

## 경험론적 방법을 이용한 암반사면재해 취약성 분석

김재민<sup>1</sup> · 최정찬<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부산광역시 지질부, <sup>2</sup>부경대학교 지구환경과학과

## Susceptibility Analysis for Rock Slope Hazard Using the Empirical Method

Jae Min Kim<sup>1</sup> and Jung Chan Choi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Geological Department, Saman Corporation

<sup>2</sup>Dept. of Earth & Environmental Sciences, Pukyong National University

Received 12 August 2014; received in revised form 10 November 2014; accepted 13 November 2014

본 연구에서는 부산광역시 중심부에 위치한 황령산의 암반사면 재해 취약성 정도를 평가하기 위하여 산사태 재해위험 지도를 작성하였다. 황령산은 동래단층 및 일광단층 사이에 위치하며 퇴적암, 안산암질 화산암류, 안산암, 반려암 및 화강암질암으로 이루어져 있다. 기존 연구에서의 절리자료, 암반강도 등의 데이터베이스와 야외조사를 통해 얻어진 자료를 대상으로 ArcGIS를 이용한 요소별 주제도를 작성하였다. 또한 국립재난안전연구원의 점검표를 활용한 경험론적 방법으로 황령산 일대의 암반사면재해 취약성을 나타내었다. 연구결과 황령산 일대의 암반사면은 매우 안정-안정 영역에 해당하는 것으로 확인되나 과거 산사태 발생지와 인접지역은 중간정도의 안정성을 나타내고 있다.

**주요어:** 암반사면, 재해 취약성, 경험론적 방법, 주제도

The objective of this study is to produce the rock slope hazard map on the Mt. Hwangryeong located at center of Busan Metropolitan City for evaluating the rock slope hazard susceptibility. The Mt. Hwangryeong is located between Dongrae and Ilkwang faults and consists of various rocks such as sedimentary rock, andesitic volcanic rock, andesite, gabbro and granitic rocks. Thematic maps were carried out using ArcGIS for Database including the orientations and density of joints, strength of rock constructed through the field survey and results from previous studies. Also, rock slope hazard susceptibility for the Mt. Hwangryeong area was studied using empirical method through checklists proposed by NDMI (National Disaster Management Institute). Results from using the empirical method indicated that rock slopes are evaluated from very stable to stable, but moderate stability has been partially presented along the edge of the mountain area.

**Key words:** rock slope, hazard susceptibility, empirical method, thematic maps

\*Corresponding author: [jcchoi@pknu.ac.kr](mailto:jcchoi@pknu.ac.kr)

© 2014, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

오늘날 급속한 도시화 과정을 거치면서 나타나는 인구밀집현상과 주택지, 산업단지 조성을 위한 난개발로 인해 많은 절개사면이 생겨났다. 대도시 내 사면의 경우 충분한 안전성 확보와 관리가 되지 않으면 바로 인적, 물적 피해로 직결되므로 철저하게 유지 관리하는 노력이 필요하다. 매년 도심지 사면재해로 인한 인명 및 재산피해가 발생하고 있으나 모든 사면에 대해 보강대책을 수립하기에 효율성과 경제적인 제약으로 근본적 대책마련에는 한계가 있는 실정이다. 그러므로 대도시 산지를 평가하여 산사태의 위험이 있는 지역을 우선순위로 두어 보강대책을 마련해야 한다. 특히, 인구밀집지역 인근의 사면은 특별히 주의 깊게 관리할 필요가 있으며 반복되는 암반사면재해의 피해를 최소화하기 위해서는 암반사면 취약성 지도를 활용하여, 위험지역에 대해서는 정비를 실시하거나 계측을 통해 지반의 움직임을 파악할 필요가 있다. 그리고 재해위험지도를 이용하여 토지이용에 대한 규제나 건설공사 등의 타당성을 사전에 검토하여야 한다.

본 연구는 도시개발을 위한 부지평가 혹은 인구밀집지역에 대한 암반사면재해 취약성을 평가할 때 예비조사 단계에서 이용할 수 있는 산사태 재해위험지도를 작성하는 것을 목적으로 수행되었다. 대상지역은 부산의 중심에 있어 인구가 밀집되어 있을 뿐 아니라, 과거에 크고 작은 산사태가 수차례 발생한 황령산 일대로 선정하였다.

부산 황령산 일대를 중심으로 과거 많은 지질학적 및 지질공학적 연구들이 수행되어 왔다. 황령산 서쪽 전포동 일대에 분포하는 구상 반려암에 관한 연구(Kim and Kim, 1979a, 1979b; Yun et al., 1994)와 부산일원에 분포하는 백악기 화산암류에 관한 암석학적 연구가 이루어졌고(Kim and Yun, 1993; Yun et al., 1994), 황령산 내 백악기 호성퇴적층의 고환경에 관한 연구가 수행되었다(Paik et al., 1996). 지질공학적 연구로는 1985년 문현동 산사태지역에 점토광물에 대한 연구(Hwang et al., 1999), 황령산 유원지 사면안정 검토사례(Hong and Park, 1997)와 황령산 토층사면의 토질공학적 특성에 관한 연구(Kim et al., 2005) 등이 있다. 그리고 1999년에 발생한 황령산 터널입구 산사태의 원인이 Choi and Paik (2002)에 의해 밝혀졌고, 그에 따른 유지관리 계측에 관한 연구(La et al., 2004) 또한 진행되어 있다. 최근에는 포행과 관련된 수목의 기울어짐을 이

용한 황령산의 산사태 발달특성에 관한 연구(Choi et al., 2011)가 수행되기도 하였다.

황령산 일대의 산사태 취약도에 대한 지도는 몇 차례 제작된 적이 있다. 우선 KIGAM (1997)에서 사면경사, 토양분류, 선구조밀도, 산사태 및 불안정 사면분포를 이용하여 부산, 경남지역의 사면안정성 분류도를 제작한 바 있다. 이 위험지도는 각 요소에 상대적인 점수를 부여한 후 중첩시켜 위험성을 4등급으로 분류하였다. 그 후로 통계적 모델인 로지스틱 회귀분석을 이용한 산사태 예측도가 제작되었다(KIGAM, 2003). 기존의 통계모델(KIGAM, 2000)로부터 단계적 변수선택법을 통해 산사태에 영향을 미치는 요소들을 선정하여 회귀모형이 추정되었고, 이 때 선택된 변수들은 사면경사, 고도, 암질, 건조밀도, 입도, 투수계수 그리고 간극율로 총 7개의 요소이다. 이 요소들을 이용하여 산사태 예측도를 작성하였고, 황령산 자연사면의 대부분은 산사태 가능성이 낮은 것으로 분류되었다. 그리고 산림청에서는 산사태위험도 판정표를 이용하여 전국단위의 산사태 위험지도를 제공하다가 최근에는 로지스틱 회귀분석을 통해 9개 요소(사면경사, 사면방위, 사면길이, 사면곡률, 모암, 토심, 지형습윤지수, 입상, 경급)에 인자별 기중치를 부여하여 새로운 위험지도를 제작하였다.

경험적 방법을 이용한 산사태 재해위험지도를 제작할 때 일반적으로 많이 쓰는 방법은 지수기법(Index Method)로서, 붕괴위험요인과 안정성을 평가하기 위한 사면평가표를 작성하여 점수화시키는 방법이다. 하지만 평가표 항목이 기관별로 다르고, 평가배점 또한 다르며 조사자 주관적 의견이 반영되어 통일성 및 신뢰성을 확보하기가 어려운 실정이다. 이에 따라 NDMI (2009)에서는 기존의 국내 급경사지 평가표가 가진 단점을 보완하고, 전문지식이 없는 담당자가 현장에서 손쉽게 적용할 수 있는 새로운 평가표를 제안하였다. 이 평가표는 예비평가단계에서 사용하도록 권장하고 있으며, 평가결과가 위험한 것으로 나온 경우 전문가조사를 통한 상세안정성 평가를 하도록 하고 있다(Song et al., 2012). 본 연구에서는 도심지 산사태 위험성분석을 위한 예비평가에 초점을 맞추고 있으므로 국립재난안전연구원서 제안한 평가표를 이용하였다. 평가표는 토질사면과 암반사면을 각각 따로 평가하도록 2가지로 구성되어 있고 위험등급을 5단계로 구분하였다. 평가표에서는 100점을 만점으로 하며, 항목별 점수를 합산하여 총점이 높을수록 불안정한 사면으로 분류된다. 본 연구는 암반사면을 대상으로 수행되었으며, NDMI (2012)의 암반사면

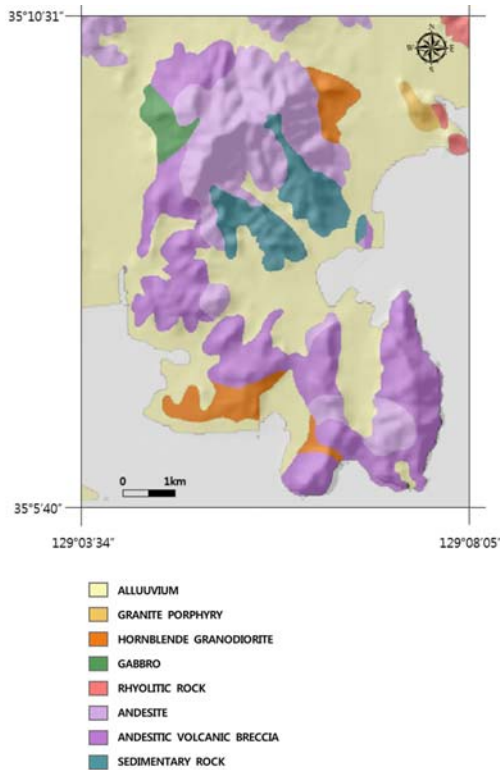


Fig. 1. Geological map of the study area (modified from Choi and Paik, 2002).

평가표를 그대로 따르되, 평가기준은 연구지역특성에 맞게 조금씩 수정하여 적용하였다.

### 연구지역의 지질 및 구조

#### 지 질

황령산 지역은 크게 안산암류와 각섬석 화강섬록암, 반려암, 퇴적암이 분포하는 지역으로 구분할 수 있다 (Fig. 1; KIGAM, 1983).

본 지역의 안산암류는 안산암질 화산각력암 및 안산암으로 구분될 수 있다. 안산암질 화산각력암은 대체로 회색, 암회색 및 암녹색을 띠며, 5 cm 직경의 화산력을 포함한 라필리응회암(lapilly tuff)에 해당한다. 안산암은 안산암질 화산각력암을 피복하는 형태로 나타나며 대부분 분출암상에 해당된다. 본 암석은 회색, 암회색, 암녹색을 띠고, 반상안산암이 주를 이루며, 후기의 심성암류 관입에 의한 열변질을 뚜렷이 받았다.

퇴적암층은 “암회색응회암질퇴적암”에 해당되는데 이 퇴적암은 황령산 터널의 진입로 주변인 대연동 일대와

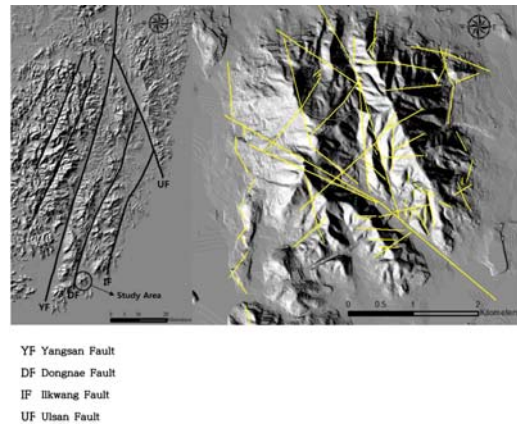


Fig. 2. Major faults system at Busan-Ulsan district and lineament distribution in the study area (modified from KIGAM, 1983).

남천동 일대, 그리고 금련산 정상부까지 이어져 있다. 퇴적암의 대표적 노두에서 관찰된 지층의 총 두께는 100 m 이상이며, 전반적으로 횡적인 연장성이 양호한 균일한 층리가 발달하고 대체적으로 응회질 성분을 다량 함유함이 특징이며, 이와 함께 경질인 규산질 퇴적암이나 혼펠스 사이에서 연약질인 셰일이 함께 협재함이 특징이다. 1999년 산사태가 발생한 퇴적암층은 박층의 셰일과 실트스톤 및 세립 내지 중립질 사암의 호층, 중립 내지 조립의 응회질 사암, 응회암, 쳐트, 역암 등 다양한 암질로 구성되어 있으며, 부분적으로 혼펠스화 되어 있다. 혼펠스화 되었거나 규산질이 우세한 암층의 경우에는 전반적으로 풍화정도가 미약한 반면, 세립질 퇴적층이나 석회질퇴적층 또는 교결체가 방해석으로 이루어진 응회질 사암층 등은 풍화암 내지 풍화토의 상태로 나타난다(Choi and Paik, 2002).

화강암은 불국사 관입암류로서 황령산 북동측에 비교적 소규모로 분포하고 있으며, 반려암의 경우 황령산 서측 전포동 일대에 1~8 m 크기의 전석의 형태로 나타난다. 이 노두는 천연기념물로 지정된 구상반려암이며 백악기 화산암인 안산암질암을 관입한 소규모(크기 약 1.2 km<sup>2</sup>)의 암주상의 심성암체이다(KIGAM, 2004).

#### 지질구조

황령산은 동래단층과 일광단층 사이에 위치하며 서측으로 동래단층, 동측으로는 일광단층이 발달하고 있다. 이들 두 단층의 사이에는 북북동 내지는 북동방향 그리고 서북서 방향의 선구조가 잘 발달한다(Fig. 2). 그러므로 황령산 지역의 단열 발달도 이러한 방향으로의 우세

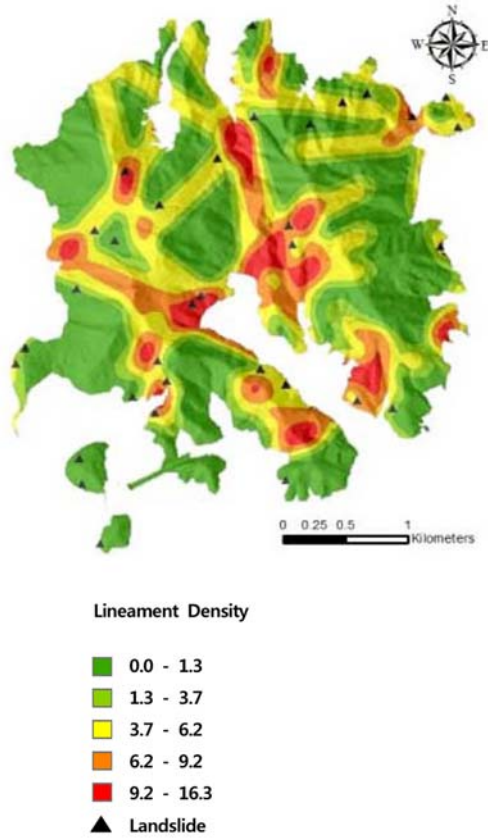


Fig. 3. Lineament density in the study area.

하게 발달함을 예상할 수 있다. 동래단층이 가까운 황령산 서측에는 선구조가 북서 방향과 북동 방향이 교호하는 양상을 보이며 황령산체 북동부와 남부와 중앙부에서는 거의 남북의 선구조와 단층이 발달하고 있다. 1999년 대규모 산사태가 발생한 지점 부근에서는 다수의 구조운동과 관련된 복합적인 선구조가 나타나는 것이 특징이며 선구조의 밀도 또한 높은 편이다. 그 외에도 선구조 밀도가 높은 곳은 북쪽 중앙의 큰 계곡주 주변과 황령산 터널 입구 양쪽 계곡 등 대규모 단층대가 통과하는 지점이다(Fig. 3). KIGAM (2003)의 자료를 활용한 황령산 일대의 선구조에 대한 밀도분포작성결과를 분석해보면, N10°E 방향의 빈도가 가장 많으나 연장성 빈도수는 N50-60W, N10-20W 방향이 우세함을 보여 주고 있다(Fig. 4). 좀 더 정밀한 불연속면의 방향성 분포특성을 파악하기 위해 암반노두가 잘 나타나는 곳에서 지점 당 150-200개 정도의 불연속면을 측정하고 (Table 1), 이를 로즈다이어그램으로 나타내었다(Fig. 5).

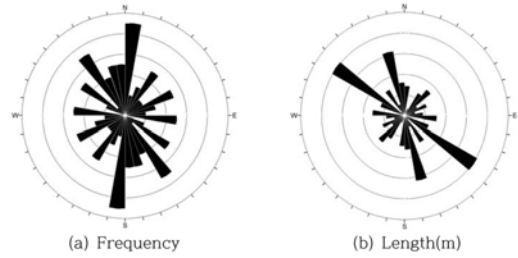


Fig. 4. Rose diagrams showing the frequency & length distribution of lineament around the study area.

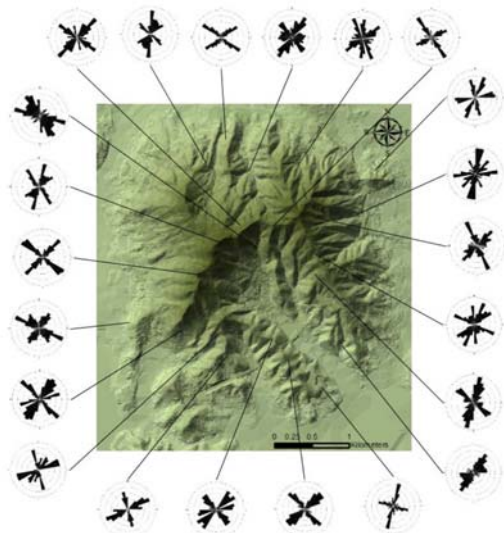


Fig. 5. Rose diagrams showing the orientations of measured discontinuities throughout the study area.

황령산 전체에 평균적으로 북북동에서 북동 방향과 북서 방향의 불연속면이 우세하게 발달하며 경사는 주로 70° 이상의 고각을 이루며 존재한다. 퇴적암에서 층리의 경우는 N10-30°E/10-25°SE의 범위로 분포하며 세일의 성층면을 따른 분리면 및 층리면 수직으로 발달한 균열 등이 빈번히 관찰된다. 야외에서 관찰되는 가장 우세하게 발달한 불연속면은 절리로서 대부분 인장 절리로 해석되며 단층, 암맥들도 빈번하게 관찰된다(Choi and Paik, 2002; Choi et al., 2011). 안산암 및 안산암질 화산각력암지역에서의 절리 간격은 20~50 cm 정도의 분포를 보이며 화강섬록암 또한 비슷한 양상을 보인다. 그에 반해 퇴적암은 8~20 cm의 절리 간격이 우세하게 나타나 다른 암석에 비해 상당히 많은 파쇄가 발생했음을 알 수 있고 반력암은 전석상태로 존재하여 절리 체계에 대한 정보를 얻을 수가 없다.

**Table 1.** Results of discontinuities survey.

Location	Coordinate	Rock type	Information of representative discontinuities			
			No.	Orientation	Density (EA/cm)	Average spacing (cm)
Site 1	N35°09'53.56" E129°05'18.16"	Andesite	Set 1	N35E/75NW	0.038	26.32
			Set 2	N35W/75NW	0.032	31.25
			Set 3	N35W/75SW	0.034	29.41
			Set 4	N85E/75NW	0.026	38.46
Site 2	N35°09'54.55" E129°05'21.02"	Andesite	Set 1	N20E/70NW	0.023	43.48
			Set 2	N20W/80SE	0.018	55.56
			Set 3	N70W/75SW	0.022	45.45
			Set 4	N75E/75NW	0.017	58.82
			Set 5	N20E/20SE	0.012	83.33
Site 3	N35°09'51.00" E129°05'19.12"	Andesite	Set 1	N30E/75SE	0.046	21.74
			Set 2	N70E/15SE	0.038	26.32
			Set 3	N70W/75SW	0.044	22.73
			Set 4	N15E/55/NE	0.021	47.62
Site 4	N35°09'53.38" E129°05'43.19"	Andesite	Set 1	N65E/25SE	0.057	17.54
			Set 2	N05E/50SE	0.052	19.23
			Set 3	N25W/65NE	0.044	20.83
			Set 4	N65E/75SE	0.021	27.78
			Set 5	N25W/65SW	0.027	37.04
Site 5	N35°09'34.71" E129°05'05.36"	Andesite	Set 1	N45E/75NW	0.023	43.48
			Set 2	N60W/75SW	0.021	47.62
			Set 3	N60W/75NE	0.014	71.43
Site 6	N35°09'13.90" E129°05'49.21"	Andesite	Set 1	N20E/75NW	0.042	23.81
			Set 2	N60E/20SE	0.036	27.78
			Set 3	N60W/75SW	0.031	32.26
Site 7	N35°09'16.57" E129°05'46.12"	Andesite	Set 4	N20E/45NW	0.026	38.46
			Set 1	N40E/30SE	0.062	16.13
			Set 2	N30W/30SW	0.047	21.28
			Set 3	N65E/80SW	0.031	32.26
Site 8	N35°08'40.13" E129°06'05.08"	Sedimentary rock	Set 1	N40W/25SW	0.078	12.82
			Set 2	N70E/80NW	0.096	10.41
			Set 3	N30E/80SE	0.117	8.55
Site 9	N35°08'25.80" E129°05'52.41"	Sedimentary rock	Set 1	N15E/80NW	0.046	21.74
			Set 2	N75W/75SW	0.055	18.18
			Set 3	N15E/15NW	0.096	15.15
			Set 4	N15W/15NE	Bedding plane	
Site 10	N35°08'25.12" E129°05'53.38"	Sedimentary rock	Set 1	N15E/80SE	0.042	23.81
			Set 2	N80W/80SW	0.061	16.39
			Set 3	N35W/15NE	0.088	11.36
			Set 4	N35W/15NE	Bedding plane	

Table 1. Continued.

Location	Coordinate	Rock type	Information of representative discontinuities			
			No.	Orientation	Density (EA/cm)	Average spacing (cm)
Site 11	N35°10'03.55" E129°04'55.11"	Andesitic volcanic breccia	Set 1	N45E/75NW	0.048	20.83
			Set 2	N15E/75SE	0.04	25.0
			Set 3	N40W/80NE	0.034	29.41
Site 12	N35°10'17.45" E129°05'03.06"	Andesitic volcanic breccia	Set 1	N55W/83SW	0.051	19.61
			Set 2	N25E/80NW	0.042	23.81
			Set 3	N08W/25SW	0.034	29.41
Site 13	N35°09'40.51" E129°06'13.05"	Andesite	Set 1	N15E/80SE	0.06	16.67
			Set 2	N65E/65NW	0.044	22.73
			Set 3	N85E/80SE	0.034	29.41
Site 14	N35°09'25.80" E129°05'18.42"	Andesite	Set 1	N40W/75SW	0.074	13.51
			Set 2	N75W/75SW	0.044	22.73
			Set 3	N18E/35NW	0.031	32.26
Site 15	N35°09'37.59" E129°05'27.89"	Andesite	Set 1	N45W/80SW	0.042	23.81
			Set 2	N60E/75NW	0.032	31.25
Site 16	N35°09'38.31" E129°05'18.49"	Andesite	Set 1	N25E/55NW	No data	
			Set 2	N15W/75NE		
			Set 3	N75W/77SE		
Site 17	N35°09'31.78" E129°05'03.65"	Andesite	Set 1	N15E/80NW	0.054	18.52
			Set 2	N55E/55SE	0.044	22.73
			Set 3	N50W/75SW	0.028	35.71
Site 18	N35°09'29.03" E129°05'48.26"	Sedimentary rock	Set 1	N65W/80NE	0.126	7.94
			Set 2	N15W/80SW	0.094	10.64
			Set 3	N25E/80NW	0.088	11.36
			Set 4	N50E/N80SE	0.064	15.63
			Set 5	N55E/10SE	Bedding plane	
Site 19	N35°09'40.64" E129°06'09.96"	Andesite	Set 1	N40E/80NW	0.063	15.87
			Set 2	N20W/80NE	0.046	21.74
			Set 3	N50W/80NE	0.042	23.81
			Set 4	N75E/80NW	0.028	35.71
Site 20	N35°09'39.77" E129°06'05.34"	Andesite	Set 1	N20W/55NE	0.067	14.93
			Set 2	N30E/65NW	0.051	19.61
			Set 3	N35W/70SW	0.044	22.73
Site 21	N35°09'38.31" E129°05'58.05"	Andesite	Set 1	N20W/80NE	0.062	16.13
			Set 2	N50E/75NW	0.048	20.83
			Set 3	N55W/08NE	0.04	25
			Set 4	N75E/75SE	0.028	35.71
Site 22	N35°09'12.10" E129°04'49.15"	Andesite	Set 1	N45E/50NW	0.063	15.87
			Set 2	N50W/75SW	0.058	17.24
			Set 3	N50W/75NE	0.052	19.23
			Set 4	N20E/15SE	0.046	21.74

Table 1. Continued.

Location	Coordinate	Rock type	Information of representative discontinuities			
			No.	Orientation	Density (EA/cm)	Average spacing (cm)
Site 23	N35°08'50.29" E129°05'00.85"	Sedimentary rock	Set 1	N75E/80SE	0.086	11.64
			Set 2	N15W/80SW	0.08	12.5
			Set 3	N15E/75SE	0.074	13.51
			Set 4	N35E/55NW	0.066	15.15
Site 24	N35°08'38.49" E129°05'35.28"	Sedimentary rock	Set 1	N50W/30SW	0.074	13.51
			Set 2	N45E/75NW	0.065	15.38
			Set 3	N45E/75SE	0.056	17.86
			Set 4	N35W/75SW	0.033	30.3
Site 25	N35°08'46.65" E129°05'29.64"	Sedimentary rock	Set 1	N35E/80NW	0.084	11.90
			Set 2	N25E/15SE	0.072	13.89
			Set 3	N40W/75SW	0.066	15.16
			Set 4	N75E/75NW	0.051	19.61
			Set 5	N20E/28SE	Bedding plane	
Site 26	N35°08'40.74" E129°05'01.96"	Andesite & sedimentary rock	Set 1	N60E/80NW	0.048	20.83
			Set 2	N20E/75SW	0.04	25
			Set 3	N60W/25SW	0.032	31.25
			Set 4	N75E/55NW	0.026	38.46
Site 27	N35°08'51.77" E129°04'39.39"	Andesitic volcanic breccia	Set 1	N30E/80NW	0.044	22.73
			Set 2	N50W/80SW	0.038	26.32
			Set 3	N60E/25SE	0.031	32.26
			Set 4	N75E/75NW	0.029	34.48
Site 28	N35°09'57.47" E129°06'19.37"	Granodiorite	Set 1	N75E/75NW	0.036	27.78
			Set 2	N35E.65NW	0.022	45.45
			Set 3	N85E/15SE	0.012	83.33
			Set 4	N85E/15SE	0.008	125
Site 29	N35°09'57.47" E129°06'19.37"	Granodiorite	Set 1	N60E/75NW	0.028	35.71
			Set 2	N40W/45NE	0.027	37.04
			Set 3	N15E/55SE	0.024	41.67
Site 30	N35°09'547.68" E129°04'13.31"	Gabbro	No data			

### 연구 방법

#### 개요

산사태 재해위험지도를 만들기 위해서는 산사태에 영향을 미치는 여러 요소들을 선정하고 이 요소들을 각각의 레이어로 제작 후 중첩시켜 위험도 분석을 해야 한다. 이 연구의 궁극적 목적인 황령산 지역 산사태 재해 위험지도 작성을 위해 이용된 분석법은 경험적 방법이다. 연구지역이 소규모이고 연구지역 내에서 발생한 산

사태에 관한 자료가 상당히 부족하여 통계적 방법을 적용하기에는 어려움이 따를 것이라는 판단과 통계적 모델을 이용한 산사태 예측지도는 이전 연구에서 제작된 바 있기 때문이다(KIGAM, 2003). 경험적 방법에 이용된 것은 지수기법으로서 Song et al. (2012)이 제안한 평가표를 수정하여 적용하였다. 이 방법의 적용을 위해 연구지역의 지형특성과 지질 및 지질공학적 특성자료를 획득하여 GIS기반의 공간 데이터베이스로 구축하였다. 우선 기본적으로 국토지리정보원에서 발행한 1:5,000 수

**Table 2.** Distribution of landslides occurrence at each lithology.

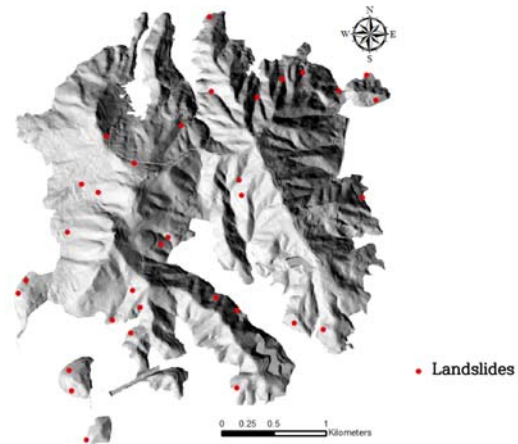
Lithology	Area (km <sup>2</sup> )	Landslides occurrence	Landslides density (landslide/km <sup>2</sup> )
Andesite	5.74	18	3.14
Andesitic volcanic breccia	2.66	7	2.63
Sedimentary rock	2.65	4	1.51
Granodiorite	0.64	3	4.69
Gabbro	0.66	1	1.52

치지형도 6매에서 등고선을 추출하고 TIN (Triangulated Irregular Network) 제작 후 다시 5 m × 5 m 크기의 DEM (Digital Elevation Model) 생성을 통해 기본적인 지형자료를 획득하였다. 그리고 지질자료는 한국지질자원연구원에서 제작된 1:50,000 수치지질도, 토양자료는 농촌진흥청에서 발행한 1:25,000 정밀토양도와 기존의 연구결과를 이용하였으며 그 외의 주제도는 현장조사를 통해 획득된 데이터로 제작되었다.

산사태 위험지도를 만들기 위해서는 분석범위를 결정해야 한다. 이 작업을 위해 황령산 지역의 1:5000 수치지형도를 분석하여 경계파일을 제작했다. 수치지형도 상 개발되지 않은 산지들만 추출하였는데 이미 개발된 곳일 경우는 자연 상태의 토질 혹은 지질공학적 영향을 받지 않기 때문에 위험지도의 정확성이 떨어질 수 있기 때문이다. 그러므로 황령산 주변부를 따라 개발된 지역 상한선을 연결하여 경계파일을 만들어 그 안에서 위험성 분석을 실시하였다.

### 산사태 이력지도 제작

산사태 이력지도는 과거 산사태가 발생한 지점의 공간적 분포를 표현한 것으로 재해위험 평가 시 가장 기본적인 토대가 되는데 황령산 일대는 크고 작은 산사태가 여러 차례 발생하였다. 산림청 재해복구 자료와 기존 보고서, 언론보도 등(Choi et al., 2011)을 바탕으로 산사태 및 절개사면파괴가 발생한 장소를 조사하였고 정확한 장소 확인을 위해 직접 현장답사를 실시하였다. 현장에서 사면파괴의 흔적이나 보강흔적 등의 증거를 수집하고 GPS 좌표를 획득하는 일련의 과정을 거쳐 총 33개의 산사태 발생위치를 파악하였고, 이를 GIS 기반의 포인트 데이터 형태로 구축하여 산사태 이력지도를 제작하였다 (Fig. 6). 산사태 발생위치를 지질별로 살펴보면 안산암 지역에서 18건, 안산암질 화산각력암 지역에서 7건, 퇴적암지역 4건, 화강섬록암지역 3건, 반력암지역 1건으로 각각 나타났으며 1 km<sup>2</sup> 당 발생빈도 수는 각각 3.14, 2.63, 1.51, 4.69 및 1.52개로 안산암 및 화강섬록암 지역에서

**Fig. 6.** Landslides site in the study area.

단위면적 당 발생빈도가 높은 것으로 나타났다 (Table 2). 산사태 발생 위치를 연구지역 내 선구조 밀도분포도와 중첩시켜 보면 상당 부분의 산사태가 높은 선구조 밀도를 가진 지역에서 주로 발생한 것을 확인할 수 있다 (Fig. 3 참조).

이는 선구조의 발달양상이 산사태와 아주 밀접한 관계가 있다는 기존의 연구 (Akinson and Massari, 1998; Nagarajan et al., 1998; Temesgen et al., 2001) 결과와 잘 일치함을 보여준다.

### 현장 조사를 통한 주제도 제작

암반의 공학적 거동에 영향을 주는 것은 절리로 대표되는 암반 내 존재하는 불연속면으로서 그 종류도 다양하고 정확하게 추정, 파악이 쉽지 않아 암반사면해석에 어려움을 주고 있다. 불연속면의 종류로는 단층, 절리, 층리, 편리, 엽리, 파쇄대 등이 있으며, 정확한 조사를 위해서는 불연속면의 방향성, 간격, 연장성, 거칠기, 강도, 틈새, 충전물, 누수, 블록의 크기, 절리군 수 등의 항목들이 정량적으로 표현이 되어야 한다 (ISRM, 1981). 본 연구에서 일축압축강도는 슈미트해머 반발치를 환산한 값을 이용하였다. 30여개 암반노두에서 슈미트해머



반발시험을 실시하였고 평균값을 토대로 주제도를 제작하였다. 불연속면의 밀도는 체적절리계수( $J_v$ )를 측정하여 사용하였다. 체적절리계수는 Palmstrom (1982)에 의해 제안된 단위체적 당 절리의 개수로 나타내는 변수이며, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$J_v = \sum_{i=1}^J \left( \frac{1}{S_i} \right)$$

여기서  $S_i$ 는  $i$ 번째 절리군의 평균 간격이고,  $J$ 는 무작위의 방향성을 가진 절리를 제외한 절리군의 총 개수이다. 무작위의 방향성을 가진 절리의 간격은 경험적으로 5m로 나타낼 수 있으며(Palmstrom, 2005), 이를 고려한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$J_v = \sum_{i=1}^J \left( \frac{1}{S_i} \right) + \frac{N_f}{5\sqrt{A}}$$

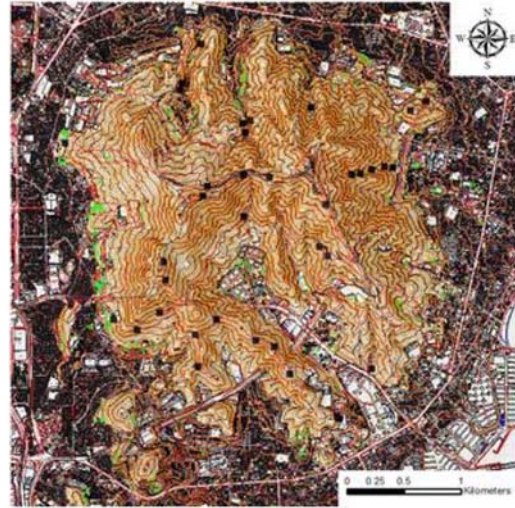


Fig. 7. Location of field survey.

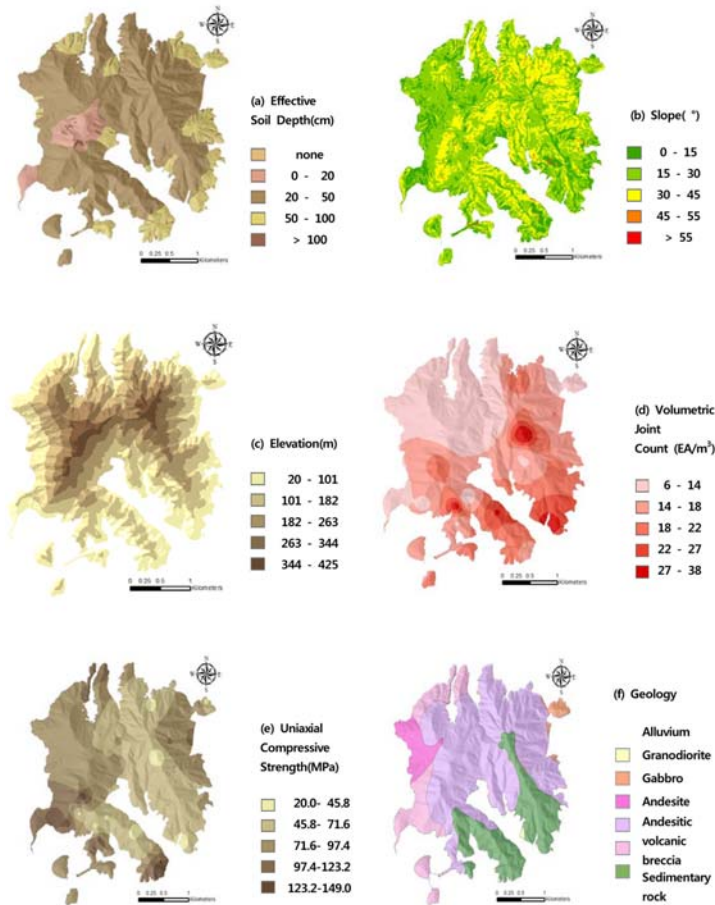


Fig. 8. Thematic maps for landslides hazard analysis.

여기서  $N_i$ 는 무작위 방향성의 절리의 개수,  $A$ 는 면적 ( $m^2$ )이다. 노두의 3차원적인 관찰은 어렵기 때문에 보통  $J_i$ 는 각각의 불연속면 군에서 주향에 직각방향인 일정한 길이를 통과하는 불연속면의 숫자를 세어 결정되며, 이 연구에서도 노두 상태에 따라 각각의 불연속면군에 직각으로 교차하는 길이 5~10 m의 측선을 이용하여 체적 절리계수를 측정하였다.

연구지역 전체의 자료를 정밀하게 구축하기에는 현실적으로 무리가 따르므로 암반이 잘 노출된 대표노두 30 여개를 선정하여 실시한 현장조사 실측값을 포인트 데이터로 정리하였다(Fig. 7). 그리고 보간법의 일종인 역거리 가중치 산정법(Inverse distance weighted, IDW)으

로 결측된 데이터를 보완하여 연구지역 전체의 특성을 추정하였다. 이를 통해 황령산 일대의 유효토심, 경사도, 고도, 지질, 일축압축강도 및 체적절리계수 등의 주제도를 작성하였다(Fig. 8).

### 암반사면 평가표 분석

암반사면 평가표는 평가항목이 12개로 구성되는데, 앞에서 설명한 바와 같이 본 연구에서는 국립재난안전연구원(Song et al., 2012)에서 제안한 암반사면 평가표 항목(Table 3)을 그대로 따르되, 평가기준은 연구지역특성에 맞게 조금씩 수정하여 적용하였으며, 점수에 따른 안정성은 Table 4를 적용하였다. 이 평가표도 마찬가지로

**Table 3.** Guideline on the Rock slope stability evaluation (NDMI, 2012).

Factors	Evaluation criteria & score						
Weathering	Fresh		Slightly weathered		Moderately weathered		Highly weathered
	1		5		10		15
Slope height	<10 m		11~20 m		21~30		>31 m
	1		4		7		10
Gradient	1:1.5 ( $<34^\circ$ )	1:1.2 ( $40^\circ$ )	1:1.0 ( $45^\circ$ )	1:0.7 ( $55^\circ$ )	1:0.5 ( $63^\circ$ )	1:0.3 ( $73^\circ$ )	$>90^\circ$
	1	2	4	6	8	10	12
Soil thickness	h=0 m		0<h<2 m		2<h<5 m		h>5 m
	0		2		6		8
Lithology	Rocks not included in the right side		Unconsolidated sediments / limestone / mudstone, shale with slaking / biotite schist with low shear strength				
	0		10				
Joints orientation	Very favorable		Favorable		Fair		Unfavorable
	1		2		4		8
Faults	None				Presence		
	0				5		
Valley	None				Presence		
	0				4		
Leakage	None		Wet conditions			Flow conditions	
	0		2			4	
Tension crack	None				Presence		
	0				8		
Failure history	None				Presence		
	0				2		
Damageable facility type	None		City street		Major road		Public building
	0		8		10		14
Total score	100						

**Table 4.** Guideline on the stability evaluation (modified form NDMI, 2001).

Stability	Very Stable	Stable	Partially stable	Unstable	Very unstable
Score	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100

**Table 5.** Stability checklist for rock slope (modified from Song et al., 2012).

Factors	Evaluation criteria & score							
Weathering	100<UCS<250		50<UCS<100		25<UCS<50	5<UCS<25		
	1		5		10	15		
Elevation	0-106 m		107-212 m		213-318 m		319-425 m	
	1		4		7		10	
Gradient	1:1.5 (<34°)	1:1.2 (40°)	1:1.0 (45°)	1:0.7 (55°)	1:0.5 (63°)	1:0.3 (73°)	>90°	
	1	2	4	6	8	10	12	
Soil thickness	t=0 m		0<t<2 m		2<t<5 m		t>5 m	
	0		2		6		8	
Lithology	Rocks not included in the right side		Unconsolidated sediments / limestone / mudstone, shale with slaking / biotite schist with low shear strength					
	0		4					
Joints orientation (Dip of joints)	0°~20°, 80°~90°		65°~80°		65°~50°		50°~35°	20°~35°
	1		2		4		8	10
Faults	None			Presence				
	0			5				
Valley	None			Presence				
	0			4				
Leakage	None (Jv>30)		Wet conditions (3<Jv<30)			Flow conditions 3>Jv		
	0		2			4		
Tension crack	None			Presence				
	0			8				
Failure history	None			Presence				
	0			2				
Damageable facility type	None	City street	Major road		Public building	Densely populated area (hospital/school)		
	0	8	10		14	18		
Total score	100							

※ UCS : Uniaxial Compressive Strength (MPa)

※ Jv : Volumetric Joint Count (EA/m<sup>3</sup>)

로 육안관찰 등에 의한 항목은 주관이 개입될 가능성이 크므로 최대한 수치화된 자료들을 이용하여 평가하는데 주력했다. 풍화도 항목은 현장 슈미트헤머시험을 통해 환산한 일축압축강도를 ISRM (1981)에서 제안한 분류법을 적용하여 배점을 하였고, 급경사지의 높이의 경우는 원래 사면의 수직고를 의미하나, 황령산 전체에 이 항목을 적용시키기는 무리가 있기 때문에 산의 고도

(Elevation)로 대체를 하였다.

Chae et al. (2009)가 제안한 급경사지 평가표에 따르면 산의 고도가 높을수록 위험성은 커지는 것으로 나타나므로 황령산의 고도를 4가지로 나누어 배점을 하였고, 사면의 경사는 지형도에서 추출한 경사도를 이용하였다. 절리방향성은 사면의 주향경사와의 기하학적인 형태를 면밀히 조사하여 적용해야하나, 연구지역 내 존재하는

모든 사면에 대해 일일이 사면방향과 불연속면의 경사 방향을 고려하여 평사투영법을 적용하는 것은 한계가 있었다. 그러므로 황령산 전체에 대해 조사한 30여개 지점의 절리의 경사를 분석하여, 조사지역 주변의 절리경사는 대체로 비슷할 것이라는 가정과 너무 저각(0~20°)은 활동가능성이 낮고, 너무 고각(80~90°)의 절리는 Daylight 조건을 만족시키기 힘들기 때문에 파괴위험성이 상대적으로 낮다는 가정 하에 유리 또는 불리를 적용하였다. 이 분류는 보편적인 평면파괴조건을 가정한 것이다. 절리는 사면방향의 경사방향을 갖는 절리만을 고려하였으며, 사면경사방향과 반대방향을 갖는 절리는 배제하였다. 암반사면 특성 상 모든 파괴모드를 다 표현하는 위험지도는 제작이 불가능하며, 파괴형태마다의 위험지도를 따로 만들어야한다. 절리체계의 면밀한 조사를 통해 사면방향과 반대방향인 절리만을 고려한 전도파괴 및 낙석위험지도를 따로 만들 수 있을 것이고, 교차하는 절리만을 조사하여 썩기파괴 위험지도도 만들 수 있을 것이나 이는 본 연구에서는 수행되지 않았다.

단층은 야외조사 시 직접 발견되는 경우와 선구조 밀도가 높은 지점을 대상으로 한정하였다. 그리고 체적절리계수가 클수록 투수성이 증가하기 때문에 용수가 없는 것으로 가정하였고 체적절리계수가 작을수록 배수가 불량하므로 용수가 존재하는 것으로 배정하였다. 총 30개 지점에서 조사를 진행했으며 주로 퇴적암 지역이 큰 체적절리계수를 보여주고 나머지 화강섬록암, 안산암질 지역은 작거나 중간정도의 값을 가진다. 퇴적암 지역은 대체로 풍화가 심하게 진행되어 있고 절리밀도 또한 상당히 높은 편으로 조사되었다. 반면 반려암 지역은 암반이 다양한 크기의 전석형태로 분포되어 있고 노두상태

가 양호하지 못해 절리체계를 파악하기가 매우 어려운 편이다. 인장균열발생 장소는 현장조사와 기존연구결과(Choi and Paik, 2002; Choi et al., 2011)를 참고하여 선정을 하였다. 그리고 붕괴이력은 산사태 이력지도를 이용하였고, 예상피해도 항목은 도심지 중앙에 있는 황령산의 특성 상 현재 개발이 되어 있는 산 주변부 모두를 인구밀집지역으로 적용하여 배점을 하였다. 연구지역에 맞게 수정한 최종 평가표는 Table 5에 나타나있다.

**결과 및 고찰**

최종 암반사면에 대한 재해위험지도에 따르면 전체의 60.7%의 지역이 I등급의 매우 안정, 39.23%가 II등급으로 안정된 것으로 각각 나타났으며 III등급 지역은 0.07%에 불과해 암반파괴에 대한 안정성이 전체적으로 아주 높은 것으로 나타났다(Fig. 9). 하지만 황령산 정상 부근이나 능선을 따라 노출된 자연사면의 경우 낙석이

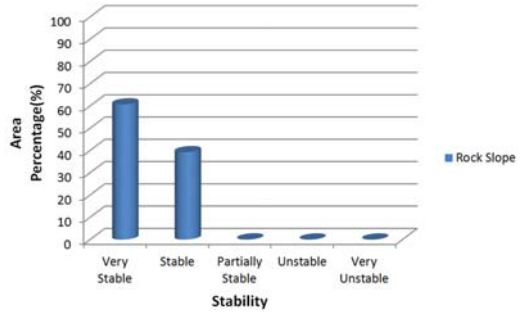


Fig. 9. Area percentage of different stability classes for rock slopes.

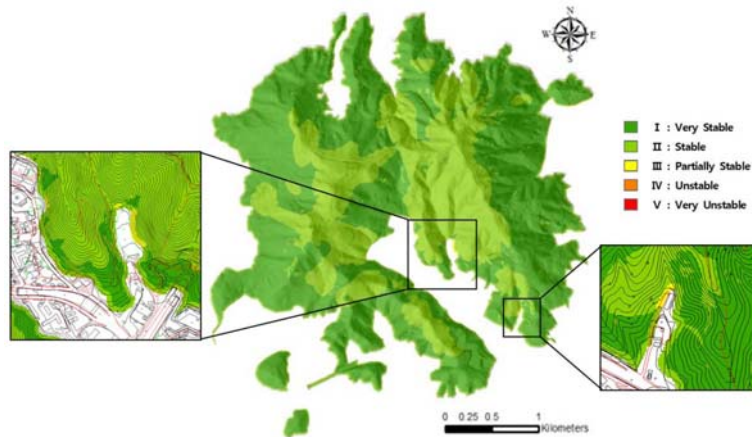


Fig. 10. Landslides susceptibility map using the index method.

빈번하게 발생하고 있으며, 그 외의 도로나 임도 부근에도 낙석으로 인해 테일러스가 형성된 곳이 곳곳에 발견된다. 퇴적된 테일러스는 현재 안식각을 이루고 있으나 집중호우가 발생할 경우나 낙석이 계속 발생할 경우 파괴 가능성이 있으므로 이에 대한 조사, 분석 및 보완대책이 필요한 것으로 판단된다. 암반사면은 정밀조사가 필요한 것으로 생각되는 III등급지역이 2군데 정도가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 10). 그 중 한 곳은 최근 포행(Creep) 현상이 진행되고 있는 것으로 보고된 바 있는 (Choi et al., 2011) 황령산 터널 입구 근처의 차랑 야적장이며, 나머지 한곳은 대연동 택시회사 인근의 사면이다. 이곳은 1999년 산사태가 발생한 장소와 매우 가까울 뿐 아니라 자동차 운전학원 공사를 위해 개설한 절개사면과 인접해 있어 산사태의 가능성이 있는 지역이다. 따라서 이 두 지역에 대해서는 사면안정성에 관한 보다 상세한 정밀조사가 요구되며, 분석 및 보완대책수립이 필요할 것으로 생각된다.

## 결 론

이 연구는 도시지역 산지개발과정에서 발생하는 불안정한 사면의 평가와 인구밀집지역에서의 산사태 재해의 위험성을 평가할 때 예비조사단계에서 이용할 수 있는 산사태 재해위험지도를 작성하는 것을 목적으로 수행되었다. 연구는 부산 중심에 있어 인구가 밀집되어 있을 뿐 아니라 주위에 각종 주요시설물이 위치하고 있으며, 과거 수차례 산사태가 발생한 황령산을 중심으로 진행되었다. 산사태 위험도 평가를 할 때 산사태를 유발하는 여러 요소들을 점수화시켜 간단하게 평가하는 경험적 방법인 지수기법이 전 세계적으로 많이 이용되고 있다. 국내의 경우에도 여러 기관에서 각 기관의 업무특성에 맞는 사면평가표를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되어왔지만 기관별로 평가항목이 다르고 통일성 및 신뢰성을 확보하기가 어려운 실정이다.

본 연구는 재해위험분석을 위한 예비평가에 초점을 맞추고 있으므로 국립재난안전연구원에서 제안한 암반사면평가표를 수정·이용하여 황령산의 산사태 위험성을 분석하였다. 분석을 위해 연구지역의 지형과 지질 및 지질공학적 특성자료를 획득해 GIS 기반의 공간데이터를 구축하였으며 현장조사를 통한 슈미트헤머시움, 절리 방향성과 밀도측정, 단층조사, 산사태 발생장소 조사 등을 실시해 GIS 주제도로 작성하였다. 이렇게 제작된 주제도를 수정된 암반사면평가표에 따라 각각 점수화 시킨

후 중첩을 통해 분석을 실시하였다.

평가표에 의한 분석결과는 거의 모든 지역이 안정한 상태로 평가되었다. 암반사면은 토질사면과 달리 불연속면의 기하학적 특성에 따라 파괴 가능성과 형태가 달라지므로 절리에 대한 상세한 정보가 필요하나 지점마다 절리체계가 다르고 이를 모두 조사하여 경험론적 방법에 적용시켜 재해위험지도를 제작하기란 사실상 불가능하다. 또한 그러한 연구가 진행된 적이 없어 현재로서는 평가표에 의한 결과와 비교대상이 없지만 이곳도 상대적으로 안정성이 낮게 평가된 II, III등급의 지역에 대해서는 지질구조 및 암반의 물리역학적 특성에 관한 자료가 충분할 경우 지점별로 평사투영해석과 한계평형해석을 이용한 정량적인 사면안정성 분석을 하는 것이 타당하다고 생각된다. 그리고 더 나아가 암반사면의 안정성 평가를 위한 합리적인 요소의 개발과 가중치에 대한 정량화 연구도 진행되어야 할 것이다.

## 사 사

심사위원들의 세심한 의견과 제안에 감사드립니다. 이 논문은 2012년도 부경대학교 기성회 학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구임(C-D-2011-0853).

## References

- Atkinson, P. M. and Massari, R., 1998, Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy, *Comput Geosci*, 24(4), 373-385.
- Chae, B. G., Cho, Y. C., Song, Y. S., and Seo, Y. S., 2009, Development of an evaluation chart for landslide susceptibility using the AHP analysis method, *The Journal of Engineering Geology*, 19(1), 99-108 (in Korean with English abstract).
- Choi, J. C. and Paik, I. S., 1997, Slope Stability analysis of Hwangryeong-San amusement park in Pusan, *Proceedings of Annual Meeting, Korean Geotechnical Society*, 105-114 (in Korean).
- Choi, J. C. and Paik, I. S., 2002, Study on analysis for factors inducing the Hwangryeong mountain landslide, *The Journal of Engineering Geology*, 12(2), 137-150 (in Korean with English abstract).
- Choi, J. H., Kim, H. T., Oh, J. Y., and Kim, Y. S., 2011, Analysis of the controlling factors of an urban-type landslide at Hwangryeong mountain based on tree growth patterns and geomorphology, *The Journal of Engineering Geology*, 21(4), 281-293 (in Korean with English abstract).
- Hwang, J. Y., Kim, S. K., and Kim, C. S., 1999, A Study on geology and clay minerals of the landslide area in the Munhyun-dong, Nam-gu, Pusan, *Journal of Korean*

- Geotechnical Society, 15(1), 113-125 (in Korean with English abstract).
- ISRM, 1981, Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring : ISRM suggested methods (ed.), Brown, E. T., Pergamon Press, 265p.
- KIGAM, 1983, Geological map of Busan-Gadeog sheet (1:50,000), 22p (in Korean).
- KIGAM, 1997, Geological hazard investigation, KR-97(C)-46, 115p (in Korean).
- KIGAM, 2000, Prediction and mitigation of landslide hazards, KR-00-(T)-09, 642p (in Korean).
- KIGAM, 2003, Geophysical and geotechnical approach to the ground control during excavation in urban area, KR-03-10, 233p (in Korean).
- KIGAM, 2004, 150 Geological outcrops in Korea, 296-297 (in Korean).
- Kim, H. S. and Kim, J. S., 1979a, Orbicular gabbroic rocks from the Hwangryeong mountain district, Pusan, Korea, *Journal of Geological Society of Korea*, 15(4), 295-313 (in Korean with English abstract).
- Kim, H. S. and Kim, J. S., 1979b, Petrology of the Cretaceous volcanic rocks in Pusan area, Korea (I), *Journal of the Petrological Society of Korea*, 2(2), 156-166 (in Korean with English abstract).
- Kim, K. S., Kim, W. Y., Song, Y. S., and Cho, Y. C., 2005, Engineering geology analysis of landslides on natural slopes induced by rainfall, *The Journal of Engineering Geology*, 15(2), 105-121 (in Korean with English abstract).
- La, W. J., Choi, J. C., Kim, K. S., and Cho, Y. C., 2004, Study on Analysis for the Slope Monitoring Performance at the Hwangryeong Mountain Site, *The Journal of Korean Society of Engineering Geology*, 14(4), 429-442 (in Korean with English abstract).
- Nagarajan, R., Mukherjee, A., Roy, A., and Khire, M. V., 1998, Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western Ghat, India, *International Journal of Remote Sensing*, 19(4), 573-585.
- NIDP, 2001, Risk analysis of slopes for the disaster impact assessment, 11-1310148-000096-01, 133p (in Korean).
- NDMI, 2009, Analyses of factors affecting steep-slope stability and field application, 11-1660000-000393-14, 197p (in Korean).
- NDMI, 2012, Risk analysis of slopes for the disaster impact assessment, 11-1310148-000096-01, 133p (in Korean).
- Paik, I. S., Kim, H. J., Kim, J. Y., and Jin, S. I., 1996, Paleoenvironments of the Cretaceous lacustrine deposits (Yucheon Group), Mt. Hwangryeong, Pusan, Korea, *Journal of Paleontology Society of Korea*, 12(2), 181-202 (in Korean with English abstract).
- Palmstrom, A., 1982, The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of jointing, In *IVth International Congress IAEG*, New Delhi, India, 222-228.
- Palmstrom, A., 2005, Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD), *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20, 362-377.
- Song, Y. K., Park, D. S., Son, Y. J., and Kim, T. H., 2012, A study on the improvement of stability checklist by analyzing the evaluation element for steep slope, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(4), 77-84 (in Korean with English abstract).
- Temesgen, B., Mohammed, M. U., and Korme, T., 2001, Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia, *Physics and Chemistry of the Earth, Part C*, 26, 665-75.
- Yun, S. H., Kim, J. S., and Kim, Y. L., 1994, Petrology of the phys. chem. earth part in Pusan Area, Korea (II) : - Petrogenesis and tectonic setting -, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 15(5), 356-365 (in Korean with English abstract).

#### 최정찬

부경대학교 지구환경과학과  
 부산시 남구 용소로 45 부경대학교  
 환경해양동 413호  
 Tel: 051-629-6628  
 E-mail: jcchoi@pknu.ac.kr

#### 김재민

(주) 삼안 지질부  
 경기도 과천시 별양상가 3로 5  
 유니온빌딩 4층  
 Tel: 070-7496-3071  
 E-mail: jmkim2@samaneng.com