일관성지수(C.I.: Consistency Index)를 Eq. (11)로 정의하여 사용한다.

$$Consistency \text{ Index} = \mu = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{11}$$

한편, 귀무가설 ' $H_0 : \lambda_{\max} - n = 0$ '를 이용하여 쌍대비교에 대한 일관성을 검정할 수 있다. δ_{ij} 가 정규분포를 따른다고 가정할 때 검정통계량 μ 는 Chi-square분포를 따른다. AHP에서는 일관성 검정 시 검정통계량 μ 를 사용하는 대신 일관성 지수를 경험적 자료에서 얻은 평균 무작위지수(R.I.: Random Index)로 나눈 비일관성 비율(C.R.)로 검정한다. 즉, 비일관성 비율을 다음 식으로 정의하여 응답의 비일관도를 나타낸다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \tag{12}$$

여기서, C.R.: 비일관성 비율

C.I.: 일관성지수

R.I.: 무작위지수

C.R.이 0의 값을 갖는다는 것은 응답자가 완전한 일관성을 유지하며 쌍대비교를 수행하였음을 의미한다. Saaty는 C.R.이 0.1 미만이면 쌍대비교는 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2 이내일 경우 용납할 수 있는 수준의 비일관성을 갖고 있으나, 0.2 이상이면 일관성이 부족한 것으로 재조사가 필요하다고 제안한다.

5단계) 대안의 결정 및 검수 : 가중치의 합산 및 대안의 결정과 결과에 따른 일관성 검토 및 검수

4. 철도선형설계요소 평가를 위한 AHP

4.1 철도선형설계요소의 계층화 분해

계층화 분해를 위해서 본 연구에서는 전문가 집단의 의사결정의 도움을 받아 수행하였다. 철도노선에 대한 평가를 위하여 종합된 전문가 집단의 종합적인 의견은 다음 표와 같다. 조사에 응한 전문가 집단은 철도설계 및 운영에 전문성을 구비한 30명을 대상으로 하였다.

Table 1. Result of Pilot Survey on Railway Alignment Evaluation Criteria

Classification		Remarks
1st	2nd	
Construction Cost	Quantity of Earth Work	cut, fill, and transport
	Quantity of Bridges	quantity and type
	Quantity of Tunnels	quantity and type
	Facility Costs	facility cost
Design Elements	Design Speed	more related to the cost
	Horizontal Curvature	more related to the cost
	Grade	more related to the cost
	Cant	more related to the cost
Operation Elements	Scheduled Speed	scheduled speed on route
	Operation Time	elapsed time for route operation
	Route Length	average operation length by each section
Geographic Elements	Operating Cost	cost for entire route
	point of compulsory/avoidance pass	design influence by point of compulsory and avoidance pass
	water system	design influence by water system geography
	urbanization	design influence by urbanized geography
Program Performance	mountain	design influence by mountainous geography
	running time	time for alternative derivation
	time for manual work	time for manual works such as data preparation
	non-use time	time for entire manual work w/o program

4.2 1차분류 평가요소의 정량화

위의 1차 분류 및 2차 분류의 통계산출을 위해 각 항목별 해당하는 점수를 산출하였다. 산출방법은 기하평균을 사용하였으며 결과는 다음과 같다.

4.2.1 기하평균

1차 분류에 대한 응답자의 선호도를 합산하여 비교행렬을 구하기 위한 기하평균을 계산하였다. 이때 산출된 값은 선형요소 - 공사비 - 지형요소 - 운영요소 - 프로그램성능의 순으로 나타났다.

여기서, 선형요소에 대한 우선순위가 높은 반면, 최적대안의 산출의 중요성, 상대적으로 시간절감효과 기술요소가 포함된 프로그램요소에 대한 중요도는 낮게 조사가 되었는데, 이는 조사에 응한 전문가 집단의 성향을 반영하는 것을 나타낸다.

4.2.2 비교행렬

위에서 구한 기하 평균을 기하평균법으로 구한 weight factor 비교행렬은 다음과 같다.

Table 2. Geometric Average for 1st Classification

Elements	Geometric Average
Construction Cost	3.09
Design Elements	3.75
Operation Elements	2.96
Geographic Elements	3.33
Program Performance	1.06

4.2.3 가중치산정

비교행렬에 의해 구해진 가중치는 다음과 같다.

Table 3. Weights by 1st Classification

	Const. Cost	Alignment	Operation	Geography	Program
Weight	0.169	0.358	0.168	0.237	0.068

4.2.4 일관성검증

구해진 가중치의 일관성 검증을 위해 구해진 Consistency Index는 Table 4에서와 같이 일관성이 있음을 나타낸다.

Table 4. Consistency Index by 1st Classification

Consistency Index	0.0241
-------------------	--------

4.3 2차분류 평가요소의 정량화

1차 분류에 의해 구분된 평가요소는 2차적으로 다음과 같이

분류되었으며 그 계산된 값은 아래와 같다.

4.3.1 공사비 2차 분류

공사비의 2차 항목에 있어서 교량 및 터널에 비중이 크게 나왔는데, 이는 실제 공사비용이 반영된 것이며, 상대적으로 낮은 시설비용에 대한 가중치는 시설비용이 현장에서 상대적으로 편차가 크지 않음을 나타낸다.

Table 5. 2nd Classification for Construction Cost

	Quantity Earth work	Quantity of Bridges	Quantity of Tunnels	Facility Cost
Weight	0.179	0.378	0.320	0.123
Comparison Matrix				
	Quantity Earth work	No. of Bridges	No. of Tunnels	Facility Cost
Quantity Earth work	1	0.4	0.5	1.9
No. of Bridges	2.5	1	1.2	2.5
No. of Tunnels	2	0.833333	1	2.4
Facility Cost	0.526316	0.4	0.416667	1
Consistency Index				0.0135

4.3.2 선형요소 2차분류

선형요소는 설계속도, 곡선반경, 구배, 캔트의 구분으로 분류되었으며, 설계속도가 다른 요소보다 중요하다고 나타난 것은 이에 따라 설계기준이 바뀔을 의미한다. 또한 캔트는 종속적인 설계요소임을 보여주고 있다.

Table 6. 2nd Classification for Alignment Elements

	Design Speed	Horizontal Curvature	Grade	Kant
Weight	0.425	0.300	0.178	0.096
Comparison Matrix				
	Design Speed	Horizontal Curvature	Grade	Cant
Design Speed	1	1.6	2.5	3.7
H.Curv.	0.625	1	1.9	3.1
Grade	0.4	0.526316	1	2.2
Cant	0.27027	0.322581	0.454545	1
Consistency Index				0.0077

4.3.3 운영요소 2차 분류

Table 7. 2nd Classification for Operation Elements

	Scheduled Speed	Operat. Time	Route Length	Operat. Cost
Weight	0.472	0.189	0.094	0.245
Comparison Matrix				
	Scheduled Speed	Operat. Time	Route Length	Operat. Cost
Schedul. Speed	1	2.6	3.7	2.4
Operat. Time	0.384615	1	2.1	0.8
Route Length	0.27027	0.47619	1	0.3
Operat. Cost	0.416667	1.25	3.333333	1
Consistency Index				0.0174

4.3.4 지형요소 2차 분류

Table 8. 2nd Classification for Geographic Elements

	Pass Point	Water System	Urban	Mountain
Weight	0.386	0.167	0.280	0.166
Comparison Matrix				
	Pass Point	Water System	Urban	Mountain
Pass Point	1	2.1	1.6	2.2
Water System	0.47619	1	0.5	1.1
Urban	0.625	2	1	1.6
Mountain	0.454545	0.909091	0.625	1
Consistency Index				0.0064

4.3.5 프로그램요소 2차 분류

Table 9. 2nd Classification for 1st Classification Program Elements

	Running Time	Manual Time	Non-use Time
Weight	0.412	0.294	0.294
Comparison Matrix			
	Running Time	Manual Time	Non-use Time
Running Time	1	1.4	1.4
Manual Time	0.714286	1	1
Non-use Time	0.714286	1	1
Consistency Index			0.0000

4.4 철도선형설계요소 평가를 위한 종합가중치

AHP 기법을 사용하여 철도 선형설계요소의 평가 모형의 파라미터는 Table 10과 같다.

Table 10. Summary of Weights for Railway Alignment Design Element Evaluation

1 st Classification		2 nd Classification	
Elements	weight	Elements	weight
Construction Cost	0.17	Quantity of Earth Work	0.18
		Quantity of Bridges	0.38
		Quantity of Tunnels	0.32
		Facility Cost	0.12
Design Elements	0.36	Design Speed	0.43
		Horizontal Curvature	0.30
		Grade	0.18
		Cant	0.10
Operation Elements	0.17	Scheduled Speed	0.47
		Operation Time	0.19
		Route Length	0.09
		Operation Cost	0.25
Geographic Elements	0.24	Pass Point	0.39
		Water System	0.17
		Urbanization	0.28
		Mountain	0.17
Program Performance	0.07	Running Time	0.41
		Manual Time	0.29
		Non-use Time	0.29

위의 표를 활용한 의사결정 값은 아래의 Eq. (13)과 같다.

$$Decision Value = \sum_{i=1}^m W_i^1 \left(\sum_{k=1}^n W_{ik}^2 \cdot Attrb_{ik}^2 \right) \quad (13)$$

이때, W는 각 계층 분류별 가중치이며, Attrb는 2차 분류 항목의 조사된 값이다.

5. 결론 및 향후 연구방향

AHP 모형의 적용에 있어 계층화 구조를 만들기 위한 전문가집단의 브레인스토밍과정은 전체모형을 만들기 위한 가장중요한 과정이다.

이 과정은 의사결정의 Goal을 결정된 상태에서 전문가 집단내의 의사소통이 이루어지는 과정이다.

이에 따라 평가요소의 가중치의 방향이 결정된다고 볼 수 있다. 즉, 의사결정 집단의 특징이 분석과정 및 결과를 다르게 나타낼 수 있음을 의미한다. 따라서 목적하는 바를 설문에 충분히 명시할 필요가 있다.

본 연구에서 제시된 5가지 분야의 평가항목은 평가조사에 대한 설문지를 통하여 얻었으며, 이때 평가 항목에 대한 전문가 의견을 반영하기 위하여 추가적인 항목이 있는지를 조사하였다. 이때 소수의 의견은 반영하기 위해 C.R., C.I., R.I. 인덱스를 검토한 결과 최종적으로 본문에서 제시한 항목을 얻었다.

평가항목의 순서는 1차 분류에서 선형요소(0.36), 지형요소(0.24), 공사비(0.24), 운행요소(0.17), 프로그램성능(0.07)의 순서로 나타났다. 이러한 결과는 산출된 노선의 적합도가 비용에 중속적인 공사비에 치중되어 있지 않다는 것을 보이고 있으며 운전성능과 안전에 관련된 선형요소가 노선의 적합도 판단에 적용되어야 한다는 것을 알 수 있다.

철도 노선 대안의 평가는 통상 경제성분석 등의 장래 가치 판단을 위주로 하였으나 본 연구를 통하여 노선대안의 선형설계요소를 평가하여, 산출된 대안 간 선형설계요소의 AHP 평가를 통해 보다 합리적인 대안이 도출되도록 하는데 기여하며, 노출된 평가기준을 통해 보다 객관적으로 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 비용과 시간제약으로 수행되지 못한 실제 노선의 평가는 향후 본 연구에서 구해진 결과를 활용하여 노선에 대한 평가를 수행하고자 한다. 또한, 본 연구에서 다루지 않은 정성적인 평가요소와 보다 구체적인 대상으로써의 도시철도, 경전철 등의 노선대안 평가에는 이에 맞는 속성을 반영하여 대상의 의사결정 목적에 맞는 분석을 수행할

필요가 있을 것이다.

References

- Kang, M. K. (2008). *Decision Making Theory*, Hongrung Publishing, Seoul, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *A study on the railway competitiveness improvement* (in Korean).
- Kim, M. J., Kwon, S. H. and Lee, K. H. (2012). "The development of an eco-value efficiency evaluation model according to the railway alignment change based on VE." The Korean Society for Railway, Kyungju, Korea.
- Saaty, T. L. (1980). *Decision Making for Leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Yang, M., Wang, W., Chen, X. and Li, W. (2007). "Mode choice for the mass rapid transit system based on combined method of DEA and AHP." *J. of Hwy. and Transport. Research and Development*, ASCE, Vol. 2, No. 1, pp. 89-94.
- Jie, L. and Zou, X. (2011). "Fuzzy AHP-Based risk assessment methodology for PPP projects." *J. of Const. Eng. and Management*, ASCE, Vol. 137, No. 12, pp. 1205-1209.

Appendix 자동차 노선설계대안 적합도 평가 설문지

1. 설문조사 개요
■ 설문조사 계획수립
 - 기획부서: 철도건설기획부서
 - 평가대상: 철도노선
 - 평가목적: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가
 - 평가기간: 2014년 3월

■ 조사대상
 - 대상: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 대상 노선
 - 대상지역: 수도권, 충청권, 호남권, 영남권, 제주권

■ 설문조사 방법
 - 방법: 설문조사
 - 설문조사 기간: 2014년 3월
 - 설문조사 횟수: 30부

2. 설문조사 내용
 - 설문조사 목적: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가
 - 설문조사 대상: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 대상 노선
 - 설문조사 방법: 설문조사

3. 설문조사 항목
 - 항목: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 항목

4. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

5. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

6. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

7. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

8. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

9. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

10. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

11. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

12. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

13. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

14. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

15. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과

16. 설문조사 결과
 - 결과: 철도노선 계획수립을 위한 적합도 평가 결과