

선형토목구조물에 대한 지질학적 측면 노선의 적정성 평가기술

황학수¹ · 문상호^{1*} · 김용일² · 안동광³ · 하성호⁴ · 송무영³

¹한국지질자원연구원 지구환경연구본부, ²대우건설기술연구원

³충남대학교 지구환경과학부, ⁴주)서정엔지니어링

A Study on the Technique for Evaluating Geological Suitability about the Route of a Linear Civil Engineering Structure

Hak-Soo Hwang¹, Sang-Ho Moon^{1*}, Yong-Il Kim², Dong-Kwang An³, Sung-Ho Ha⁴,
and Moo-Young Song³

¹Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

²Daewoo Institute of Construction Technology

³Division of Earth & Environmental Science, Chungnam Univ.

⁴Seojung Engineering Ltd.

정성적인 지질정보들의 연계 해석을 위해서는 자료들의 중요도에 따라 정량화가 선행되어야 한다. 이 연구에서는 계층분석과정을 사용하여 정성적 자료를 정량화하였다. 토목, 교통 및 지질관련 전문가 집단(30명)을 구성하여 선형토목구조물 설계에 필요한 지질 및 수리지질에 대한 조사항목을 설문하고 분석하였으며, 이에 따라 조사항목들에 대한 계층구조를 4단계로 구성하였다. 각 단계별 요소에서 선형토목구조물의 안정성에 가장 중요한 요인으로 작용하는 요소는 단층구조이며, 그 중요도가 46%(0.456)로 나타났다. 단층구조 다음으로는 엽리/층리(0.165), 선구조선(0.144), 지하수(0.124), 암상(0.111) 등의 순으로 중요도를 갖는다.

주요어 : 지질정보, 계층분석과정, 계층구조, 정량화

It is very important in designing civil engineering structures that the quantification of geological informations must be carried out in terms of importance. In this study, the geological informations are quantified and evaluated using analytic hierarchy process (AHP). A professional group was organized with 30 people in the field of civil engineering, transport, and geology. On the assumption that the civil engineering structure is linear such as highway or railroad, a survey of the group in terms of geological and hydro-geological elements has found that the hierarchy structure is composed of four levels. And fault structure is a primary factor which causes the stability of a linear civil engineering structure. The importance of geological items are arranged with fault (0.456), foliation/bedding plane(0.165), lineation(0.144), ground water(0.124), and rock type(0.111).

Key words : analytic hierarchy process, quantification, weighting factor, geological information

서 론

오늘날과 같은 고도 산업사회에서는 국토의 효율적 관리 및 균형 발전, 국제 경쟁력 증강을 위해 국가기간 시설, 특히 지하저장소, 도로, 철도, 도수로터널 등과 같은 지상/지하 토목구조물 확충이 필수적이다. 일반적으로

로 이 같은 국가기간시설의 건설단계는 기본계획, 기본 설계 그리고 실시설계 등 총 3단계로 구성되었다.

지질/지반조사는 문화재조사 그리고 환경영향평가와 함께 기본계획부터 실시설계까지 수행되며, 구조물의 안정성 확보 및 주변 지하수환경의 보존을 위해 대규모 단층대를 포함한 연약지반 그리고 지하수 유동특성 과

*Corresponding author: msh@kigam.re.kr

악 등에 그 중요성을 두고 있다. 그러나 대부분의 지질 조사의 경우, 정량적 평가기준이 마련되어 있지 않아 정성적 자료해석에만 의존하고 있다. 그러므로 공학적 개념의 토목설계자는 정성적 지질자료를 이해하기 어렵고, 또한 지질정보를 설계에 직접적으로 반영하기가 매우 힘든 실정이다. 특히, 지상/지하 토목구조물의 경제적, 지질공학적, 그리고 생태/환경적 타당성 및 구조물 형태, 총사업비 책정 등을 주된 목적으로 수행하는 기본계획 단계에서 지질/지반정보는 매우 중요한 위치를 차지하나, 정량적 해석기술의 부재로 인하여 그 사용범위가 매우 제한적이다. 예로서, 도로와 철도건설을 위한 기본계획 시 매우 신속하고 효율적으로 결정할 것은 노선 및 선형 그리고 이에 따른 사업비 책정이다. 이런 측면에서 현재 산출되는 지질정보는 매우 정성적이며, 각각의 지질정보들을 통합 연계하여 종합적으로 해석할 수 있는 기술의 개발이 미비한 상태에서 지질조사 및 분석 결과를 효율적이고 신속하게 적용하기 어렵다는 한계를 갖고 있다.

이 논문에서는 지질정보의 정량화 및 각 지질정보간 연계 해석을 위한 기초적 기술에 대하여 논하였다. 지질 자료의 정량화 및 종합적 해석을 위해 통계적 기법인 계층분석과정(analytic hierarchy process: AHP)을 사용하였다. AHP 기법을 사용하는 분야는 주로 토목, 도로 교통 분야(노태호 외, 2005; 이형석 외, 2001; 정병호 외, 1999; 황국웅, 2003)이며, 최근에는 임업, 조정 및 의료 분야(박문호, 1996; 신용광 외, 2005; 이강우, 2007; 한경애, 1986)에서도 그 활용도가 증가되고 있다. AHP 기법에 대한 적용성 검증을 위해 가상의 선형토목 구조물(예, 철도) 건설을 가정하여 지질정보간 상대적 중요도를 산출하였으며, 또한 지질공학적 측면에서 최적 노선에 대한 적정성을 평가하였다.

계층분석과정

계층분석과정이란 문제를 구조화한 뒤 한 단계씩 중요도를 평가하여 최종적으로 목표를 선택하는 것으로서 Saaty and Vargas(1982)에 의해서 처음 제안되었다. 계층분석과정의 유용성은 첫째, 정성적 혹은 무형적 기준(qualitative or intangible criteria)과 정량적 혹은 유형적 기준(quantitative or tangible criteria)을 비율척도를 통해 측정하는 데 있으며, 둘째, 큰 문제를 점차로 작은 요소로 분해함으로써 단순한 이원비교에 의한 판단으로 문제의 해결을 가능하게 한다는 데 있다.

계층의 구성 과정과 중요도 평가

계층이란 시스템의 특수 형태로서 시스템을 구성하는 각 본질 또는 특성에 따라서 분할집합을 형성한다. 하나의 집합은 다른 하나의 집합에만 영향을 주고, 또 다른 하나의 상위집합으로부터만 영향을 받는다. 이때 각 집합들을 단계(level)라고 부르며, 각 단계는 요소들(elements)로 구성되어 있으며, 통계학적으로 이들은 상호 독립적임을 가정한다.

계층의 구성은 반복적이며, 상호 관련된 과정들을 거친다. 즉, 문제를 분석하여 계층과 계층 내에서 요소들을 확인하고, 요소들에 대한 개념을 정립한 후 질문을 구성하게 되며, 이 단계에서 의사결정자로부터 질문의 명확성에 대한 수정을 받게 된다. 이러한 반복 과정을 통해 계층적 분해에 의한 이원비교가 가능한 문제를 구성한 후, 이를 상대비교판단(comparative judgement)과 우선순위종합(synthesis of priorities)의 방법으로 평가가 타당한가를 다시 검증하는 과정을 거친다.

계층적 구조를 형성하고 난 다음의 작업은 계층별 각 단계의 요소들을 평가하는 것이다. 즉, 평가기준들을 상대비교하고, 각 요소에 대한 중요도를 부여하는 작업이다. 계층분석 과정에서 가장 중요한 문제는 동일한 단계에 있는 요소들간에 중요도를 어떻게 측정할 것인가를 결정하고 어떠한 척도(scale)를 사용할 것인가를 결정하는데 있다.

중요도는 우선성(priority)으로도 명명하는데, 이 중요도는 같은 계층을 구성하는 요소들 중 두개의 요소들만을 상호 비교하는 이원비교로부터 얻어진 행렬(matrix)에 대한 특성벡터(eigen vector)의 고유값(eigen value), 또는 기하학적 평균(geometric mean)을 통해서 산출한다. 이원비교에 사용되는 척도는 인간이 느낄 수 있는 차이를 최대 한도로 반영할 수 있는 범위를 요구한다.

“인간은 7(±2)개의 대상을 혼동 없이 동시에 비교 가능하다”라는 Miller(1978)의 심리학 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 척도의 범위는 1에서 9까지의 수 또는 이의 역수들로 한다(황규승, 1989). 이들 숫자는 일상의 언어적 표현과 밀접한 관계를 갖고 있으며, Table 1과 같다.

고유값에 의한 중요도 산출: n개 요소들을 각각 A_1, A_2, \dots, A_n 이라 하고, 각 요소들의 중요도를 w_1, w_2, \dots, w_n 이라 하면 이원비교로부터 얻어진 결과는 다음 식(1)과 같은 행렬 A로 표현된다.

Table 1. Scale of pairwise comparison.

verbal judgements	relative weight
absolute importance	9
between absolute and very strong	8
demonstrated-very strong importance	7
between very strong and strong	6
strong importance	5
between strong and weak	4
slight-weak importance	3
between weak and equal	2
equal importance	1

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

그러므로 의사결정자의 이원비교에 의해 행렬 $A(=a_{ij})$ 가 형성되고, $a_{ji}(=1/a_{ij})$ 는 w_i/w_j 의 추정치로 표현되므로, 행렬 A 는 주대각선 원소들이 모두 1이 되는 역수행렬(reciprocal matrix)이 된다.

행렬 A 에 상대적 중요도를 나타내는 열벡터(column vector) $W^T=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 을 곱하면 다음 식(2)와 같은 특성방정식을 얻는다.

$$(A - nI)W = 0 \quad (2)$$

$$\det(A - nI) = 0$$

식(2)에서 I 는 단위행렬, n 은 요소의 수이며, 행렬 A 가 완전한 기수적 일관성(cardinal consistency)이 있으면 특성방정식(2)의 근 $\lambda_i(i=1, 2, \dots, n)$ 는 가장 큰 근(λ_{max}) 하나만이 n 의 값을 갖고, 나머지 근들은 모두 0의 값을 갖는다. 요소 A_1, A_2, \dots, A_n 의 중요도는 특성방정식의 근 λ_{max} 에 대응하는 특성벡터, $W^T=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 로서 얻어진다.

기하평균에 의한 중요도 산출: 중요도 평가 과정에 집단이 참여할 경우 집단적 동의에 의한 평가를 실시함으로써 중요도를 산출할 수 있으나, 개인마다 다른 평가를 할 경우 기하평균을 사용하여 중요도를 산출 한다(Saaty & Vargas, 1982). 이는 대칭적 역수행렬의 성격을 이용하는 것으로서, 여러 숫자들의 기하 평균의 역수는 그 숫자

들의 역수를 취한 값들의 기하평균과 같기 때문이다.

이원비교에 의하여 식(1)의 행렬 A 를 얻는 방법은 각 열(column) 요소의 중요도를 1로 기준한 후 대각선 하위에 있는 행(row) 요소들의 상대적 중요도를 결정한다. 즉, $a_{ij}(i=j)$ 는 1로 설정하고 $a_{(i+1)i}, a_{(i+2)i}, \dots, a_{ni}$ 를 산출하고, 대각선 상위에 있는 행의 요소들의 중요도는 $a_{ji}=1/a_{ij}(i>j)$ 관계로 얻어진다.

일관성 검증

행렬 A 가 일관성(consistency)이 있기 위한 필요조건은 행렬 A 가 역수 행렬이 되는 것이며, 필요충분조건은 이 행렬의 특성근이 n 이 되는 것이다. 행렬 A 가 기수적으로 정확히 일치하는 경우, 즉 $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$ 가 언제나 성립하는 경우는 $\lambda_{max} = n$ 이 된다는 의미이며, 일치하지 않는 경우에는 λ_{max} 가 언제나 n 보다 큰 값을 갖는다. $\lambda_{max} - n = 0$ 이 되는 정도를 지수(index)로 나타낸 것을 일관성지수(consistency index: CI)라 하며, 다음 식(3)과 같이 정의한다(Saaty & Vargas, 1982).

$$CI = \mu - \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

이 연구에서는 계층분석과정의 일관성 검증을 위해 식(4)에 정의된 일관성 비율(consistency ratio: CR)을 이용하였으며, 여기서 무작위지수(random index: RI)란 Saaty & Vargas(1982)에 의해 1에서 9까지 정수를 무작위 추출하여 역수행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것으로 Table 2와 같다. Saaty & Vargas(1982)는 CR의 값이 10% 이내인 경우에만 신뢰할 수 있는 계층분석과정의 결과라고 하였다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Table 2. Average random index.

matrix size	random index (RI)
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.47

Table 3. Hierarchy structure of geological informations.

1st Level (L1)	2nd Level (L2)	3rd Level (L3)	4th Level (L4)
1. Ground water Level	natural level	high	-
		low	-
	seasonal level fluctuations	large small	- -
2. Rock Type	igneous rock	plutonic rock	massive foliated
		hypabyssal or volcanic rock	massive stratified, foliated
	metamorphic rock	gneiss I & II, quartzite	-
		gneiss III	-
		schist, phyllite, slate	-
	sedimentary rock	limestone	-
conglomerate, sandstone		-	
3. Foliation or Bedding Plane	cutoff	intersection angle < 30°	-
		30° < angle < 60°	-
		angle > 60°	-
	tunnel	intersection angle < 30°	-
		30° < angle < 60°	-
		angle > 60°	-
4. Fault	large (> 10 m)	cutoff	intersection angle < 30°
			30° < angle < 60°
			angle > 60°
		tunnel	intersection angle < 30°
			30° < angle < 60°
			angle > 60°
	medium (1 - 10 m)	bridge/banking	intersection angle < 30°
			30° < angle < 60°
			angle > 60°
		cutoff	intersection angle < 30°
			30° < angle < 60°
			angle > 60°
small (< 1 m)	tunnel	intersection angle < 30°	
		30° < angle < 60°	
	cutoff	intersection angle < 30°	
		30° < angle < 60°	

Table 3. Continued.

1st Level (L1)	2nd Level (L2)	3rd Level (L3)	4th Level (L4)
		intersection angle < 30°	-
	cutoff	30° < angle < 60°	-
		angle > 60°	-
5. Lineation	tunnel	intersection angle < 30°	-
		30° < angle < 60°	-
		angle > 60°	-
	bridge/banking	intersection angle < 30°	-
		30° < angle < 60°	-
		angle > 60°	-

계층분석과정의 적용 및 토의

계층의 구성

지상/지하 토목구조물 설계에 앞서 일반적으로 수행하는 지질 및 수리지질의 조사항목을 검토하고, 또한 전문가 집단을 대상으로 실시한 설문조사를 바탕으로 계층구조를 형성하였다. 이 연구에서 구축한 지질/수리지질 조사항목에 대한 계층구조는 4단계로 구성되었다 (Table 3). 계층구조에서 1단계는 모두 5개 항목, 즉 지하수(ground water), 암상(rock type), 엽리/층리(foliation/bedding plane), 단층(fault), 선구조(lineation)로 구성되었다. 이 항목들은 모두 도로나 철도선형 결정에 직접적으로 영향을 주는 지질요인들이다.

지하수항목은 지하수의 자연수위와 선형구조 간의 관계, 선형구조물 건설에 따른 지하수 유동변화 및 터널 안정성 등을 상대적으로 평가하도록 그 하부 계층을 구성하였다. 암상항목의 하부계층은 화성암, 변성암, 퇴적

암 등으로 구분하고 암상특성에 따른 구조물에 대한 영향을 평가하도록 구성하였다. 엽리 및 층리, 선구조 항목은 노선의 형태(예, 터널, 절개, 교량/성토 등) 및 노선과 지질구조의 방향에 따라 노선의 지질공학적 타당성을 검증하도록 구성하였다. 단층항목은 그 하부계층을 3단계구조, 즉 단층의 규모, 노선의 형태 그리고 노선과 단층의 교우각 등을 고려하여 구조물의 상대적 안정성을 검토하였다.

일관성 검토 및 중요도 산출

총 4단계로 구성된 계층구조에서 각 요소(지질정보)에 대한 계량화, 즉 중요도를 산출하기 위하여 지질/지반관련 30명의 전문가 집단을 구성하고, 설문(자기 기입식 방법)을 통하여 자료를 수집하였다. 전문가 집단은 학계(지질, 토목학 관련 전공자) 17명, 지질, 토목, 교통 관련 연구원(한국지질자원연구원, 교통개발연구원) 9명, 정부/지자체 4명으로 구성되었다. Table 4는 전문가 집단에 배부

Table 4. Example of pairwise comparison.

Factor A	Importance of Factor A									Importance of Factor B									Factor B
	Ab	VS	St	Wk	Eq	Wk	St	VS	Ab	Ab	VS	St	Wk	Eq	Wk	St	VS	Ab	
Ground water	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rock Type	
Ground water			∇															Foliation/Bedding Plane	
Ground water									∇									Fault	
Ground water					∇													Lineation	
Rock Type											∇							Foliation/Bedding Plane	
Rock Type															∇			Fault	
Rock Type														∇				Lineation	
Foliation/Bedding Plane																∇		Fault	
Foliation/Bedding Plane											∇							Lineation	
Fault					∇													Lineation	

* Ab: absolute, VS: very strong, St: strong, Wk: weak, Eq: equal

Table 5. Weighting index of geological elements.

1st Level (L1)	2nd Level (L2)	3rd Level (L3)	4th Level (L4)	Weighting Index	
1. Ground water Level (0.1240)	natural level (0.0856)	high	-	0.0665	
		low	-	0.0191	
	seasonal level fluctuations (0.0384)	large	-	0.0293	
		small	-	0.0091	
2. Rock Type (0.1105)	igneous rock (0.0230)	plutonic rock	massive	0.0018	
			foliated	0.0043	
		hypabyssal or volcanic rock	massive	0.0051	
			stratified, foliated	0.0118	
	metamorphic rock (0.0316)	gneiss I & II, quartzite	-	0.0059	
		gneiss III	-	0.0083	
		schist, phyllite, slate	-	0.0175	
	sedimentary rock (0.0559)	limestone	-	0.0396	
conglomerate, sandstone		-	0.0163		
3. Foliation or Bedding Plane (0.1650)	cutoff (0.1132)	intersection angle < 30°	-	0.0736	
		30° < angle < 60°	-	0.0254	
		angle > 60°	-	0.0142	
	tunnel (0.0518)	intersection angle < 30°	-	0.0255	
		30° < angle < 60°	-	0.0146	
		angle > 60°	-	0.0117	
	4. Fault (0.4564)	large (>10m) (0.2963)	cutoff	intersection angle < 30°	0.1180
				30° < angle < 60°	0.0415
				angle > 60°	0.0208
			tunnel	intersection angle < 30°	0.0440
30° < angle < 60°				0.0193	
angle > 60°				0.0105	
medium (1-10m) (0.1050)		bridge/banking	intersection angle < 30°	0.0232	
			30° < angle < 60°	0.0117	
			angle > 60°	0.0073	
		cutoff	intersection angle < 30°	0.0387	
			30° < angle < 60°	0.0150	
			angle > 60°	0.0082	
tunnel	intersection angle < 30°	0.0151			
	30° < angle < 60°	0.0070			
	angle > 60°	0.0040			
small (<1m) (0.0551)	bridge/banking	intersection angle < 30°	0.0091		
		30° < angle < 60°	0.0048		
		angle > 60°	0.0031		
	cutoff	intersection angle < 30°	0.0184		
		30° < angle < 60°	0.0073		
		angle > 60°	0.0039		
tunnel	intersection angle < 30°	0.0085			
	30° < angle < 60°	0.0041			
	angle > 60°	0.0024			

Table 5. continued.

1st Level (L1)	2nd Level (L2)	3rd Level (L3)	4th Level (L4)	Weighting Index
5. Lination (0.1438)	cutoff (0.0759)	intersection angle < 30°	-	0.0436
		30° < angle < 60°	-	0.0189
		angle > 60°	-	0.0134
	tunnel (0.0427)	intersection angle < 30°	-	0.0260
		30° < angle < 60°	-	0.0099
		angle > 60°	-	0.0068
	bridge/banking (0.0252)	intersection angle < 30°	-	0.0126
		30° < angle < 60°	-	0.0070
		angle > 60°	-	0.0056

된 설문내용의 일부이며, 전문가에 의해 이미 설문된 제 I단계(Table 3) 요소에 대한 이원비교 결과이다.

각 요소간 이원비교 설문을 통해 얻어진 행렬 그리고 식(3)과 (4)에 의해 산출된 각 단계별 요소평가 자료에 대한 CR 값을 분석할 결과, 최대 CR 값은 제 3단계 요소에서 0.12이고 나머지 자료들은 0.10, 이하의 CR 값을 갖는다.

총 4단계로 구성된 계층구조의 각 단계별 요소에 대한 중요도는 Table 5와 같다. 지상/지하 토목구조물, 특히 선형 구조물의 안정성에 가장 중요한 요인으로 판단되는 지질 요소는 단층구조이며, 그 중요도가 46%(0.4564)로 나타났다. 단층구조 다음으로는 엽리층리(0.165), 선구조건(0.1438), 지하수(0.124), 암상(0.1105) 등의 순으로 중요도를 갖는다.

단층요소의 경우, 중요도는 단층의 규모에 관계없이 모두 노선의 형태가 절개에서 가장 높게 나타났으며, 단층 방향은 노선과 낮은 각으로 사교하는 단층이 선형토목구조물의 안정성에 가장 크게 영향을 미치는 요소로 해석된다.

노선의 타당성 평가 사례

21세기 국가교통망을 참조로 천안-익산 구간에 임의의 3개의 신설 철도노선(A 노선: 천안-공주-익산, B 노선: 천안-오송-익산, C 노선: 천안-대전-익산)을 선정하였다(Fig. 1). A 노선, B 노선, C 노선들의 연장 길이는 각각 98.26 km, 118.44 km, 132.27 km이다.

각 가상 노선을 따라 취득된 지질요소(지하수, 암상, 엽리층리, 단층, 선구조)에 대한 각각의 정보와 계층분

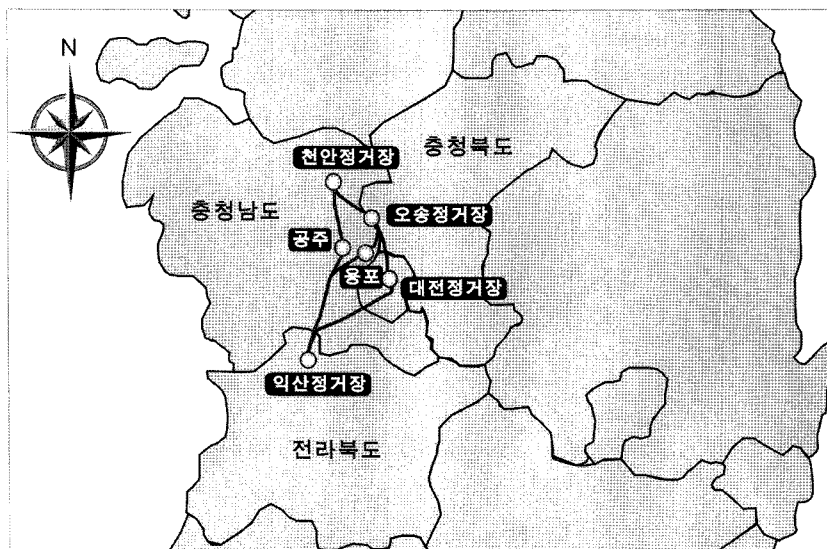


Fig. 1. Railroads assumed for evaluating AHP.

Table 6. Evaluation of proposed roots in terms of geological views.

Element Line	Line A (Cheonan-A-Iksan)	Line B (Cheonan-B-Iksan)	Line C (Cheonan-C-Iksan)
Length (km)	98.26	118.44	132.27
Groundwater Level	0.0711	0.0182	0.0184
Rock Type	0.0046	0.0038	0.0056
Foliation/Bedding	0.0053	0.0036	0.0058
Fault	0.0007	0.0002	0.0001
Lineation	0.0012	0.0008	0.0025
Geological Risk Assessment	0.0289	0.0265	0.0325

석과정에 의해 산출된 중요도로부터 평가된 각 노선의 지질학적 위험평가지는 Table 6에 제시하였다. 3개의 노선 중 지질학적 위험도가 가장 낮은 노선은 B노선이며, C노선이 지질학적 측면에서 가장 불리한 것으로 평가되었다. 각 평가 값은 상대비교를 위해 노선의 연장 길이로 정규화한 것이다.

결 론

지상/지하 교통망 건설에 있어서 노선에 대한 지질학적 적정성 평가를 위해 계층분석과정을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지질요소에 대한 계층구조는 4단계로 구성하였으며, 전문가 설문에 대한 단계별 일관성 검증에서 대부분의 요소에 대한 일관성비율(consistency ratio: CR)은 유의수준 0.10 이하의 값을 갖는다.

둘째, 도로/철도 노선 선정에 있어서 가장 중요하게 고려해야 할 지질요소는 단층이며, 이외에 염리층리, 선구조선, 지하수, 암상 순으로 그 중요도가 나타났다. 특히 노선 선정에 있어서 단층의 규모도 중요하지만 이와 더불어 노선의 형태 그리고 단층과 노선과의 교우각이 매우 중요한 요인으로 작용한다.

셋째, 노선의 지질학적 적정성 평가에 있어서 계층분석과정 기법은 정성적인 각각의 지질요소 자료에 대한 객관적이고 정량적인 평가치를 산출하며, 또한 계획 노선에 대한 실시간 평가를 가능케 한다.

참 고 문 헌

- 노태호, 정안주, 이성록, 2005, 노선 선정에서 계층분석과정을 이용한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지, 8(2), 55-67.
박문호, 1996, 도시공원 조성의 우선순위 결정에 있어서 계층분석과정 기법의 적용, 한국조경학회지, 24(1), 42-54.

- 신용광, 김창길, 김태영, 2005, 계층분석과정(AHP)을 이용한 친환경농업정책 프로그램의 우선순위 결정, 농촌경제지, 28(2), 39-56.
이강우, 2007, 어류양식장의 입지선택을 위한 계층분석과정(AHP)모형, 수산경영론집, 38(1), 19-45.
이형석, 강준목, 한승희, 2001, 계층분석과정을 이용한 효율적 노선선정, 대한토목학회지, 21(1), 145-152.
정병호, 최해영, 이재영, 1999, 계층분석과정을 이용한 공공공사 입찰자 선정 모형, 대한토목학회지, 19(5), 801-811.
한경애, 1986, 계층분석과정의 간호적용에 관한 연구, 미국의 미래 간호교육의 예견, 한국간호학회, 16(1), 89-104.
황국웅, 2003, 지리정보체제(GIS)와 계층분석과정(AHP)을 이용한 토지자원평가에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 6(4), 16-23.
황규승, 1989, AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법의 신뢰성에 관한 연구, 경영논총, 32, 83-97.
Miller, J. G., 1978, Living systems, New York: McGraw-Hill Book Co.
Saaty, T. L., and Vargas L. G., 1982, The logic of priorities, Applications in Business, Energy, Health, and Transportation, Boston Mass, Kluwer-Nijhoff Publishing.

2008년 10월 16일 원고접수, 2008년 12월 11일 게재승인

황학수

한국지질자원연구원 지구환경연구본부 지하수토양 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
Tel: 042-868-3163
Fax: 042-868-3414
E-mail: hhsid@kigam.re.kr

문상호

한국지질자원연구원 지구환경연구본부 지하수토양연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
Tel: 042-868-3372
Fax: 042-868-3414
E-mail: msh@kigam.re.kr

김용일

대우건설기술연구원
440-210 경기도 수원시 장안구 송죽동 60번지
Tel: 031-250-1104
Fax: 031-250-1130
E-mail: 8925364@dwconst.com.kr

안동광

주식회사 친한건설
305-709 유성구 봉명동 동아벤처타워 1104호
Tel: 042-822-0853
Fax: 042-822-0859
E-mail: eastlight007@hanmail.net

하성호

주식회사 서정엔지니어링
431-810 경기도 안양시 동안구 관양동 1307-37
관양두산벤처다임 8층 810호
Tel: 031-596-6490
Fax: 031-569-6491
E-mail: s8986@chol.com

송무영

305-764 충남대학교 지구환경과학부
대전광역시 유성구 궁동 220번지
Tel: 042-821-6423
Fax: 042-823-3722
E-mail: mysong@cnu.ac.kr