

국내외 급경사지 평가표 분석을 통한 개선방안 연구 Improvement of Field Assessment List for Slope-stability Estimation

손영진¹⁾, Youngjin Son, 박덕근²⁾, Dugkeun Park, 오정림³⁾, Jeongrim Oh, 송영갑⁴⁾, Youngkarb Song

¹⁾ 국립방재연구소 연구원, Researcher, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

²⁾ 국립방재연구소 시설연구관, Senior Analyst, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

³⁾ 국립방재연구소 시설연구사, Analyst, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

⁴⁾ 국립방재연구소 연구원, Researcher, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

SYNOPSIS : There is a increasing trend in disaster occurrence due to steep-slope failures in urban area during typhoon and torrential rain season in Korea. The underlying hazards that cause slope failure are mainly linked with urbanization and industrialization. To minimize the disaster damages by slope failure, objective and unified evaluation approached are desired. Since currently available evaluation checklists are developed for specific purposed, there is a limitation to adapt those checklists for stability evaluation in natural terrain.

This study proposes an improved evaluation checklist based on the comparison of previous checklists and applicability and feasibility are analyzed implementing field application.

Keywords : steep slope, evaluation checklist, failure, rockfall, disaster

1. 서론

우리나라 급경사지 붕괴는 최근 10년간 전체 자연재해 사망자의 26.2%인 연평균 19.1명의 인명피해를 유발시킨다(국립방재연구소, 2009a). 급경사지 붕괴는 인명피해 뿐만 아니라 사회기반시설 파괴 등 경제적 손실을 수반하게 되며, 경제 발전과 더불어 인공사면 등의 증가로 인해 급경사지 재해위험성은 매년 증가하고 있다. 특히 2008년과 2009년의 경우 전체 자연재해 사망자 중 50% 정도가 급경사지 재해로 인해 발생되어 이에 대한 경각심이 날로 증대되고 있다. 이와 같은 급경사지 붕괴에 영향을 미치는 인자는 강우량, 지반강도, 지질, 지형 등 다양한 요소가 포함되며, 지속적인 관리와 점검을 통해 급경사지 재해 피해를 저감해야 한다.

급경사지에 대한 지속적인 관리와 점검을 위해서는 급경사지에 대한 객관적인 현황자료의 수집이 일차적으로 이루어져야 하며, 이 후 개별 급경사지의 안정성과 위험성을 평가하고 평가결과에 따라 보강작업이 이루어져야 한다. 현재 국내에서는 한국도로공사, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원 등에서 각 기관별 관리대상인 고속도로, 국도 그리고 철도주변 급경사지 평가를 위해 평가표를 활용하고 있는 실정이다. 하지만 급경사지 평가표의 항목이 기관별로 상이하고 동일한 항목일지라도 평가배점이 다르고 조사자의 주관적 의견이 반영되어 통일성 및 신뢰성을 확보하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내외에서 활용되고 있는 급경사지 평가표 분석을 통해 급경사지 평가의 통일성을 확보하고 조사자 누구나 쉽게 평가 할 수 있는 개선된 평가방안을 제시하고 제시된 평가표 및 기존의 국내외 평가표를 붕괴된 급경사지에 적용하여 신뢰성 검증작업을 수행하였다.

2. 국내외 급경사지 평가표 분석

2.1 국내외 급경사지 평가방법 분석

2.1.1 국내 급경사지 평가방법

국내 급경사지 평가는 각 기관별 업무특성에 맞는 평가방법을 개발하여 사용 중에 있으며, 본 연구에서는 국내의 대표적인 평가방법(최경, 국립방재연구소, 한국건설기술연구원, 한국도로공사, 한국시설안전공단, 한국철도기술연구원) 6개에 대해 분석을 실시하였다. 표 1은 국내 6개의 대표적인 평가방법에 대한 분석결과를 나타내고 있다.

표 1. 국내 급경사지 평가방법 비교

| 기관명 | 평가방법 분석결과 |
|---------------------|--|
| 최경 (1986) | - 평가항목별 합계 점수가 5.76 이상일 때 산사태 발생가능으로 평가 - 자연사면의 산사태 발생 평가에만 국한적으로 사용가능 |
| 국립방재연구소 (2001) | - 재해영향평가 시 급경사지 안정성을 평가 - 토사와 암반사면으로 나누어 평가를 수행 - 산출된 총점을 5개 등급(매우 안정~매우 불안정)으로 나누어 평가 |
| 한국건설기술연구원 (2002) | - 국도변 급경사지 안정성을 평가 - 급경사지 위험도와 국도 피해도로 나누어 평가 - 평가결과에 의해 위험 급경사지를 분류하여 보강대책 우선권 부여 |
| 한국도로공사 (2004) | - 고속도로변 급경사지 안정성을 평가 - 산출된 총점을 3개의 평가구간으로 나눔 |
| 한국시설안전공단 (2004) | - 토사사면, 연약암반사면, 파쇄암반사면 그리고 절리암반사면 4개로 나누어 평가 - 사면 손상상태와 사면 파괴요인 평가의 합산점수를 고려한 결합지수로 평가 |
| 한국철도기술연구원 (2004) | - 철도변 급경사지 낙석 발생 가능성을 평가 - 급경사지 자체의 기하학적 영향인자의 경우와 같은 외부인자를 함께 고려 |

현재 국내외에서 사용 중인 급경사지 평가방법들은 표 1에서 살펴본 바와 같이 급경사지 유지관리 주체별로 평가방법이 매우 다양하다. 또한 최경은 자연사면의 산사태, 한국철도기술연구원은 낙석 발생 가능성 위주의 평가가 가능해 급경사지 전체의 전반적인 안정성 평가는 불가능하고 국립방재연구소와 한국시설안전공단의 평가방법을 제외한 나머지 4개의 평가는 토사와 암반의 구분없이 수행되는 단점이 있다.

또한 최근 들어 기상이변에 따른 집중강우의 발생빈도가 많은 것을 감안해 볼 때, 강우를 고려한 평가는 국립방재연구소, 한국철도기술연구원 평가표에서만 일강우량과 연간강우량과 같은 강우항목이 포함되어 있어 평가표의 개선은 필요한 실정이다.

2.1.2 국외 급경사지 평가방법

국외의 대표적인 급경사지 평가방법은 일본, 홍콩 그리고 미국의 평가표를 들수 있으며, 표 2에서는 이에 대한 분석결과를 나타내었다.

표 2. 국외 급경사지 평가방법 비교

| 국가명 | 평가방법 분석결과 |
|----------------------------------|---|
| 일본 (土木施設防災工法研究會,1983) | - 1차 및 2차 위험도 평가 시 조사자의 주관적인 판단에 의존 - 낙석·붕괴·산사태 그리고 국도변 급경사지로 나누어 평가 |
| 홍콩 (Koirala and Watkins,1988) | - 급경사지 불안정 점수와 피해점수 합계로 위험도 산정 - 위험도가 높은 급경사지 순으로 보강대책 우선권 부여 |
| 미국 (FHWA,1993) | - 도로변 급경사지에 대한 낙석발생 위험성을 평가 |

일본의 급경사지 평가는 낙석·붕괴·산사태와 국도변 급경사지 안정성 평가로 크게 나누어 평가를 달리 수행한다. 급경사지 낙석·붕괴·산사태 위험성 평가는 조사자의 주관적인 판단에 의해서 1차 위험도 평가 후 기존 대책공 효과정도를 비교하여 2차 위험도 평가를 실시한다. 따라서 평가자의 주관적인 의견이 대부분 반영되기 때문에 조사자의 전문성에 따라 평가결과의 신뢰성이 영향을 크게 받는 단점이 있다. 그리고 국도변 급경사지 안정성 평가방법은 다양한 항목별 배점기준으로 평가하지만 보호공 항목의 평가점수 비중이 매우 커 보호공 상태에 따라 급경사지 안정성이 결정되는 경향이 매우 높아 항목별 평가비중 검토가 필요할 것으로 판단된다.

홍콩의 급경사지 평가는 위험도가 높은 급경사지를 분류하여 보강대책에 우선권을 부여하는 것이 목적으로 급경사지 불안정 점수와 피해 점수로 나누어 두 점수의 합산이 높을수록 위험사면으로 선정되고 우선 대책권이 부여된다. 그리고 급경사지 높이항목의 배점이 무제한으로 부여되어 급경사지 안정성 평가에 있어 높이가 매우 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

미국의 도로연방국(FHWA, Federal Highway Administration)의 급경사지 평가는 3,000개 이상의 급경사지에 대해 조사한 결과를 바탕으로 낙석위험평가법(RHRS, Rockfall Hazard Rating System)을 개발하여 사용하고 있다(FHWA, 1993). 본 평가방법은 도로 급경사지에서 발생할 수 있는 낙석에 관한 평가방법으로 급경사지 전체의 거동과 같은 안정성 평가는 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

2.2 국내외 급경사지 평가항목 분석

국내외 급경사지 평가표에 포함되어 있는 항목은 기관별로 매우 다양하다. 따라서 평가표별 항목비중 분석을 통해 항목별 특성을 파악해 보았으며, 표 3에 평가표별 항목비중을 나타내어 보았다. 참고로 한국철도기술연구원의 평가법은 점수화 되지 않은 목록이 있고 일본의 경우는 보호공의 점수가 타 항목에 비해 상대적으로 너무 큰 비중을 차지하며, 미국의 평가법인 경우는 낙석위험 평가법으로 급경사지 안정성 평가법과는 상이한 내용이 많아 항목별 비중 검토에서 제외시켰다. 평가항목별 비중계산은 평가표 총점에 대한 항목별 최대점수의 백분율로 나타냈으며, 개별적인 급경사지 안정성 평가 항목을 조합하여 대상 급경사지의 형상과 관련된 ‘급경사지 형상’, 급경사지의 지질학적 요소와 관련된 ‘급경사지 상태’, 급경사지 내 불연속면과 관련된 ‘불연속면’, 시공된 보호공과 관련된 ‘보호공’, 급경사지 주변 환경이나 외부 조건과 관련된 ‘급경사지 환경’ 그리고 안정성 해석결과 및 주관적 위험도를 포함한 ‘안정성’ 등 총 6개의 대분류 항목으로 분류하여 수행하였다.

표 3. 국내외 급경사지 평가항목별 비중 (단위 : %)

| 구분 | 평가법 항목 | 최경 | 국립 방재연구소 | | 한국건설 기술연구원 | | 한국 도로 공사 | 한국시설안전공단 | | | | 홍콩 | |
|-----------|-----------|-------------|-------------|-----|---------------|-------|----------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| | | | 토사 | 암반 | 토사 | 암반 | | 토사 | 연약 암반 | 파쇄 암반 | 절리 암반 | | |
| 급경사지위험도평가 | 급경사지형상 | 급경사지 경사 | 5.83 | 30 | 20 | 21.81 | 14.82 | 6.67 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 11.75 |
| | | 급경사지 높이 | - | - | - | 14.56 | 11.11 | 10 | - | - | - | - | 17.65 |
| | | 경사길이 | 21.87 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 경사위치 | 14.58 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 횡단면형 | 28.94 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 종단면형 | 4.01 | - | - | - | - | 3.33 | - | - | - | - | - |
| | | 소계(%) | 75.22 | 30 | 20 | 36.37 | 25.93 | 20 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 29.40 |
| | 급경사지상태 | 지질특성 | 17.35 | - | - | - | - | 10 | - | - | - | - | - |
| | | 토질특성 | - | 10 | - | 10.91 | - | 3.33 | 10.5 | - | - | - | 8.82 |
| | | 연경도 | - | 20 | - | - | - | - | - | 5.3 | - | - | - |
| | | 풍화상태 | - | - | 10 | - | - | 6.67 | - | 10.5 | - | - | - |
| | | 토층심도 | - | - | - | - | - | - | 5.3 | - | - | - | - |
| | | 급경사지 상태 | - | - | - | - | - | - | - | 5.3 | 5.3 | 5.3 | 5.88 |
| | | 소계(%) | 17.35 | 30 | 10 | 10.91 | - | 20 | 15.8 | 21.1 | 5.3 | 5.3 | 14.71 |
| | 불연속면 | 균열 개수 | - | - | - | - | - | 3.33 | - | - | - | - | - |
| | | 절리 외 불연속면유무 | - | - | - | 7.27 | 7.41 | 3.33 | - | - | - | - | - |
| | | 절리방향 | - | - | 20 | - | - | 13.35 | - | - | - | 10.5 | 2.94 |
| | | 절리경사 | - | - | - | - | - | 10 | - | 5.3 | 5.3 | 10.5 | - |
| | | 특수지질 | - | - | - | - | - | 10 | - | - | - | - | - |
| | | 암석강도 | - | - | - | - | - | 3.33 | - | - | - | - | - |
| | | 불연속면상태 | - | - | 7 | - | - | -6.67 | - | - | 10.5 | 10.5 | - |
| | | SEAM층 | - | - | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 소계(%) | - | - | 35 | 7.27 | 7.41 | 33.34 | - | 5.3 | 15.8 | 31.5 | 2.94 | |
| | 보호공 | 급경사지 보호공 | - | - | - | - | - | -10 | 5.3 | - | - | - | 8.82 |
| | | 보호공 상태 | - | 10 | 10 | 7.27 | 7.41 | - | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 5.88 |
| | | 공법 중요도 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 소계(%) | - | 10 | 10 | 7.27 | 7.41 | -10 | 15.8 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 14.71 |
| | 급경사지환경 | 임분경급 | 7.43 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 집수지형 | - | - | - | - | - | 3.33 | 5.3 | - | - | - | 2.94 |
| | | 배수상태 | - | -10 | -10 | - | - | - | 10.5 | 10.5 | 5.3 | 5.3 | 17.65 |
| | | 지하수/용수 | - | - | - | 7.27 | 7.41 | 3.33 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 5.3 | 8.82 |
| | | 강우강도 | - | 20 | 15 | - | - | - | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 5.3 | - |
| | | 상부급경사지경사/도로 | - | - | - | 3.64 | 3.70 | 3.33 | - | - | - | - | 8.82 |
| 계곡부 | | - | - | - | 5.45 | 3.70 | - | - | - | - | - | - | |
| 침투수 | | - | 10 | 10 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 소계(%) | | 7.43 | 20 | 15 | 16.36 | 14.81 | 9.99 | 36.8 | 31.5 | 26.3 | 15.9 | 38.24 | |
| 안정성 | RMR 점수 | - | - | - | - | 22.22 | - | - | - | - | - | - | |
| | 붕괴이력 | - | - | - | 7.27 | 7.41 | 6.67 | 5.3 | 5.3 | 5.3 | 5.3 | - | |
| | 안정성해석 | - | - | - | 3.64 | 3.70 | - | - | - | - | - | - | |
| | 주관적 위험도 | - | - | - | 10.91 | 11.11 | - | 15.8 | 15.8 | 26.3 | 21 | - | |
| | 소계(%) | - | - | - | 21.82 | 44.44 | 6.67 | 21.1 | 21.1 | 31.6 | 26.3 | - | |

최경의 평가표는 타 기관의 평가표에 비해 평가항목 개수가 가장 작으며, 대부분 항목이 급경사지 형상에 관한 내용이다. 따라서, 최경의 평가표는 급경사지 형상이 안정성 평가에 있어 주요 요인으로 작용한다. 하지만 급경사지 안정성은 형상과 같은 지형학적인 요인도 중요한 요소로 작용하지만 지반상태, 강우량 등 다양한 영향인자를 함께 고려해야 신뢰성 있는 급경사지 평가가 가능할 것으로 판단된다.

국립방재연구소의 평가표는 토사와 암반사면으로 나누어 평가를 실시하며, 토사사면인 경우는 급경사지 형상이 그리고 암반사면인 경우는 불연속면 상태의 평가항목이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 그리고 최근 발생되고 있는 급경사지 붕괴의 주 원인인 강우의 평가를 위해 강우강도와 배수상태 항목이 포함되어 있다. 하지만 급경사지 형상 평가는 경사항목에만 의존하고 있어 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 보인다.

한국건설기술연구원의 평가표는 국립방재연구소와 동일하게 토사와 암반으로 분류하여 평가를 실시하고 있으며, 토사사면인 경우는 급경사지 형상이 그리고 암반사면인 경우는 안정성 평가 항목 비중이 가장 높게 나타났다. 한국건설기술연구원의 평가표에서 암반사면의 안정성 평가 항목 중 가장 높은 비중을 차지하는 항목은 RMR(Rock Mass Ratio) 점수이며, 급경사지 안정해석을 해야 평가를 할 수 있는 안정해석 항목도 있다. 하지만 이러한 항목은 간단한 항목에 의한 평가로 안정성을 평가한다는 평가법의 목적에 부합하지 않는 단점이 있다.

한국도로공사의 평가표는 불연속면 평가항목이 33.34%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 하지만 한국도로공사의 평가표에서는 토사와 암반의 구분없이 동일한 평가항목으로 급경사지를 평가하고 있어 불연속면을 관찰할 수 없는 토사사면인 경우에는 전체적으로 낮은 점수가 나와 안정한 평가를 받을 가능성이 높다.

한국시설안전공단의 평가표는 급경사지 종류별 항목 비중이 다르게 나타났으나, 급경사지 환경과 안정성 대분류 항목은 급경사지 종류에 상관없이 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다. 또한 한국시설안전공단의 평가법에서는 사면 높이와 안정성 해석 부분에 대한 항목이 제외되어 있어 객관적인 안정성 평가는 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

홍콩의 평가표는 전체적으로 급경사지 형상, 급경사지 상태, 불연속면, 보호공, 급경사지 환경과 관련된 항목들이 적절하게 분포되어 있으며, 안정성해석과 관련된 항목은 존재하지 않고 있다. 항목별 비중 분포를 보면 급경사지 높이와 배수상태 항목의 비중이 가장 높다.

표 4는 국내외 급경사지 평가항목별 분석결과를 나타내고 있다.

표 4. 국내외 급경사지 평가항목별 분석결과

| 기관/국가명 | 평가항목 분석결과 | 평가표 용도 |
|---------------|--|----------|
| 최경 | - 평가항목 개수가 너무 작음 - 급경사지 형상에 관한 항목 배점이 지나치게 과대평가 | |
| 국립방재연구소 | - 급경사지 높이 항목 누락 | 재해위험평가 |
| 한국건설 기술연구원 | - 토사사면 평가법에 불연속면 항목 포함 - 안정성 분석 등 평가법 이외의 추가적인 분석필요 - 피해 위험도 항목 포함 | 국도사면평가 |
| 한국도로공사 | - 토사 및 암반사면의 높이와 경사배점이 동일 | 고속도로사면평가 |
| 한국시설 안전공단 | - 지나치게 세분화된 평가법 - 급경사지 높이 항목 누락 - 급경사지 파괴징후 항목 포함 | 대규모사면평가 |
| 홍콩 | - 급경사지 높이배점의 무제한 및 배수항목의 주관적 판단 - 피해 위험도 항목 포함 | |

3. 급경사지 평가표 개선방안 제시

2장에서 국내외 급경사지 평가방법 및 평가항목을 분석해 본 결과 현재 급경사지 평가법은 기관별 업무 특성에 해당되는 급경사지의 평가를 위한 평가법을 제안하고 있으나 평가항목의 통일성 및 객관성 확보에는 한계가 있는 것으로 분석되어 각 기관별 평가법으로 국내의 전체적인 급경사지를 평가하기에는 다소 무리가 있고 현장조사 시 주관적인 판단이 포함될 가능성이 높다. 따라서 본 장에서는 국도, 고속도로, 철도 인접 급경사지 평가가 아닌 전체 급경사지 평가를 위해 재해영향평가 시 사용되는 국립방재연구소 평가표(2001)를 활용하여 급경사지의 신뢰성 있는 안정성 평가를 위해 평가표 개선방안을 제시하고 이를 통한 개선된 평가표를 제안하고자 한다.

3.1 기존 국내외 급경사지 평가표 단점

기존 국내외 급경사지 평가표상의 단점 분석을 통해 평가법의 개선방안을 도출하고자 하며, 기존 평가표의 단점은 아래와 같다.

첫째, 주관적이며 난해한 평가기준

기존 평가표상의 강우강도, 침투수, 배수상태 등의 항목은 평가 기준이 애매하고 주관적이라 조사자간 평가의 일관성을 기대하기 힘들다. 따라서 이들에 대해서는 각각 현장 조사 시 조사자별로 육안으로 쉽게 판단할 수 있도록 항목 삭제 또는 이를 대체할 수 있는 객관적인 항목을 적용시켜야 한다.

둘째, 지반특성에 따른 차별화된 평가항목

암반 사면과 토사 사면은 붕괴요인 등 제반영향인자에 차이가 있을 수 있으므로 각각의 경우에 대한 평가항목이 차별적으로 존재할 필요성이 있다. 암반 급경사지의 경우 급경사지의 안정성에 큰 영향을 미치는 급경사지 내 불연속면 특성, 풍화정도 등과 같은 항목이, 토사 급경사지의 경우 토사의 c (점착력) · Φ (내부마찰각)나 전단강도를 고려할 수 있는 연경도 항목이 필요하다. 대부분의 평가법들이 공통적으로 가지는 급경사지 경사나 지질구분과 같은 항목은 필수적으로 포함되어야 할 것으로 판단된다.

셋째, 국내 지질특성의 반영

국의 평가법의 공통적인 특징은 각국의 지질특성에 대한 고려가 반영되었다는 점이다. 일본과 홍콩의 평가법 모두 자국의 지질특성에 대한 평가를 수행하여 홍콩의 경우 붕괴층, 화산암층, 화강암토층인지 여부를 판단하도록 되어 있으며, 일본의 경우 응회암, 제3기나 제4기 이암, 화산쇄설물인지 여부 또는 3기층, 중·고생층 여부 등을 판단하도록 되어 있다. 그러나 국내 평가법의 경우 한국도로공사의 평가법을 제외하면 어떠한 평가법도 국내 지질특성에 대한 고려가 미흡한 실정이다. 급경사지의 안정성이 지질특성에 의해 크게 좌우되는 기존의 연구 결과들을 살펴볼 때 국내의 지질특성이 평가항목 내에 포함되어야 할 것으로 판단된다.

넷째, 붕괴관련 평가부재

급경사지 붕괴 가능성 판단에서 가장 중요한 점은 대상 급경사지의 붕괴이력이라고 볼 수 있으며, 붕괴이력이 있는 급경사지는 다른 급경사지보다 향후 붕괴 가능성이 더 높다. 그리고 급경사지 붕괴 가능성 평가항목 중에서 붕괴 가능성을 예상할 수 있고 동시에 가장 중요한 항목은 인장균열 유무 파악이라고 할 수 있다. 따라서, 급경사지 안정성 평가표에는 붕괴관련 평가항목이 반드시 포함되어야 현실적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

다섯째, 피해도 평가항목 고려

홍콩과 한국건설기술연구원의 평가방법과 같이 피해도 평가항목이 필수적으로 포함되어야 할 것으로 판단된다. 이는 동일한 불안정한 급경사지라 할지라도 붕괴 시 예상되는 피해정도에 따라 위험정도를 판단할 수 있는 근거가 되며 급경사지 붕괴 발생 시 가능한 한 인명 및 금전적 피해를 최소화 할 수 있는 방법이기에 때문이다. 급경사지의 용도나 위치에 따라 인접 환경이 판이하게 다른 경우 각기 다른 피해도 평가 항목을 적절하게 배치 할 수 있으며, 이 역시 충분한 자료 분석을 통해 점수를 부여해야 할 것이다.

3.2 개선방안 도출

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 국내외 급경사지 평가표는 다양한 단점을 안고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 절에서는 기존 평가표의 단점에 대한 개선방안을 도출하여 개선된 급경사지 평가표를 제안하고자 한다.

이를 위해 첫째, 현장조사 시 조사자가 직접 관측을 통해 평가가 가능한 항목위주로 구성하여 일관성 있는 평가결과가 나오도록 해야한다. 예를 들어 국립방재연구소의 암반사면의 풍화상태 평가를 위해서 일축압축강도 값을 활용하게 되어 있으나 현장조사 시 측정장비 활용에 따른 불편함이 있으므로 육안검사로 풍화상태 평가가 가능하도록 하였다. 그리고 현장조사 시 조사 및 판단이 애매한 침투수와 배수상태 항목은 육안검사로 쉽게 평가할 수 있는 용수상태 항목으로 단일화하였다.

둘째, 토사와 암반의 지반 특성 차이에 따라 평가표를 달리 작성해야 한다. 토사사면인 경우는 점착력과 내부 마찰각 등을 고려할 수 있는 연경도를 그리고 암반사면인 경우 불연속면의 특성과 풍화상태를 평가할 수 있는 항목을 포함시켜야 한다.

셋째, 국내 지질특성에 대한 고려항목이 포함되어야 한다. 홍콩과 일본의 평가표에는 자국의 지질특성에 대한 평가를 수행하여 홍콩의 경우 붕적층, 화산암층, 화강암토층인지 여부를 판단하도록 되어 있으며, 일본의 경우 응회암, 제3기나 제4기 이암, 화산쇄설물인지 여부 또는 3기층, 중·고생층 여부 등을 판단하도록 되어 있다.

넷째, 급경사지 붕괴에 관한 평가항목이 포함되어야 한다. 앞 절에서도 언급했듯이 붕괴이력 및 붕괴 징후 파악은 다른 평가항목보다도 대상 급경사지의 안정성 파악에 있어 매우 중요하다. 기타 평가항목인 경우는 각 항목의 결과가 급경사지 안정성에 끼치는 영향성을 객관적으로 평가하기에는 현실적으로 불가능하다.

다섯째, 급경사지 붕괴발생 시 피해가 미치는 사회적 영향을 고려해 인명과 재산상의 피해정도를 평가할 수 있는 항목을 포함시켜야한다.

그림 1은 위에서 언급한 기존 국내외 급경사지 평가표의 단점과 이에 따른 단점 개선방안 도출을 보여주고 있다.



그림 1. 급경사지 평가표 개선방안 도출

3.3 개선된 평가표 제안

국내외 평가표의 단점 파악 및 개선방안 도출을 통해 개선된 평가표를 표 5~표 6에 나타내었다.

표 5. 개선된 토사사면 평가표

| 평가항목 | 평가기준 및 배점 | | | | | |
|---------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| | 대단히 견고 | 조밀 또는 견고 | 중간 | 느슨 또는 연약 | 매우 느슨 | |
| 연경도 | 1 | 4 | 7 | 10 | 14 | |
| 급경사지 높이 | 10m 이하 | | 11~20m | 21~30m | 31m 이상 | |
| | 1 | | 4 | 7 | 10 | |
| 급경사지 경사 | 1: 2.0(26°이하) | 1: 1.5(34°) | 1: 2.0(40°) | 1: 1.0(45°) | 1: 0.7(55°) | 1: 0.5(63°이상) |
| | 1 | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 계곡부 | 무 | | | 유 | | |
| | 0 | | | 6 | | |
| 용수상태 | 용수없음 | | 습윤상태 | | 상시존재 | |
| | 0 | | 6 | | 12 | |
| 인장균열 | 무 | | | 유 | | |
| | 0 | | | 16 | | |
| 붕괴이력 | 무 | | | 유 | | |
| | 0 | | | 8 | | |
| 예상피해도 | 해당사항없음 | 일반도로 | 주요도로 | 그 외의 공영건물 | 인구밀집(병원/학교) | |
| | 0 | 8 | 10 | 14 | 18 | |
| 총 점 | 100 | | | | | |

표 6. 개선된 암반사면 평가표

| 평가항목 | 평가기준 및 배점 | | | | | | | |
|---------|---------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|-----------|--|
| | 신선 | | 약간풍화 | | 보통풍화 | | 심한풍화 | |
| 풍화도 | 1 | | 5 | | 10 | | 15 | |
| 급경사지 높이 | 10m 이하 | | 11~20m | | 21~30m | | 31m 이상 | |
| | 1 | | 4 | | 7 | | 10 | |
| 급경사지 경사 | 1: 1.5(34°이하) | 1: 1.2(40°) | 1: 1.0(45°) | 1: 0.7(55°) | 1: 0.5(63°) | 1: 0.3(73°) | 90° 이상 | |
| | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | |
| 토층심도 | h=0m | | 0<h<2m | | 2<h<5m | | h>5m | |
| | 0 | | 2 | | 6 | | 8 | |
| 지질 | 해당사항 없음 | | 미고결 퇴적암/석회암/슬래킹 특성을 가지는 이암, 셰일 / 낮은 전단강도특성의 흑운모 편암 | | | | | |
| | 0 | | 10 | | | | | |
| 절리방향 | 매우 유리 | | 유리 | | 양호 | | 불리 | |
| | 1 | | 2 | | 4 | | 8 | |
| 단층 | 없음 | | | | 있음 | | | |
| | 0 | | | | 5 | | | |
| 계곡부 | 무 | | | | 유 | | | |
| | 0 | | | | 4 | | | |
| 용수상태 | 용수 없음 | | 습윤상태 | | | 상시존재 | | |
| | 0 | | 2 | | | 4 | | |
| 인장균열 | 무 | | | | 유 | | | |
| | 0 | | | | 8 | | | |
| 붕괴이력 | 무 | | | | 유 | | | |
| | 0 | | | | 2 | | | |
| 예상피해도 | 해당사항없음 | | 일반도로 | | 주요도로 | | 그 외의 공영건물 | |
| | 0 | | 6 | | 8 | | 10 | |
| 총 점 | 100 | | | | | | | |

4. 급경사지 평가표 현장적용

4.1 급경사지 평가표 적용현장

기존 국내 연구에서는 국내외 평가표들에 대한 항목별 비교분석 작업만 수행되었을 뿐, 평가표별 현장 적용을 통한 신뢰성 검증작업은 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 국내외 급경사지 평가표 및 앞에서 제안한 개선된 급경사지 평가표를 현장에 적용하여 그 결과를 비교분석하였다. 평가표 적용현장은 급경사지 붕괴가 발생된 강원도 지역 50개소를 선정하여 조사하였다.

현장조사를 수행한 50개소 급경사지의 일반현황은 그림 2와 같다.

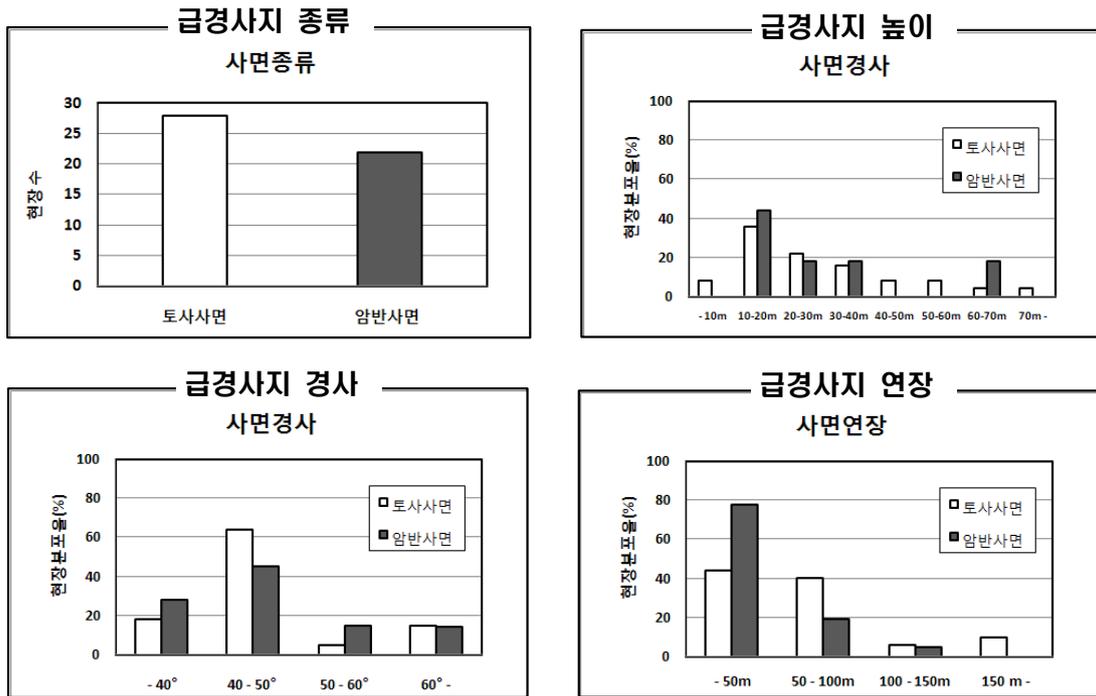


그림 2. 급경사지 평가표 적용현장 일반현황

총 50개소의 조사대상 급경사지의 연장인 경우 토사 급경사지는 평균연장 63.2m, 암반 급경사지는 평균연장 42.7m를 보이고 있으며, 토사 급경사지는 연장 100m이하가 전체 급경사지의 85%, 암반 급경사지는 95%로 대부분을 차지하고 있다. 급경사지 높이는 토사와 암반사면 모두 10~30m, 급경사지 경사는 40~50°, 급경사지 연장은 50m 이하가 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 조사되었다.

4.2 기관별 급경사지 평가표 현장적용

국립방재연구소의 평가법은 총점을 기준으로 급경사지의 안정성을 5등급으로 나누어 평가하고 있으며 (표 7), 이러한 기준을 근거로 조사대상 급경사지의 현장적용 결과 분포는 그림 3과 같다. 현장자료를 분석한 결과 5개 구간 중 ‘매우 안정’과 ‘매우 불안정’에 속하는 급경사지는 없는 것으로 나타났다. 즉, 모든 급경사지는 21점과 80점 사이에 존재하며 안정, 부분적 안정, 불안정 등급으로만 분류되었다. 중간등급에 해당하는 ‘부분적 안정’에 속하는 급경사지는 전체 급경사지의 54%를 차지하고 있으며 ‘안정’등급과 ‘불안정’ 등급에 속하는 급경사지는 각각 22%와 24%로 나타나 양 끝단의 값이 없는 정규분포의 형태를 보이고 있다.

표 7. 국립방재연구소 안정성 평가등급 기준

| 판정 | 매우 안정 | 안정 | 부분적 안정 | 불안정 | 매우 불안정 |
|-------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 점수 분포 | 0 - 20 | 21 - 40 | 41 - 60 | 61 - 80 | 81 - 100 |

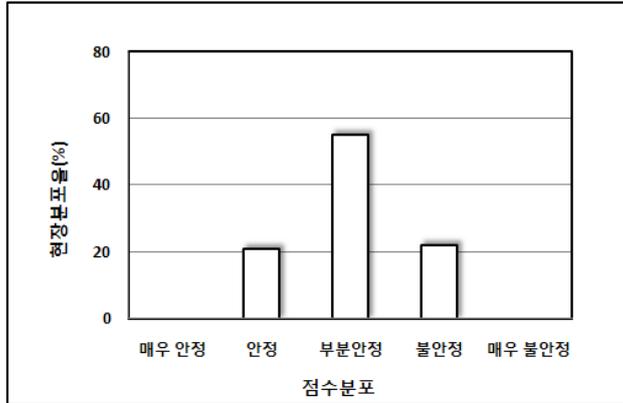


그림 3. 국립방재연구소 평가표 점수 분포도

한국건설기술연구원의 평가법은 일정한 점수기준에 따라 급경사지의 안정 또는 불안정 여부를 판단하는 방식이 아닌 급경사지 보강대책 우선순위 결정에 활용되고 있다. 한국건설기술연구원 평가표의 현장 적용결과 점수분포는 68점에서 177점에 이르기까지 매우 폭넓은 분포를 보여주고 있다(그림 4).

분석결과에 따르면 101점에서 150점 사이의 급경사지가 전체 급경사지의 76%를 차지하고 있으며, 51점에서 100점 사이의 급경사지가 10%, 151점에서 200점 사이의 급경사지가 14%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 이러한 분포는 분석대상 급경사지가 모두 붕괴 급경사지라는 점을 감안하면 지나치게 넓은 분포를 보이고 있는 것으로 판단된다.

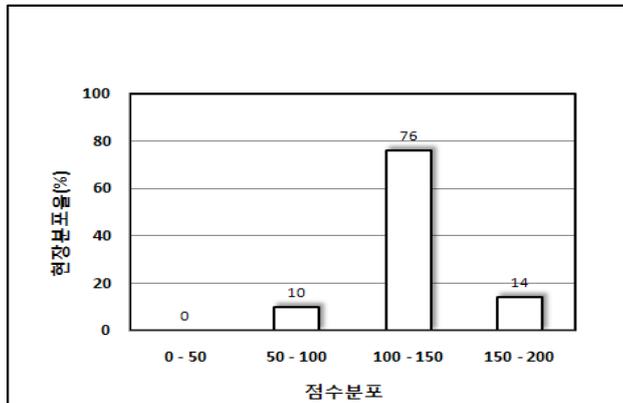


그림 4. 한국건설기술연구원 평가표 점수 분포도

한국도로공사의 평가법은 최대점수를 300점으로 보고 표 8의 평가등급을 기준으로 급경사지를 평가하며 평가표의 현장적용 결과 II등급에 속하는 사면은 총 50개소의 적용대상 사면 중 38개소로 전체 대상사면의 76%를 차지하는 것으로 조사되었다. 한국도로공사 평가법은 다른 평가법과는 달리 토사 급경사지와 암반 급경사지를 구분하지 않고 평가하기 때문에 토사 급경사지의 경우 절리방향과 절리경사 항목의 배점이 무시될 수 있다고 앞에서 밝힌 바 있다.

본 연구에서도 이러한 문제점으로 인해 토사 급경사지들의 점수가 암반 급경사지에 비해 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 즉 안전한 것으로 판단되는 I 등급의 급경사지 4개 중 3개가 토사 급경사지로 분석되었으며, II 등급의 경우 전체 38개의 급경사지 중 61%인 23개의 급경사지가 토사 급경사지로, 시급한 안정대책을 필요로 하는 III 등급의 급경사지 8개소 중 2개소만이 토사 급경사지로 분석되었다.

표 8. 한국도로공사 안정성 평가등급 기준

| 등급 | 점수 | 평가 |
|-----|---------|-----------------------------------|
| I | 0~110 | 안정한 사면 |
| II | 110~160 | 붕괴 위험성이 있어 정밀한 현장조사 및 지속적인 관찰을 요함 |
| III | 160 이상 | 붕괴 위험성이 커서 사면안정대책을 요함 |

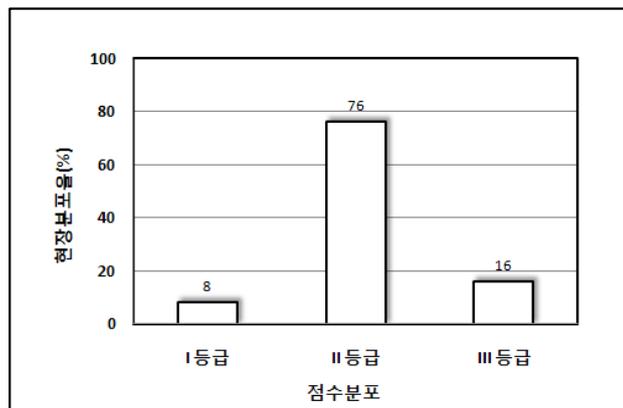


그림 5. 한국도로공사 평가표 점수 분포도

한국시설안전공단의 평가법은 한국도로공사와 마찬가지로 평가등급에 대한 기준이 마련되어 있으며 이는 급경사지를 보다 객관적이고 구체적으로 판단할 수 있는 지표로 사용될 수 있다. 각 등급과 이에 따른 상태설명은 표 9와 같다. 그림 6은 대상 급경사지를 표 9를 통해 분류한 것으로 C등급이 46개소로 92%를 차지하며, B, D등급이 각각 2개소로 분류되어 졌다.

본 결과를 한국도로공사의 등급과 비교해 볼 때 2등급이 추가되어 5개 등급으로 평가되지만 부분적 안정상태인 중간등급에 많은 분포를 보이는 점은 동일하다.

표 9. 한국시설안전공단 안정성 평가등급 기준

| 상태등급 | 결함지수(F) | 상태 |
|------|----------------------|---|
| A | $0 \leq F < 0.15$ | 문제점이 없는 최상의 상태 |
| B | $0.15 \leq F < 0.30$ | 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태 |
| C | $0.30 \leq F < 0.55$ | 보통의 손상, 결함이 발생하였으나 안정성에는 지장은 없으며, 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 간단한 보강이 필요한 상태 |
| D | $0.55 \leq F < 0.75$ | 손상, 결함이 진전되고, 파괴 잠재성이 존재하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정하여야 하는 상태 |
| E | $0.75 \leq F$ | 심각한 손상, 결함 및 파괴 잠재성에 의하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 |

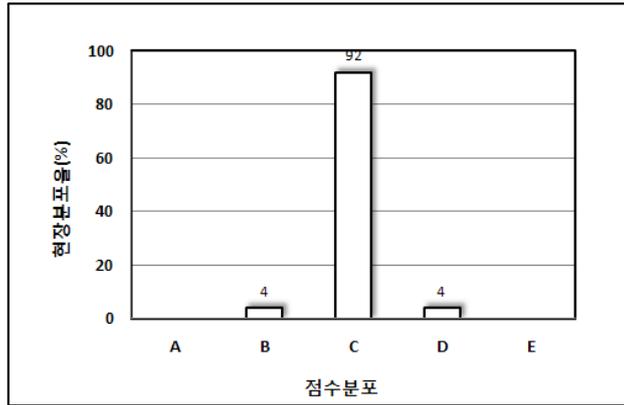


그림 6. 한국도로공사 평가표 점수 분포도

현장에서부터 획득된 자료를 홍콩의 평가법을 이용하여 각 급경사지의 위험도를 분석해 본 결과 그림 7에서와 같이 73.4점에서 460.7점에 이르기까지 다양한 분포의 종합점수를 보였으며, 종합점수 평균값은 169.5점을 보였다. 점수분포는 대개 100~200점 사이에 집중되어 있고 전체 데이터의 61.2%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 그리고 홍콩의 급경사지 안정성 평가법에 의한 종합점수는 불안정점수와 예상피해점수의 합산에 의해 산출된다는 점을 고려하여 급경사지별 불안정점수와 예상피해점수의 분포정도를 추가 분석하였다(그림 8, 그림 9). 분석결과 불안정점수와 예상피해점수 모두 유사한 분포를 보이며, 대체적으로 불안정점수가 높은 급경사지가 예상피해점수 또한 높게 나타났다.

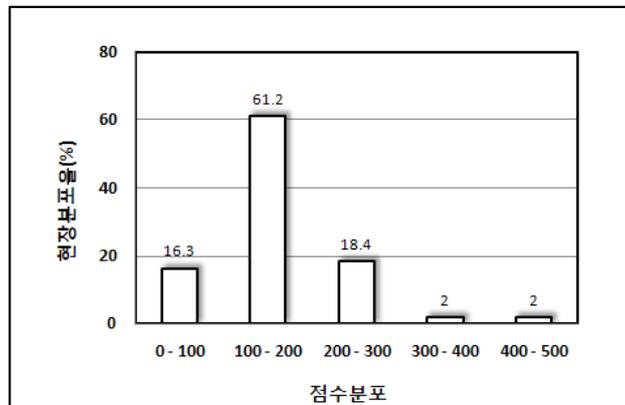


그림 7. 홍콩 평가표 점수 분포도

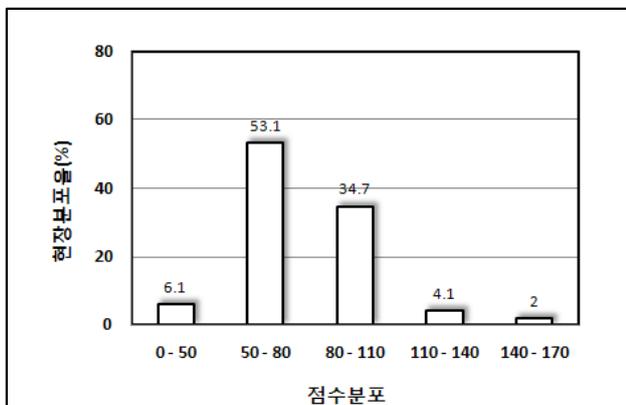


그림 8. 홍콩 평가표의 불안정 점수 분포도

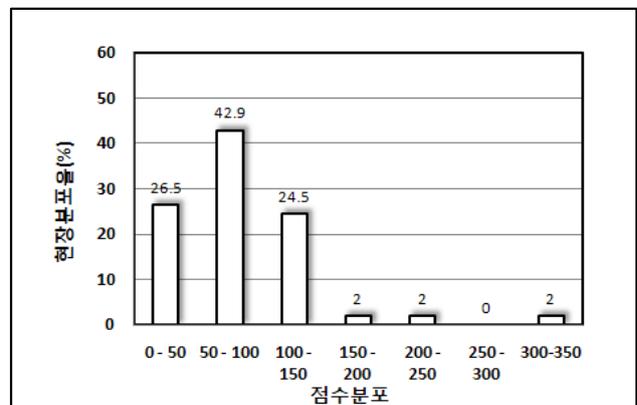


그림 9. 홍콩 평가표의 예상 피해점수 분포도

4.3 개선된 평가표의 현장적용

개선된 급경사지 평가법은 각 항목별 총점이 토사사면과 암반사면 모두 100점이며, 아래 그림 10은 개선된 급경사지 평가법의 현장적용 결과 산출된 총점의 분포도를 나타내고 있다. 그림 10을 보면 전체 급경사지 50개소 중 약 76%의 급경사지가 불안정한 61~80점 분포로 조사되었다. 이는 본 연구에서 현장 적용한 급경사지가 이미 붕괴가 발생된 사면인 점을 감안하면 매우 현실적으로 산출된 결과라 할 수 있다.

특히 2001년에 국립방재연구소에서 제안한 급경사지 평가법 분석 결과(그림 3)와 비교해 보면 2001년 평가법의 경우 부분적 안정이 54%로 가장 높은 분포를 보이고 있어 많은 부분에서 평가방법이 개선되었음을 확인할 수 있다.

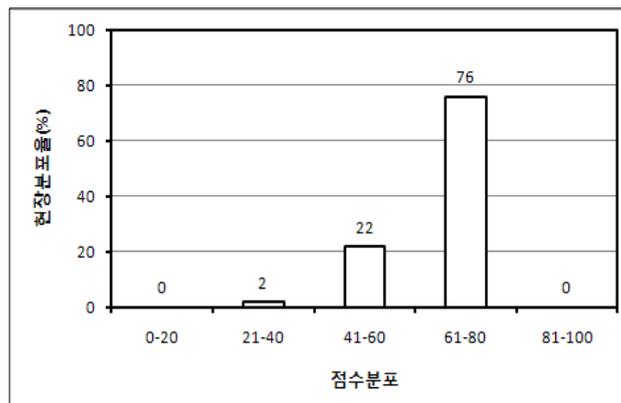


그림 10. 개선된 평가표 점수 분포도

5. 결론

최근 급경사지 재해로 인한 인명피해는 전체 자연재해 사망자의 50%를 차지하고 있으며, 급경사지 재해저감을 위해서는 예·경보시스템의 도입 및 위험도 평가 등 적극적인 대책 마련이 필요하다. 급경사지 재해에 대한 위험도 평가를 위해서는 객관적인 재해인자의 축적 및 분석이 필요하므로 본 연구에서는 급경사지 신뢰성 있는 위험도 평가를 위해 기존 국립방재연구소에서 제안한 평가법을 개선하여 새로운 평가표를 제시하였다.

본 연구에서 추진된 연구의 결과를 정리하며 다음과 같다.

첫째, 급경사지 위험도 평가를 위해 국내외에서 활용되는 8개의 평가법을 항목별 비교·분석을 통하여 급경사지 안정성에 영향을 미치는 주요인자를 도출하였다. 국내 평가법들은 평가 대상 급경사지의 종류나 평가 목적에 따라 적절하게 제안되었지만 급경사지 붕괴가 여러 요인들의 복합적인 작용에 의해 발생한다는 점을 감안하면 안정성에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대한 항목별 평가에 있어 통일성 및 객관성을 확보하기에는 한계가 있는 것으로 분석되었다.

둘째, 급경사지 평가항목에 관한 분석을 통해 기존 국립방재연구소 급경사지 안정성 평가법을 개선하였다. 기존에 활용되었던 국립방재연구소 평가법 상의 압축강도, 침투수, 배수상태 등 육안 및 간단한 조사기구로 평가항목 값의 취득이 불가능한 항목은 현장 조사 시 간단한 조사기구로 평가가 가능하도록 평가항목의 명확성이 가능하도록 개선하였다. 급경사지 구성 지반종류별 역학적인 붕괴특성을 반영하기 위해 토사지반의 경우 토질특성과 연경도를 평가할 수 있도록 항목을 추가하였으며, 암반지반의 경우 주요 붕괴요인인 불연속면을 고려할 수 있도록 개선하였다. 또한 신규 반영된 평가항목과 기존 평가항목에 대해서는 평가비중을 합리적으로 재조정하였으며, 급경사지 붕괴와 직결된 인장균열 및 붕괴이력 등과

같은 중요 평가요소를 추가하였다.

셋째, 개선된 급경사지 평가표 및 기존의 국내외 급경사지 평가표를 붕괴가 발생된 급경사지 현장에 적용하여 그 결과를 비교분석 하였다. 그 결과 기존의 국내외 급경사지 평가표인 경우는 붕괴가 이미 발생한 현장임에도 불구하고 안정성 평가 등급이 대부분 부분적 안정 즉 불안정과 안정 사이에서의 비중이 가장 큰 것으로 조사되었다. 하지만 개선된 급경사지 평가표인 경우는 76%에 해당하는 급경사지가 불안정으로 산출되어 결과의 신뢰성이 매우 높은 것으로 나타났다.

하지만 본 연구에서 제안한 개선된 평가법은 평가항목별 배점의 신뢰성, 평가항목의 적절성 등 한계점이 내재되어 있어 개선된 평가법의 높은 신뢰성 및 타당성을 확보하기 위해서는 향후 붕괴가 발생한 급경사지 뿐 아니라 붕괴가 발생되지 않은 급경사지 등 수많은 급경사지에 대해서 적용 후 추가적인 보완작업을 꾸준히 지속해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국립방재연구소(2001), 재해영향평가서 사면안정성 평가법 개발, 연구보고서, NIDP-2001-09
2. 국립방재연구소(2009), 한계선 설정 국내지침 개발 연구, 연구보고서 NIDP-2009-07-01
3. 최경(1986), 한국의 산사태 발생 요인과 예지에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교 대학원
4. 한국건설기술연구원(2002), 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용
5. 한국도로공사(2004), 고속도로 절토사면 유지관리시스템 개발 연구
6. 한국시설안전공단(2004), 절토사면유지관리매뉴얼
7. 한국철도기술연구원(2004), 철도시설의 안정성 강화기술 개발 연구보고서
8. Federal Highway Administration(1993), Rockfall Hazard Rating System - Participants' Manual, Publication No. M A SA-93-057
9. Koirala, N.P, and Watkins, A.T(1988)., Bulk appraisal of slopes in Hong Kong. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, Chistophe Bonnard (eds). Trodheim, Norway, A.A Balkema, Rotterdam Vol. 2, pp.1181~1186
10. 土木施設防災工法研究會(1983), のり面及び斜面災害復舊工法, 山解堂, pp.127~130