

## 영향인자를 고려한 절토사면 보강공법 선정기법

### Determination Technique of Cut-Slope Reinforcing Method Considering the Effect Factor

한 중 근 <sup>1</sup>	Han, Jung-Geun	이 중 영 <sup>2*</sup>	Lee, Jong-Young
이 명 호 <sup>3</sup>	Lee, Myung-Ho	최 풍 곤 <sup>4</sup>	Choi, Poong-Kon

#### ABSTRACT

Analysis was performed using AHP (Analytic Hierarchy Process) technique for the determination of priority on the effect factors and the preferences on cut-slope reinforcing methods. The results from professional group, such as researchers, design engineers and construction engineers, show that stability, durability and environmental condition are the most important effect factors. The retaining wall and the cutting methods were predominant for stability, economical efficiency, and maintenance/management in the evaluation of preferences on the cut-slope reinforcing methods interpreted for the increasing method of safety factor.

#### 요 지

본 연구에서는 절토사면 공법선정시 고려해야 할 영향인자에 대한 가중치 결정과 사면보강공법 선호도를 AHP기법을 이용하여 분석하였다. 연구, 설계, 시공업에 종사하고 있는 전문가를 대상으로 분석한 결과 공법선택시 안정성 및 내구성, 환경성이 가장 중요한 영향인자로 조사되었으며, 안전을 증가법 위주로 분석된 사면보강공법 선호도 조사에서는 경제성과 유지관리 용이성, 안정성에서 가장 우수한 평가를 받은 옹벽공법과 절토공법이 가장 선호도가 높은 공법으로 분석되었다.

**Keywords** : AHP, Cut-slope, Reinforcing method, Weight value, Preference level

#### 1. 서 론

산업의 발달과 함께 많은 건설공사가 진행되고 또한 계획되고 있다. 뿐 만 아니라 점점 대형화되어가는 토목공사는 대규모 성토 및 절토 구간을 필연적으로 발생하게 된다. 이때 절·성토 사면의 안정을 위해서 여러 가지 안정화 공법들이 적용되고 있다. 이들 안정화 공법은 그림 1과 같이 안전을 증가법과 안전을 유지법으로 구분되며 이들 공법은 개별적 혹은 혼합하여 적용하는 것이 일반적이다(한중근, 1997). 그러나 이러한 공법을 현장상황에 적합하게 적용하는 것은 다분히 엔지니어의 주관적 판단에 의해 적용되고 있는 것이 현실이다. 그러나 많은 예산과 인력이

투입되는 건설공사에서 특히 사면안정을 위한 공법의 선정에서는 안정해석에 따른 안정성분석, 경제성, 투자우선순위 및 현장의 제반여건 등을 고려하여 모든 사안들을 종합하여 정량적인 수치로 표현할 수 있는 보다 합리적인 기법의 적용이 필요하다. 즉, 공통적이고 비슷한 결과를 얻을 수 있는 여러 대안에 대한 평가와 선택은 많은 문제와 논란의 소지가 항상 내포하고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주관적이고 객관적인 기준들을 보다 정량화하여 종합평가할 필요가 있다.

이러한 방법으로 다속성 의사결정(Multi-attribute Decision Making)방법을 예로 들 수 있으며, 다속성 의사결정 기법으로는 목표계획법(Goal Programming), 효용함수(Utility

1 정회원, 중앙대학교 건설환경공학과 부교수 (Member, Associate Professor, Dept. of Civil & Env. Engineering, Chung-Ang University)

2\* 정회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Member, Ph.D Candidate, Dept of Civil Engineering, Chung-Ang University, E-mail: geoljy@wm.cau.ac.kr)

3 정회원, 한양대학교 토목환경공학과, SMRG 연구교수 (Member, BK Research Associate, Dept. of Civil & Env. Engineering, Han-yang University)

4 정회원, 현대건설(주) 기술개발원, 부장 (Member, General Manager, Institute of Construction Technology, Hyun-Dai Engineering & Construction Co., Ltd)

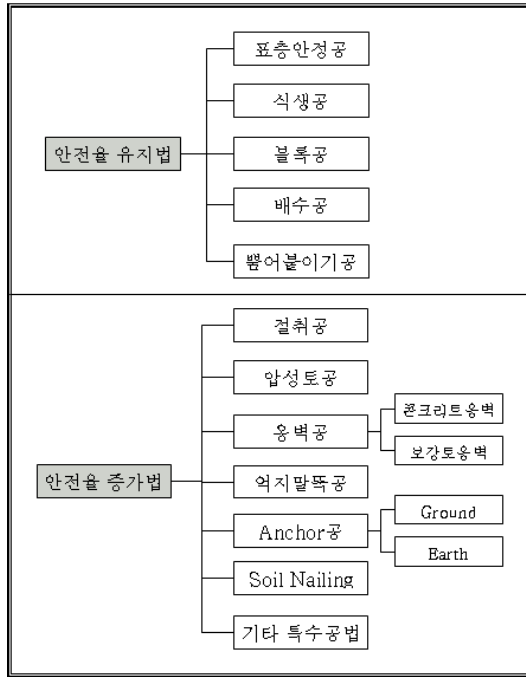


그림 1. 일반적인 사면안정 공법

Function), 계층화분석기법(Analytic Hierarchy Process; AHP) 과 최근에는 Fuzzy를 이용한 방법과 전문가적 System 및 Genetic 알고리즘을 이용한 방법 등이 있다(안장원 외, 2001; 이철규, 2000). 이 중 AHP기법은 타 분야 전문가와의 협력작업 과정에서 개발된 의사결정 기법이다(조근태 외, 2005).

AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하고 주요 각 요인들에 대한 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 통해 중요도를 도출하는 방법으로 인간의 사고체계와 유사한 접근방법으로서 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있다는 점과 모형을 이용하여 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 비율척도(Ratio Scale)화 하여 정량적인 형태의 결과를 얻을 수 있다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다. 뿐만 아니라 간결한 적용절차에도 불구하고 척도선정, 가중치 산정절차, 민감도분석 등에 사용되는 각종 기법이 실증분석과 엄밀한 수리적 검증과정을 거쳐 채택된 방법들을 활용한다는 점에서 이론적으로 높이 평가되고 있다.

이러한 장점으로 인해 AHP는 현존하는 의사결정기법 중 가장 광범위하게 활용되고 있는 기법의 하나라 할 수 있다. 그 적용분야에 있어서도 에너지수급, 수송계획, 고등교육에 관한 계획, 환경정책수립, 군 전력수립 등 공공 부문 의사결정문제 및 수많은 민간부문의 복잡하고 다양한 시각이 존재하는 의사결정 과정에 활용되고 있다. 뿐만

아니라 공학부분 특히 건설 분야에 적용된 연구로는 R&D 투자우선순위 결정 및 건설 사업관리, 건설공사 리스크관리, 산사태발생예측, 도로노선 결정, GIS의사결정, 교량구조형식 결정 등의 여러 의견의 수렴이 요구되는 분야에 적용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 각종 토목 건설공사에서 발생하는 절토사면 보강공법 선정에 필요한 종합적인 의사결정을 위해 AHP기법을 적용하여 보고자 하며, 이를 위해 현재 일반적으로 사용되고 있는 절토사면 보강공법 중 그림 1의 안전을 증가법을 위주로 AHP기법을 이용해 전문가 선호도를 조사하고자 한다.

## 2. AHP 이론

### 2.1 AHP의 원리 및 조건

AHP는 문제해결을 위한 효과적 인간사고는 다음과 같은 3가지 원리가 지켜진다는 특징에 착안하여 개발된 의사결정기법의 하나이다(Saaty, 1995).

- ① 계층적 구조설정(Hierarchical Structuring)의 원리
- ② 상대적 중요성 설정(Weighting)의 원리
- ③ 논리적 일관성(Consistency)의 원리

AHP에서 전제하고 있는 이러한 원리들은 모형의 구조 및 구축방법론에 구체적으로 반영된다. 즉, 계층적 구조를 설정하고, 설정된 구조를 구성하는 평가요소들에 대하여 상대적 중요도를 측정하며, 이러한 판단이 일관성이 있는지를 검증함으로써 모형의 구축이 완료된다.

AHP는 상호비교, 동질성, 독립성, 기대성의 기본공리에 바탕을 둔다(Vargas, 1990).

이상의 4가지 공리는 AHP가 유지되거나 이론적 또는 실제 이용의 측면에서 타당성을 유지하기 위한 필수 요건이다. 각각의 공리가 위반될 때는 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- ① 공리 1의 위배는 모호한 질문 때문에 의사결정자가 질문을 이해하지 못하는 경우에 발생한다.
- ② 공리 2가 만족되지 못한다면 비교 기준이 동질적이지 못하므로 쌍대비교가 성립할 수 없다.
- ③ 공리 3은 판단기준의 가중치가 고려되는 대안들과 독립적이어야 한다는 것을 의미한다.
- ④ 공리 4가 만족되지 않으면 의사결정자는 자신의 합

리적 기대를 맞추는 데 필요한 모든 대안이나 모든 판단기준을 사용하지 않는 것이다.

AHP기법을 이용해 최적의 대안을 선정하기 위한 분석 과정은 일반적으로 브레인스토밍 단계, 계층구조의 설계, 가중치 설정, 측정단계, 검토단계로 진행된다.

## 2.2 계층구조의 설정 및 가중치

시스템 계층구조의 설정을 위해 요소를 설정, 군집화, 배열화 하며, 수준에 따라 나열하게 된다. 이들 수준은 최상위 수준을 문제의 궁극적인 목표인 제 1수준, 제 2수준은 제 1수준에 영향을 미치는 세부평가기준을 나타내고 이러한 반복과정을 통해서 문제의 속성을 계층적으로 분해해 간다. AHP에서는 이와같이 수준 단계를 계층적으로 세분화하여 계층을 설정할 수 있다.

가중치 산정을 위하여 전문가들에게 평가항목간 상대적 중요도 또는 선호도를 나타내는 쌍대비교 형태의 설문을 실시한다. 쌍대비교 과정에는 평가자의 판단을 어휘적인 표현으로 나타내고 이에 상응하는 적절한 수치를 부여하는 수량화 과정이 포함된다. AHP에서는 쌍대비교를 통한 상대평가를 위해 Miller(1956)의 심리학 실험결과 방법에 따라 9점 척도를 기본형으로 이용하고 있다.

가중치 산정과정에서 각각의 어휘적 판단(Verbal Judgment)은 1, 3, 5, 7, 9와 같은 수치적 판단으로 변환하여 입력 자료로 사용한다.

계층구조에 대한 상대적 가중치의 추정은 쌍대비교를 통한 두 요소간 상대적 중요도의 측정결과를 종합하여 모든 수준을 구성하는 요소를 적용하여 추정한다. 즉, 표 1과 같이 쌍대비교 행렬 A의 작성시  $a_{ij}$ 는 비교하는 판단기준과 구하려는 판단기준과의 비로 나타낸다.

여기서,  $a_{ij} = w_i/w_j$

$a_{ij}$  : i번째 판단기준과 j번째 판단기준과의 비교값

표 1. 쌍대비교방법

	A	B	C	D	E
A	1	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$
B	$a_{21}$	1	$a_{23}$	$a_{24}$	$a_{25}$
C	$a_{31}$	$a_{32}$	1	$a_{34}$	$a_{35}$
D	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	1	$a_{45}$
E	$a_{51}$	$a_{52}$	$a_{53}$	$a_{54}$	1

$w_i$  : 구하려는 판단기준

$w_j$  : 비교하는 판단기준

따라서 행렬 A의 요소  $a_{ij}$ 를  $w_i/w_j$ 로써 치환하고 n개 요소의 가중치  $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ 를 곱하면 다음과 같다.

$$A_w = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

또는 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$(A - nI) \cdot w = 0 \quad (1)$$

이때 n은 공유치  $\lambda$ , w는 고유치  $\lambda$ 에 대한 행렬 A의 고유벡터이며,  $n = \sum \lambda_i$ 는  $\lambda$ 의 특성방정식의 근이다. 만약 0이 아닌 유일한  $\lambda$ 를  $\lambda_{\max}$ (최대고유치)라 하면,  $\lambda_{\max} = n$ ,  $\lambda_i = 0$ 이 된다.

가중치는 쌍대비교 행렬 A와  $\sum w = 1$ 로부터 최대고유치  $\lambda_{\max}$ 와 그에 따른 고유벡터 w를 말한다.

따라서 상대적 가중치 산출 후에는 각각의 평가요소에 대하여 제시된 대안의 상대적 가중치를 산출한 결과를 합성하여 성능척도를 계산하여 가장 큰 값을 갖는 대안을 최적으로 다음 식 (2)와 같이 선정한다.

$$R = \sum_{i=1}^n W_i Z_i(x) \quad (2)$$

여기서, R : 대안의 종합성능

$W_i$  : n가지 속성별 상대적 가중치

$Z_i(x)$ : 각 속성에 따른 대안의 상대적 가중치

이때 최대고유치( $\lambda_{\max}$ )는 쌍대비교 요소의 개수(n)보다 크거나 같기 때문에  $\lambda_{\max}$ 가 n에 근접할수록 쌍대비교행렬 A의 수치들이 일관성을 가지고 있다고 할 수 있으며, 다음의 일관성지수(CI)와 일관성비율(CR)을 통하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{일관성지수 (CI)} &= (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \\ \text{일관성비율 (CR)} &= (CI/RI) \times 100(\%) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, RI : 난수지수(Random Index)

n이 1에서 10까지 변화할 때의 난수지수는 표 2와 같으며, 경험법칙에 의하여 위 식에서 구한 일관성 비율이 10%이내에 들 경우, 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 규정한다.

### 3. 공법적용을 위한 계층구조의 설정 및 자료분석

사면안정공법 선정시 고려해야 할 사안들과 일반적으로 적용되고 있는 보강공법들 중 안전을 증가법 위주로, 실제 현장에서 주로 적용되고 있는 공법들로 계층을 구조화하면 그림 2와 같다.

그림 2의 계층구조 1단계는 경제성, 시공성, 유지관리 용이성, 안전성 및 내구성, 환경성을 고려하였고 계층구조 2단계는 사면안전을 증가법 중 절토, 압성토, 콘크리트옹벽, 보강토옹벽, 역지말뚝, Anchor, Soil Nailing, FRP 보강 Grouting을 적용하였다.

또한 본 연구의 신뢰도 향상을 위해 연구소, 시공 및 설계사의 경력자를 대상으로 조사하였으며 분석에 참여한 조사대상자는 기술경력 10년 이상이 59%로 가장 높았고, 종사업종은 연구소 44%, 시공사 28%, 설계사 28%, 학력은 박사 22%, 석사 39%, 학사 22%로 전반적으로 고른 분포를 나타내 결과의 신뢰도에 만족할만한 수준이라고 사료된다.

### 4. 분석결과

#### 4.1 평가요소별 가중치

그림 3은 보강공법 선정시 고려해야 할 사안들에 대한

표 2. 난수지수

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
난수 지수	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

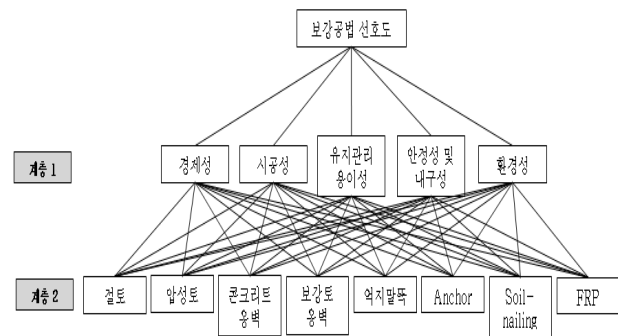
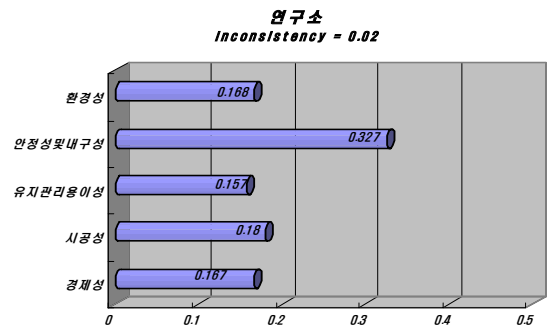


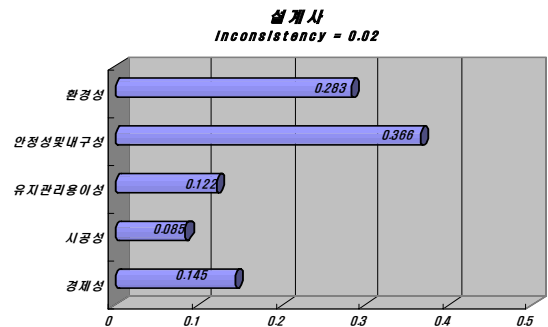
그림 2. 평가항목의 계층구조화

가중치를 각 직종별로 분석한 결과이다. 모든 조사결과와 일관성 비율은 0.01~0.02(1~2%)로 AHP기법에서 제안한 10%이내에 모두 만족하였으며, 공통적으로 모든 분야의 전문가들은 안정성 및 내구성을 가장 주요한 평가요소라고 판단하였다.

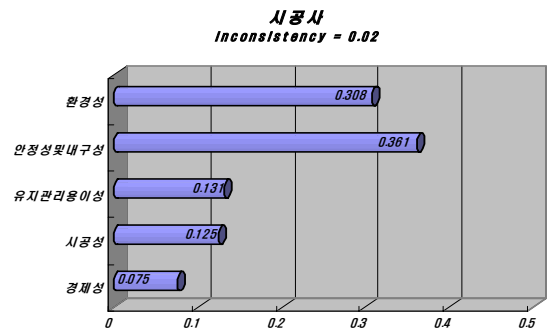
연구소 전문가들은 안전성 및 내구성 이외의 나머지 항목들에 대해 비슷한 가중치를 부여하였고, 설계사 및 시공업 전문가들은 안전성 및 내구성, 환경적 영향에 전체 비중의 50%이상, 다음으로 유지관리 용이성, 각각의 업무 특성상 시공성과 경제성을 각각 중요항목으로 평가하였다.



(a) 연구소



(b) 설계사



(c) 시공사

그림 3. 평가요소별 가중치(업종별)

그림 4와 표 3은 모든 전문가 의견을 통합하여 분석한 것으로 모든 의견을 종합했을 때 안전성 및 내구성, 환경성, 유지관리 용이성, 시공성, 경제성 순으로 가중치가 결정되었다.

#### 4.2 절토사면 보강공법 선호도

표 4~표 8은 절토사면 보강공법의 전문가 선호도 분석 결과를 나타낸 것으로 8개 대상 공법 중 보강토옹벽이 가장 큰 선호도를 나타냈다. 이 결과는 평가 요소별 가중치가 가장 높은 안전성 및 내구성과 환경성에서 우수한 점수를 얻은 결과로 그림 4의 평가요소별 가중치 결정 과정에서의 의사가 반영된 것으로 판단된다. 콘크리트 옹벽은 내구성 및 안정성, 유지관리 용이성에서 높은 평가를 얻었으며, 경제성, 시공성에서 상대적으로 높은 평가를 받은 압성토와 절취, Anchor, 공법의 메커니즘이 유사한 FRP와 Soil Nailing 공법 순으로 선호도 조사가 이루어졌다. 역지말뚝 공법은 환경성과 내구성 및 안정성에서 비교적 우수한 평가를 받았으나 그 외의 평가요소에서 낮은 평가를 받아 상대적으로 선호도가 가장 낮은 공법으로 조사되었다. 그림 5와 그림 6은 공법별 선호도 및 각 공법의 평가요소별 비중을 도식화 한 그림이다.

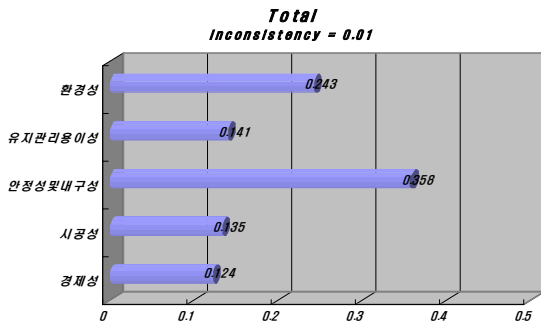


그림 4. 평가요소별 가중치(총합)

표 3. 평가요소에 대한 가중치(총합)

	A	B	C	D	E	가중치
A	1.0	1/1.1	1/0.74	1/0.4	1/0.5	0.124
B	1.1	1.0	1.1	1/0.4	1/0.6	0.135
C	0.7	1/1.1	1.00	1/0.4	1/0.6	0.141
D	0.4	0.4	0.4	1.00	1.4	0.358
E	0.5	0.6	0.6	1/1.4	1.0	0.243

A : 경제성, B : 시공성, C : 유지관리용이성,  
D : 안전성 및 내구성, E : 환경성

표 4. 경제성에 대한 공법별 상대적 가중치

	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치
A	1.0	4.2	4.1	3.9	1.6	2.4	1.9	3.8	0.282
B		1.0	1.7	1.7	0.4	1.5	1.1	2.2	0.111
C			1.0	0.7	0.3	0.9	0.9	1.5	0.072
D				1.0	0.3	0.8	0.7	1.2	0.073
E					1.0	1.5	1.3	1.9	0.19
F						1.0	0.7	0.7	0.086
G							1.0	2.2	0.117
H								1.0	0.069

A : 절취, B : Soil-Nailing, C : Anchor, D : 역지말뚝  
E : 압성토, F : 콘크리트옹벽, G : 보강토옹벽, H : FRP보강 그라우팅

표 5. 시공성에 대한 공법별 상대적 가중치

	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치
A	1.0	2.3	2.8	3.6	1.8	2.9	1.6	2.0	0.239
B		1.0	1.9	2.0	0.4	2.0	1.6	1.5	0.138
C			1.0	1.6	0.6	0.8	0.6	1.3	0.086
D				1.0	0.3	0.5	0.5	0.8	0.058
E					1.0	1.0	0.8	1.5	0.155
F						1.0	0.8	0.9	0.1
G							1.0	2.3	0.138
H								1.0	0.086

A : 절취, B : Soil-Nailing, C : Anchor, D : 역지말뚝  
E : 압성토, F : 콘크리트옹벽, G : 보강토옹벽, H : FRP보강 그라우팅

표 6. 유지관리 용이성에 대한 공법별 상대적 가중치

	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치
A	1.0	1.2	1.1	1.2	0.8	0.6	0.5	0.8	0.101
B		1.0	0.9	1.5	0.5	0.5	0.4	1.2	0.091
C			1.0	1.6	0.6	0.4	0.4	1.1	0.096
D				1.0	0.6	0.4	0.4	0.7	0.073
E					1.0	0.5	0.5	1.2	0.128
F						1.0	0.8	1.5	0.193
G							1.0	1.8	0.213
H								1.0	0.105

A : 절취, B : Soil-Nailing, C : Anchor, D : 역지말뚝  
E : 압성토, F : 콘크리트옹벽, G : 보강토옹벽, H : FRP보강 그라우팅

표 7. 안전성 및 내구성에 대한 공법별 상대적 가중치

	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치
A	1.0	1.4	1.4	1.2	1.4	0.7	0.7	1.3	0.129
B		1.0	0.5	0.6	0.8	0.4	0.4	0.6	0.071
C			1.0	1.2	0.8	0.6	0.5	0.6	0.098
D				1.0	0.9	0.5	0.5	0.5	0.092
E					1.0	0.4	0.4	0.9	0.096
F						1	1.7	1.3	0.202
G							1.0	1.4	0.181
H								1.0	0.131

A : 절취, B : Soil-Nailing, C : Anchor, D : 역지말뚝  
E : 압성토, F : 콘크리트옹벽, G : 보강토옹벽, H : FRP보강 그라우팅

표 8. 환경성에 대한 공법별 상대적 가중치

	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치
A	1.0	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.4	0.4	0.061
B		1.0	0.7	1.5	0.8	1.8	0.7	1.2	0.141
C			1.0	1.6	0.8	1.6	1.1	1.0	0.157
D				1.0	0.9	1.7	0.6	0.9	0.116
E					1.0	1.6	1.3	1.0	0.147
F						1.0	0.5	0.6	0.081
G							1.0	1.4	0.163
H								1.0	0.134

A : 절취, B : Soil-Nailing, C : Anchor, D : 억지말뚝  
 E : 압성토, F : 콘크리트옹벽, G : 보강토옹벽, H : FRP보강 그라우팅

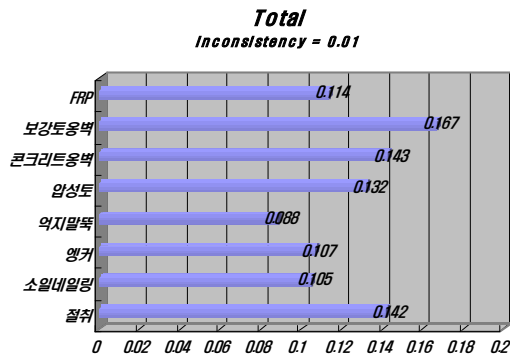


그림 5. 공법별 가중치(전체)

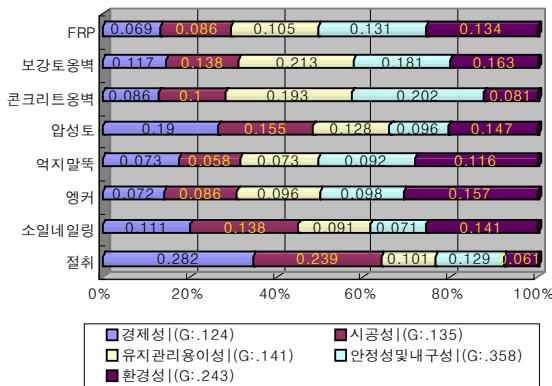


그림 6. 공법별 평가요소 비중

## 5. 결론

최근 많이 발생하고 있는 사면의 붕괴를 억제하는 많은 대책공법들에 대하여 보다 합리적인 공법의 선정을 위해 영향요소 즉, 경제성, 시공성, 안정성, 내구성, 환경성 등을 고려하였다. 의사결정기법으로 AHP기법을 이용하여 절토사면 공법선정시 고려해야할 제반여건들에 대한 가중치 결정과 각 분야별 전문가들의 사면보강공법 선호도를 분

석하였다. 일관성 측정결과가 0.01~0.02(1~2%)로 AHP기법에서 제안한 허용치 10% 이내로 신뢰성 있는 조사결과라 판단되며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공법선택시 고려해야할 항목에 대한 가중치 중 안정성 및 내구성이 가장 중요한 평가요소로 분석되었으며, 안정성 및 내구성, 환경성이 공법선택시 전체 비중의 50%이상을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 설계 및 시공업무에 종사하는 전문가들은 경제성과 시공성을 다음으로 중요한 인자라고 판단하였는데 이는 각각의 업무특성을 반영한 결과를 보여준 것이라 판단된다.
- (2) 안전을 증가법 위주로 조사된 절토사면 보강공법에 대한 선호도 조사에서 옹벽공과 절취공법이 가장 선호도가 높은 공법으로 조사되었으며, 이는 평가요소 중 안정성 및 내구성, 유지관리 용이성, 경제성에서 상기 공법들의 우수한 특징이 조사결과에 크게 반영된 것으로 판단된다.
- (3) 평가요소별 가중치 조사결과에서 환경성에 대한 항목이 평가요소 중 제 2 중요인자로 조사되었으나, 실제 공법선택시 환경성에 대한 고려가 미흡하게 나타났다. 이는 이상적인 판단과 현실에서의 판단에서 큰 차이점이 존재한다는 것을 의미하며, 현실적인 판단에서는 경제성, 유지관리 용이성, 안정성 및 내구성이 공법선택의 중요인자로 작용하는 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 안장원, 김용수, 김수삼 (2001), "AHP기법과 LCC개념을 이용한 교량상부구조 형식의 선정방법에 관한 사례연구", *대한토목학회 논문집*, Vol.21, No.5-D, pp.673-681.
2. 이철규 (2000), *퍼지 및 유전 알고리즘에 의한 교량 시설물의 적정 유지관리 방법*, 박사학위논문, 중앙대학교.
3. 조근태, 조용곤, 강현수 (2005), *앞서가는 리더들을 위한 계층분석적 의사결정*, 형설출판사, 서울.
4. 한중근 (1997), *억지말뚝을 이용한 사면의 안정해석 및 설계*, 박사학위논문, 중앙대학교.
5. Miller, G. A. (1956), "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits On Our Capacity for Processing Information", *Psychological Rev.*, Vol.63.
6. Vargas, L. G. (1990), "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications", *European Journal of Operational Research*, 48, pp.2-8.
7. Saaty, T. L. (1995), "Decision Making for Leaders (AHP series)", *RWS Publications*, Vol.3.

(논문접수일 2007. 5. 14, 심사완료일 2007. 5. 29)