

## 절토사면의 객관적인 상태평가 연구

### Objective Evaluation method for the Condition of Cut-slope

장현식 Hyun-Shic Jang, 박혁진 Hyuck-Jin Park, 장범수 Bhum-Soo Chang

한국시설안전기술공단 기술개발실 Korea Infrastructure Safety&Technology Corp.

**SYNOPSIS** : Since the cut slope has been big concern due to frequent failures, the government decided to include cut slopes in the "Act for Safety Control of Public Structures". Based on the Act, the cut slope whose height is over 50m and length is over 200m should be inspected on the regular basis. According to the Act, KISTEC developed the objective evaluation method for the condition of cut slope. The evaluation method is divided into two categories: evaluation for damaged condition and evaluation for failure affecting factor. Based on the evaluation results, the cut slope is graded from A to E. In this study, the process to evaluate the cut slope condition and the evaluation criteria to divide the grade of cut slope are introduced.

**Key words** : cut slope, objective evaluation, evaluation for condition, safety evaluation.

## 1. 서 론

최근 산업의 발달과 국가 기반시설에 대한 투자 확충으로 인해 토목공사 및 각종 건설공사가 활발히 진행되고 있으며, 안전하고 쾌적한 각종 편의시설의 확충을 위한 목적으로 산지나 구릉의 활용도가 높아지고 있어 많은 수의 절토사면이 형성되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 절토사면의 증가는 사면붕괴에 따른 피해발생 증가라는 부정적인 측면도 갖고 있다.

붕괴 위험 절토사면으로부터 국민의 귀중한 생명과 재산을 보호하기 위해서는 위험 절토사면의 안전성을 확보하기 위한 적극적인 유지관리가 요구된다. 이를 위해서는 절토사면의 붕괴를 유발시키는 원인을 정확하게 규명하고 사면의 안정성을 평가할 수 있는 객관화된 평가기준과 세밀하고 효율적인 평가방법 등의 진단기술 및 평가 결과에 따른 효율적인 보수·보강방안 제시 등이 필요하다.

현재 절토사면에 대한 유지관리체계는 고속도로와 국도변 사면을 중심으로 관리주체에서 자체적으로 연구개발을 수행하고 있으나 아직 연구 단계에 있으며, 그 외의 절토사면의 경우 유지관리체계가 전무한 실정이다. 또한 각 기관에 따라 절토사면의 안정성을 파악하고 사면의 상태를 평가할 수 있는 기준이 달라 통일되고 체계적인 평가기준이 필요한 실정이다. 또한 절토사면에 대한 지속적인 안정성 확보를 위해서는 점검 및 진단기술자로 하여금 일관된 평가가 수행될 수 있도록 객관적이고 정량화된 상태평가 기준을 수립할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 상세외관조사에 따른 객관적이고 정량적인 상태평가 기준 및 기법의 제시 그리고 각종 시험 및 안정성검토에 따른 안정성 상태평가기준을 바탕으로 한 절토사면 전체의 상태등급을 산정하는 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 절토사면의 상태평가 체계

「시설물의안전관리에관한특별법」(이하 특별법) 제13조 및 동법 시행령 제13조에서 위임된 안전점검 및 정밀안전진단의 실시에 관해 필요한 사항을 규정하고 있는 건설교통부 고시 제 1999-409호('99.12.27, '02.9.6 개정) 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침」(이하 지침)에 따르면 「상태평가」란 “노후화

및 결함의 정도를 포함한 시설물의 상태를 평가한 결과"로 정의하고 있으며 시설물 주요구조부에 대한 재료 및 육안검사에서 조사된 상태에 대한 평가를 포함하도록 하고 있다. 책임기술자는 점검·진단결과 각 부재로부터 발견된 결함을 근거로 하여 결함의 범위 및 정도에 따라 A, B, C, D 및 E의 5가지 단계로 상태등급을 부여한다.

절토사면의 경우, 「지침」에 의하여 규모가 높이 50m 이상, 길이 200m 이상이 되는 절토사면을 2중 시설물로 정의하고 정기점검, 안전점검, 긴급점검, 정밀안전진단 등을 정기적 또는 비정기적으로 수행하도록 규정하고 있다. <그림-1>은 「지침」에 따른 절토사면의 안전관리 흐름도이다.

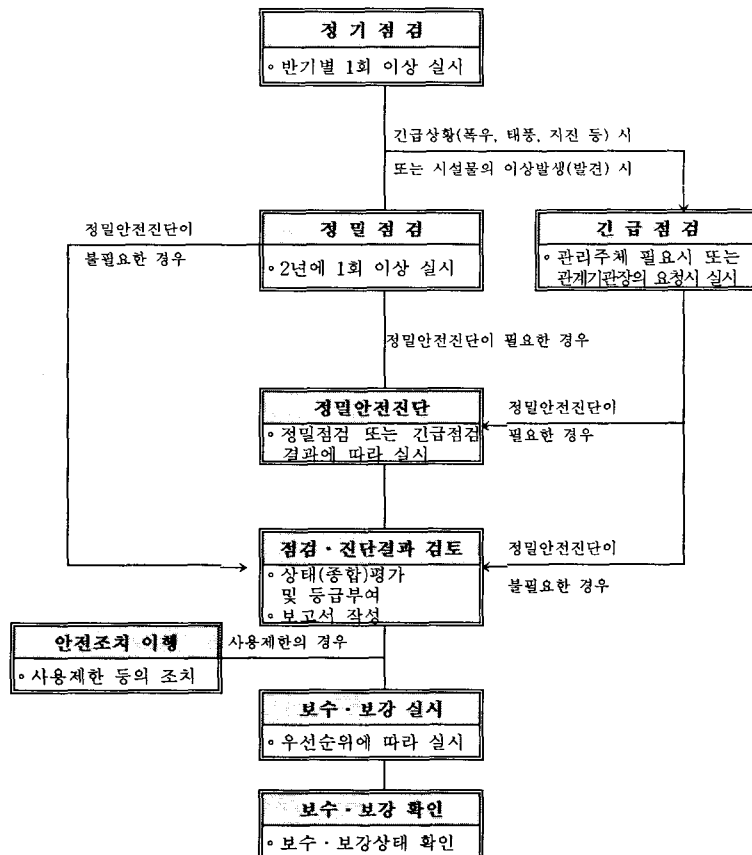
### 3. 절토사면의 분류

국내에 분포하는 다양한 지반 및 지질조건에 따른 사면의 거동 특성 및 파괴 양상에 대한 분석을 통해 절토사면을 토층심도율에 의해 토사사면과 암반사면으로 구분하였으며, 암반사면은 다시 지반 강도특성 및 암반의 블록크기 비에 의해 절리암반사면, 파쇄암반사면, 연약암반사면으로 세분하였다(표-1).

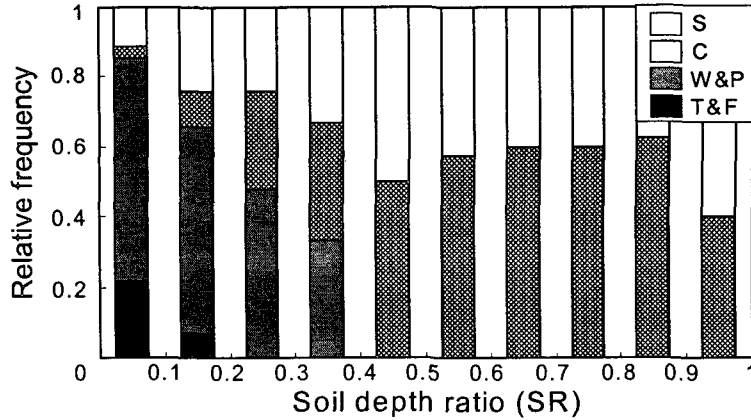
토층심도율(soil depth ratio: SR)은 식 (1)과 같이 토층 심도와 사면 높이의 비로 정의되고 토층심도율은 사면을 토사 사면과 암반 사면으로 구분할 수 있는 지수이다. 토층 심도는 토사층의 두께로서 충적층 또는 풍화 등급상 잔류토(residual soil)와 완전풍화암(completely weathered rock)을 대상으로 측정한다(윤운상, 2002).

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} \quad (1)$$

<그림-2>은 파괴가 발생한 사면에 대하여 토층 심도율과 파괴 유형의 빈도를 도시한 그래프이다. 토층 심도율이 0.4보다 큰 사면에서는 낙석, 썩기 및 평면 파괴 등 단열 구조에 의해 직접적으로 유발된 파괴



<그림-1> 절토사면의 안전관리 흐름도



<그림-2> 토층 심도율과 사면의 파괴 유형과의 관계

S: 표면 파괴, C: 원호 파괴, W&P: 썩기 및 평면 파괴, T&F: 전도 및 낙반

유형이 더 이상 관찰되지 않으며, 대부분의 파괴는 원호 파괴와 표면 파괴에 국한된다. 이러한 양상은 토층 심도율이 0.4보다 큰 사면의 경우에 지반 거동은 연속적 거동이 지배적인 것임을 지시한다. 따라서 토층 심도율은 단일 구조 특성이 파괴의 직접적인 원인이 되는 암반(rock mass)과 그렇지 않은 토상 지반(soil-like mass)으로 구분할 수 있는 기준으로 활용될 수 있다.

암반의 블록크기 비(block size ratio: BR)는 식 (2)와 같이 블록크기 지수(block size index, Ib)와 사면 높이(H)의 비를 말하며, 블록크기 지수는 식 (3)과 같이 각 절리군의 평균 간격(Si)의 산술 평균으로 정의할 수 있다.

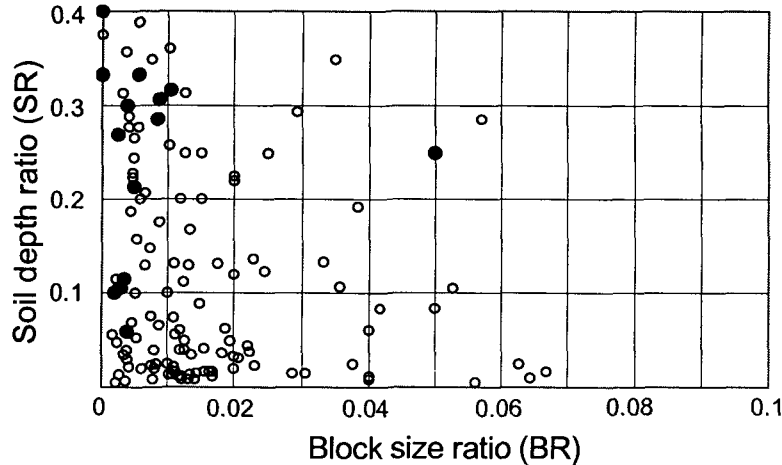
$$BR = \frac{\text{Block size index (Ib)}}{\text{Slope height (H)}} \quad (2)$$

$$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3} \quad (3)$$

<그림-3>는 사면의 파괴 유형을 원호 파괴와 비원호 파괴로 구분하여 토층 심도율과 블록 크기의 비에 대해 도시한 결과이다. 원호 파괴는 사면의 파괴 유형 중 사면 지반의 연속적 거동을 가장 뚜렷이 지시하는 파괴 유형으로 암반 사면의 원호 파괴는 블록 크기의 비가 0.01 이하인 경우에 집중적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 블록 크기의 비가 0.01 이하인 암반 사면의 경우에도 연속적 거동의 가능성이 높음을 지시하는 것이다. 따라서 블록 크기의 비(BR)는 따라 토층 심도율 0.4 이하의 암반 사면을 다시  $BR \leq 0.01$ 의 파쇄암반(highly fractured rock mass)과  $BR > 0.01$ 의 절리암반(jointed rock mass)을 세분하는 기준으로 활용할 수 있다. 또한 블록 크기비가 0.2 이상인 사면은 괴상 암반 사면으로 구분할 수 있으며 사면의 대부분이 낮은 응력 조건하에 있다고 할 때, 괴상 암반의 파괴는 신생대 퇴적암 또는 풍화암 등 연약한 암반(일축압축강도 < 10 MPa)에서 주로 고려되어야 할 것이다. 따라서 사면의 주요 대상이 되는 괴상 암반은 연약암반(incompetent rock mass)으로 분류할 수 있다.

#### 4. 절토사면의 상태평가 항목 및 평가기준

절토사면의 상태평가를 위한 평가항목은 사면의 손상상태와 파괴요인에 대한 평가항목으로 구분할 수 있다. 사면의 손상 상태 평가는 사면에 발생한 붕괴 이력 및 현재 진행 중인 붕괴 징후 또는 손상 상태에 대한 평가로서 사면 상태의 직접적 평가 내용이다. 사면 파괴 요인 조사는 사면에 잠재되어 있는 붕괴 가능성을 진단하기 위하여 실시되는 평가이다. 일반적으로 사면 파괴는 강우, 지형, 지질, 토질 등의 자연적 요인과 절토 및 성토 등 인위적 요인 등 다양한 붕괴 발생 원인을 가진다.



<그림-3> 암반 사면의 블록 크기에 의한 사면 붕괴 특성  
 ● : 원호 파괴, ○: 비원호 파괴

<표-1> 절토사면의 분류

구 분	토층 심도율	압축강도	블록 크기율	주요 파괴유형	비고
토사사면	≥ 0.4	-	-	원호파괴, 표층파괴	
암반 사면	절리암반사면	≥10 MPa	> 0.01	썩기파괴, 평면파괴 전도파괴, 낙석	일반 암반사면
			≤ 0.01	썩기파괴, 평면파괴 원호파괴, 전도파괴	단층 파쇄대 등
	연약암반사면	<10 MPa	-	표면파괴, 원호파괴 평면파괴, 썩기파괴	제3기층 등
토층 심도율이 0.2 ~ 0.4일 경우, 혼합 사면으로 규정하여 토사 사면과 암반 사면의 특성을 모두 고려할 필요가 있음					

#### 4.1 절토사면 손상상태 평가 항목

절토사면의 손상상태 평가항목은 크게 사면의 파괴징후에 관련된 항목과 기 발생된 파괴현황에 관련된 항목으로 나눌 수 있다. 파괴징후는 사면의 손상 및 파괴 가능성과 직접적으로 관련되는 항목으로서, 이러한 상태가 발견되었을 경우 즉각적인 조치가 필요한 항목이다. 파괴징후는 사면 내 또는 상부 자연사면내의 인장균열의 발생과 진전 및 이완 암괴의 파락, 사면 및 인접 구조물의 변형 등과 같은 항목을 통해 파악한다. 파괴현황은 기존에 발생한 파괴현황을 검토함으로써 사면의 지반 불안정성과 지속적인 파괴 발생 가능성을 평가하는 항목으로서 파괴의 규모 및 유형에 대한 항목의 조사가 필요하다. 절토사면의 손상상태 평가항목의 자세한 내용은 <표-2>에 기술하였다.

#### 4.2 절토사면 파괴요인 평가 항목

절토사면의 파괴요인 조사는 사면 파괴의 원인이나 요소로 작용하는 인자들에 대한 조사로서 절토사면 상태에 대한 간접적 평가내용이다. 절취 사면에서의 파괴는 사면 자체의 내부 파괴 요인과 사면의 외부로부터 가해지는 자연적 또는 인위적인 외부 파괴 요인의 결합에 의해 발생한다. 내부 파괴 요인은 사면을 구성하는 재료 특성과 불연속면을 포함하는 지질 구조 특성 등 지반의 조건과 사면의 높이 및 기울기 등 형상 조건이 포함된다.

<표-2> 절토사면의 손상 상태 평가 항목

구분	평가 요소
파괴 징후	- 인장 균열 또는 이완 압곡의 존재와 상태 - 사면 지반의 변형(bulging 등) 현상의 존재와 상태 - 구조물(옹벽 및 측구 등) 또는 인접 구조물(도로 등)의 변형(균열 등) 상태
파괴 현황	- 발생한 파괴의 규모 및 개소 - 발생한 파괴의 유형

외부 파괴 요인은 강우, 지하수 조건, 동결-융해 및 지진 등의 자연적 파괴 요인과 인위적인 하중의 증감, 절취 방법 및 보강 정도 등이 해당된다 (그림-4).

이와 같이 사면 붕괴를 유발하는 요인들은 매우 다양하고 서로 복잡하게 관련되어 있기 때문에 어느 하나의 요인에 의하여 사면 붕괴의 발생을 완전히 설명할 수는 없으나, 앞서 구분된 네 개의 사면 유형은 서로 다른 파괴 유형 및 거동 특성을 가지므로 각각 사면 붕괴에 밀접한 주요 붕괴 요인을 상정할 수 있다. 절토사면의 파괴요인 평가항목의 자세한 내용은 <표-3>에 기술하였다(윤운상, 2002 ; Palmstørm, A. 1996a, 1996b).

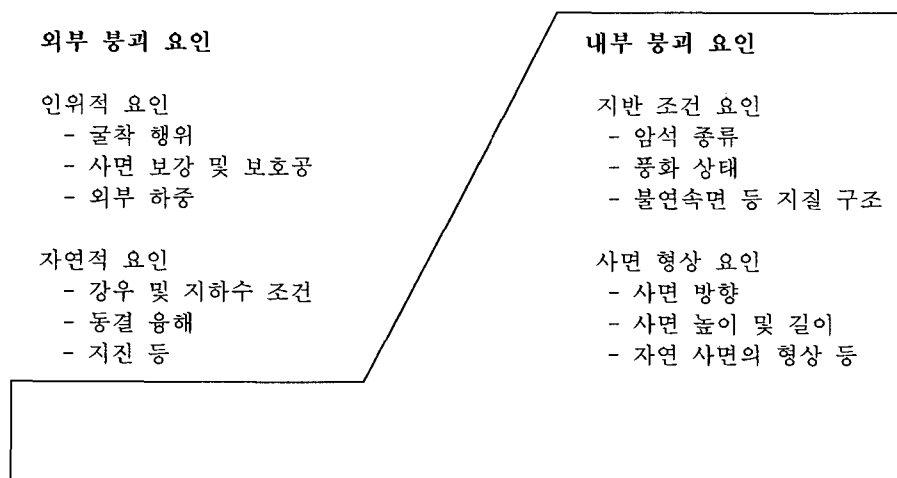
## 5. 절토사면의 상태평가 기준

절토사면의 상태평가는 사면 손상상태와 사면 파괴요인을 구분하여 평가하며, 각각의 평가 항목에 대한 상태 평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하고, 여러 개소에서 나타날 경우 등급을 하향 조정한다.

상태평가 등급은 사면 손상상태 지수( $f_1$ ), 사면 파괴요인 지수( $f_2$ ), 사면 상태평가 지수( $F$ )의 산출한 후 <표-4>에서 표시한 등급기준을 통하여 산정하며, 손상상태 지수와 파괴요인 지수는 각 평가 항목점수의 산술평균으로 구해지며, 상태평가 지수는 모든 평가항목점수의 산술평균으로 산출한다. 이때 손상상태 지수 및 파괴요인 지수는 상태평가 등급 산정에는 실질적으로 사용되지 않지만 사면의 상태를 보다 구체적으로 인식할 수 있는 자료로 활용될 수 있다.

### 5.1 사면 손상상태 평가 등급 기준

사면 손상상태 평가는 <표-5>와 같은 기준에 의해 등급을 산정하며, 모든 종류의 절토사면에서 공통적으로 적용된다.



<그림-4> 절토 사면의 파괴 요인

<표-3> 절토사면의 파괴요인 평가 항목

구 분		내부 파괴 요인		외부 파괴 요인	
		지반 상태	사면 형상	자연적 요인	인위적 요인
토사사면		토질 조건 토층심도율	사면의 경사 집수지형	강우/지하수	표면 상태 보강 상태 배수 상태
암 반 사 면	연약암반사면	지반강도 특성 면구조 경사 내구성(풍화상태)	사면의 경사	강우/지하수	절취 상태 보강 상태 배수 상태
	파쇄암반사면	절리 간격 저면 경사 절리 상태	사면의 경사	강우/지하수	절취 상태 보강 상태 배수 상태
	절리암반사면	절리 주향 절리 경사 절리 상태	사면의 경사	강우/지하수	절취 상태 보강 상태 배수 상태

<표-4> 절토사면의 상태평가등급 기준

상태 등급	지수(F) 범위	상 태
A	$0 \leq F < 0.15$	문제점이 없는 건전하고 양호한 상태
B	$0.15 \leq F < 0.30$	경미한 손상, 결함이 발생하여 기능 발휘에는 지장이 없으며, 적은 양의 보수가 필요할 수 있는 상태
C	$0.30 \leq F < 0.55$	보통의 손상, 결함이 발생하였으나 안전성에 지장은 없으며, 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요한 상태
D	$0.55 \leq F < 0.75$	손상, 결함이 진전되고, 파괴 잠재성이 존재하여 구조적, 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수, 보강이 필요한 상태
E	$0.75 \leq F$	심각한 손상, 결함 및 파괴 잠재성에 의하여 안전성에 위험이 있어 사용 제한이 시급한 상태로서, 임시 조치 후 사용하거나 즉각 사용 금지 또는 보강, 개축이 필요한 상태

[사면 상태평가 지수:  $F = \frac{\sum(\text{손상상태 항목 점수} + \text{파괴요인 점수})}{76}$ ]

## 5.2 사면 파괴요인 평가 등급 기준

사면 파괴요인 평가는 <표-6,7,8,9>과 같은 기준에 의해 등급을 산정하며, 절토사면의 유형별로 적용되는 평가 항목 및 기준이 부분적으로 차이를 보인다.

## 6. 절토사면의 안전성 평가 기준

사면 손상상태 및 파괴요인 평가에 의해 결정된 사면 상태등급이 D급 이하로 판정되거나, 전문가에 의해 안전성 평가 요구가 있을 경우 안정해석을 수행하여야 한다. 절토사면의 안정성 평가는 사면을 구성하는 지반의 구성 물질 및 파괴 거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사사면은 일반적으로 원호 파괴해석이 주를 이루는 반면 암반사면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다.

또한 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사 사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다. <표-10>는 각 절토사면의 종류에 따른 개략적인 해석 범위를 기술한 것이다. 이러한 과정을 거쳐 최종 안정성 해석 결과가 도출된다면 <표-11>에서 표시한 안전성 평가 기준을 근거로 각 절토사면의 안전성 평가 등급을 산정한다.

<표-5> 사면 손상상태 평가 등급 기준

항 목		결합 등급				
		a	b	c	d	e
파괴 징후	인장 균열	없음	1mm 미만	1mm 이상 5mm 미만	5mm 이상 5cm 미만	5cm 이상
		0	1~3	4~5	6~7	8~0
	지반 변형	없음		있음		
		0~2		3~5		
구조물 변형	없음		있음			
	0~2		3~5			
파괴 현황	발생 규모	0	1m' 미만	1m' 이상 8m' 미만	8m' 이상 64m' 미만	64m' 이상
		0	1	2	3	4

[사면 손상상태 지수:  $f_1 = \sum(\text{사면 손상상태 항목 점수}) / 24$ ]

<표-6> 토사사면의 파괴요인 평가 등급 기준

항 목		결합 등급					
		a	b	c	d	e	
지반 상태	토질 조건	사질토	매우 조밀	조밀	보통	느슨	매우 느슨
		점성토	매우 단단	단단	보통	연약	매우 연약
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	토층심도율	1m 미만	1m 이상 3m 미만	3m 이상 5m 미만	5m 이상 10m 이하	10m 이상	
0		1~2	3~4	5~6	7~8		
사면 형상	사면 경사	1:2 미만	1:2 이상 1:1.5 미만	1:1.5 이상 1:1.2 미만	1:1.2 이상 1:1 미만	1:1 이상	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
	집수 지형	무관	1	2	3	4	
		0	1	2	3	4	
자연 요인	강우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0mm 이상 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
	점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8	
인위 요인	표면 보호	숯크리트, 석장공 등	식생 양호	식생 보통	식생 불량	식생 없음	
		0	1	2	3	4	
	보강 상태	중보강	보통보강	경보강	낙석방지울타리	무보강	
		0	1	2	3	4	
배수 조건	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량		
	0	1~2	3~4	5~6	7~8		

[사면 파괴요인 지수:  $f_2 = \sum(\text{사면 파괴요인 항목 점수}) / 52$ ]

## 7. 종합평가 기준

절토사면에 대한 종합평가는 상태평가만 실시한 경우에는 상태평가결과에 의해 부여된 상태평가등급이 그 절토사면에 대한 종합평가 등급으로 결정되지만 상태평가와 안전성평가를 동시에 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 등급과 안전성평가 등급 중 최저등급을 그 절토사면 종합평가 등급으로 결정한다. <표-12>는 절토사면의 종합평가 기준에 대한 설명이다.

<표-7> 연약암반사면의 파괴요인 평가 등급 기준

결합 등급		a	b	c	d	e	
지반 상태	지반강도 특성	-	-	약간 연약	연약	매우 연약	
		0	1	2	3	4	
	면구조 경사 - 사면 경사	10°초과	0°초과 10°미만	0°	-10°이상 0°미만	-10°미만	
		0	1	2	3	4	
	풍화상태	신선	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
사면 형상	사면 경사	1:1.5 미만	1:1.2 이상 1:1.5 미만	1:1 이상 1:1.2 미만	1:0.7 이상 1:1 미만	1:0.7 이상	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
자연 요인	강우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0mm 이상 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위 요인	절취 상태	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨	
		0	1	2	3	4	
	보강 상태	중보강	보통 보강	경보강	낙석방지울타리	없음	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
	배수 조건	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	

[사면 파괴요인 지수:  $f_2 = \sum(\text{사면 파괴요인 항목 점수}) / 52$ ]

<표-8> 파쇄암반사면의 파괴요인 평가 등급 기준

결합 등급		a	b	c	d	e	
지반 상태	절리 간격	2m 이상	60cm 이상 2m 미만	20cm 이상 60cm 미만	6cm 이상 20cm 미만	6cm 미만	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
	저면 경사	0° 미만	0° 이상 10° 미만	10° 이상 20° 미만	20° 이상 30° 미만	30° 이상	
		0	1	2	3	4	
	절리 상태	매우 유리	유리	보통	불리	매우 불리	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
사면 형상	사면 경사	1:1.2 미만	1:1.2 이상 1:1 미만	1:1 이상 1:0.7 미만	1:0.7 이상 1:0.5 미만	1:0.5 이상	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
자연 요인	강우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0mm 이상 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위 요인	절취 상태	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨	
		0	1	2	3	4	
	보강 상태	중보강	보통 보강	경보강	낙석방지울타리	없음	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
	배수 조건	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량	
		0	1	2	3	4	

[사면 파괴요인 지수:  $f_2 = \sum(\text{사면 파괴요인 항목 점수}) / 52$ ]



<표-9> 절리암반사면의 파괴요인 평가 등급 기준

결합 등급		a	b	c	d	e	
지반 상태	절리 주향 (사면과의 차이각)	사면 주향과 45°이상	사면 주향과 30°~ 45°	사면 주향과 20°~ 30°	사면 주향과 10°~ 20°	사면 주향과 10° 미만	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
	절리 경사- 사면 경사	10°초과	0°초과 10°미만	0°	-10°이상 0°미만	-10°미만	
0		1~2	3~4	5~6	7~8		
절리 상태		매우 유리	유리	보통	불리	매우 불리	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
사면 형상	사면 경사	1:1.0 미만	1:1.0 이상 1:0.7 미만	1:0.7 이상 1:0.5 미만	1:0.5 이상 1:0.3 미만	1:0.3 이상	
		0	1	2	3	4	
자연 요인	강우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0mm 이상 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위 요인	절취 상태	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨	
		0	1~2	3~4	5~6	7~8	
	보강 상태	중보강	보통 보강	경보강	낙석방지울타리	없음	
0		1~2	3~4	5~6	7~8		
배수 조건		완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량	
		0	1	2	3	4	

[사면 파괴요인 지수:  $f_2 = \sum(\text{사면 파괴요인 항목 점수}) / 52$ ]

<표-10> 절토사면의 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토사	암반	
토사		○		
파쇄암반	○	○	○	· 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 3m이상 토층이 관찰될 경우 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석 실시 원호파괴
연약암반	○	○	○	
절리암반	○		○	

<표-11> 절토사면 안전성평가 기준

평가 등급	상 태	
	일 반	내 진
A	안전율 1.3 이상 지반 및 구조물의 변형이 없을 때	안전율 1.1 이상 지반 및 구조물의 변형이 없을 때
B	안전율 1.3 이상 지반 및 구조물의 변형이 있을 때	안전율 1.1 이상 지반 및 구조물의 변형이 있을 때
C	안전율 1.0 이상, 1.3 미만	안전율 1.0 이상, 1.1 미만
D	안전율 0.75 이상, 1.0 미만	안전율 0.75 이상, 1.0 미만
E	안전율 0.75 미만	안전율 0.75 미만

\* 일반적인 안전성 평가에서는 건기와 우기를 구분하지 않고 가장 불리한 조건에서의 최저 안전율을 채택한다.  
\* 위의 기준은 암반사면의 경우 평사투영해석 시 불안정한 것으로 판단된 사면에 대한 기준이며, 평사투영해석에서 안정한 사면으로 판단 될 경우는 평가등급을 "A"등급으로 한다.

<표-12> 절토사면의 종합평가 기준

종합평가등급	종합평가기준
A(최상)	문제점이 전혀 없는 상태
B(양호)	기능발휘에는 지장이 없으나 경미한 손상, 결함, 풍화 등이 발생하여 부분적으로 보수가 필요한 상태
C(보통)	전체적으로 시설물의 안전에는 지장이 없으나 보통의 손상, 결함, 풍화 등이 발생하여 안전율의 저하방지를 위한 보수나 간단한 보강이 필요한 상태
D(불량)	손상, 결함, 풍화 등이 발생하고 파괴징후가 관찰되어 안전율의 향상을 위한 대규모의 보수 또는 보강이 필요한 상태
E(위험)	절토사면 내에 인장균열이나 변형 등과 같은 뚜렷한 파괴징후가 관찰되고 심각한 손상, 결함, 풍화 등의 발생으로 인해 시설물의 안전에 위협이 있어 즉각적인 조치가 시급한 경우로서 임시조치 후 사용하거나 즉각 통행제한이나 대피 등의 조치 및 보강이 필요한 상태

## 8. 결 론

「시설물의안전관리에관한특별법」의 개정(2002.1.14)으로 규모가 높이 50m 이상, 길이 200m 이상인 절토사면이 2종 시설물로 편입되었으며 이들에 대한 정기적 또는 비정기적인 상태평가가 요구됨에 따라 절토사면에 대한 보다 객관적이고 효율적인 상태평가 기법 개발 및 평가기준에 대한 정립 필요하게 되었다. 본 연구에서는 이러한 필요를 충족시키기 위해 관련문헌 분석, 국내외의 절토사면 조사기법 및 평가방법 수집 및 분석, 현장조사 및 상태평가 연구를 통하여 절토사면에 대한 상태평가 항목 및 평가등급 기준을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 상태평가 항목은 크게 사면 손상상태 평가 항목과 사면 파괴요인 평가 항목으로 나눌 수 있으며, 보다 효율적인 상태평가가 수행을 위해 절토사면을 구성물질의 특성에 따라 토사사면, 연약암반사면, 파쇄암반사면, 절리암반사면 등으로 분류하여 상태평가를 실시할 것을 제안하였다. 또한 절토사면의 상태평가 등급은 총 5단계(A, B, C, D, E)로 구분되어지며, 손상상태 평가와 파괴요인 평가를 통해 획득되는 상태평가 지수에 의하여 산출된다. 절토사면에 대한 종합평가는 상태평가만 실시한 경우에는 상태평가결과에 의해 부여된 상태평가등급이 그 절토사면에 대한 종합평가 등급으로 결정되지만 상태평가와 안전성평가를 동시에 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 등급과 안전성평가 등급 중 최저등급을 그 절토사면 종합평가 등급으로 결정할 것을 제안하였다.

## 참고문헌

1. 윤운상(2002), "거동특성에 따른 사면 파괴 지수 시스템(SFi system)", 한국지반공학회, 2002, Vol 18
2. Palmstørn, A.(1996a), "Characterizing rock masses by the R<sub>Mi</sub> for use in practical rock engineering" *Tunnelling and Underground space tech.*, Part I, Vol. 11, pp. 175~188
3. Palmstørn, A.(1996b), "Characterizing rock masses by the R<sub>Mi</sub> for use in practical rock engineering" *Tunnelling and Underground space tech.*, Part II, Vol. 11, pp. 287~303.