

## **낙석·산사태 방지를 위한 계측기기의 우선순위 선정 연구** **Study on Priority of Measuring Instrument for Rockfall and Landslide Prevention**

김용수<sup>1)</sup>, YongSoo Kim, 정수정<sup>2)</sup>, SooJung Jung

<sup>1)</sup> 한국시설안전기술공단 시설안전네트워크연구단 팀장, Team Chief, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>2)</sup> 한국시설안전기술공단 시설안전네트워크연구단 연구원, Researcher, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

**SYNOPSIS :** In this study, the analysis to the preference level on slope measuring instrument of weight values on effect factors find out the reasonable monitoring on slope was performed, in which used AHP(Analytic Hierarchy Process) techniques. The results on professional group, such as the industry, academic, institute and government, analyzed that the very important effect factors, which were indicator of various collapse type, convenience of instrument management, The evaluation of preference level on the slope measuring instrument analyzed the invar wire extensometer which was high level at convenience of install, economical efficiency of install and convenience of instrument management.

**Key words :** priority, analytic hierarchy process, pairwise comparison, measuring instrument

### **1. 서론**

낙석 및 산사태 방지를 위한 사면계측은 붕괴에 이르는 전조현상인 초기 변형현상을 파악하고 이를 바탕으로 적절한 대책을 취하므로써 사면의 붕괴를 미연에 방지하거나 또는 붕괴에 의한 피해를 최소화하여 억제하는 것을 기본적인 목적으로 실시한다. 따라서 사면의 변상상황, 붕괴형태, 현장 조건 등을 충분히 검토한 다음 그에 적합한 계측기기를 선정하여 전문가의 지도 아래 알맞은 위치에 설치한다. 그러나 이러한 현장상황에 적합한 계측기의 선정 및 배치는 다분히 엔지니어의 판단에 의해 주관적으로 판단되고 있는 것이 현실이다. 또한 사면붕괴 가능성이 잠재적으로 존재하거나 붕괴 징후가 명확하지 않은 사면을 대상으로 계측기를 설치하거나 예산상의 문제로 주요 몇 개소에만 계측기를 적용해야 할 경우, 우선적으로 현장에 설치되어야 할 계측기의 중요도 선별이 정량적으로 되어 있지 않은 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 계측기의 선정에 있어서 주관적이고 정성적인 기준들을 종합하여 정량적인 수치로 표현할 수 있는 보다 객관적이고 합리적인 기법의 적용이 필요하다.

이러한 방법으로 다속성 의사결정(Multi-attribute Decision Making)방법을 예로 들 수 있으며, 다속성 의사결정기법으로는 목표계획법(Goal Programmin), 효용함수(Utility Function), 계층화분석기법(Analytic Hierarchy Process; AHP)과 최근에는 Fuzzy를 이용한 방법과 전문적 System 및 Genetic 알고리즘을 이용한 방법 등이 있으며(안장원 외, 2001; 이철규, 2000) 이 중 타 분야 전문가의 협력과정에 따른 의사결정 방법으로 개발된 방법이 AHP기법이다(조근태 외, 2005).

본 연구에서는 낙석 및 산사태 방지를 위해 사면의 계측관리시스템을 구축할 경우 현장에 우선적으로 설치할 계측기의 선호도를 도출하고자 한다. 이를 위하여 일반적인 사면의 변형 및 붕괴유형을 분류하

고 각각의 붕괴유형에 대하여 사전 예·검지가 가능한 센서들의 종류를 조사한 후 계측기 선정시 고려해야 할 사항 및 가중치를 부여하기 위한 기준항목들을 결정하였다. 또한 이와 같은 내용을 바탕으로 사면·계측·IT 등 각 분야의 전문가들을 통한 설문조사를 실시하고 그 설문결과를 근거로 한 AHP(Analytic Hierarchy Process)분석을 통해 센서적용의 우선순위를 결정하였다.

## 2. AHP 이론

### 2.1 기본개념

1970년대 초반 T. Saaty에 의하여 개발된 계층분석적 의사결정방법(Analytic Hierarchy Process: AHP)은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(pairwise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 하나의 새로운 의사결정방법론이다. AHP는 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 말미암아 여러 의사결정분야에서 널리 응용되어 왔으며, 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다(조근태 외, 2005).

AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 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 있다. 그 적용분야에 있어서도 공공부문 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(한중근 외, 2007).

### 2.2 원리 및 조건

AHP는 다음과 같은 4가지 공리(axioms)에 의하여 적용을 위한 이론적 배경을 마련하고 있으며 이상의 4가지 공리는 AHP가 유지되거나 이론적 또는 실제 이용의 측면에서 타당성을 유지하기 위한 필수 조건이다.

- ① 역수성(reciprocal) : 의사결정자는 동일한 계층 내에 있는 2개의 요인을 짝지어 비교할 수 있어야만 하고, 그 선호의 강도를 표현할 수 있어야 한다. 이러한 선호의 강도는 역수조건을 만족시켜야 한다. 예를 들어, A가 B보다 x배 중요시된다고 하면 B는 A보다  $1/x$ 배 중요하다는 의미가 된다.
- ② 동질성(homogeneity) : 중요도는 제한된 범위 내에서 정해진 척도(bounded scale)에 의하여 표현한다.
- ③ 종속성(dependency) : 한 계층의 요소들은 인접한 상위계층의 요소에 대하여 종속적이어야 한다. 그러나, 상위계층의 모든 요소에 대하여 인접한 하위계층 내의 모든 요소들 간에 독립성이 확보되어야 하는 것은 아니다.
- ④ 기대성(expectations) : 의사결정의 목적에 관한 사항을 계층이 완전하게 포함하고 있다고 가정한다.

### 2.3 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 세부평

가기준을 나타내고 이러한 반복과정을 통해서 문제의 속성을 계층적으로 분화해 간다. AHP에서는 이와 같이 수준 단계를 계층적으로 세분화하여 계층을 설정할 수 있다.

가중치 산정을 위하여 전문가들에게 평가항목간 상대적 중요도 또는 선호도를 나타내는 쌍대비교 형태의 설문은 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 실험결과와 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.

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

여기서,  $a_{ij} = w_i/w_j$

$a_{ij}$  :  $i$ 번째 판단기준과  $j$ 번째 판단기준과의 비교값

$w_i$  : 구하려는 판단기준

$w_j$  : 비교하는 판단기준

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

$$A_w = \begin{vmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ & \vdots & \vdots & \vdots & \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{vmatrix} \quad (1)$$

또는 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$(A - nI) \cdot w = 0 \quad (2)$$

이 때  $n$ 은 공유치  $\lambda$ ,  $w$ 는 고유치  $\lambda$ 에 대한 행렬 A의 고유벡터이며,  $n = \sum \lambda I$ 은  $\lambda$ 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  $w$ 를 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(3)와 같이 선정한다.

$$R = \sum_{i=1}^n W_i Z_i(x) \quad (3)$$

여기서, R : 대안의 종합성능  
 $W_i$  : n가지 속성별 상대적 가중치  
 $Z_1(x)$  : 각 속성에 따른 대안의 상대적 가중치

이 때 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.

$$CI(\text{일관성지수}) = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

$$CR(\text{일관성비율}) = (CI / RI) \times 100(\%) \quad (5)$$

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.

표 2. 난수지수

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

### 3. 계층구조의 설정 및 자료 분석

#### 3.1 계층구조

일반적인 사면의 변형 및 붕괴유형에 대하여 낙석, 썩기파괴, 평면파괴, 전도파괴, 세굴(침식), 표층유실, 활동파괴 7가지로 분류하고 각각의 유형에 따른 발생빈도를 조사하였다. 그 결과, 가장 발생빈도가 적은 전도파괴의 경우와 사면의 안전성에 직접적인 위해요소로 작용하는 것이 아니라 단지 시각적인 불안정감과 유지관리상의 번거로움을 주는 단계인 세굴(침식) 및 표층유실을 제외한 나머지 붕괴유형(낙석, 썩기파괴, 평면파괴, 원호활동파괴)를 대상으로 진조현상 측정이 가능한 계측기를 위주로 계층을 구조화 하였다(그림 1 참조).

그림 1에서 나타낸 바와 같이 계층구조 1단계는 계측기 선정시 고려해야 할 사항 및 가중치를 주기 위한 기준항목으로서 다양한 붕괴유형에 대한 검지, 설치상의 용이성, 설치비용상의 경제성, 계측기 유지관리 용이성을 고려하였으며 계층구조 2단계인 대상 계측기는 지표면신축계, 지반경사계, 지중신축계, 지중경사계, 파이프변형률계를 적용하였다.

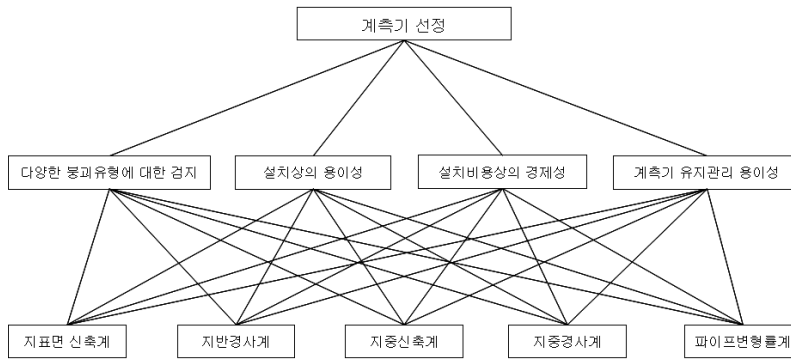


그림 1. 계측기 선정을 위한 의사결정계층구조

### 3.2 응답자 분류

본 연구에서는 분석 결과의 신뢰도 향상을 위해 산, 학, 연, 관에 종사하는 다양한 응답자 그룹을 대상으로 연구소, 시공 및 설계, 관리직의 건설전문가와 계측전문가, IT 전문가를 대상으로 실시하였다. 전체 응답자 중 건설전문가가 전체 답변자의 67%이며, 이 중 연구직 종사자가 38%로서 가장 높은 분포를 나타냈다(그림 2, 그림 3 참조). 또한 분석에 참여한 응답자의 기술경력은 10~20년이 전체의 42%로 가장 높았으며 20년 이상 21%, 5~10년이 29%의 비율로 전반적으로 고른 분포를 나타냈으며 본 연구에 활용된 모든 설문데이터는 일관성 비율이 0.1(10%)을 초과하는 답변을 제외하여 AHP기법에서 제안한 10% 이내에 모두 만족하는 답변서만을 토대로 분석되었으므로 결과의 신뢰도가 만족할만한 수준이라고 사료된다.

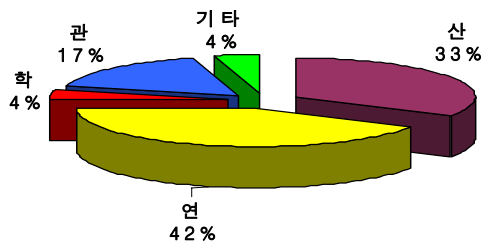


그림 2. 응답자 그룹

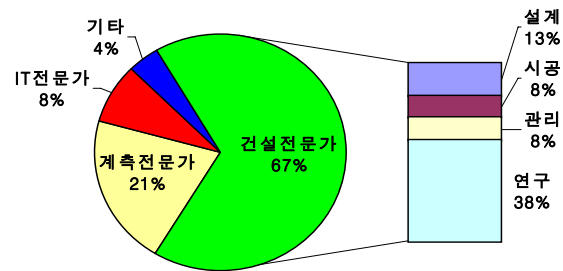


그림 3. 응답자 전문 분야

## 4. 분석결과

### 4.1 평가요소별 가중치

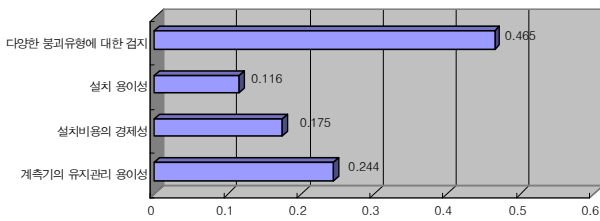
그림 4는 계측기 선정시 고려해야 할 사안들에 대한 가중치를 각 응답자 그룹별(산, 학, 연, 관)로 분류하여 분석한 결과이다. 모든 조사결과의 일관성 비율은 0.01(1%) 이내로 AHP기법에서 제안한 10% 이내에 모두 만족하였으며, 각 분야별 전문가들은 평가요소에 따른 중요도를 상이하게 판단하였다. 산업계와 관공서 분야의 전문가들은 계측기 선호도 평가요소 중 다양한 붕괴유형에 대한 검지가 가장 중요한 요소로 판단하였으며 학계와 연구소에서는 주로 계측기의 유지관리 용이성 및 설치비용의 경제성을 중요한 평가요소로 높은 점수를 부여하였다. 표 3과 그림 5는 모든 전문가 의견을 통합하여 분석한 것으로 모든 의견을 종합하였을 때 다양한 붕괴유형에 대한 검지, 계측기의 유지관리 용이성, 설치비용상

의 경제성, 설치상의 용이성 순으로 가중치가 결정되었으며 이 중 다양한 붕괴유형에 대한 검지와 계측기의 유지관리 용이성에 대한 가중치는 거의 유사한 값을 나타냈으며 설치용이성 및 설치비용의 경제성은 상대적으로 다소 적은 비중의 평가요인으로 결정되었다.

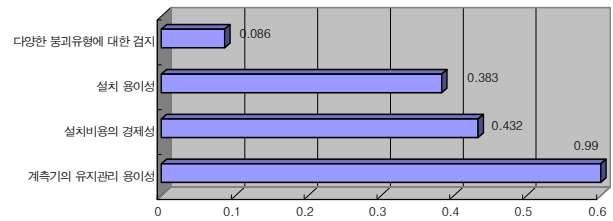
표 3. 평가요소에 대한 가중치(전체)

	A	B	C	D	가중치
A	1.0	2.126	1.709	1.040	0.332
B		1.0	1/1.298	1/2.060	0.154
C			1.0	1/1.549	0.199
D				1.0	0.315

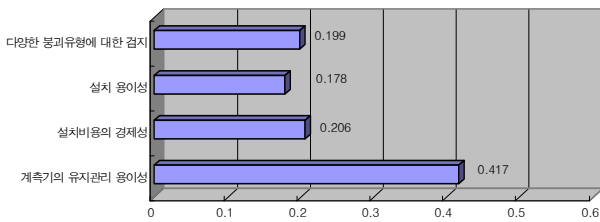
A : 다양한 붕괴유형에 대한 검지  
 B : 설치상의 용이성  
 C : 설치비용상의 경제성  
 D : 계측기의 유지관리 용이성



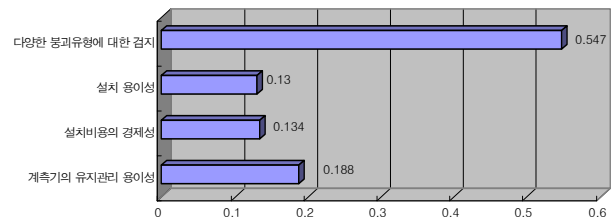
(a) 평가요소별 가중치(산업체)



(b) 평가요소별 가중치(학계)



(c) 평가요소별 가중치(연구소)



(d) 평가요소별 가중치(관공서)

그림 4. 평가요소별 가중치(응답자 그룹별)

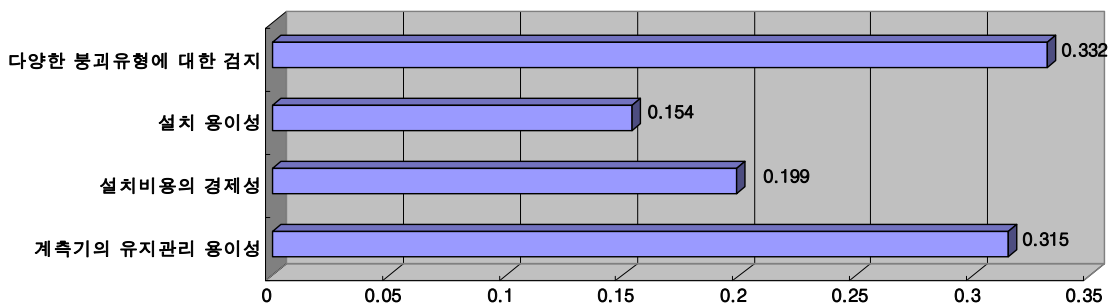


그림 5. 평가요소별 가중치(전체)

## 4.2 계측기별 선호도

표 4 ~ 표 7은 평가요소별 계측기의 선호도 분석결과를 나타낸 것으로서 이를 종합적으로 평가해 볼 때, 5가지 계측기 중 지표면신축계가 가장 큰 선호도를 나타냈다(표 8, 그림 6 참조). 이 결과는 표 4에서 나타내는 평가요소별 가중치가 가장 높은 다양한 붕괴유형에 대한 검지에서 가중치 점수결과와는 다소 상반되는 결과이나, 다양한 붕괴유형을 제외한 그 밖의 설치상의 용이성 및 설치비용상의 경제성, 계측기의 유지관리 용이성에서 모두 가장 높은 평가를 얻은 결과가 반영된 것이다(표 5 ~ 표 7 참조). 지중경사계는 다양한 붕괴유형에 대한 검지에서 월등히 우수한 평가를 받았으나 다른 평가요소에서 비교적 적은 점수를 받았으며 설치상의 용이성 및 설치상의 경제성, 계측기 유지관리 용이성에서 상대적으로 높은 평가를 얻었던 지반경사계의 경우 가중치가 가장 높은 평가요소인 다양한 붕괴유형에 대한 검지에서 낮은 평가를 받아 종합적으로 큰 가중치를 얻지 못하였다. 또한 지중신축계와 파이프변형률계의 경우 각각의 평가요소에서 전반적으로 모두 낮은 평가를 받아 상대적으로 선호도가 낮은 계측기로 결정되었다. 그림 5와 그림 6은 계측기별 선호도 및 각 계측기의 평가요소별 비중을 도식화한 그림이다.

표 4. 다양한 붕괴유형에 대한 검지에 대한 계측기별 상대적 가중치

	E	F	G	H	I	가중치
E	1	1.254	1/1.088	1/1.775	1/1.029	0.174
F		1	1/1.312	1/2.290	1/1.124	0.143
G			1	1/2.067	1.119	0.181
H				1	2.023	0.336
I					1	0.166

E : 지표면신축계  
 F : 지반경사계  
 G : 지중신축계  
 H : 지중경사계  
 I : 파이프변형률계

표 5. 설치상의 용이성에 대한 계측기별 상대적 가중치

	E	F	G	H	I	가중치
E	1	1.505	2.298	1.961	2.305	0.323
F		1	2.249	1.505	2.009	0.252
G			1	1/1.407	1.073	0.127
H				1	1.397	0.171
I					1	0.126

E : 지표면신축계  
 F : 지반경사계  
 G : 지중신축계  
 H : 지중경사계  
 I : 파이프변형률계

표 6. 설치상의 경제성에 대한 계측기별 상대적 가중치

	E	F	G	H	I	가중치
E	1	1.489	2.256	2.769	2.242	0.348
F		1	1.733	1.783	1.751	0.239
G			1	1/1.025	1/1.160	0.132
H				1	1.073	0.137
I					1	0.143

E : 지표면신축계  
 F : 지반경사계  
 G : 지중신축계  
 H : 지중경사계  
 I : 파이프변형률계

표 7. 계측기의 유지관리 용이성에 대한 계측기별 상대적 가중치

	E	F	G	H	I	가중치
E	1	1.184	1.570	1.349	2.081	0.270
F		1	1.453	1.505	1.776	0.246
G			1	1/1.073	1.172	0.167
H				1	1.378	0.182
I					1	0.135

E : 지표면신축계  
 F : 지반경사계  
 G : 지중신축계  
 H : 지중경사계  
 I : 파이프변형률계

표 8. 계측기별 상대적 가중치(전체)

	E	F	G	H	I	가중치
E	1	1.184	1.570	1.349	2.081	0.262
F		1	1.453	1.505	1.776	0.211
G			1	1/1.073	1.172	0.159
H				1	1.378	0.222
I					1	0.146

E : 지표면신축계  
 F : 지반경사계  
 G : 지중신축계  
 H : 지중경사계  
 I : 파이프변형률계

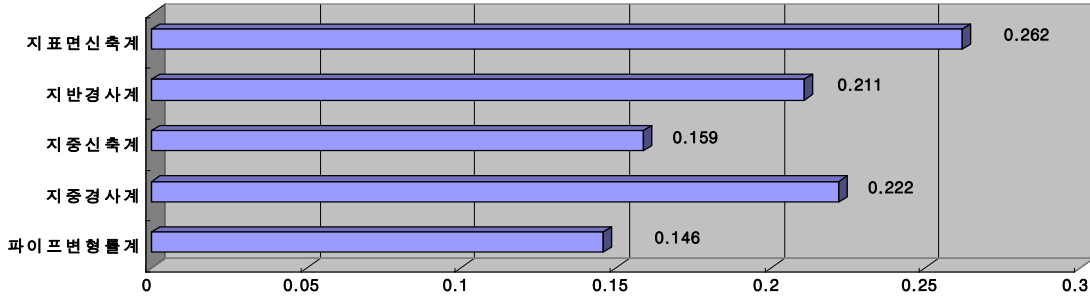


그림 6. 계측기별 가중치(전체)

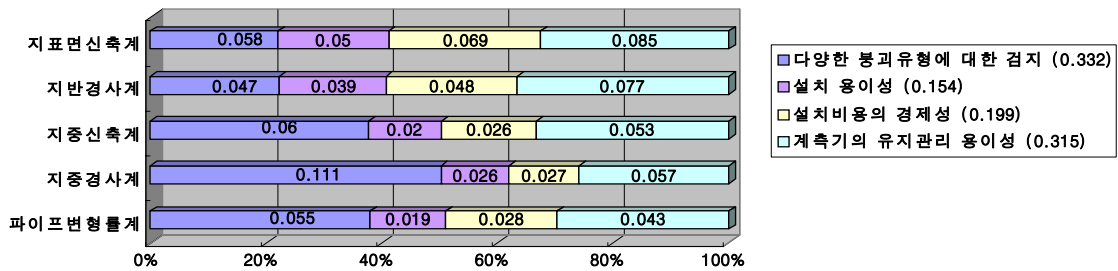


그림 7. 계측기별 평가요소 비중

## 5. 결론

최근 사면 분야에서는 계측을 이용한 유지관리로 사면붕괴를 사전에 검지하고 피해를 최소화하기 위하여 자동화 예·검지 시스템을 많이 적용하고 있는 실정이다. 그러나 실질적으로 이에 대한 인식부족과 유지관리에 따른 비용부담 때문에 현장상황에 적합한 계측기 종류의 선정 및 배치는 다분히 엔지니어의 판단에 의해 주관적으로 판단되고 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 사면의 붕괴유형별 예·검지가 가능한 센서들의 종류를 조사한 후 계측기 선정시 평가요소를 결정한 후, 건설·계측·IT 등 각 분야의 전문가들을 통한 설문조사를 실시하고 그 설문결과를 근거로 한 AHP(Analytic Hierarchy Process)분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 사면의 유지관리를 위해 현장에 설치할 계측기를 선정시 고려해야 하는 항목에 대한 가중치 중 다양한 붕괴유형에 대한 검지, 계측기의 유지관리 용이성에 대한 가중치가 거의 유사하게 높게 나타났으며 설치비용상의 경제성과 설치상의 용이성은 상대적으로 다소 적은 비중의 평가요인으로 조사되었다. 산업계와 관공서 분야의 전문가들은 계측기 선호도 평가요소 중 다양한 붕괴유형에 대한 검지가 가장 중요한 요소로 판단하였으며 학계와 연구소에서는 주로 계측기의 유지관리 용이성 및 설치비용의 경제성을 중요한 평가요소로 높은 점수를 부여하였다.



- (2) 낙석, 켜기파괴, 평면파괴, 원호활동파괴를 대상으로 전조현상 측정이 가능한 계측기를 위주로 5가지 계측기에 대한 선호도 조사결과, 다양한 붕괴유형에 대한 검지 요소를 제외한 나머지 평가요소에서 모두 높은 점수를 얻은 지표면신축계가 가장 높은 가중치를 나타냈으며 전반적으로 모두 낮은 평가를 받은 지중신축계와 파이프변형률계가 상대적으로 선호도가 낮은 계측기로 평가되었다.
- (3) 평가요소별 가중치 조사결과에서 계측기 종류의 선호도에 있어서, 설치 용이성과 설치비용의 경제성과 같은 설치, 시공상의 요소보다는 다양한 붕괴유형에 대한 검지와 계측기의 유지관리 용이성과 같은 기능 및 성능적인 요소를 크게 중요인자로 인식하고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역기술 혁신사업의 일환인 '낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발 (05 지역특성 B02-01)'의 연구비로 수행되었습니다.

## 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 유지관리방법, 박사학위논문, 중앙대학교
3. 조근태, 조용근, 강현수(2005), 앞서가는 리더들을 위한 계층분석적 의사결정, 형설출판사, 서울
4. 한중근, 이종영, 최풍곤(2007), "영향인자를 고려한 절토사면 보강공법 선정기법", 토목섬유학회 논문집, Vol.6, No.2, pp.27-32
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