

급경사지 재해위험도 평가 기준 개선 방안 연구 - 행정안전부 급경사지 관리시스템 사례를 중심으로 -

석재욱, 강효섭*, 정향선
국립재난안전연구원 방재연구실

A study on development of disaster-risk assessment criteria for
steep slope
-Based on the cases of NDMS in Ministry of Interior and Safety-

Jae-Wook Suk, Hyo-Sub Kang*, Hyang-Seon Jeong
Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute

요 약 이 연구에서는 급경사지 재해영향평가 기준의 적절성을 확인하기 위해 급경사지 관리시스템(NDMS: National Disaster Management System)에 구축된 정보를 분석하였다. 분석결과를 통해 재해영향평가의 신뢰성을 저하하는 요인이 될 수 있는 평가방법 및 제도의 문제점을 도출하였다. 재해위험도 평가지표의 경우 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축 등 다양한 형태의 옹벽을 평가할 수 있도록 평가지표를 개선할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 전도·배부름과 백태에 대한 평가 점수가 동일한 것은 평가의 신뢰도를 하락시키는 요인일 될 수 있어 가중치에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났다. 사회적 영향도 평가지표의 경우 철도, 국립공원, 저수지 등 급경사지 주변 환경의 특성을 고려한 평가방법의 세분화가 필요한 것으로 나타났다. 급경사지 평가 제도의 경우 효율적인 관리를 위한 급경사지 시·종점 분할 기준이 마련되어야 하며 정비사업 전·후의 효과를 반영할 수 있도록 보호·보강 공법에 대한 평가지표를 보완하고 정비사업 후 재해영향평가를 실시할 필요가 있다. 본 연구에서 제시한 문제점은 현재의 평가 기준을 운영하는 과정에서 도출된 사항으로 향후 이를 반영하여 재해영향평가를 보완할 필요가 있는 것으로 판단된다.

Abstract In this study, the National Disaster Management System (NDMS) was analyzed to evaluate the disaster impact assessment standards for steep slopes. Problems in the assessment methods and systems were discovered, which could be reasons for poor reliability. The disaster-risk evaluation index needs improvement to evaluate various types of retaining walls, such as concrete/reinforced soil walls and reinforcing stone masonry. Additionally, using the same score for overturning, bulging, and efflorescence could be reasons for poor reliability, and different weighting factors are needed. Assessment methods are needed to subdivide the social influence evaluation index while considering environmental conditions of steep slopes, such as railroads and reservoirs. For the evaluation of steep slopes, standards for start and end points of steep slopes should be created for effective management, and disaster impact assessment needs to be performed after redevelopment from an advanced index for protection and reinforcement. These problems were derived from a current evaluation system, so a disaster impact assessment is necessary to supplement the results of this study.

Keywords : Steep Slope, Disaster-Risk Evaluation, Weighting Factor, Retaining Wall, Social Influence Evaluation

본 논문은 행정안전부 국립재난안전연구원의 지원("지반재난 관리기준 개선", NDMI-주요-2019-06-02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Hyo-Sub Kang(NDMI)

email: hskang2233@korea.kr

Received July 2, 2019

Revised August 29, 2019

Accepted September 6, 2019

Published September 30, 2019

1. 서론

1.1 연구의 필요성

국토의 63%가 산지로 이루어진 우리나라의 지형 특성상 개발로 인한 급경사지는 꾸준히 증가하는 상황이며 이로 인한 재해 위험에 지속적으로 노출될 수 밖에 없는 실정이다. 이에 행정안전부에서는 2008년에 급경사지 재해예방에 관한 법률(이하 급경사지법)을 제정하고 현재까지 지속적으로 급경사지를 관리하고 있다. 급경사지는 크게 안전점검-재해위험도 평가-보수보강 등의 단계를 거쳐 유지관리가 이루어진다. 이 중 재해위험도 평가는 행정안전부에서 제시한 재해위험도평가표를 활용하고 있다.

급경사지법에서 지정한 관리주체는 매년 정기적으로 안전점검을 실시하고, 담당 급경사지에 대한 재해위험도 평가를 하도록 되어 있으며, 통상적으로 관리주체의 담당자는 비전문가인 경우가 많다. 이러한 상황을 고려해서 재해위험도평가표는 비전문가가 현장에서 급경사지의 상태를 육안으로 관찰하여 평가할 수 있도록 쉽게 구성되어 있는 특성을 가진다. 현재 활용되고 있는 재해위험도평가표는 평가항목이 단순함에 따라 평가배점의 변별력 및 신뢰성이 낮은 실정이다[1]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 평가표를 개선하는 연구가 진행되어 왔으며, 주로 지표의 구성변경 가중치 조정을 통한 개선안을 제시해왔다[2-4]. 그러나 기존 연구는 암반 비탈면, 토사 비탈면만을 대상으로 개선안이 제시되었으나, 옹벽 및 석축에 대한 개선안 연구는 미진한 실정이다. 따라서 급경사지의 평가방법에 대한 개선을 위해서는 옹벽 및 석축을 포함한 재해위험도 평가방법에 대한 문제점 도출 및 개선방안에 대한 연구가 필요하다. 또한 지난 10년간 운영된 급경사지 관리제도에 대한 개선 연구가 진행되어오고 있지 않고 있다. 관리제도를 개선하기 위해서는 그 동안 급경사지법에 의해서 관리된 급경사지 현황자료 분석을 통해서 현실적인 문제점을 도출할 필요가 있다.

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구에서는 재해위험도평가 방법에 대한 문제점과 재해위험도평가 제도를 운영함에 있어서 시급히 개선되어야 할 사항에 대해 검토하고자 하였다. 이를 위해 행정안전부에서 운영하고 있는 재해위험도평가 지표의 구성 및 배점을 검토하고 급경사지 관리시스템(NDMS: National Disaster Management System, 이하 NDMS)에 등록

된 급경사지 약 14,000여 개소에 대해 재해위험도평가 결과에 대한 분석을 통해 급경사지 관리에 있어서 제도적 보완되어야 할 사항을 도출하였다. 또한 제시한 문제점을 해결함에 있어서 필수적으로 고려해야 할 사항에 대해 고찰하였다.

2. 급경사지 관리현황

2.1 급경사지 관리절차

급경사지는 관련 법을 통해 관리기관(지자체, 철도공단, 국립공원공단, 농어촌공사 등)이 지정되어 있으며 각 관리기관은 관할 급경사지에 대한 등록, 안전점검을 통한 재해위험도평가, 붕괴위험지정 및 정비사업 등의 관리를 수행한다(Fig.1).

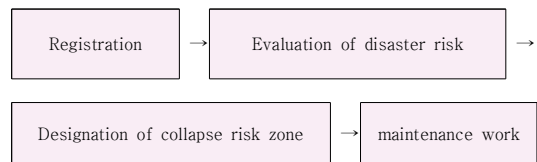


Fig. 1. Process of Steep slope management

관리기관은 관리지역 내 일정규모 이상의 비탈면, 옹벽, 석축을 NDMS에 등록하고 매년 2회 안전점검을 실시해야 한다. 또한 재해위험도 평가를 실시하여 A~E 등급을 부여하고 등급별 관리기준에 따라 관리하게 된다 (Table 1).

Table 1. management guide by estimation grade

Grade	Rating	Management guide
A	0 ~ 20	· No disaster risk, less damage
B	21 ~ 40	· No disaster risk, Regular management required
C	41 ~ 60	· Continuous inspection due to disaster risk and establishment of a maintenance plan if necessary
D	61 ~ 80	· Need to establish a maintenance plan due to high disaster risk
E	81 <	· Need to establish a maintenance plan due to very high disaster risk

등급별 급경사지 현황을 보면 재해위험성이 존재하는 등급인 C, D, E 등급이 53.8%의 비중을 가진다(Table 2). 이 중 평가자에 의해서 재해위험성이 매우 높은 것으

로 판단된 급경사지는 붕괴위험지구로 지정되고, 중장기적인 정비계획에 따라 정비사업이 실시된다. 최종적으로 정비사업이 완료되어 위험요소가 제거된 급경사지는 붕괴위험지구에서 해제된다. 이와 같은 일련의 급경사지 관리 절차는 재해위험도 평가를 통해 급경사지로 인한 재해위험 요인을 도출하고 예산을 투입해서 이를 제거하는 과정이 핵심이라고 할 수 있다. 따라서 붕괴위험도 평가 결과는 높은 신뢰성을 확보할 필요가 있다.

Table 2. Distribution of grade

Total	A	B	C	D	E
14,060 (100%)	789 (5.6)	5,854 (41.6)	6,616 (47.1)	765 (5.4)	36 (0.3)

급경사지는 구성재료에 따라 토사, 암반, 혼합, 옹벽 및 축대로 구분된다. 17년 12월말 기준 급경사지는 14,060개가 관리되고 있다. 토사와 암반 비탈면은 각각 43.1 %, 20.6 %의 높은 비율을 차지하고 있으며 옹벽과 석축은 17.7 %, 토사와 암반으로 구성된 혼합비탈면은 18.7 %의 비중을 차지한다(Table 3).

Table 3. Distribution of steep slope by type

Total	Soil slope	Rock slope	Retaining wall · stone masonry	Complex slope
14,060 (100%)	6,061 (43.1)	2,891 (20.6)	2,482 (17.7)	2,626 (18.7)

2.2 옹벽 및 석축 재해위험평가표 구성

재해위험 평가지표는 크게 붕괴위험성(70점)에 대한 지표와 사회적 영향도(30점)에 대한 지표로 구성되며 붕괴위험성의 경우 급경사지 종류에 따라 각각의 특성을 반영하기 위해 평가지표가 다르게 적용된다. 옹벽과 석축의 붕괴위험성은 침하, 수평변위, 세굴, 파손 및 손상, 균열, 마모/침식, 박리, 철근노출, 진도·배부름, 백태, 배출구 등의 평가지표로 구성되며, 배점은 5~10점을 가진다(Table 4). 사회적 영향도 평가지표는 자연비탈면, 인공비탈면과 동일하며 주변환경, 피해인구수/도로차로수·교통량, 인접 시설물과의 거리 등의 평가지표로 구성되어 있다(Table 5).

Table 4. Evaluation index of collapse risk for retaining wall·stone masonry

Index	Maximum rating
Settlement(cm)	5
Horizontal displacement(cm)	5
Scouring	5
Damage or Crack(mm)	5
Separation(mm)	10
Wear/Erosion	5
Exfoliation(mm)	5
Exposed reinforcement(%)	10
Overhangbulging	5
Efflorescence	5
Water drainage	10
Total	70

Table 5. Evaluation index of Social impact for retaining wall·stone masonry

Index			Maximum rating
Environments (Forest, Park, Homestead, Road, Railroad)			5
No. of expected casualty/ No. of roads· traffic volume	Steep slope facing the road	No. of Traffic lane (one-way)	7
		Traffic volume (No./day)	8
	The other area	No. of expected casualty	15
Distance between steep slope and adjacent facilities			10
Total			30

3. 재해위험도 평가방법 검토

3.1 재해위험도 평가지표 문제점

급경사지 관리기관에서는 「급경사지 재해위험도 평가기준」에 따라 재해위험도를 평가한 후 등급을 결정하게 된다. 평가를 수행함에 있어서 급경사지의 위험요소에 대한 적절한 평가가 수반되어야 평가등급을 신뢰할 수 있다.

평가지표의 비중을 평가하는 다양한 방법론이 존재[5, 6]하나 본 연구에서는 실무자 관점에서 평가에 혼란을 야기할 수 있는 평가사례를 통해 해당 지표의 적절성을 검토하였다. 그 결과 옹벽 및 축대에 대한 평가지표에서 아래와 같은 문제점을 도출하였다.

3.1.1 재해위험도 평가표 세분화

NDMS에 구축된 옹벽의 종류를 보면 크게 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축 등으로 나누어진다. 옹벽의 종류에 따라 발생할 수 있는 대표적인 붕괴위험요소를 보면 콘크리트 옹벽에서는 전면부에서 관찰되는 균열의 형상, 규모 등이 주요한 평가요소인 반면 보강토 옹벽의 경우 균열보다는 뒤채움재 유실, 전면판 탈락 등이 위험요소로 될 수 있다[7,8]. 또한 석축의 경우는 석재의 유실 등이 중요한 위험요소로 작용한다. 그러나 평가표의 균열 평가 항목은 콘크리트 옹벽의 균열에 대해서만 평가하도록 되어 있다. 따라서 보강토 옹벽과 석축의 경우 평가자체가 불가능한 것으로 나타났다. NDMS 자료를 검토한 결과 석축에서 ‘유실’이 관찰되었으나 적절한 평가지표가 없어 ‘균열’로 평가한 사례가 다수 발견되었다. 이와 같이 부적절한 평가를 유도하는 현재의 평가지표는 평가의 신뢰도를 저하시키는 요인이 될 수 있다.

3.1.2 평가지표 신뢰성

붕괴위험성 평가 지표 중 ‘진도 및 배부름’은 옹벽의 구조적 결함을 직접적으로 확인할 수 있는 현상이나 ‘백태’의 경우 옹벽 표면의 화학적 반응에 의해 착색이 발생하는 현상으로 옹벽 안정성에 미치는 영향이 진도 및 배부름 보다는 상대적으로 매우 낮다고 할 수 있다. 선행 연구결과에 의하면 전면부 진행성 배부름과 세굴의 가중치가 전체 가중치의 84%이상을 차지하며 절대적인 영향을 미치는 것으로 나타났다[8]. 이와 같은 개념에 의해 국토교통부에서 만든 옹벽 유지관리 매뉴얼에서는 동일한 지표에 대해 진도 4점, 백태 1점으로 평가하도록 되어 있다[9]. 이와는 대조적으로 현재의 평가표에서는 진도 및 배부름이 있는 경우와 백태가 있는 경우의 평가점수가 5점으로 동일하게 되어 있다(Table 6).

현재와 같이 두 지표를 동일한 배점으로 평가할 경우 안정성 평가에 대한 변별력이 매우 낮을 수 밖에 없다. 옹벽의 안정성을 평가한다는 측면에서는 구조적으로 문제점을 나타내는 진도 및 배부름이 상대적으로 더 높은 점수로 평가해야 할 것으로 판단된다.

Table 6. Rating of overturing and bulging phenomenon

Overturning ·Bulging	Absence	Presence
	0	5
Efflorescence	Absence	Presence
	0	5

3.1.3 사회적 영향도 평가 왜곡

모든 급경사지에 대해 동일한 지표 구성되어 있는 사회적 영향도 평가표는 급경사지 재해가 발생할 경우 예상되는 피해정도를 추정해서 평가에 반영하기 위한 것으로 급경사지가 위치한 환경에 대한 고려가 중요하다. 그러나 급경사지가 분포하는 지역은 민가, 공단, 산지, 철도, 국립공원, 저수지 등 다양한 곳에 분포함에도 불구하고 급경사지 재해위험도 평가에서의 사회적 영향도는 다양한 주변환경 특성을 반영하지 못하는 실정이다. 예를 들어 철도 주변 및 터널 갱구부에 있는 급경사지의 경우 현재의 사회적 영향도 평가표에 의해 평가될 때는 주변 환경이 철도이므로 5점으로 평가하고, 도로에 접하지 않은 ‘그외 지역 급경사지’로 분류되어 피해예상 인구수로만 평가할 수 있다. 철도의 특성상 급경사지 재해 발생시 직접적인 피해는 철로이며, 이로 인해 기차 내 승객들에게 피해가 미치게 되는데 항상 최대 피해 인구수 5인 이상인 15점으로 평가할 수 밖에 없다. 또한 철도 주변 급경사지가 대부분 철로와 인접해 있어 급경사지와 인접 시설물과의 거리도 최대 배점(10점)으로 평가하는 경우가 많을 수 밖에 없다. 이렇게 평가하게 되면 붕괴위험성이 거의 없는 양호한 급경사지도 사회적 영향도에서 25점으로 평가할 수 밖에 없는 실정이다.

국립공원의 경우는 대부분의 급경사지가 국립공원 내 탐방로 주변에 위치한 경우가 많다[10, 11]. 탐방로 주변의 급경사지에 대한 사회적 영향도를 평가할 경우 주변 환경에 대한 평가가 불확실하고, 철도의 경우와 같이 피해예상 인구수로만 평가가 가능하다. 또한 급경사지와 인접 시설물과의 거리에 대한 평가는 대부분 자연비탈면인 경우가 많아 최대점으로 평가할 수 밖에 없다.

여방수로 인근에 급경사지가 많은 저수지의 경우에도 위와 같은 이유로 사회적 영향도를 평가하는데 한계가 있는 것으로 판단된다.

위와 같이 철도, 국립공원, 농어촌 저수지 등과 같이 급경사지 주변의 환경은 매우 다양하며 이에 따른 사회적 영향도 평가 방법도 나누어져야 할 필요가 있다. 그러나 현재의 사회적 영향도 평가지표는 이러한 특성을 제대로 반영하지 못하는 것으로 판단된다. 실제로 이러한 영향에 의해 재해위험 등급의 분포를 보면 철도관리공단, 철도공사 및 국립공원공단의 등급이 한 등급에 집중되어 있어 변별력이 없는 것으로 나타났다(Fig.2).

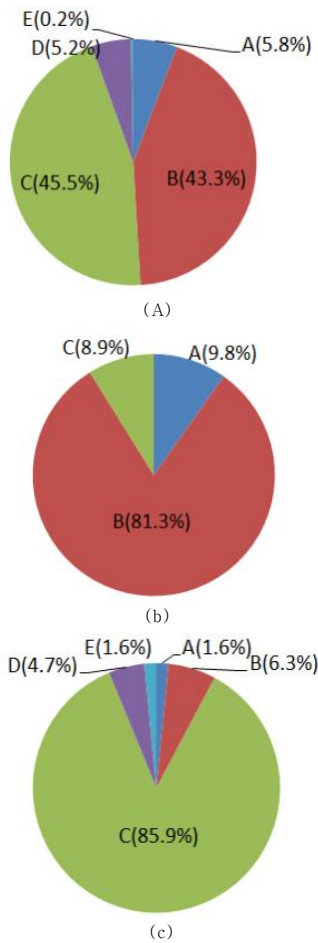


Fig. 2. Distribution of Grade
(a) total (b)Railroad (c)National Park

3.2 재해위험도 평가제도 문제점

3.2.1 급경사지 분할 기준 부재

앞에서 언급한 바와 같이 급경사지는 토사, 암반, 옹벽 등 다양한 형태로 구성되어 있으며 각각의 특성에 맞게 평가하여야 한다. 연장이 긴 경우에는 전체구간을 대표하는 지점에 대한 평가결과를 가지고 전체를 평가하도록 되어 있다. 이 경우 연장이 길수록 다양한 형태의 급경사지가 존재할 수 있어 평가결과에 신뢰성이 낮아질 수 있다. 예를 들어, Fig. 3은 연장이 약 4km인 급경사지 사례를 나타낸 것으로 현장조사 결과 해당지역은 옹벽, 자연비탈면, 암반비탈면, 혼합비탈면 등이 혼재되어 있음에도 불구하고 하나의 급경사지로 등록·관리되고 있다. 이처럼 연장이 긴 급경사지의 경우 지반 구성물질(토사, 암반)이 상이한 경우가 많아 대표지점으로 전체를 평가할 경우

평가결과에 오류가 발생할 가능성이 크다. 육안점검으로 평가하는 급경사지의 경우에는 연장이 길수록 평가가 어려워질 수 있으며 평가가 왜곡될 가능성이 높아진다.



Fig. 3. Example of steep slope having length 4km

NDMS 정보를 통해 종단길이가 확인 가능한 13,504개소에 대한 길이 분포를 검토하였다. 육안점검이 가능한 수준으로 여겨지는 길이 100m 미만인 급경사지가 전체의 46.9%로 나타난 반면, 100m 이상의 연장을 가진 급경사지가 53.1%로 매우 높은 비율을 보였다(Table 7). 이는 현장에서 평가할 수 없을 정도로 큰 규모의 급경사지가 매우 많이 존재한다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 급경사지를 지정할 때 적절한 분할기준 없이 임의로 지정하기 때문이다.

Table 7. Distribution for length of steep slopes in NDMS

Length (m)	>500	300~500	200~300	100~200	100<
No.	499	905	1,411	3,688	7,001
%	3.7	6.7	10.4	27.3	46.9

3.2.2 재해위험도 평가 절차 미흡

급경사지법 제12조에 의해 지자체는 급경사지 붕괴위험지구에 대해 5년마다 정비계획을 수립하여 정비사업을 시행하게 되어 있다. 2017년까지 정비된 급경사지는 567개소이며 향후 정비사업은 점차 증가할 예정이다. 정비사업은 일제조사, 재해위험평가 후 정비 우선순위를 결정하여 시행하게 된다. 주로 급경사지 내 위험요소를 제거, 억제하여 안전을 확보하는 것을 목적으로 한다. 2017년 말 기준 정비사업이 완료된 급경사지 22개소를 선정하고 정비 전·후의 등급변화를 살펴보았다(Table

8). 정비 이후 등급이 상향된 사례가 6건이었으며, 등급이 유지된 사례가 16건으로 나타났다. 정비사업 후에도 등급이 유지된 급경사지에 대해 관리기관에 사유를 확인한 결과 16개소 모두 정비사업 후 재해위험평가를 재실시하지 않은 것으로 나타났다.

Table 8. Rating change after maintenance work

No. of maintenance	22
No. of upgraded rating	6
No. of maintain rating	16
Reason for maintain rating	Not reevaluated 16

현재 급경사지법 및 관련 규정을 보면 재해위험평가 방법 및 재해위험평가 결과에 대한 활용에 대해서는 언급하고 있으나 재해위험평가 시기는 규정하지 않고 있다. 이에 따라 정비사업이 종료된 후에도 재해위험평가를 실시하지 않아 평가등급은 그대로 유지되는 문제가 발생할 수 있다. 또한 정비사업 후에는 보수·보강에 의한 정비효과가 재해위험평가에 반영되어야 하나 재해위험평가표는 정비사업시 시공된 보호, 보강공법 효과를 직접적으로 평가할 수 있는 평가지표가 없는 것으로 나타났다.

4. 급경사지 재해위험도 평가기준 분석

본 연구에서는 NDMS에 축적된 약 14,000여개의 현황정보를 활용하여 문제점에 대한 개선사항을 도출하고자 하였다. 그러나 현황정보 중 분석에 필요한 사항이 누락되거나 오류가 있는 경우가 많아 체계적인 분석에는 큰 한계가 존재하였다. 따라서 향후 문제점 개선에 대한 연구 시 우선적으로 고려되어야 할 착안사항을 제시하였다.

4.1 재해위험평가 방법 개선방향

4.1.1 옹벽의 종류를 고려한 평가지표 보완

옹벽은 구성재료에 따라 크게 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축으로 구분된다. 그러나 급경사지 재해위험도 평가에서는 옹벽·축대 평가표 하나만을 이용하기 때문에 각각의 옹벽 구성재료에 따른 특성을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 한편 국토교통부에서 발행한 안전점검 및 정밀 안전진단 세부지침해설서(옹벽)에서는 형태·구성재료별에 따라 콘크리트, 보강토, 석축, 계비온 옹벽으로 상태평가표를 따로 제시하고 있다. 옹벽·축대 재해위험도

평가표와 국토교통부 옹벽 상태평가표의 평가지표를 비교한 결과, 콘크리트 옹벽의 경우 재해위험도 평가표의 평가지표 대부분이 콘크리트 옹벽 상태평가표에 포함되어 있으나 보강토와 석축의 경우 반영되어 있지 않다. 보강토 옹벽의 경우 12개의 지표로 구성되며 침하, 세굴, 균열, 배부름, 배수상태에 대한 지표가 포함되나 활동, 유실, 계획선형오차, 사면경사, 낙석흔적, 침출수에 대한 지표가 없는 것으로 확인되었다(Table 9).

석축을 평가하기 위해서는 침하, 계획선형오차, 활동, 전면부 진행성 배부름, 배수공상태, 균열, 유실, 이격, 채움콘크리트 상태, 암석의 풍화도, 세굴, 배수시설, 사면조사 등이 지표로 포함되어야 한다. 이와 같이 현재 하나의 옹벽·석축 재해위험도 평가표로는 옹벽 구성재료에 따른 평가를 수행하기에는 한계점이 존재한다. 따라서 옹벽 종류·구성재료별 특성이 반영된 평가표 개발이 필요하다.

Table 9. Comparison of index by Retaining wall types

No.	Index of risk evaluation for retaining wall	Index of Concrete retaining wall(MILT)	Index of reinforced earth retaining wall(MILT)
1	Settlement	Settlement	Settlement
2	Horizontal displacement	-	-
3	Scouring	Scouring	Scouring
4	Damage or Crack	Crack	Damage or Crack
5	Separation	-	Separation
6	Wear/Erosion	Abrasion/Erosion	-
7	Exfoliation	Exfoliation	-
8	Exposed reinforcement	Exposed reinforcement	-
9	Overhang·Bulging	Overturning	Bulging
10	Efflorescence	Efflorescence	-
11	Water drainage	Condition of drainage	Drain facility
12	-	Sliding	Sliding
13	-	Peeling off	Loss
14	-	Carbonation	Projected linear error
15	-	Chloride	Slope gradient
16	-	Slope investigation	Evidence of falling rocks
17	-	-	Leachate

4.1.2 평가지표의 가중치 재분배

평가지표의 가중치를 결정하기 위해서는 현재까지 축적된 평가자료를 토대로 다중회귀분석, 엔트로피 기법 등의 통계적 방법이 적용될 수 있다[8].

이러한 방법을 적용하기 위해서는 축적된 자료의 신뢰성이 확보되어야 하나 앞에서 언급한 평가지표의 문제로 인해 분석자료로 활용하는 데는 한계가 있다. 현 상황에서

급경사지 평가지표의 가중치를 결정하기 위해서는 전문가의 주관적인 의견을 통해 가중치를 결정할 수 있는 AHP(Analytical Hierarchy Process) 기법이 현실적인 방안이 될 수 있다. AHP기법은 의사결정 사항을 계층화한 후 계층별 요소들의 상대적 중요도를 쌍대비교에 의해 가중치 또는 우선순위를 결정하는 방법이다[12]. 가중치를 결정하기에 앞서 지표에 대한 개선이 선행된 후 해당 지표의 가중치를 결정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.1.3 주변환경을 고려한 사회적 영향도 평가

사회적 영향도의 평가는 각 관리기관별 급경사지가 가지고 있는 환경적인 특징을 고려해서 세분화할 필요가 있다. 철도의 경우 대부분 철로나 터널 입구에 급경사지가 위치한 경우가 많아 유사시에는 철로와 기차운행에 직·간접적인 피해가 발생할 수 있으므로 이에 대한 피해도를 평가하는 것이 필요하다고 판단된다. 국립공원의 경우 대부분 공원 탐방로에 피해가 발생하므로 탐방로 시설물의 훼손, 방문객의 인명피해가 평가지표로 반영되어야 한다. 또한 농촌 지역의 저수지 인근의 경우에는 주변 지역의 예상 인명피해 수준, 시설물 피해 등이 평가되어야 할 것이다. 도심지 내에서 도로의 부속시설로 존재하는 급경사지의 경우 현 평가방법을 그대로 유지할 수 있다. 이와 같이 급경사지 주변환경의 특성에 따라 피해특성은 매우 다양하게 나타날 수 있으므로 향후 관련 연구에서는 이에 대한 충분한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다(Table 10).

Table 10. Considerations for Social impact assessment considering circumstance of steep slopes

Area	Circumstance of steep slopes	Assessment considerations
Railroad	Railroad, Tunnel	Railroad and train damage
National park	Trails	Safety of visitor, Trails damage
Rural	Road, Agricultural reservoir	Facilities damage
Urban	Building, Road	Casualties, Facilities damage

4.2 평가제도 개선방향

4.2.1 급경사지 분할 기준

연장이 매우 긴 급경사지로 인해 관리에 어려움을 주는 문제의 가장 큰 원인은 현재 평가제도에서 급경사지

에 대한 분할 기준을 제시하지 않기 때문이다. 이로 인해 실무자는 급경사지를 등록하는 과정에서 특정한 기준없이 편의대로 분할하고 있다. 따라서 급경사지 분할 기준을 제시하는 것이 필요하다. 국토교통부는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(철도사면)」을 통해 비탈면의 조사영역 및 분할 기준을 다음과 같이 제시하였다.

- 1) 수직고 5m 이내
- 2) 구성재료가 변화할 경우
- 3) 비탈면 경사가 10°이상으로 변할 경우
- 4) 비탈면 구성재료와 표준경사가 다를 경우
- 5) 경사방향이 40°이상 변화할 경우
- 6) 동일 구간의 연장이 20m 이상일 경우

국토교통부에서 제시한 기준은 일반국도 내 비탈면에 적용되는 것으로 규모나 비탈면 속성이 급경사지와 큰 차이를 보이지는 않는다. 따라서 급경사지 재해위험평가에서도 국토교통부의 분할기준을 적용하는 방안을 고려해 볼 필요성이 있다.

4.2.2 보수보강 지표 반영

선행연구자들에 의해 국내·외 비탈면 평가기법에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다[1,3,13]. 본 연구에서는 기존 연구결과를 바탕으로 국내·외 비탈면 평가기법에서 보호·보강공법에 대한 평가방법을 비교·검토하였다. 국내의 경우 국토교통부에서 관리하는 일반국도의 토사와 암반 비탈면 평가체계를 검토한 결과 비탈면 보호·보강 공법에 대한 변형, 상태, 공법 중요도, 구조물 변형 등을 평가해서 보호·보강 공법에 대한 효과를 평가에 반영하는 것으로 나타났다. 국외의 사례를 보면 호주의 경우 식생상태, 홍콩은 옹벽유무 및 결합상태를 평가 항목으로 설정한 것으로 나타났다(Table 11).

Table 11. Index for reinforcement effect

Division	Index
Ministry of land, infrastructure and transport(MLIT)	Structure deformation
	Conditions of reinforcement
	Importance of method
Australia	Conditions of vegetation
Hong Kong	Existence of retaining wall
	Condition of retaining wall

국내·외 비탈면 평가지표에서 보호·보강 요인에 대한 평가 가중치를 분석한 결과 국토교통부의 경우 암반에서는 17%, 토사에서는 22%의 가중치를 설정한 것으로 나

타났으며, 호주, 홍콩, 일본의 경우 각각 22%, 11%, 8%를 보호·보강 효과에 대해 평가할 수 있도록 설정한 것으로 나타났다(Fig. 4). 이는 급경사지를 포함한 비탈면의 평가에 있어서 보호·보강 공법이 필연적으로 적용되고 있는 현실을 반영한 결과로 해석될 수 있으며 급경사지의 경우에도 이와 같이 재해영향평가에서 보호·보강에 의한 효과가 평가에 반영되어야 할 것으로 판단된다.

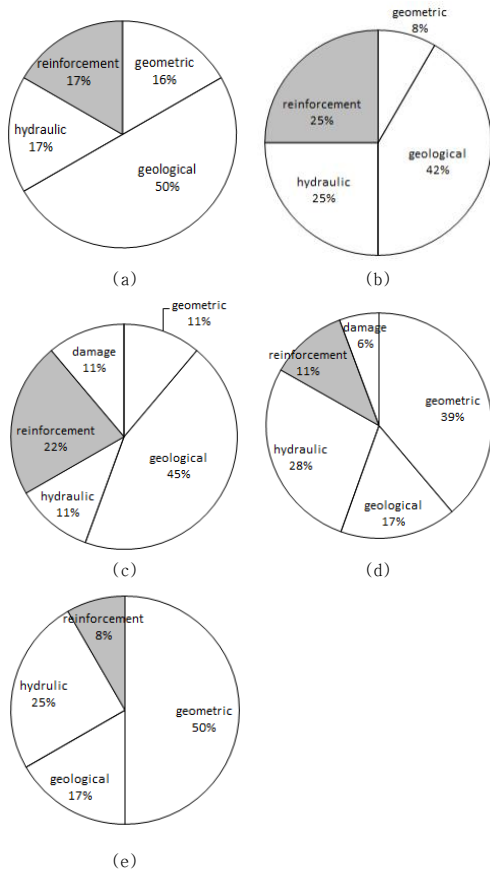


Fig. 4. Weighting of reinforcement factors (a) Rock slope in MLIT(Korea) (b) Soil slope in MLIT(Korea) (c) Australia (d) Hong Kong (e) Japan

보호·보강 효과를 재해영향평가에 반영하는 방법은 크게 2가지로 구분될 수 있다(Fig. 5). 첫 번째는 각각의 붕괴위험도 평가지표를 평가하는 단계에서 보정하는 방법이다. 이 방법의 경우 지표별 평가과정에서 보정에 대한 근거를 모두 기재할 수 있어 급경사지의 이력관리가 가능하고 평가결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있다는 장점이 있다. 두 번째 방법은 붕괴위험도에 대한 점수를 산정한 후 평가결과에 보호·보강 공법 적용효과를 보정하여

등급을 산정하는 것이다. 이 방법은 평가지표에서 반영하지 못하는 급경사지의 특성을 평가자의 주관적 판단으로 반영할 수 있다. 이로 인해 평가자의 경험적, 기술적 견해를 수용할 수 있고 평가가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

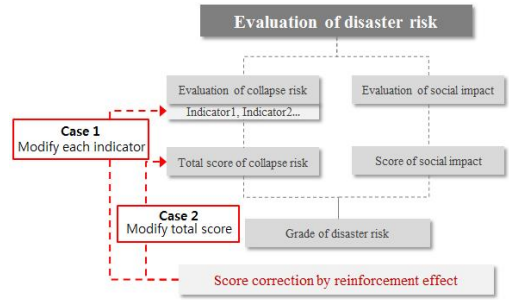


Fig. 5. Flow diagram of two correction methods for reinforcement effect

5. 결론

급경사지법에 의해 관리되고 있는 DB를 분석하여 재해위험평가 기준 및 제도의 문제점을 도출하고 이를 해결할 수 있는 개선 착안사항을 제시하였다.

재해위험도 평가 방법에 대한 검토 결과 현재의 옹벽 및 축대 평가기준은 콘크리트 옹벽, 석축옹벽, 보강토 옹벽 등 다양한 형태의 구조물을 평가하는데 부적절한 것으로 나타났다. 국토교통부의 옹벽 평가지표와 비교검토 결과 옹벽 유형에 따른 평가를 위해 지표의 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한 전도·배부름과 백태에 대한 평가지표 가중치가 동일한 것은 평가의 신뢰도를 하락시키는 요인이 될 수 있어 이에 대한 개선이 필요하다.

사회적 영향도 평가지표의 경우 도로 인근 급경사지에 중점을 두어 구성된 것으로 철도, 국립공원, 저수지 등 관리주체별 급경사지 주변환경을 고려할 수 있도록 개선될 필요가 있다.

급경사지 재해위험도 평가제도의 경우 현장에서 급경사지를 평가하는데 있어 급경사지의 시·종점 기준의 부재는 현장점검 및 평가의 신뢰성을 낮출 수 있는 요인으로 개선이 필요한 것으로 나타났다. 일반국도의 환경이 급경사지와 유사한 점을 고려하면 국토교통부에서 제시한 비탈면 분할기준을 적용하는 것이 방법이 될 수 있다.

재해위험도 평가에 의해 급경사지 정비사업을 실시하고 있으나 정비사업 후에 평가가 이루어지고 있지 않아 정비사업에 의한 효과를 확인하기가 어려운 것으로 나타

났다. 또한 현재의 재해위험도 평가표에서는 급경사지의 보호·보강 효과에 대한 평가를 반영할 수 있는 지표가 없는 것으로 나타났다. 따라서 정비사업 효과를 평가할 수 있도록 정비사업 후 재해위험평가를 실시할 필요가 있으며 이를 위한 보호·호강 효과를 평가할 수 있도록 평가방법을 개선할 필요가 있다.

위에서 언급한 문제점은 현재까지 재해영향평가 기준을 운영하는 과정에서 도출된 사항으로 향후 관련 기준을 개선하는 연구를 통해 위의 사항을 우선적으로 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Y. K. Song, D. K. Park, Y. J. Son, T. H. Kim, "A Study on the Improvement of Stability checklist by Analyzing the Evaluation Element For Steep Slopes", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.12, No.4, pp.77-84, 2012.
UCI: G704-001845.2012.12.4.004
- [2] J. H. Kim, Y. Baek, O. I. Kwon, G. Y. Jang, "A study on development of research process for natural steep slopes", *Proceedings of KSEG 2014 Fall Conference*, The Korea Society of Engineering Geology, Kangwon, Korea, p.235, Nov. 2014.
- [3] J. H. Lee, Y. S. Kim, H. D. Moon, H. S. Han, K. C. Kwon, "Case Study on Disaster Hazards Estimation in Steep Slope", *Proceedings of KSEG 2008 Fall Conference*, The Korea Society of Engineering Geology, Cheongju, Korea, pp.233-241, Nov. 2008.
- [4] G. H. Lee, *An study on measures of regulation reform for disaster reduction in steep slopes*, Master's thesis, Kangwon National University, Kangwon, Korea, pp.77-85, 2011.
- [5] Y. S. Byun, J. C. Choi, J. H. Seong, "A study on the method to calculate mixed weights of the condition evaluation of rock slope", *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, Vol.22, No.6, pp.37-44, 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2018.22.6.037>
- [6] J. G. Lee, B. S. Chang, Y. S. Kim, J. W. Suk, J. S. Moon, "Risk assessment for large-scale slopes using multiple regression analysis", *Journal of the Korean geotechnical society*, Vol.29, No.11, pp.99-106, 2013
DOI: <https://dx.doi.org/10.7843/kgs.2013.29.11.99>
- [7] H. D. Lee, J. H. Won, J. H. Seong, "Weighting value evaluation of condition assessment item in reinforced earth retaining walls by applying hybrid weighting technique", *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, Vol.21, No.5, pp.83-93, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2017.21.5.083>
- [8] J. H. Seong, Y. Byun, D. Y. Lee, T. K. Oh, "The Correlation Analysis between Condition Evaluation Factors and Defect Index on the Concrete Retaining Wall", *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.30, No.5, pp.52-58, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2015.30.5.52>
- [9] KISTEC, Retaining wall maintenance manual, Manual, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, p.51.
- [10] H. G. Kim, T. H. Kim, J. H. Kim, J. H. Kwak, S. W. Park, "Maintenance of Hazardous Steep Slopes on National Park Trails", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.26, No.1, pp.129-142, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.9720/kseg.2016.1.129>
- [11] S. U. Choi, J. G. Kim, S. W. Choi, H. Y. Lee, W. S. Bae, "An Analysis of Status on Slopes in the National Park Trail", KSCE 2016 conference program, Korea Society of Civil Engineering, Jeju, Korea, pp.323-324, Oct. 2016.
- [12] V. Balali, B. Zahraie, A. Roozbahani, "A Comparison of AHP and PROMETHEE Family Decision Making Method for Selection of Building Structural System", *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol.2, No.5, pp.149-159, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.12691/ajcea-2-5-1>
- [13] B. G. Chae, Y. C. Cho, Y. S. Song, Y. S. Seo, "Development of an Evaluation Chart for Landslide Susceptibility using the AHP Analysis Method", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.19, No.1, pp.99-108, 2009.
UCI: G704-000675.2009.19.1.003

석 재 욱(Jae-Wook Suk)

[정회원]



- 2008년 2월 : 부경대학교 환경해양대학 탐사공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 (공학박사)
- 2013년 4월 ~ 2015년 10월 : 한국시설안전공단 선임연구원
- 2015년 11월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 시설연구사

<관심분야>

지반공학, 지질공학

강 효 섭(Hyo-Sub Kang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 부경대학교 환경해양대학 해양공학과(공학석사)
- 2016년 2월 : 부경대학교 환경해양대학 해양공학과(공학박사)
- 2018년 1월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 시설연구사

<관심분야>

지반공학

정 향 선(Hyang-Seon Jeong)

[정회원]



- 2014년 3월 ~ 2016년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학과(공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 선임연구원

<관심분야>

지반공학