

사면붕괴 피해저감을 위한 지질 DB 구축사례

A case study on the DB using geological data for mitigation of slope failure

박성욱¹⁾ · 김춘식²⁾ · 김양희³⁾ · 강인준⁴⁾ · 이수곤⁵⁾ · 윤용선⁶⁾

Park, Sung Wook¹⁾ · Kim, Choon Sik²⁾ · Kim, Yang Hee³⁾ · Kang, In Joon⁴⁾ · Lee, Soo Gon⁵⁾ · Yoon, Yong Sun⁶⁾

¹⁾ 주식회사 넥스지오 차장(E-mail:wook@nexgeo.com)

²⁾ 주식회사 넥스지오 대표이사(E-mail:cskim@nexgeo.com)

³⁾ 주식회사 넥스지오 차장(E-mail:kyhnh@nexgeo.com)

⁴⁾ 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:ijkang@pusan.ac.kr)

⁵⁾ 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:sglee@uos.ac.kr)

⁶⁾ 소방방재청 사무관

초 록

Quite a while ago, Organizations which have slope DB system was running slope of management in several. Frequently, Slope failure was happened by abnormal weather and limit of valuation system at the managed slope. Analysis of other organization slope DB systems is very important that slope DB system maintains same regions on geology.

In Korea, slope DB system was running at KEC(Korea Expressway Corporation), Korail(Korea Railroad), and KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources). We research theirs DB constructing.

For reviewed slope DB system of other country, we searched NLIC(Natural Landslide Information Center)'s DB system in U.S.A., GEO's LPM(landslide Prevention Measures) program in HongKong, DPRI' ILC(International Consortium on Landslides) program in Japan, and AGSO(Australian Geological Survey Organization)'s NGVUC program in Australia.

제 1 장 서론

산업경제의 발전으로 대규모 국토개발과 각종 국토정비 사업으로 인해 급경사지의 개발이 증가 되는 현시점에서 매년 태풍과 맞물려 대규모 사면 붕괴가 발생하는 피해가 반복되고 있다. 이로 인해 사면재해 위험 급경사지에 대하여 효율적인 관리를 도모하고 사면붕괴에 대한 재해를 저감시키고자 사면에 관련된 각각의 기관별로 사면재해 정보 시스템을 설치 및 운영하고 있다. 그러나 최근 이상기후 및 평가 시스템의 한계로 인해 관리사면들이 붕괴하는 일이 빈번히 발생되고 있는 실정이다. 그렇기 때문에 현재 운용중인 각 기관별 사면관리 시스템의 면밀한 분석 작업은 새로운 시스템을 개발 시 시스템의 효용성을 담보하는 과제의 핵심요소로서 중요하다. 그래서 본 연구에서는 국내외 여

러 사면관리 주체 기관의 사면관리 평가법을 비교, 지질DB관련 문제점을 보완하여 제안하고자 한다.

제 2 장 국내외 연구사례 분석

국내의 경우 한국건설기술연구원의 사면 관리 DB 시스템, 철도청의 철도사면 방재시스템, 한국 도로공사의 HSMS(Highway Slope Maintenance System)내의 사면관리DB 시스템, 국립방재연구소의 사면 관리시스템의 DB구축현황과 적용성을 검토하여보았다.

국의 사면 관련 DB 시스템 현황을 살펴보기 위해 미국의 미연방도로국(FHWA, 1989)에 의해 개발된 낙석위험평가법(Rockfall Hazard Rating System, RHRS)과, 홍콩의 토력공정처(GEO)의 LPM(Landslide Prevention Measures)프로그램에서 운영중인 DB시

스텝, 일본의 교건설서의 사면관리 시스템, 호주의 지질조사소(Australian Geological Survey Organization)의 도시지역자연재해 취약성평가프로그램(NGVUC) 등을 검토하였다.

2.1 국내의 사면 DB시스템 현황

2.1.1 한국건설기술연구원

한국건설기술연구원은 '도로사면 유지관리시스템 개발 및 운용' 연구를 통하여 사면의 위험도와 도로 피해도 평가방법을 개발하였다. 이 평가방법은 홍콩의 위험사면 평가방법 기준에서 임분경급, 사면의 횡단면형상을 추가하고 사면경사를 자연사면과 절취사면으로 구분하였다. 그리고 국내지질조건을 고려하여 국내 사면조사에 적합한 위험 판정기준을 제시하였다. 이는 암반구조나 지질구조가 홍콩과 다른 점을 감안한 사면안정성 평가방법이라 할 수 있지만 본래 홍콩의 지반조건에 맞게 만들어진 평가표이기 때문에 국내현장 적용 시 평가방법의 배점구성에 한계가 있다고 판단된다.

2.1.2 철도기술연구원

한국철도기술연구원에서는 낙석 재해에 영향을 주는 요인을 크게 내적요인과 외적요인으로 구분하여 분석을 통해 낙석재해의 발생여부에 대한 평가를 할 수 있는 방안을 제시하였다. 평가항목으로는 크게 지형조건, 지질조건, 사면조건, 기상조건, 대책공으로 구분하였으며 이를 다시 각 항목별 세부평가항목을 선정하여 각각에 대한 배점을 부여하였다.

2.1.3 도로교통기술원(도로공사)

한국도로공사에서는 국외 전문기관의 사면 안정평가 기법을 분석하여 국내 고속도로 실정에 맞게 상태평가 기법을 개발하였고, 전국 고속도로에 분포하는 땅깍기 사면의 붕괴특성 분석자료를 토대로 암반 사면의 안정성 평가규정을 제시하고 있다. 붕괴요인을 크게 지질, 지형, 붕괴이력, 사면 보호공으로 분류하고, 이를 0~300 사이점수 3개 등급으로 분류하여 관리하고 있다. 구성항목은 사면 높이, 사면경사, 절리방향, 절리경사, 풍화정도, 암석종류, 균열상태, 단층유무, 암석강도(지질해머 타격), 특수지질, 용수 유무, 토질조건, 집수지형, 사면형상, 상부경사, 붕괴이력, 사면보호공을 선정하였다. 각 항목의 점수는 고속도로 사면 데이터 베이스와 붕괴이력을 근거로 붕괴 비율이나 중요

도에 따라 사면 굴착형상(높이, 경사) 50점, 지질적인 요인 200점, 지형적인 요인 30점, 붕괴이력 20점으로 총 300점을 배정하였다.

2.1.4 국립방재연구소

국립방재연구소는 2001년 '재해영향평가서 사면 안정성 평가법 개발' 연구를 통하여 절취 밀 성토 사면에 대한 평가규정을 제시하였다. 국립방재 연구소에서 제시한 사면 평가방법은 토사사면과 암반사면으로 구분하여 각각의 항목에 대한 점수의 총합으로 상태 등급을 평가하여 관리하고 있다.

2.2 국외 사면 DB시스템 현황

2.2.1 미국

미국의 미연방도로국(FHWA, 1989)에 의해 개발된 낙석위험평가법(Rockfall Hazard Rating System, RHRS)은 3000개 이상의 사면에 대하여 시험 검증한 결과물로 사면높이, 낙석흡수도랑(Ditch), 평균차량위험도, 도로폭, 지질특성, 낙석의 체적, 기후 및 낙석 이력 등을 위험요인으로 정하고 각각의 요인에 대하여 0~100점까지의 점수를 부여하였고 사면에서 발생할 수 있는 낙석의 위험도에 중점을 두고 있다.

2.2.2 홍콩

홍콩의 경우 홍콩자치정부 내 토목공정서 토력공정처(CED) 주관 하에 산사태방지대책(Landslip Preventive Measures; LPM) 프로그램을 수행하고 있으며, 사면붕괴에 의한 손실저감, 지반안정성 확보, 사면안정성 평가 및 보강을 위한 방법 표준화에 중점을 두고 있다. 1995년부터 국가차원의 '산사태 방지대책 계획(LPM)'을 실시해 오고 있으며, 이는 2010년까지 총 5,500여개의 사면에 대한 연구를 수행할 계획으로 산사태 위험등급도 작성사업을 통하여 사면을 분류하고, 주요사면에 대한 산사태 상시 감시 및 사후관리 프로그램에서는 사면코드에 따라 사면을 지속적으로 관리하고 있다.

홍콩의 사면 안정성 평가방법은 8,441개소의 사면을 대상으로 위험도가 높은 사면을 선별하고 보강우선순위를 부여하여 위험사면을 안정화시키기 위해 작성되었다(Wakens, A. T., 1986). 평가항목은 사면을 구성하는 기하학적 형상, 지질 및 지반의 특성, 수리적 조건 및 붕괴 시 발생하는 피해 등으로 구분되며, 사면의 불안정점수와 붕괴 피해점수를 산정하는데 사용된다. 기하학적 형상

<표2.1 국내외 기관별 사면안정성 평가 항목 구성요소>

평가 항목	세부 항목	한국 건설 기술 연구원	철도 기술 연구원	도로 교통 기술 연구원	국립 방재 연구소	미국 도로 연방국	홍콩 토력 공정처	일본 건설성	호주 Joyce and Evan
사 면 형 상	사면높이	○	○	○		○	○	○	
	사면경사각	○	○	○	○		○		○
	사면상부의 경사각	○		○		○	○		
사 면 상 황	시설물 위치관계		○						
	집수지형	○		○		○	○	○	○
	표면보호공		○	○	○				
	사면상태	○					○		
	임분경급	○	○						○
	황단면형	○	○	○				○	
	옹벽유무	○					○	○	
	옹벽과의 결합상태	○					○		
	피복상황		○					○	
	표층상황		○					○	
	붕괴이력		○	○		○			
	부식상황		○			○			
	용수상황	○	○	○			○	○	○
	배수상태	○				○	○	○	
침투수					○				
식생상황							○	○	
지 질	절리방향	○		○	○	○	○		○
	절리경사			○					○
	절리간격				○	○		○	○
	풍화정도		○	○	○				
	암석종류	○		○			○	○	
	암분류		○	○	○			○	
	암괴의 크기					○			
	균열상태		○	○				○	
	단층유무			○					
	암석강도		○	○					
	특수지질			○					
	토질조건	○		○				○	
기 타	강우강도		○		○				
	기후		○			○			
	대책공		○						
	예상피해구조물	○					○		
	위험피해요소	○					○		

은 사면의 높이, 사면경사각, 사면상부 경사각으로 이루어지며, 이들 중 사면높이에 대한 배점은 토사, 암반, 복합사면에 따라 가중치를 달리하며, 최대높이에 따라 점수를 부여하는 방식을 채택하였다. 지질 및 지반의 특성은 사면상태, 사면과 옹벽의 결합상태, 절리의 방향, 기질로 구성된다. 이 평가방법의 위험성 판단에 있어 중요하게 다루고 있는 수리적 조건에는 불투수성 사면에 대한 지표수 배수로, 사면상부에 물이 고일 수 있는 조건, 사면에 존재하는 배수로, 물의 이동시설, 용수 상태로 다양하게 구분되어 있다. 그리고 붕괴시 발생하는 피해를 사면평가에 고려한 것은 타 평가체계와 구별되는 항목이라 할 수 있다.

2.2.3 일본

일본의 경우 방재과학기술연구소(NIED)에서 산사태, 홍수, 지진, 호우, 강풍 등에 의한 자연재해의 원인 규명 및 피해를 최소화하기 위한 연구를 실시하고 있는데, 산사태 분야는 호우에 의한 산사태 지형분포도 작성 및 간행, 토사재해 위험성 평가와 피해영역 예측연구를 집중적으로 수행하고 있다. 교토대학 방재연구소(DPRI)의 장기적인 목표는 재해를 동반하는 자연현상의 예지·예측과 재해의 방지·경감을 위한 구조적 대응연구 등의 과학적 연구뿐만 아니라, 재해를 당하는 축의 인간 및 사회문제를 인문·사회과학, 계획과학, 나아

가서 위기관리까지 포함한 연구를 유기적으로 연결한 종합적 연구이다. 산사태 분야에서는 지진·호우에 의한 급속 산사태·유동성붕괴의 발생과 운동메커니즘을 규명하고, 산사태 위험도를 작성하기 위한 기술을 개발하고 있다.

일본 건설성에서는 1,673개소의 붕괴, 붕괴되지 않은 사면의 경우를 바탕으로 각종 요인의 분석, 객관적으로 사면을 조사하여 수량화 해석을 수행하고 사면의 안정성에 영향을 주는 요인을 사면높이 외 9개로 구분하여 평가표를 작성하였다. 안정·불안정의 경계치는 14점으로 사면안정도의 상대평가에 이용하게 하고 있다.

2.2.4 호주

호주의 Joyce and Evan(1976)은 자연사면 및 인공사면의 전반에 대해 호주의 빅토리아주의 한 지역을 대상으로 안정성 평가법을 만들어 시행하였다. 그러나 평가방법이 비교적 많은 오차성을 가지고 있다. 평가항목은 9개 요소 즉 사면경사각, 식생상태, 강우, 절리 등으로 구분하여 점수를 주어 이들을 합하여 평가하는 방법으로 개략적인 평가에 이용하기에 용이하다.

3. 결론

위에서 살펴본바 국내외의 사면관리시스템DB항

<그림 3.1 개선된 지질 DB 항목 예>

		경상분지 지역 경상도일대	옥천대 지역 강원도, 충청도, 전라도	신생대충 지역 포항, 울산	편마암복합체 지역 서울경기, 전라 강원도 일부
화성암 사면	대표암종	화강암, 유문암, 안산암	화강암, 각섬암, 유문암	화강암, 유문암, 현무암	화강암, 회장암, 유문암
	구성 DB항목	절리, 풍화도, 누수, 구성광물, 연장성, JRC, 외 기타 일반항목	풍화도, 누수, 절리, 연장성, 구성광물, JRC, 외 기타 일반항목	절리, 구성광물, 풍화도, 누수, 연장, 연장성, 간격, 외 기타 일반항목	절리, 구성광물, 풍화도, 누수, 연장, 연장성, JRC, 외 기타 일반항목
퇴적암 사면	대표암종	사암, 역암, 셰일	석회암, 역암, 사암, 셰일	미고결 퇴적암	사암, 역암, 미암, 셰일
	구성 DB항목	층리, 충전물, 구성광물, 단층, 절리, 풍화도, 누수, 외 기타 일반항목	구성광물, 충전물, 입자크기, 층리, 풍화도, 누수, 연장, 외 기타 일반항목	고결도, 단층, 누수, 연장, 구성광물, 연장성, 풍화도, 외 기타 일반항목	절리, 풍화도, 누수, 연장, 구성광물, 연장성, JRC, 외 기타 일반항목
변성암 사면	대표암종	혼펠스	편마암, 편암, 규암	해당사항 없음	편마암, 편암, 규암
	구성 DB항목	풍화도, 절리, 누수, 연장, 구성광물, 연장성, JRC, 외 기타 일반항목	절리, 풍화도, 누수, 연장, 구성광물, 연장성, JRC, 외 기타 일반항목		단층, 구성광물, 엽리, 연장성, 절리, 풍화도, 누수, 외 기타 일반항목

목을 비교분석해본 결과 다음과 같은 문제점이 도출되었다. 국내의 경우 지역별로 특징적인 지질 특성을 가지며 그 특성이 사면붕괴의 주요원인으로 작용하고 있음에도 불구하고 지질DB항목이 이를 제대로 반영하지 못하고 획일적이라는 문제점이 있다. 따라서 지역별, 암종별로 구성항목을 차별화 하여 이를 해결해야만 한다. 또한 사면의 공학적 특성을 반영할 수 있는 시추주상도, 역학시험 및 설계자료 항목이 미비하였다. 다음 그림 3.1은 지질DB관련 문제점을 보완하여 제안하는 지질 DB 구성항목안이다. 먼저 국내 지질특성을 반영하여 전국을 경상분지, 옥천대, 신생대층, 편마암복합체 지역으로 구분한 후 이를 암종별로 다시 구분하여 matrix를 구성하였다. 각 지역별, 암종별로 지질 DB의 구성항목의 우선순위 및 구성항목을 차별화 하여 지질특성이 충분히 반영되도록 하였으며, 이를 기존의 평가항목에 추가하여 국내지질특성에 의한 붕괴영향과 평가가 합리적으로 이루어지도록 해야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면 붕괴 예측 및 대응 기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 황진영, 엄정기 (2006), 절취사면의 붕괴예측 및 피해방지를 위한 새로운 차원의 안정성 분석기술 및 방재시스템 개발, 소방방재청
- 박덕근, 김태훈, 백민호 (2002), 사면붕괴의 유형별 원인과 저감대책 연구, 국립방재연구소
- 김홍택, 유한규, 류정수 (2002), 사면붕괴 방지대책 제도화를 위한 기본방안 연구, 국립방재연구소
- 박덕근 (2001) 재해영향평가서 사면안정성 평가법 개발, 국립방재 연구