건설계획 수립시 계층분석적 의사결정법 적용방안에 관한 연구 -철도노선 선정시 활용사례 연구-

A Study on Analytic Hierarchy Proces for Construction Planning
-Research on Examples of Railway Route Selection-

손진현* 차철** Jin-Hyeon Sohn*, Cheol Cha**

<Abstract>

Recently, the items of construction planning have magnified and specialized and the problems occurring at the first step of the construction planing process have complicated. In this research, AHP(Analytic Hierarchy Process) method which is simple to apply and clear to decide has been proposed when a people making a plan at the first step of the construction planing process. As an example, the best solution has been obtained in a railway construction line choice that consist of various items by applying for this method, which proves the possibility of application of this method to the complicated problems.

Keywords: construction planning, AHP, railway construction

1. 서 론

국내에서는 건설계획시 기술성 및 직접적인 건설비용의 평가위주로 대안을 선정해 왔다. 그 래서 정부는 건설사업의 타당성에 대한 객관성 을 확보하고 진행과정에서 발생되는 비효율과 낭비요인을 제거하여 생산성 및 효율성 향상을 목적으로 VE 평가를 의무화하고 있다.

최근 건설계획의 대상이 날로 대형화, 전문화, 고도화되어 가는 추세와 더불어 건설계획과 정에서 발생하는 문제의 성격도 점차 복잡화되 어 가고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 는 건설 활동에 직·간접적으로 영향을 미치는 다양한 분야의 전문지식과 아울러, 그 전문지식을 주어진 상황에 따라 효과적으로 종합하여 활용하는 의사결정기법이 요구된다. 의사결정기법으로는 Matrix 평가법, AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법 등이 사용되고 있으며, 최근에는 fuzzy를 이용한 방법도 사용되고 있다.

AHP 기법은 다수의 목적을 포함하는 의사결 정시 사용되는 유용한 기법 중 하나로, 여러 가 지 항목을 평가하여 최적의 대안을 선정하는 방법이다.

^{*} 교신저자, 정회원, 평원엔지니어링, 상무이사, 工博 Email: sjh0419@dreamwiz.com

^{**}정회원, (주)다원기술개발, 대표이사, 工博

^{*} Corresponding Author, Executive Director of Pyeongwon Engineering, Ph.D.,

^{**} C.E.O. of Dawon E&C

본 연구에서는 VE 평가시 정성적·정량적의사결정기법인 AHP 기법을 활용하여 철도노선계획에 대한 평가모델을 제시하고 그 평가모델을 적용하여 사례철도노선 계획시 최적 안을도출하고자 한다.

2. AHP 기법

2.1 AHP 기법의 개념

의사결정자는 의사결정시 서로 목적(판단기준)이 상충하는 대안을 선택해야만 하는 상황에 접할 때가 있는데, Satty(1980)에 의해 개발된 AHP 기법은 다수의 목적을 포함하는 의사결정시 사용되는 유용한 기법 중의 하나이다. AHP 기법은 판단기준이 많을 경우 상위 계급과 하위 계급의 연계가 이루어 질 때 쓰는 방법이다. 최적의 대안을 선정하는 방법은 고유벡터 방법으로 쌍대비교를 통해 가중치를 산정한후 최하위의 계급에서 대안으로 적용하여 결정한다. 이 방법의 장점은 고유벡터 방법의 장점을 모두 살릴 수 있고, 복잡한 문제를 계층화함으로써 판단을 원활히 할 수 있도록 한다.

일반적인 AHP 기법을 통한 최적안 선정과정 은 다음과 같다.

(단계1) 의사결정문제의 계층도 작성

최종목표를 최상위 계층에 두고, 목표 달성을 위한 평가항목 및 세부항목을 다음 계층으로 연결한다. 마지막 계층에는 여러 가지 대안을 두어 이들을 평가할 주요 평가항목 또는 세부항목을 연결한다.

(단계2) 기준과 대안들의 상대적 가중치 결정최종 목표를 달성하기 위한 평가항목들의 상대적 가중치를 평가하기 위하여 두 항목씩 쌍대비교(pairwise comparison)를 하고, 여기서 얻은 행렬을 합성(synthesis)하여 벡터로 표현한다. 다음으로는 평가항목 또는 대안들을 쌍대비교한 결과의 일관성을 점검한다.

(단계3) 각 대안의 종합적 우선순위 평가

전단계에서 나온 결과치로부터 대안들의 종 합적 평점을 비교하여 우선순위를 평가한다.

2.2 AHP 기법에 의한 의사결정과정

AHP 기법을 통해서 최적의 대안을 선정하기 위한 의사결정과정은 다음 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Decision making flowchart of AHP techniqe.

(1) 계층도 작성

AHP 기법을 사용하여 문제를 해결하려면 우선 문제의 요소를 최종목표-평가항목-세부항목-대안의 관계를 취하여 계층구조를 만들어야한다. 계층도의 작성 시에는 맨 위에 최종목표를 위치시키고, 그 밑에 대안을 평가하기 위한평가항목과 그 세부항목을 나열한 다음 최종목표와 연결하고 마지막으로 대안을 나열하여 각평가항목 및 세부항목과 연결한다.

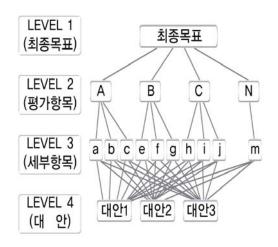


Fig. 2 AHP structure.

(2) 평가항목간 쌍대비교 행렬

계층도의 작성 후에는 계층화를 이루고 있는 각 단계요소들의 쌍비교 행렬을 작성한다. 이 단계는 각각의 계층단계를 구성하고 있는 모든 요소들에 대하여 쌍대비교를 실시한다. 한 단계 에서 n개의 대안 또는 평가항목이 존재한다고 할 때, 먼저 이 단계에서는 쌍대비교 행렬 n×n 행렬(A=[a_{ij}]을 구성한다. 이 행렬에서 행 i와 열 j의 숫자는 i가 j보다 얼마나 중요한가에 대한 정도를 표시한다. 여기서 중요도는 정수 1에서 9까지의 범위에서 결정되는데 각 숫자의 의미는 Table 1과 같다.

Table 1. Priority of duality comparison matrix

중요도	내 용
1	중요도가 같다
3	대안 i가 대안 j보다 약간 중요
5	대안 i가 대안 j보다 확실하게 중요
7	대안 i가 대안 j보다 강하게 중요
9	대안 i가 대안 j보다 절대적으로 중요
2, 4, 6, 8	위 값들의 중간에 해당한다고 판단될 경우 사용

여기서 요소 j와 비교한 요소 i는 a_{ij} 로 표시되며 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 이 된다. 행력에서 각 행 i에 해당하는 숫자는 1이다. 왜냐하면, 자기 자신을 비교하기 때문에 1은 당연한 결과이다. 하지만예를 들어, a_{13} =3이라면 대안 1은 대안 3보다약간 중요함을 의미하며, 일관성을 위해서는 a_{31} 의 값은 1/3으로 나타내야 한다.

n개의 요소가 있다면 n(n-1)/2 회의 쌍대비교가 이루어지고, 다음 Table 2와 같은 행렬 A가 만들어진다.

Table 2. duality comparison matrix A

j i	A	В	С	D	Е
A	1	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a_{15}
В	a_{21}	1	a ₂₃	a ₂₄	a_{25}
С	a_{31}	a_{32}	1	a ₃₄	a_{35}
D	a_{41}	a_{42}	a_{43}	1	a_{45}
Е	a ₅₁	a_{52}	a ₅₃	a ₅₄	1

(3) 상대적 가중치의 측정

AHP 분석에서 평가항목에 대한 쌍대비교가 끝나면 다음 단계는 각 행렬에 해당하는 쌍대비교를 상대적 가중치로 전환하는 일이다. Table 2의 쌍대비교 행렬 A의 작성시 aij는 비교하는 평가항목과 구하려는 평가항목과의 비로써 다음과 같이 판단된다.

$$a_{ij} = w_i / w_j$$
 (식1)

여기서, a_{ij}= i번째 평가항목과 j번째 평가항목 과의 비교값

 w_i = 구하려는 평가항목 w_i = 비교하는 평가항목

행렬 A의 요소 a_{ij} 를 w_i / w_j 로써 치환하고 n 개 요소의 가중치 $w=(w_1\ w_2\ w_3\ \cdots\ w_n)$ 를 오른쪽에서 곱하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

이 때의 n은 선형대수에서의 고유치 λ 로써, λ 는 특성방정식 $D(\lambda)$ = $det(A-\lambda I)$ = 0 의 근이며 w는 고유치 λ 에 대한 행렬 A의 고유 벡터이다. 일반적으로

$$\Sigma \lambda_i = (A \text{ 의 대각선 요소의 합}) = n$$
 (식3)

이므로, 0이 아닌 유일한 λ 를 λ_{max} (최대고유치) 라 하면, λ_{max} =n, λ_i =0 이 된다.

쌍대비교 행렬 A와 $\Sigma w=1$ 로부터 최대고유치 λ_{max} 와 그에 따른 고유벡터 w를 구하게 되는데 여기서 구한 고유벡터가 가중치가 된다.

평가항목에 대한 상대적 가중치를 산출한 후에는 각각의 평가항목에 대하여 제시된 대안의상대적 가중치를 산출한다. 이렇게 산출된 두결과를 합성하여 다음 (식4)에 의해 성능척도를계산하며, 가장 큰 값을 갖는 대안을 최적안으로 선정한다.

$$R = \sum_{i=1}^{n} W_i Z_i(x) \tag{44}$$

여기서, R = 대안의 종합성능

 W_i = n가지의 평가항목 상대적 가중치 $Z_i(x)$ = 각 평가항목에 따른 대안의 상 대적 가중치

(4) 일관성 측정

Satty는 행렬 A의 최대고유치 (λ_{max}) 과 쌍대

비교 요소의 개수(n)의 함수로 일관성 판단을 위한 식을 (식5)와 같이 나타내었다.

$$C.R = C.I/R.I$$
 (식5)

여기서, C.R : 일관성비율(Consitency Ratio)

C.I : 일관성지수(Consistency Index)

 $= (\lambda_{\text{max}} - n)/(n-1)$

R.I: 무작위지수(Random Index)

n	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

C.R은 일관성의 판단기준인 0.1을 기준으로 하여 C.R의 값이 0.1 이상이면 의사결정자가 쌍대비교를 다시 검토해야 하고 0.1 이하이면 AHP 분석에 문제가 없는 것을 의미한다.

철도노선 계획시 AHP 기법을 활용한 VE 평가 품질모델

3.1 철도노선 계획시 평가항목 결정

계획중인 철도노선의 최종 의사결정권은 발 주자에게 있다. 따라서 발주자의 관심사항을 사 전에 파악하여 이에 대한 방안을 제시하는 것 이 매우 중요하다.

Table 3. classification of evaluation items

평가 기준		세부평가요소
경제적 측면	경제 성	초기투자비, 편익최대화, 노선연장의 최소화 토공량 최소화, 구조물설치 최소화, 지장 물 최소 정거장 입지, 운행거리 단축 유지관리비 사회적비용 최소화
-1 & 7l	시공 성	• 토공균형, 정거장과 배후도로 공간 최소화 • 연약지반 통과구간 최소화 • 운반로 개설의 용이성 및 현장 접근성
기술적 측면	안정 성	 평면 및 종단선형, 안전한 곡선반경 확보 지장물 저촉 최소, 도로 근접시공시 안 전성 확보 도로 교차, 열차 최고속도의 향상
사회적	환경 성	 고성토 방지, 개방감, 산림훼손, 생활환경 피해 최소 고성토 및 대절토 방지 환경친화성, 토지이용효율, 농지잠식 최소화
측면	민원 성	 노선개설로 인한 인근주민 동의여부 소음・대기오염 주거환경 침해 생산녹지편입

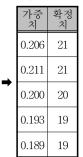
본 연구에서는 철도노선 계획시 발주자가 일 반적으로 중요한 항목으로서 고려하고 있는 사항들에 대하여 설계전문가 15인과 협의한 결과를 바탕으로 평가항목을 결정하였다. 본 연구에서 VE 평가 품질모델 결정을 위해 철도노선계획시 고려한 평가항목은 다음 Table 3과 같다.

3.2 평가항목의 상대적 가중치

Table 2에서 분류된 평가항목에 대한 쌍대비교 행렬을 설계전문가 15인과 협의 후 작성하여 상대적 가중치를 측정한 결과는 다음 Table 4와 같다.

Table 4. Decision of relative priority

구분	경제 성	시 공 성	안 전 성	환 경 성	민 원 성
경 제 성	1.00	0.95	1.03	1.08	1.10
시 공 성		1.00	1.06	1.08	1.10
안 전 성			1.00	1.03	1.07
환 경 성				1.00	1.02
민 원 성					1.00



3.3 품질모델 결정 및 일관성 점검

(1) 품질모델 결정

Table 4에서 얻어진 평가항목들 사이의 중요 도를 이용하여 철도노선 계획시 VE 평가를 위 한 품질모델을 다음 Fig. 3과 같이 결정하였다.



Fig. 3. Quality model for VE evaluation of railway planning.

(2) 일관성 점검

앞에서 작성한 쌍대비교 행력에 대한 AHP 분석이 문제가 있는지를 판단하기 위하여 일관 성을 점검하였다. 그 결과 λ_{max} 가 5.03이고 C.R 값이 0.006으로 0.1보다 작아 앞서 실시한 AHP 분석에는 문제가 없음을 알 수 있다.

4. AHP 기법에 의한 사례철도 노선계획 VE 평가

4.1 사례철도 노선계획 계층도 작성

철도노선 선정이라는 최종목표를 달성하기 위한 각 평가항목, 설계대안의 계층구조를 작성 하면 다음 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

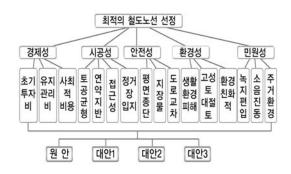


Fig. 4 AHP Diagram for Railway selection.

4.2 사례철도 노선계획에 대한 평가항목별 분석

사례철도 노선계획에 대한 평가항목을 설계 전문가 15인과 협의결과에 의해 평가하였다. 사례철도 노선계획안별 평가결과는 다음 Table 5와 같다

Table 5. Example of evaluation of alternatives

평가 항목	원 안	대안 1	대안 2	대안 3
경제 성	의 불균형	●비교적 경제 적 노선 ●평면 및 종 단 양호 ●연약지반 통	●정거장 전반	● 구소물연상 최소
시공 성		● 구릉지 통과 로 농경지 잠식 최소	 ● 절토량 최소 ● 진입도로부 개 착 터 널 발생 ● 연약지반 처 리 감소 	로 시포션
안전 성	하관리	지장물 저촉 최소화고성토 방지	연약지반 처리 안정터널 최소토피 확보	안전성
환경 성	농경지 과다 잠식마을근접 고 성토 발생	 농경지 잠식 최소화 마을우회로 민원발생 최소화 산림훼손 최 소화 	농경지 과다 잠식마을근접 고 송토 발생	 터 널 연 장 증가로 환 기문제 발 생 저수지 접 근부 환경 훼손 과다
민원 성	● 민원발생 소 지	● 민원발생 최 소화	• 민원발생소 지 큼	• 민 원 발 생 소지 큼

4.3 대안의 VE 평가 및 최적안 선정

최종목표에 대한 평가항목의 상대적 가중치와 세부항목의 가중치를 종합하여 각 대안의 VE를 평가한 결과는 다음 Table 6과 같다.

Table 6. Selection of optimum alternative

평가 가			가	원	안	대	안1	대	안2	대	안3
항목	중 치	세부평가항목	중 치	등 급	점 수	등 급	점 수	등 급	점 수	등 급	점 수
		초기투자비	0.38	9	7.0	10	7.8	8	6.3	9	7.0
경제 성	0.21	유지관리비	0.30	9	5.6	10	6.2	9	5.6	8	4.9
"		사회적비용	0.32	9	5.9	9	5.9	8	5.3	8	5.3
		토공균형	0.25	8	4.2	9	4.8	8	4.2	8	4.2
시공	0.91	연약지반	0.20	8	3.4	9	3.8	10	4.2	10	4.2
성	0.21	접 근 성	0.27	8	4.6	9	5.1	8	4.6	8	4.6
		정거장입지	0.28	8	4.7	10	5.9	9	5.3	8	4.7
		평면/종단선형	0.32	8	5.1	9	5.8	9	5.8	8	5.1
안전 성	0.20	지 장 물	0.38	8	6.2	9	6.8	8	6.1	8	6.1
"		도로교차	0.30	8	4.8	9	5.4	7	4.2	7	4.2
-11		생활환경피해	0.29	7	3.9	8	4.5	9	5.0	9	5.0
환경 성	0.19	고성토/대절토	0.37	7	5.0	8	4.7	9	6.4	8	5.7
°		환경친화성	0.34	7	4.6	9	5.9	9	5.9	7	4.6
		녹지편입	0.37	8	5.6	9	6.3	9	6.3	8	5.6
민원 성	0.19	소음/진동	0.30	8	4.5	9	5.1	9	5.1	8	4.5
°		주거환경	0.33	8	5.0	9	5.6	8	5.0	8	5.0
	평가점수			80).1	90).7	85	5.3	80).9
	최 적 안					(•				

사례철도 노선별 평가결과 대안1이 타안에 비해 초기투자비, 환경적 측면과 민원방지 차원에서 가장 우수하고 집단주거지역 및 우회통과로 생활환경 피해가 가장 적을 것으로 나타났으며 농경지 잠식 및 산림훼손 최소로 토지이용효율을 최대화할 수 있을 것으로 나타났다. VE 평가 결과 대안1의 평가점수가 90.7로 가장높았으며 대안1이 본 사례철도 노선의 최적안으로 선정되었다.

5. 맺음말

본 연구는 다양하고 복잡한 가치체계를 포함한 문제를 해결하기 위해 다속성 의사결정방법인 AHP 기법을 이용하여 철도계획노선의 노선을 선정하는 사례연구를 실시하였다. 그 결과철도계획노선 선정시 VE 평가에 대한 품질평가모델을 제시하였고, 최적의 대안을 선정하기위하여 AHP 기법을 적용한 사례연구를 통하여철도계획노선의 최적안 의사결정과정을 제시하였다. VE 평가시에는 AHP 기법을 적용함으로

서 일관성 있는 평가결과를 산출하여 통계적 실수를 사전에 방지하였고 평가항목에 대한 세 부항목까지 분석하여 더욱 신뢰성 있는 의사결 정방법을 제시하였다. 향후 본 연구에서 제시한 방법을 다른 철도계획노선의 선정시나 건설계 획과정에 있는 도로, 교량, 상하수도, 항만 등의 사회간접자본시설에도 적극 활용한다면 건설프 로젝트의 대안 선정에 있어 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 김인호 : "건설계획과 의사결정", 기문당,
 (1998)
- 2) 김창학, 이철규, 최형래, 강인석: "항만구조 물의 VE/LCC 사례 적용 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp51-54, (2002)
- 3) 오무환 : "AHP 기법을 이용한 개발사업 시설물 결정 모형에 관한 연구", 한양대학교 산

업대학원 석사학위논문, (2000)

- 4) 이상문: "신경영과학". 형설출판사, (1998)
- 5) 이학성: RTMS구축 우선순위 선정에 다속 성 효용함수 적용 방안 연구. 석사학위논문, 중앙대학교, (2000)
- 6) (주)도명E&C: "부산신항배후철도 건설공사 VE/LCC 보고서", (2002)
- 7) Al-Harbi, K.: "Application of the AHP in Project Management", International Journal of Project Management, Vol.19, Issue, pp.19-27, (2001)
- 8) Bevilacqua M., Braglia M: "The Analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection". Reliability Engineering & System Safety, Vol.70, Issue.1, pp.71-83, (2000)
- 9) Holguin-Veras J: "Comparative Assessment of AHP and MAV in Highway Planning: Case Study", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol.121, No.2, pp.191-200, (1995)

(2007년 9월 27일 접수, 2007년 11월 23일 채택)