

碩士學位論文

통계분석기법을 활용한 제주지역
급경사지재해 예측 및 평가



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

李 昌 璇

2010 年 2 月

통계분석기법을 활용한 제주지역
급경사지재해 예측 및 평가

指導教授 李秉杰

李昌璇

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010年 2月

李昌璇의 工學 碩士學位 論文으로 認准함

審査委員長 박상린 印
委 員 김상진 印
委 員 이병건 印

濟州大學校 大學院

2010年 2月

The Prediction and Evaluation of Je-Ju area Slope hazards using Statistical Analysis Method

Chang-Sun Lee

(Supervised by Professor Byung-Gul Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Engineering

2010. 2

This thesis has been examined and approved by

Thesis director, Sang-Yeol Park, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Sang-Jin Kim, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Byung Gul Lee, Prof. of Civil engineering

February. 2010

Department of Civil & Ocean Engineering

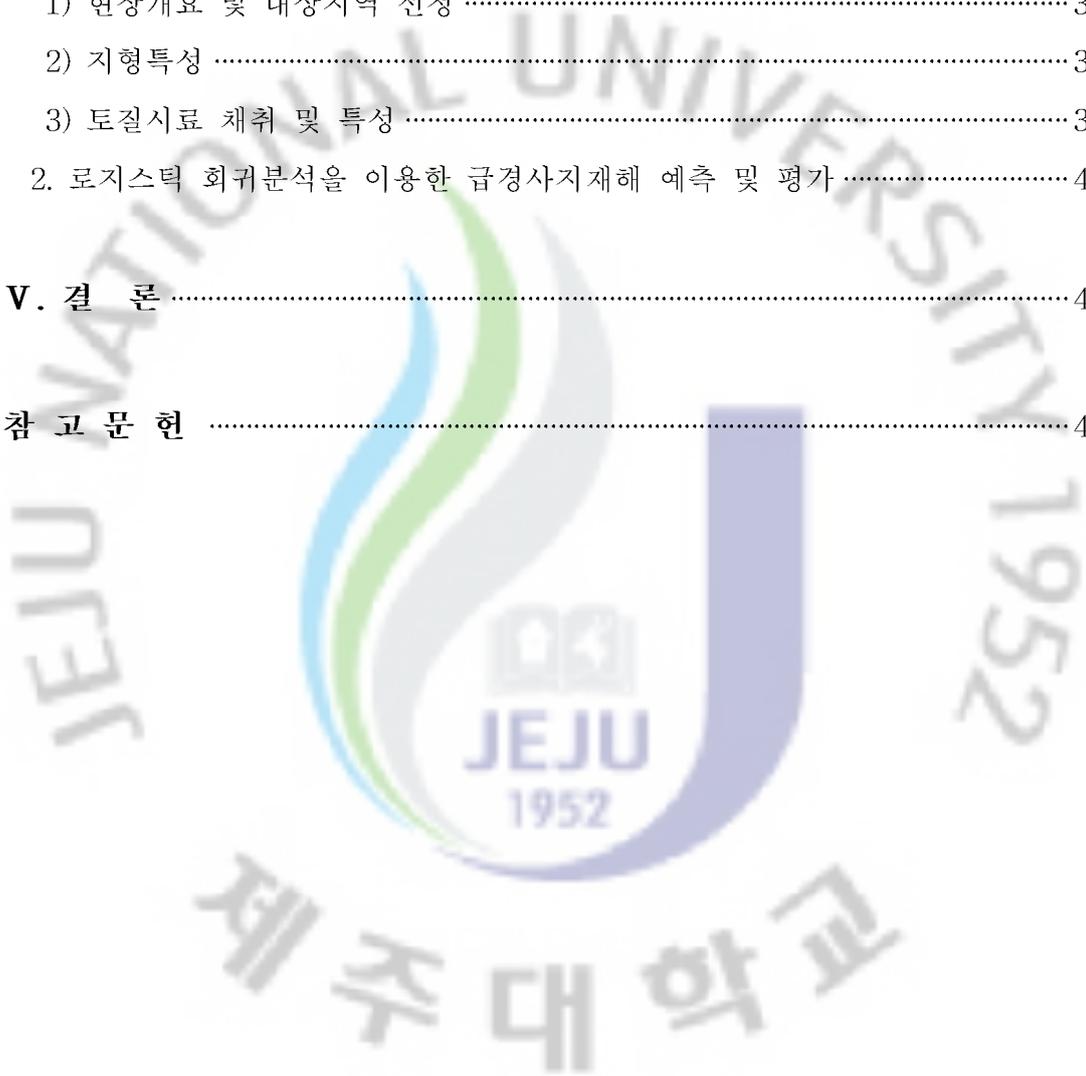
GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Summary	v
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	1
2. 연구내용 및 범위	2
II. 급경사지재해 발생 특성	3
1. 사면의 파괴	3
1) 사면 파괴	3
2) 사면 파괴의 발생요인 및 유형	4
2. 우리나라 급경사지재해 발생현황 및 특성	12
1) 우리나라 급경사지재해 발생현황	12
2) 우리나라 급경사지재해 유형	13
3. 제주도 급경사지재해 발생현황 및 특성	15
III. 통계분석을 이용한 급경사지재해 예측기법	18
1. 로지스틱 회귀분석	18
1) 통계적 이론	18
2) 로지스틱 회귀모델	19
3) 급경사지재해에 로지스틱 회귀모델의 활용	22
2. 지리정보시스템(GIS system)	23
1) GIS의 구성요소	24
2) GIS의 자료형태	27
3) 컴포넌트(component) GIS	28

4) 인터넷 GIS	29
5) 급경사지재해에 GIS의 활용	31
IV. 제주지역 급경사지재해 예측 및 평가	34
1. 연구대상지역 선정 및 조사	34
1) 현장개요 및 대상지역 선정	34
2) 지형특성	35
3) 토질시료 채취 및 특성	37
2. 로지스틱 회귀분석을 이용한 급경사지재해 예측 및 평가	40
V. 결 론	45
참 고 문 헌	47



List of Tables

Table 2.1 The abbreviated classification of a landslide (Varnes, 1978).	5
Table 2.2 Landslide damage situation (Forest road damage exception)	12
Table 3.1 GIS functions about data arrangement and analysis	26
Table 4.1 The soil experimental result of Mt. Song-ak	38
Table 4.2 The soil experimental result of Sara, Byeoldo-bong area	39



List of Figures

Fig. 2.1 Block diagram of a typical costal rock fall(Dikau et al., 1996)	7
Fig. 2.2 Typical block diagram of a topple a Jurassic cuesta scarp slope (Dikau et al., 1996)	7
Fig. 2.3 Typical block diagram of a rotational slide(Varnes, 1978)	8
Fig. 2.4 Schematic block diagram of a typical translational slide with little rotational movement(Dikau et al., 1996)	9
Fig. 2.5 Schematic block diagram of lateral spreading (Dikau et al., 1996)	10
Fig. 2.6 Schematic block diagram of a rock flow (Dikau et al., 1996)	10
Fig. 2.7 Hazard slope disaster in Mt. Halla	15
Fig. 2.8 Hazard slope disaster	16
Fig. 3.1 Integral part of GIS (Aronoff, 1989)	24
Fig. 3.2 Entrance of attribute information in GIS	26
Fig. 3.3 Form of raster and vector data(Aronoff, 1989)	27
Fig. 4.1 Elevation comparison	36
Fig. 4.2 Slope angle comparison	36
Fig. 4.3 The position of picked soil and landslide occurrence in Mt. Song-ak	37
Fig. 4.4 The position of picked soil and landslide occurrence in Sara, Byeoldo-bong area	38
Fig. 4.5 Thematic maps to construct landslide probability map in Mt. Song-ak	43
Fig. 4.6 Thematic maps to construct landslide probability map in Sara, Byeoldo-bong	44
Fig. 4.7 The prediction map of Mt. Song-ak	45
Fig. 4.8 The prediction map of Sara, Byeoldobong area	46

SUMMARY

In Jeju, it underwent the influence of every year heavy rainfall and the typhoon but the landslide which occurs was deficient. But according to global warming the frequency of the typhoon and the heavy rainfall goes down and the damage occurs. Specially many damage and the casualty occurred with 2007 typhoon "NARI" effect.

This study performed application of landslide prediction model from preventing a damage that landslide predicted probability by typhoon and heavy rainfall. The research area selected the Mt. Song-ak, Sara and Byeoldo-bong area.

As the result of making out prediction map by applying Logistic regression model to GIS, and then comparing prediction map of selected area with the area that site slope hazard occurred, the probability of hazard is higher in the area that hazard occurred. It is not relatively considerable, but the area which has higher possibility of hazard is distributed around approach path, mountain trails, and stock farm along the slope of mountain top, and thus it is feared that human life and property will be damaged. But there is only a little damage caused from slope hazard in Jeju-Do. Owing to this reason, there is no countermeasure against slope hazard, and there are only a few studies on slope hazard. Logistic regression model used in this study was developed with data of inland regions, so it is required to collect further data on the basis of this study, modify and complement previous model properly to the ground of Jeju-Do for the more accurate prediction.

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

사면재해는 다양한 원인들로 인하여 세계 각지에서 발생하는 현상이다. 우리나라는 지리적으로 극동지역에 위치하여 온대성 기후지역으로서 6월~9월 사이에 호우가 집중되고 있을 뿐 만 아니라 강우는 점차 국지성 집중호우의 양상을 보이기 때문에 이 시기에 많은 사면재해가 발생되고 있다. 이러한 재해 발생은 많은 인명과 재산손실을 초래하며 최근 들어서는 연평균 6천억원의 재산피해가 반복적으로 발생하며, 피해의 규모가 급격히 증가하는 추세에 있다. 이러한 피해를 줄이기 위해 최근 우리나라에서는 행정자치부 산하 국립방재연구소, 건설교통부 산하 한국건설기술연구원, 과학기술부 산하 한국지질자원연구소, 산림청 산하 임업연구소 등에서 사면의 안정성평가 및 유지관리를 위해 많은 연구를 수행하고 있다.

그러나 제주도는 지질특성상 집중호우로 인한 인명과 재산손실이 미비하였으나 도로의 확장과 개발로 인해 태풍을 동반한 집중호우로 피해가 급증하고 있다. 특히, 2007년 태풍 “나리(Nari)”의 영향으로 제주도에서 집계한 피해액만 1천 3백 억원으로 제주도 재해사상 최고였으며 인명피해로는 13명의 사망자가 발생하였다. 이 중 급경사지재해로 인한 피해는 미비하였으나 최근 오름트래킹, 올래길 탐방으로 인해 오름을 찾는 관광객이 많아짐에 따라 급경사지재해로 인한 피해를 무시할 수 없게 되었다.

따라서 본 논문에서는 급경사지재해 발생원인의 토질특성을 분석하고 통계적분석을 GIS기법에 적용하여 급경사지재해를 예측해 보고자 하였다. 이를 위하여 사람의 발길이 많은 사라봉, 별도봉 지역과 송악산 지역의 지형 및 토질공학 적 사면 붕괴 유발 인자들을 이용하여 로지스틱회귀분석기법을 GIS에 적용한 예측지도를 작성하고 급경사지재해지역을 예측 및 평가해 보고자 하였다.

2. 연구내용 및 범위

사면의 안정성 평가는 한계평형이론, 유한요소 해석 등에 의한 수치해석적 방법과 데이터베이스를 이용한 평가표 활용과 같은 통계적 방법으로 크게 나눌 수 있다. 전자의 방법은 사면을 모델화하여 해석함으로써 안전율을 얻는 방법이고 후자는 관련 자료를 획득하고 데이터베이스화를 통하여 사면의 안정도를 평가하는 방법이다. 본 논문에서는 급경사지재해 발생 요인을 추출하여 통계분석기법을 통해 안정성을 평가해 보고자 한다.

본 연구내용은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 사면파괴의 발생요인 및 유형을 알아보고 우리나라 및 제주도 급경사지재해 발생 현황과 특성을 알아본다.
- 통계분석기법인 로지스틱회귀분석기법과 예측지도를 작성하기 위한 지리정보시스템(GIS system)에 대해 알아보고 급경사지재해에 어떻게 활용되고 있는지 설명한다.
- 연구대상지역의 현장조사와 실내시험을 통해 지형 및 토질특성 분석을 실시한다.
- 통계분석기법을 GIS기법에 적용하여 예측지도를 작성하여 토석류 급경사지재해 발생가능성의 예측 및 평가를 실시한다.

II. 급경사지재해 발생 특성

1. 사면의 파괴

1) 사면 파괴

지표면과 임의의 각도를 이루는 노출된 지반을 자유사면이라 하는데 이러한 사면은 자연적 또는 인위적으로 형성된다. 이러한 사면의 파괴는 성토나 절토와 같은 인위적인 공사, 또는 강우와 같은 자연현상에 의해 지반의 활동이 유발되어 파괴가 발생하게 된다. 이는 가상파괴면 상부토괴가 움직이려는 활동력이 파괴면 하부가 저항하는 힘보다 크게 된다. 그러나 파괴형상은 사면을 이루고 있는 지반의 주위특성과 지반의 성분에 따라서 매우 불규칙적으로 나타나는 경향이 있다.

지질을 구성하는 물질은 생성과정이나 시대를 거치는 동안 변성작용 등에 의하여 서로 다른 특성을 가지게 되므로 사면 파괴를 발생시키는 토층과 풍화대, 또는 붕적층의 파괴특성이 서로 다른 값을 가지게 된다. 따라서 강우, 지형, 산림 등 사면 파괴의 발생조건이 동일한 지역이더라도 지질조건이 다를 경우 사면 파괴의 특성도 다르게 나타나게 된다.

Spenser(1969)에 의하면 균일한 지층으로 이루어진 지반에서는 원호파괴가 비원호인 경우보다 더 위험한 것으로 밝혀졌다. 그 이유는 원호파괴의 경우 단위 중량당 파괴면의 면적이 다른 경우에 비해서 가장 작게 산출되기 때문이다. 여기서 계산되어진 파괴면의 면적은 저항력과 관련이 있고 지반의 자중은 활동력과 관련이 있기 때문에 저항력이 상대적으로 작은 원호파괴의 발생 가능성이 크다고 하였다. 원호 파괴가 일어날 수 있을 만큼의 충분한 깊이의 사면이 아니라면 파괴모양은 사면에 평행한 평면 파괴의 모양을 보인다. 이런 경우는 대개 파괴가 사면을 이루고 있는 지층 중에서 가장 약한 층으로 파괴가 일어난다. 하지만 실제 현장에서는 앞서 설명하였던 파괴모양이 복잡하게 얽혀서 발생하는 경우가 대부분이다.(Huang, 1983)

2) 사면파괴의 발생요인 및 유형

사면파괴를 발생시키는 요인은 내적요인과 외적요인으로 구분된다. 내적요인은 대상사면의 지형, 지질, 토질 및 입상 등에 잠재된 요인으로서 진행성파괴, 풍화작용, 침식에 의하여 사면구성물질의 전단저항을 감소시키는 원인이 되며, 외적요인은 지형의 변화, 토피하중의 감소, 하중의 증가, 진동과 충격, 지하수위 변동 등에 의하여 사면 내에 전단응력을 증가시켜 내적요인과 결합하여 급경사지재해를 가중시키는 지진, 강우, 벌목, 절성토 등이다. Cooke와 Doornkamp(1975)는 사면안정성 평가에 다음과 같은 항목을 이용하기를 제안하였다. 즉, 지형, 수리, 기반암, 표층토, 지진대, 구지형 및 지질, 기후, 식생, 인공적 변형들이다.(Broms. B.B., 1975)

지형은 지표수와 지중수의 형태에 큰 영향을 주기 때문에 표면침식과 급경사지재해 발생에 가장 중요한 요인이다. 심토대상지역이 넓을 때와 한 지점을 대상으로 할 때는 고려하는 지형조건이 다르다. 지역이 대상일 때에는 지반고, 계곡의 깊이, 사면의 경사, 벼랑의 존재, 계곡 간 표고차 등이 주 고려대상이고 지점이 대상일 때에는 경사, 사면길이, 사면의 종 · 횡단면형상, 경사변화대, 방위 등이 고려사항이 된다. 지형과 아울러 수리(배수)조건이 급경사지재해 발생에 중요한 역할을 한다. 수계, 수로밀도, 하천경사, 계안침식, 침투수 집중, 물웅덩이, 새절개지, 간극수압 등이 고려사항이다. 지질 및 토질 조건으로서는 기반암의 종류와 상태로서 절리와 불연속면의 밀도, 크기, 채움재, 주향과 경사각의 사면경사와 이루는 각, 그리고 인장균열, 풍화도 등이 기반암에 대한 검토사항이 되고 표층토에 대해서는 토층의 깊이, 입도, 전단강도, 소성지수, 액성한계, 투수성, 건조균열, 이질지층, 기반암과의 접촉상태, 지중 배수통로 등이 고려대상이다.

사면을 구성하는 지표상의 물질은 그 종류에 따라 암반(rock), 토설(debris), 흙(soil) 등으로 나뉘고, 급경사지재해의 운동학적 특징은 파괴되는 그 모양에 따라 낙반(fall), 전도(topple), 활동(slide), 측면퍼짐(lateral spread), 유동(flow)으로 분류되어 각 특징에 따라 아래의 표와 같이 급경사지재해의 종류가 구분되어진다.

Table 2.1 The abbreviated classification of a landslide (Varnes, 1978).

Types of Movement	Types of Materials		
	Bedrock	Engineering Soils	
		Predominantly Coarse	Predominantly Fine
Falls	Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topples	Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slides	Rock slump	Debris slump	Earth slump
Rotational	Rock block slide	Debris block slide	Earth block slide
Translational	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Lateral spreads	Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flows	Rock flow (deep crack)	Debris flow (soil creep)	Earth flow (soil creep)
Complex	Combination of two or more principal types of movement		

(1) 낙하(Fall)

낙하는 절벽과 같이 가파른 경사에서 지반이 자유로이 이동되는 현상이다 (Fig. 2.1). 이는 주로 수직절리가 발달된 암석이 절벽을 이루고 있는 지역에서 발생되기 쉬우며, 썩기 형태를 보이는 급경사지역에서도 발생되기 쉽다. 특히 수분의 동결현상으로 인해 수직절리와 같은 절리면은 겨울에 확장되지만, 수분이 다시 녹는 초봄에는 느슨해져서 사면의 붕괴가 발생된다. 낙하는 단일 암종지역 뿐만 아니라 복잡한 지층에서도 발생이 가능하다.(Dikau et al,1996)

(2) 전도(Topple)

전도는 일반적으로 암석, 암설(debris) 또는 토사 지반이 사면의 경사 방향으로 회전하며 파괴되는 양상이다(Fig. 2.2). 지반이 떨어지거나 미끄러지지만, 붕괴되지 않고 비스듬히 기울어져 떨어져 나가는 것을 의미한다(Varnes, 1978). 하부 지반이 소성(plastic)의 성질을 갖고 있거나, 풍화를 받았을 경우 발생 가능하다. 또한, 상부의 단단하고 무거운 지반으로 인해서 하부의 지반에 squeezing-out 현상이 나타나는 경우에도 발생할 수 있다.

(3) 회전활동(Rotational slide)

파괴면을 따라 지반이 움직이는 현상으로 정의된다. 파괴면의 형태나 수를 기준으로 slide 형태를 규명한다. 파괴면의 형태는 원이나 스푼모양이며, 파괴면을

따라 붕괴가 교대로 발생한다(Fig. 2.3). 시기상 한번만 발생할 수도 있지만, 반복하여 발생할 수도 있고, 다른 거동 형태와 동시에 발생되기도 한다. 급경사지재해 발생 사면의 지반이 암석, 토사, 암설(debris)에 따라 구분되어지며, 붕괴 규모도 각기 다르다. 지형학적·지질학적 특성에 따라 발생 규모가 다르게 나타나기도 한다.

(4) 병진활동(Translational slide)

거의 평면에 가까운 파괴면에서 지반이 이동되는 거동방식이다(Fig. 2.4). 사면을 형성하는 지반이 연약할 경우 파괴면을 따라 이동된다. 토사의 경우, 절리나 단층, 층리와 같은 불연속면에 의한 영향을 많이 받는다. 사면 지반의 종류에 따라 발생형태가 다르며, 사면각과 속도, 미끄러지는 정도에 따라 발생 규모와 형태가 각기 다르다. 지반이 암석인 경우 불연속면을 중심으로 기반암과 밀착된 정도에 따라 block slide와 같은 발생 형태를 보인다.(Dikau et al, 1996)

(5) 수평퍼짐(Lateral spreading)

하부 연약지반이 변형되어 상부 사면에 존재하는 암반이나 토사의 덩어리가 측면으로 팽창하여 이동되는 형태이다(Fig. 2.5). 급경사지재해 발생규모는 이동되는 지반의 종류에 따라 다르며, 동일한 지질조건을 가진 지역이라도 지형학적 특성에 따라 각기 다른 규모와 속도로 발생한다.

(6) 흐름(Flow)

지반이 사면을 따라 흐트러지면서 움직이는 형태이다(Fig. 2.6). 주로 암석의 입자가 작은 편에 속하는 종류나 쇄설성 암설, 조립질 또는 세립질의 입자 특기를 갖는 토사의 경우에 많이 발생하는 현상이다.

Rock flow는 지하 심부 암층이 중력의 영향으로 인해 점진적으로 이동하며 발생하는 것이다. Debris flow의 경우, 산 측면부위의 느슨해진 사면을 따라 미끄러지면서 발생되는데, 보통 암편이나 자갈, 모래, 점토성 물질 등으로 구성되어 발생된다. Soil flow는 수분이 매우 많은 토사나 점토 또는 실트질 점토로 된 경우에 발생된다. 뭉쳐진 토사 입자들이 물과의 작용으로 인해 흐트러지면서 마치 콜로이드가 흐르는 것과 같은 형태로 발생된다. 또한 건조한 지역의 경우 토사 입자들 사이의 점착성을 유지해 주는 수분이 사라지면서, 점착성을 잃은 입자들이 흩어져 흐르게 되는데, 발생형태는 액체가 흘러가는 것처럼 보인다. 매우 드

물개 나타나는 현상이기는 하지만, 발생되면 파괴력은 엄청난 것으로 알려지고 있다. 입자 중 50% 정도가 토사의 입자보다 작은 점토 또는 실트질 점토로 존재할 때, mudflow가 발생된다.

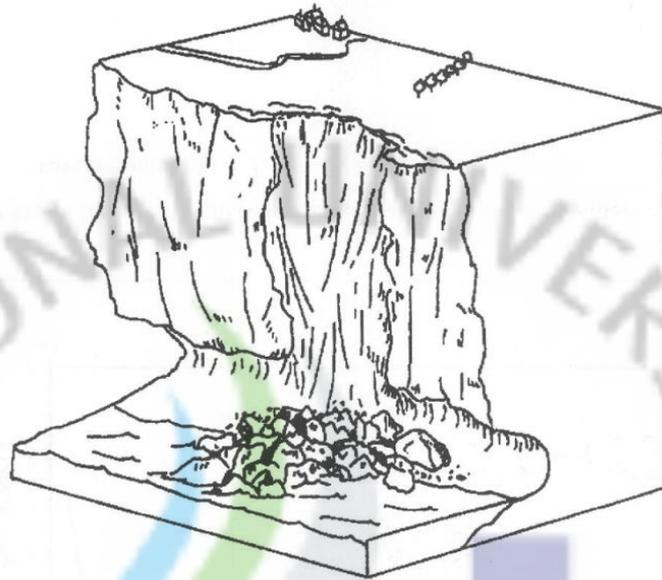


Fig. 2.1 Block diagram of a typical costal rock fall(Dikau et al., 1996)

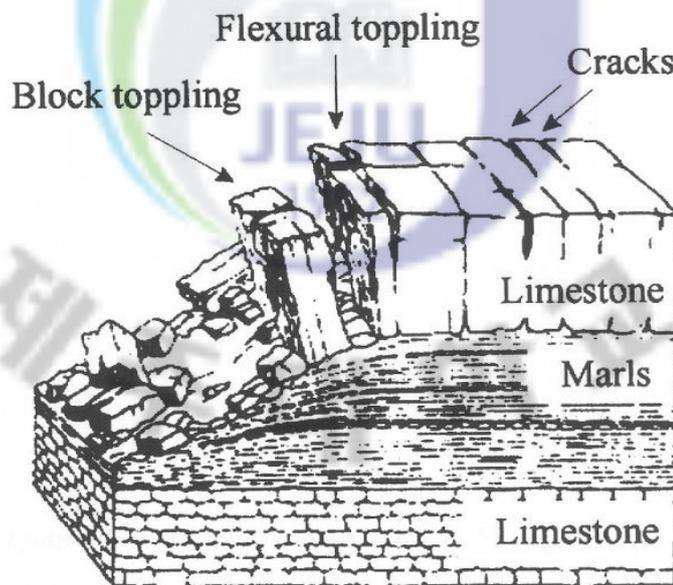


Fig. 2.2 Typical block diagram of a topple a Jurassic cuesta scarp slope (Dikau et al., 1996)

- 1 Crown with crack
- 2 main scarp
- 3 related slide blocks
- 4 minor scarp
- 5 main body
- 6 transverse tension cracks
- 7 toe area

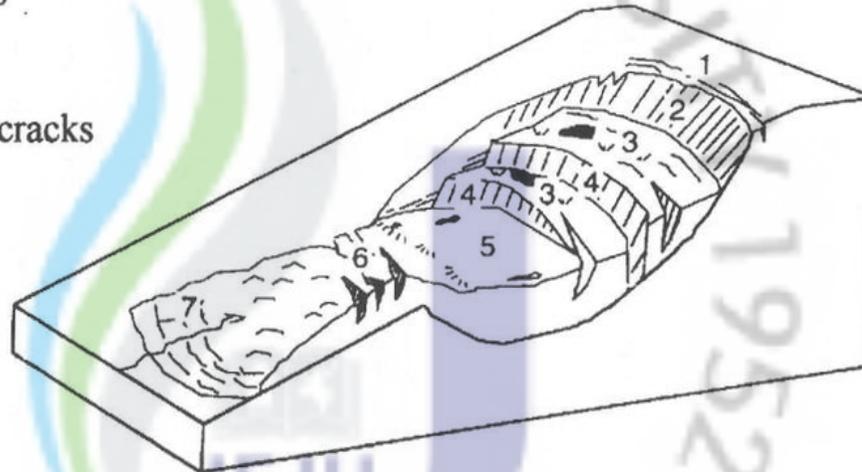


Fig. 2.3 Typical block diagram of a rotational slide(Varnes, 1978)

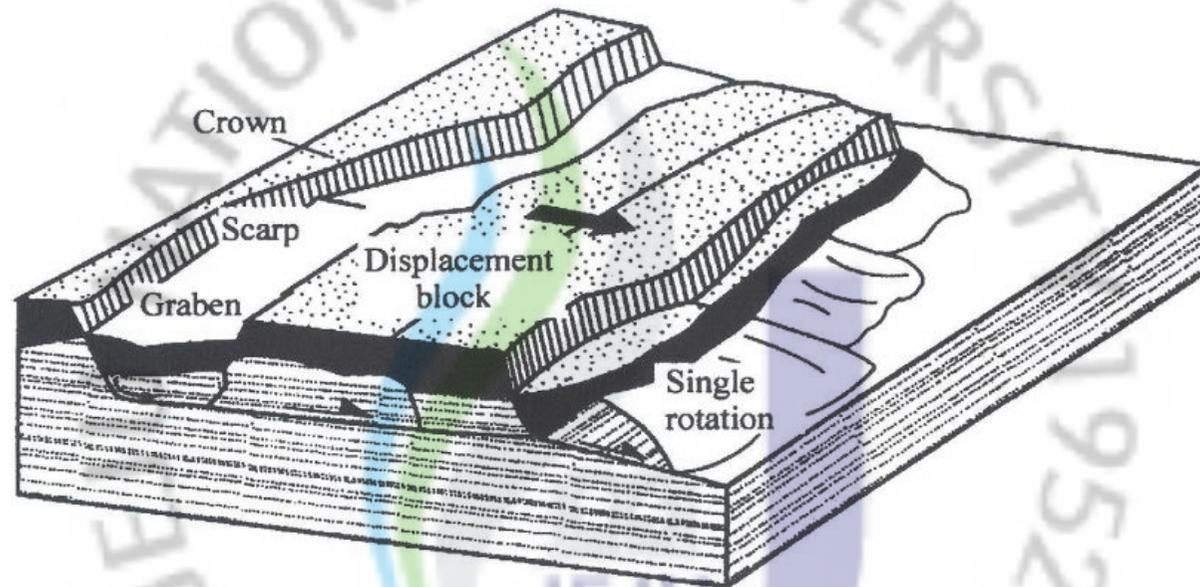


Fig. 2.4 Schematic block diagram of a typical translational slide with little rotational movement (Dikau et al., 1996)

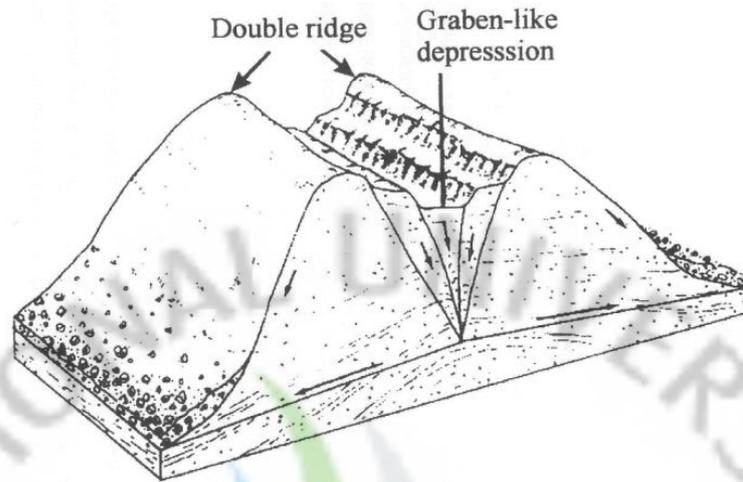


Fig. 2.5 Schematic block diagram of lateral spreading (Dikau et al., 1996)

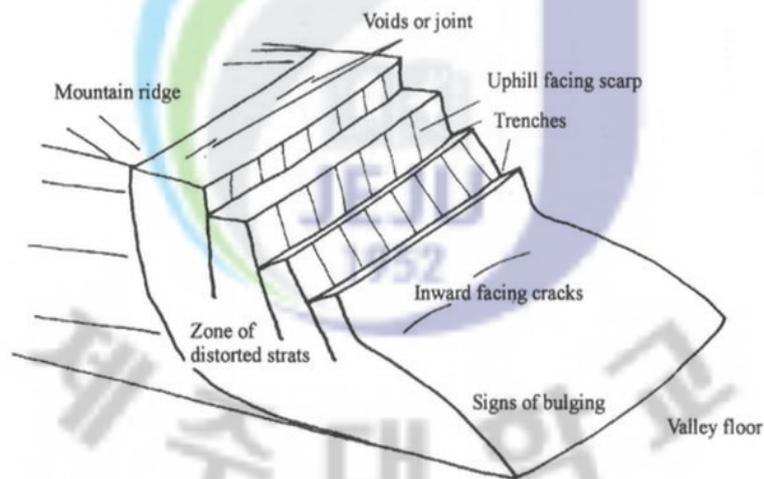


Fig. 2.6 Schematic block diagram of a rock flow (Dikau et al., 1996)

(7) 복합적 유형(Complex)

위에서 언급된 주된 현상들 중 2개 이상의 거동이 복합적으로 나타나는 경우이다. 규모가 큰 사면이 불안하여 완전히 붕괴될 수도 있지만 점진적인 사면 파괴를 보이며 붕괴될 수도 있다. 점진적인 붕괴 양상의 경우, 처음에 작은 사면의 파괴가 발생하고, 이차적으로 좀 더 큰 규모의 사면 붕괴가 발생되며, 결국에는 대규모의 사면붕괴가 발생된다. 급경사지재해가 복합적으로 발생하여 단일분류방식으로 접근이 어려울 때 이러한 분류방식이 적용된다.(Varnes, 1978)

보통 급경사지재해 발생형태에 대한 정확한 분석은 매우 복잡하고 어려운 일이다. 대규모 급경사지재해의 경우 단일한 거동방식으로 붕괴되기 보다는 2개 이상의 거동방식에 의해 나타나므로 정확한 규명은 매우 어려운 일이다. 위에서 고찰된 6가지 사면파괴 유형들은 다양한 원인들로 인해 나타난다.

2. 우리나라 급경사지 재해 발생현황 및 특성

1) 우리나라 급경사지재해 발생현황

우리나라는 급경사지가 많으며 토심이 비교적 얇은 지역의 특성인 토양층위간 성질이 급변하는 지역이 많으므로 급경사지재해가 잘 발생된다. 또한 연평균 강우량이 1200~1400mm로서 이중 대부분이 7월과 8월에 집중적으로 내리기 때문에 매년 피해를 받고 있다. 다음 표는 1990년 이후 집계한 급경사지재해 현황이다.

Table 2.2 Landslide damage situation (Forest road damage exception)

Year by.	damage situation		Restoration expense (million won)	maximum precipitation(mm)		note
	Landslide (ha)	Life (Death)		continuity	time	
Total	10,089	287	938,208			
Average	593	17	55,189			
'91~'95 average	1325	88	34539			
'91	727	48	13,331	484(Busan)	86(Osan)	
'92	-	-	-	-	-	
'93	109	9	3,525	356(Uljin)	116(Samcheonpo)	
'94	66	-	2,203	402(Songtan)	100(Songtan)	
'95	423	31	15,480	987(Boryeong)	70(Boryeong)	
'96~'00 average	2172	130	123,138			
	434	26	24,628			
'96	257	2	9,699	687(Yeoncheon)	67(Cheorwon)	
'97	33	6	2,114	488(Ganghwa)	89(Ganghwa)	
'98	1,281	92	71,537	1,202(Seoul)	145(Suncheon)	
'99	419	23	28,736	975(Geoje)	91(Paju)	
'00	182	7	11,052	645(Gunsan)	93(Yongin)	
'01~'07 average	6592	69	780,531			
	942	10	111,504			
'01	185	6	22,274	394(Cheorwon)	100(Seoul)	
'02	2705	35	191,746	897(Gangneung)	100.5(Gangneung)	
'03	1330	10	160,040	453(Namhae)	79(Namhae)	
'04	233	-	30,098	377(Wando)	116(Jindo)	
'05	469	9	87,333	328(Ulsan)	160(Cheonan)	
'06	1597	9	275,106	563(Hongcheon)	109(Yangyang)	
'07	73	-	13,934			

Table 2.2 에 의하면 1991년부터 2007년까지 17년간 연평균 급경사지재해 발생면적은 593ha이며 1991년부터 5년 단위로 265ha, 434ha, 942ha로 점차 급경사지재해 발생면적이 증가되고 있음을 보여준다. 이와 달리 인명피해 상황을 보면 연평균 인명피해는 대체적으로 감소 추세를 보인다. 급경사지재해 피해 복구비는 연평균 551억89백만원, 2000년 이후 매우 높게 증가세를 보이고 있다.

급경사지재해 면적이 점차 증가되고 있는 이유는 첫째 산지개발에 따른 산림 훼손지의 증가와 불합리한 산지이용과 두 번째 예방사방공사와 숲 가꾸기 사업의 미비로 급경사지재해 발생이 증가되고 있다. 인명피해가 점차 줄어들고 있는 것은 일기예보 및 재해대책본부의 활동과 산림청의 급경사지재해 방재대책 활동에 기인한 당연한 현상이라 하겠으며 복구비의 증가 추세는 물가상승과 또한 복구 공작물의 질과 양이 과거보다 점차 향상, 증가되었기 때문이라 사료된다.

2) 우리나라 급경사지재해 유형

우리나라에서 가장 흔히 발생하는 급경사지재해는 쇄설성유동(debris flow), 암반포행(rock mass creep), 회전형 슬라이드(rotational slide)이다. 먼저 debris flow는 집중호우 시기인 6~8월 사이에 대부분 발생한다. 조사통계에 의하면 2일 간의 강우량이 200mm 이상일 때 발생하기 시작한다. 발생빈도는 산사면의 노두의 발달상태와 연관되어 있으며 대부분 노두가 없는 지역에서 발생한다. 초기에는 전이형 슬라이드(translational slide)에 의하여 발생되며 파괴물질이 산사면의 계곡으로 유동되면서 debris flow로 전이된다. 그러므로 대부분의 debris flow는 전이형 슬라이드와 연관되어 있다.

debris flow의 원인이 되고 있는 전이형 슬라이드의 발생인자는 강우와 인위적 조건을 제외하면 암석(crystalline, non-crystalline, stratified), 지형고도, 사면경사, 입도분포, 투수계수, 건조밀도, 공극율 등이다.

암반포행(rock mass creep)은 최근의 절토공사와 연관되어 곳곳에서 발생되고 있으며 대부분 경상계 퇴적암지역에서 발생된다. 이러한 직접적 원인은 거의 사면 하단부의 절토 때문이다. 전단전이는 적은 편으로 1m 내외이나 포행 암반의 규모가 크기 때문에 매우 위험하다. 포행의 원인이 되는 상부 전단대는 대부

분 주변에 발달되어 있는 단층이나 대규모 전단절리와 연관되어 있어 사면설계 조사 시 상당한 주의를 요한다.

회전형 슬라이드(rotational slide)는 토양층이 두껍거나 기반암이 심히 풍화된 연약층에서 발생하며 흔히 사면 하단부의 절토와 연관되어 있으며 원호 또는 반원호형으로 진행되는 특징이 있으며 우리나라에서는 제 3기 응회암 지역이 취약하다. 화산재와 화산쇄설 물질이 혼재된 제 3기 응회암은 절리가 매우 잘 발달되어 있어 팽윤과 흡수율이 높아 심부까지 풍화에 취약하므로 이런 형태의 급경사지재해가 발생할 가능성이 높다.



3. 제주도 급경사지재해 발생현황 및 특성

제주도는 한라산을 중심으로 많은 오름이 분포하고 있다. 이러한 오름들은 급경사지가 많고 이상기후에 따라 계절성 폭우 또는 태풍의 영향을 많이 받고 있다. 2007년 태풍 “나리”의 영향으로 한라산의 용진각 대피소가 붕괴되고 송악산, 사라봉, 별도봉, 민오름, 원당봉 등 6개 지역에서 급경사지재해가 발생하였다. 이러한 급경사지재해로 인해 인명 및 재산 피해는 없었으나 지금 재해가 일어난 지역 모두 사람들이 관광지로 많이 찾거나 체육시설을 갖추고 있어 사람들의 왕래가 잦은 지역이다. 다음은 급경사지재해가 일어난 현장사진들이다.

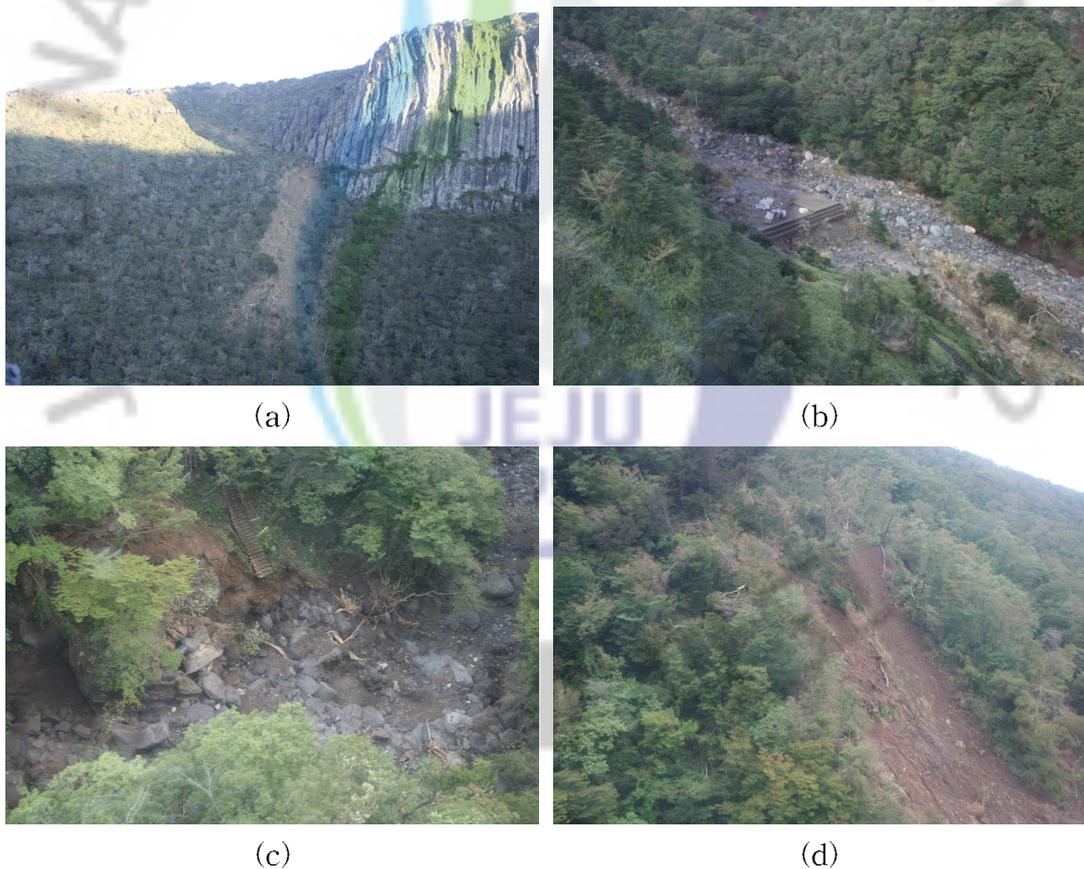


Fig. 2.7 Hazard slope disaster in Mt. Halla (a) : Youngsil fantastic rock area, (b) : Yongjingung shelter area, (c) : Tamna valley area, (d) : Hanbal rever upstream area

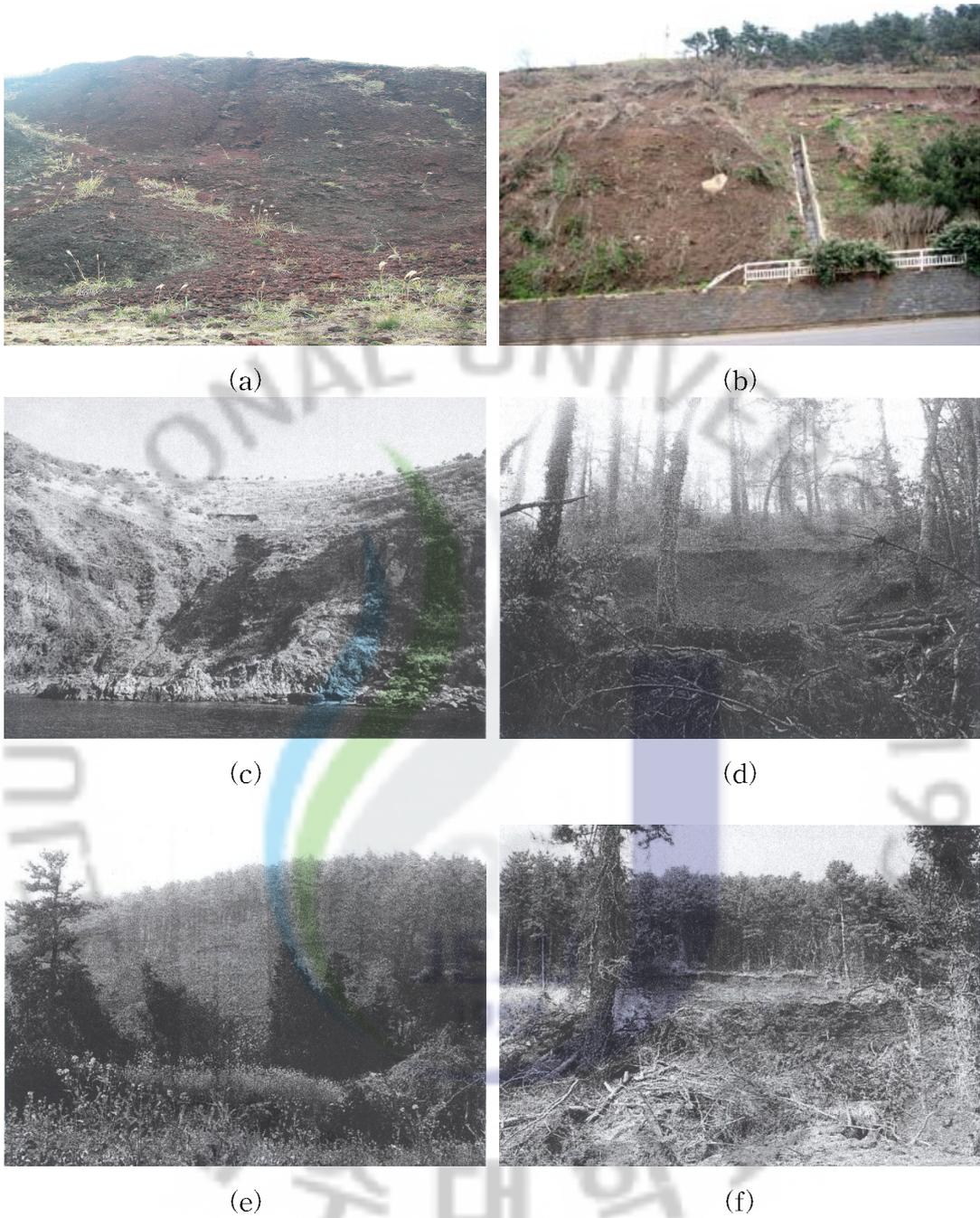


Fig. 2.9 Hazard slope disaster (a) : Mt. Song-ak area, (b) : Sarabong area,
 (c) : Byeoldobong area, (d) : Min-orum area, (e), (f) : Wondangbong area

송악산지역을 제외한 5개 지역은 모두 태풍의 영향으로 폭우로 인해 지반이 포화되면서 debris flow가 발생하였다. 한라산의 경우는 국립공원으로 지정이 되

어 자연 상태를 유지하게 되어 있어 대피소만을 삼각봉으로 옮기어 건축하였다. 사라봉 임향도로변 급경사지재해는 복구공사는 면적 7,300㎡, 7억 4천여만원의 공사비가 소요되었고 별도봉은 면적 6,400㎡, 8억 2천여만원, 민오름은 면적 2,000㎡, 1억 4천여만원, 원당봉은 면적 9,000㎡, 3억 3천여만원의 공사비가 소요되었다. 그러나 송악산의 경우 오름 산책로 옆으로 1,477㎡의 면적에서 급경사지 재해가 발생하였으나 아직 복구가 안 되어 노출이 되어 있다.



Ⅲ. 통계분석을 이용한 급경사지재해 예측기법

1. 로지스틱 회귀분석

1) 통계적 이론

한 변수(반응변수, 목표변수)가 다른 변수(설명변수, 입력변수)들에 의해서 어떻게 설명(explanation) 또는 예측(prediction)되는 지를 알아보기 위해 자료를 적절한 함수식으로 표현하여 분석하는 통계적 방법을 회귀분석이라 한다. 일반적으로 회귀분석에서의 모형은 주어진 독립변수 하에서 종속변수의 평균이 독립변수에 대한 선형식으로 표현된다. 즉, 아래와 같은 식으로 표현되는 것이다.

$$y = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \dots + \beta_p\chi_p \quad (3.1)$$

그러나 예를 들어, 급경사지재해 자료의 경우, 급경사지재해 발생유무로 표현되는 이분형 종속변수인 경우에 $E(y/x)$ 는 독립변수가 x 로 주어진 경우에 급경사지재해가 발생할 확률을 의미하게 된다. 일반 회귀모형에서는 x 의 범위가 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 의 값을 가지면 y 의 범위 역시 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 까지의 값을 가지나 위에서 $E(y/x)$ 는 확률이므로 0에서 1사이의 값만을 가질 수 있으며, $E(y/x)$ 는 독립변수의 선형식으로 표현되기 보다는 S 형태를 따르는 곡선형태에 가깝다. 이러한 반응함수의 제약성 $0 \leq E(y/x) \leq 1$ 을 충족시켜주는 함수는 몇 가지 종류가 있으나, 이들 함수들 중에서 사용이 용이하다는 점에서 다음의 로지스틱 함수를 사용하게 된다.

$$E(y/x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x)} \quad (3.2)$$

위의 로지스틱 함수는 β_0 와 β_1 에 대해서 비선형 함수이나 이를 선형으로 변환시킬 수 있다. 기대반응 $E(y/x)$ 는 확률을 의미하므로

$$E(y/x) = p \quad (3.3)$$

로 놓자. 그러면, 다음의 변환

$$p' = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \ln\left(\frac{E(y/x)}{1-E(y/x)}\right) \quad (3.4)$$

을 이용하여 식(3.2)를 식(3.4)에 대입시키면

$$p' = \beta_0 + \beta_1 x \quad (3.5)$$

으로 됨을 알 수 있다.

이와 같은 변환을 로지스틱 변환(logistic transformation)이라 하고, p' 즉, $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 를 로짓(logit)이라 부른다. 앞에서 언급한 바와 같이 급경사지재해 자료는 종속변수가 이분형의 자료이고 독립변수가 연속형의 자료이기 때문에 일반 회귀모형을 그대로 적용하기가 매우 어려웠으나 이 자료를 가지고 로지스틱 변환하면 일반적인 회귀모형의 형태를 지니게 되어 분석이 용이하게 된다.

2) 로지스틱 회귀모델

정량적 급경사지재해 발생가능성을 구하기 위해 통계학에서 최근 많이 사용하는 로지스틱 회귀분석기법이 이용되고 있다. 회귀분석은 급경사지재해와 관련이 있는 여러 요인들을 이용하여 향후 발생 가능한 급경사지재해를 예측하려는 시도에 적용이 가능한 통계적 분석방법이다. 예측하려는 변수 즉, 급경사지재해의 발생가능성을 '종속변수'라 하고, 급경사지재해를 예측하기 위해 사용하는 다른 요인을 '독립변수'라 한다. 로지스틱 회귀분석은 단지 두 개의 값(급경사지재해발

생 또는 미발생)만을 가지는 종속변수와 다양한 값을 갖는 독립변수들 사이의 관련성을 분석하는 통계기법이다. 또한, 로지스틱 회귀분석은 급경사지재해가 발생할 경우와 발생하지 않을 경우를 예측하기 보다는 그 지역에 급경사지재해가 발생할 확률을 계산해 준다는 점에서 급경사지재해 분석에 있어 이상적인 통계분석방법이라 할 수 있다.

과거부터 급경사지재해취약성 또는 발생가능성을 파악하기 위해 많은 연구가 수행되었다. 그러나 이들은 대부분 정성적 기준에 의해 제시된 급경사지재해 취약성으로서 조사자 및 해석자의 주관적 판단이 크게 적용되었을 뿐만 아니라, 해석결과를 이용하는 목적과 이용자에 따라 그 의미가 각각 다르게 이해되었다. 우리나라에서 반복적으로 발생하는 급경사지재해를 더욱 정확하게 예측하고, 이로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 과학적이고 정확한 접근방법과 객관적 기준에 의해 급경사지재해를 예측하는 방법이 요구되어 왔다. 이러한 필요성에 의해 김원영 외 (2000, 2003)는 급경사지재해의 발생확률을 통계적 기법으로 산정하는 급경사지재해예측모델은 “로지스틱 회귀모델”을 개발하였으며 이 모델을 이용하여 예측 및 평가를 실시하였다.

기존의 급경사지재해와 관련한 연구에서는 급경사지재해를 유발하는 인자의 선정을 조사자 또는 자료처리자의 주관과 직관에 의존해 결정한 경향이 있었다. 또한, 급경사지재해 유발인자에 대한 가중치도 객관적인 방법으로 설정하지 못하거나 가중치를 고려하지 않은 상태에서 급경사지재해 취약성과 발생가능성을 추정하였는데, 이 경우 급경사지재해가 발생할 가능성이 잘못 예측되어 왜곡된 결과가 도출될 수 있다. 이러한 오류를 배제하기 위한 방편으로 통계적 기법을 이용해 급경사지재해가 발생된 현장의 조사결과와 실내시험을 통해 얻어진 자료와 인자를 대상으로 각 인자별 상호관련성을 검토하여 관련성이 높은 인자들을 별도로 추출해서 이들이 급경사지재해 발생에 기여하는 상대가중치를 결정하고, 이를 토대로 실제 급경사지재해가 발생한 지역에 적용하여 통계적 측면에서의 타당성을 검증하였다. 이러한 과정을 통해 급경사지재해 발생에 큰 영향을 미치는 인자들을 밝혀내고, 이들 인자의 정확한 가중치가 부여되었다.

통계적 분석기법을 사용하여 급경사지재해발생을 예측하는데 있어 가능성과 타당성을 검토하기 위해 용인·안정 지역에서 수집된 14개 변수(암질, 입도, 비

중, 함수비, 액성한계, 소성한계, 소성지수, 투수계수, 포화도, 간극율, 간극비, 건조밀도, 습윤밀도 및 포화밀도)를 사용하여 사전 분석을 실시한 결과, 통계적 분석방법이 그 동안 지질학적인 측면에서 논의되어 왔던 가설을 만족하면서 유의한 결론을 도출해 낼 수 있다는 가능성을 확인하였다(김원영 외, 2000). 그 동안의 사전 분석 및 타당성 검토를 통하여 급경사지재해발생에 영향을 주는 요인들로서 지형자료로는 고도, 사면방향(slope dip direction), 사면경사(slope angle) 및 사면상부경사(slope top angle)를 선정하였으며, 토질자료로는 암질, 간극율, 건조밀도, 입도, 투수계수를 선정하였다. 직관적으로 급경사지재해발생에 직접적인 영향을 주는 가장 큰 외적 요인으로 강우량을 들 수 있다. 그러나 이 연구에서는 강우의 영향을 제외하고 지질요인들 중 급경사지재해에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 강우량이 동일한 (이틀간의 강우량이 250~300mm)조건을 보이면서 급경사지재해가 많이 발생한 지역을 대상으로 정밀분석을 실시하였다. 따라서 여기서의 급경사지재해 예측도는 이틀간 250~300mm의 강우량이 발생할 경우를 가정하여 작성된 것이라 할 수 있다.

급경사지재해에 영향을 미치는 변수들의 상호연관성과 이 변수들이 급경사지재해발생에 직접적인 관련성이 있는지를 통계적 접근방법을 통해 분석해 보고, 더 나아가 급경사지재해발생을 확률적으로 예측하는데 있어 다음의 연구가설을 세웠다.

[가설 I] 토질은 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[I-1] 암질은 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[I-2] 간극율은 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[I-3] 건조밀도는 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[I-4] 입도는 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[I-5] 투수계수는 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[가설 II] 지형은 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[II-1] 고도는 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[II-2] 사면방향은 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[II-3] 사면경사는 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

[II-4] 사면상부경사는 급경사지재해발생에 유의적인 영향을 미친다.

그 결과 급경사지재해에 영향을 미치는 변수로 총 9개의 변수가 선정되었다. 9개의 변수 중 입도와 암질은 수치데이터가 아닌 명목형 데이터이며, 그 외 7개의 변수는 모두 수치데이터이다. 이 분석의 궁극적인 목적은 통계적으로 급경사지재해에 유의한 영향을 미치는 변수들을 찾아내고, 이 변수들을 토대로 급경사지재해 발생여부를 예측하는데 있다. 그러한 예측을 위한 통계기법의 하나인 ‘로지스틱 회귀분석’을 통하여 단계적으로 유의한 변수들을 선택하고 선택된 변수들로 이루어진 하나의 판별함수를 구하였다.

우선, 급경사지재해에 유의한 영향인자들에 대해 모든 변수를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 실시하고 그 결과에 의해 추정된 계수들을 포함한 로지스틱 회귀모델을 제안하였다. 그러나 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 각 추정된 회귀계수들 중 통계적으로 유의하지 않은 변수들이 있으므로, 단계적 변수선택법(stepwise method)을 통해 급경사지재해에 영향을 미치는 유의한 변수만을 선정하여 회귀모델을 추정하였다. 단계적 변수선택법은 유의한 변수를 선정하여 가장 최적의 회귀모델을 추정해 주는 방법으로서, 이 방법을 통해 선택된 급경사지재해에 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 변수는 토질자료로는 암질, 건조밀도, 입도분포, 투수계수와 지형자료로는 고도, 사면경사가 선택되었다. 따라서 이 6개의 변수를 이용하여 급경사지재해 예측을 위한 회귀모델을 추정해 볼 수 있으나, 지질공학적인 관점에서 간극율도 급경사지재해발생에 영향을 미치는 주요소라고 보아 간극율까지를 포함한 총 7개의 변수를 이용하여 제안하였다.

3) 급경사지재해에 로지스틱 회귀모델의 활용

김원영 외(2000, 2003)에 의해 개발된 로지스틱 회귀모델의 적용가능성을 검토한 결과 급경사지재해에 영향을 미치는 인자들과 이들 로지스틱 회귀모델을 적용하여 자연사면에서의 급경사지재해가능성을 예측하는데 무리 없이 적용할 수 있다. 다만, 강우조건과 이에 수반한 토층 내 간극수압(pore water pressure)

변화요인이 급경사지재해의 가장 큰 영향을 미친다는 그동안의 연구결과를 감안해 향후에는 간극수압 등의 변수를 추가하여 예측모델을 수정할 필요가 있음을 지적하였다(채병곤 외, 2003). 로지스틱 회귀모델과 같은 통계기법을 급경사지재해에 적용한 사례는 극히 드물다. 그동안 김원영 외(2000, 2003, 2004)는 통계기법인 로지스틱 회귀모델을 이용하여 전국의 주요지역에 대한 급경사지재해 예측도를 작성하였다. 그리고 김경수(2001)는 경기도 장흥지역을 대상으로 한 지형 및 토질특성을 고려한 급경사지재해 예측연구에서 로지스틱 회귀모델이 집중호우시 급경사지재해가 발생될 수 있는 지역의 분류가 가능한 것으로 결론지었다. 또한, 김경수 외(2004)는 도시지역 사면관리 시스템과 연계하여 부산 백양산지역을 대상으로 한 급경사지재해예측도 작성에 이를 적용한 바 있다.

앞으로도 로지스틱 회귀모델과 같은 통계적인 기법을 급경사지재해에 접목하여 꾸준하게 새로운 기술개발을 시도할 필요성이 요구된다. 특히, 지질 및 지형특성이 다양하고 복잡하게 구성되어 있는 우리나라의 지질조건이 고려될 수 있고, 여름철에 집중되는 강우량과 국지적인 호우조건 등이 충분히 반영될 수 있는 급경사지재해 예측모델이 되기 위해서는 다양한 관련 연구가 병행되어야 할 것이다.

2. 지리정보시스템(GIS system)

GIS는 정보를 수집, 저장, 분석, 제공하기 위한 하드웨어, 소프트웨어, 자료입력, 조직 및 제도적 장치의 체계로 되어있다. 즉 GIS란 컴퓨터를 이용하여 지형, 지질, 지리, 토지 등과 관련된 다양한 정보를 그들 특성에 다른 공간적 위치에 맞추어 자료를 입력, 저장과 검색, 조작과 분석 및 출력하여 국토의 개발계획, 자원개발, 환경 보존 등 여러 목적에 맞게 활용할 수 있는 종합 정보체계를 말한다. 이 기술은 최근 20년간 급속히 발전되어 왔으며 현재는 지리정보의 효율적인 이용을 위해 필수적인 도구로 사용되고 있다. 이러한 GIS는 지리정보가 중요한 특징이거나 분석에 중요 요소인 객체와 현상을 수집, 저장 및 분석을 위해 설계되었다. 지리정보는 공간자료의 형태로 점(point), 선(line), 면(polygon)으로 구현

되며, 역시 GIS 상에서도 이와 같이 구현된다.

GIS의 장점은 자료가 데이터베이스 내에서 수치 형태로 처리되므로 많은 양의 자료가 빠른 속도와 적은 비용으로 관리되고 검색될 수 있어서 공간자료와 속성정보를 다루는 기능과 분석은 수작업에 비해 비교될 수 없을 만큼 빠른 속도를 갖는다는 것이다(Aronoff, 1989). 또한, 자료층들을 다양한 방법과 관점에서 통합하여 모델링(modeling)함으로써 새로운 정보를 만들 수 있다. 이러한 GIS의 이용분야에는 크게 나누어 지형분석, 석유 천연가스 및 광물자원 개발, 환경영향평가 및 관리, 적지 선정, 토지 및 수자원 계획 관리, 천연자원 관리, 사회 기반 시설 관리, 지도 데이터베이스 구축, 재해분석 및 관리, 교통망 계획 및 분석, 도시 및 지역계획, 공중보건 및 안전, 기업경영 응용 등이 있다. 그리고 GIS를 이용한 분석과정은 실시간으로부터 자료를 수집하고, 이러한 자료를 컴퓨터에 입력하여 관리 및 분석을 한 후, 그 결과를 사용자에게 제공하여 사용자가 실세계를 변화시키는 순서로 진행된다.

1) GIS의 구성요소

GIS의 구성요소는 Fig. 3.1과 같이 분류된다. 그림에서 보는 바와 같이 자료입력, 자료관리, 자료처리 및 분석, 자료출력으로 구성되며, 이에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

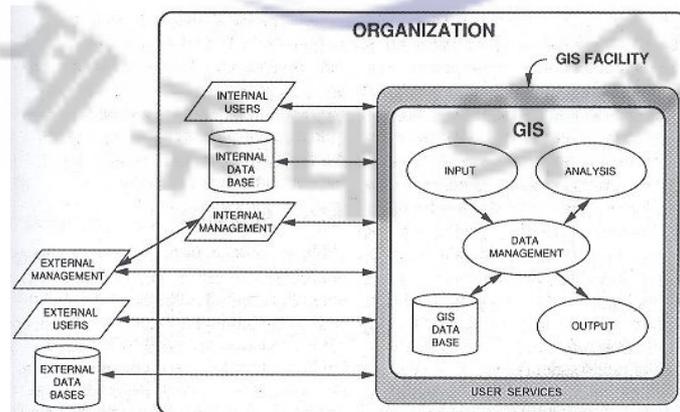


Fig. 3.1 Integral part of GIS (Aronoff, 1989)

(1) 자료입력

GIS에 쓰이는 일반적인 자료입력에는 키보드입력, 디지털라이징(digitizing) 및 스캐닝(scanning) 등이 있다. 첫째, 키보드입력은 컴퓨터 앞에서 키보드를 통해 자료를 입력하는 것으로, 속성자료는 대개 키보드로 입력된다. 둘째, 디지털라이징은 지도를 디지털라이저 테이블 위에 올려놓거나 화면상에 스캐닝된 자료를 띄워 놓고 커서나 마우스를 이용하여 선들을 추적하면, 그 커서나 마우스의 위치가 수치형태의 좌표자료로 변화되면서 입력되는 방법이다. 셋째, 스캐닝은 좀 더 자동화된 방법으로 스캐너가 자동으로 지도를 입력하여 수치화 시킨다. 도면자료의 경우 디지털라이징과 스캐닝에 의한 방법을 사용하는데 디지털라이징은 숙달될 경우 정확하게 입력할 수 있으나 시간과 노력이 많이 요구되며, 스캐닝의 경우 디지털라이징보다 시간과 노력을 덜 요구하고 숙달된 기술을 필요로 하지 않는다. 그러나 스캐닝은 디지털라이징보다 약간 덜 정확하며 벡터라이징(vectorizing)작업을 필요로 한다. 벡터라이징이란 스캐닝된 도면자료는 래스터(raster)자료로서 이를 GIS에서 이용하려면 벡터(vector)자료로 변환해야 하는데, 이러한 작업을 벡터라이징이라 하고 프로그램을 사용하여 자동 혹은 반자동으로 작업을 수행한다. 자료입력시 효율성 때문에 자료의 종류 및 형태를 보고 디지털라이징을 할지 스캐닝을 할지를 정하는데, 선구조 등 직선위주의 자료는 디지털라이징 방법을 사용하고 지형도, 지질도 및 토양도와 같이 곡선이 많은 자료는 스캐닝 방법을 주로 사용한다.

(2) 자료관리

자료 관리는 자료의 저장 수정 및 변환 등의 작업과정으로서 데이터베이스 관리를 위한 필수사항이다. 지리정보에 관한 데이터베이스시스템은 모든 지리정보를 효과적인 방식으로 저장하여 사용자에게 적시에 적절한 정보를 제공한다. 데이터베이스시스템이 되기 위해서는 우선 지표상의 각종 지리현상의 특성이 GIS 구조 속에 내포되도록 구체화되어야 한다. 그리고 그러한 특성들을 컴퓨터의 자료 구조 속에 적당히 안배할 수 있어야 한다. 그래서 GIS에서는 Fig. 3.2와 같이 공간자료와 문자자료가 서로 연결되어 있어서 도형 및 문자자료의 종합적인 관리 및 분석이 가능한 것이다.

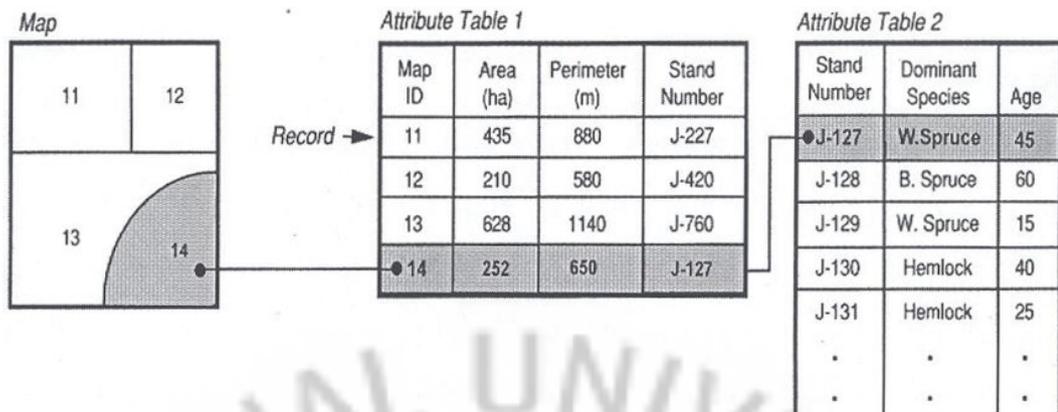


Fig. 3.2 Enternace of attribute information in GIS

(3) 자료처리 및 분석

자료처리 및 분석기능에는 공간처리기능, 공간분석기능, 수치지형분석기능, 격자분석기능 및 망분석기능 등으로 크게 분류할 수 있다.

Table 3.1 GIS functions about data arrangement and analysis

Function	Management and manipulation
Spatial	<ul style="list-style-type: none"> • Data conversion • Vector/raster conversion • Projection and transformation • Generalize • Proximal or neighborhood analysis • Area, perimeter calculation • Find and query
Spatial analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Polygon overlay • Polygon dissolve • Point in polygon • Buffering and corridoring • Windowing • Grid cell overlay
Digital terrain analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Contouring • slope, aspect, curvature calculation • Watershed analysis • Volume calculation • Cross section • 3-D viewing
Grid analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Distance analysis • Hydrologic analysis • Shape analysis • Surface analysis • Visibility analysis
Network analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Optimal path selection: route • Flow simulation: allocate • Time, distance districting: district

(4) 자료출력

분석, 처리된 지리정보를 사용자에게 잘 전달하기 위해서는 표현하고자 하는 주제와 대상 정보의 양을 적당하게 조절하고, 사용자가 필요한 정보를 편리하고 정확하게 관독할 수 있도록 하여야 한다. GIS에서 출력물은 대개 지도의 형태를 띠며 지도는 본 내용, 제목, 범례, 축척표시, 방위, 설명내용, 제작기관, 제작 년도 등의 정보를 포함한다. 일반적으로 출력에 많이 사용되는 도구로는 모니터, 잉크젯 혹은 레이저프린터, 잉크젯플로터 등이 있다.

2) GIS의 자료형태

GIS에서 사용되는 자료는 공간자료(spatial data)와 속성자료(attribute data)로 나누어진다. 공간자료는 지형, 지질, 수계 및 도로 등과 같은 각종 특성을 나타내고, 속성자료는 이들 공간자료와 관련된 위치의 명칭, 크기, 인문적 및 사회적 특성을 나타내는 것이다. 이런 공간자료를 표현하는 기술적인 방법에는 Fig. 3.3 과 같이 래스터방식과 벡터방식, 그리고 TIN(triangular irregular network)방식이 있다.

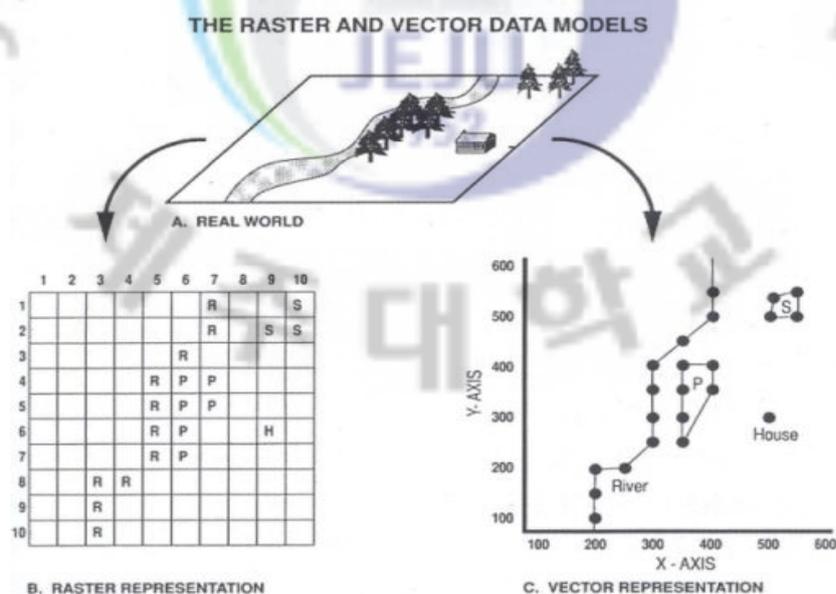


Fig. 3.3 Form of raster and vector data(Aronoff, 1989)

래스터방식은 지형적 특성이 좌표에 의해 위치가 결정된 셀(cell)들의 집합으로 표현되고, 각 셀은 하나의 특성을 가지고 독립적으로 저장된다. 벡터방식은 지형특성이 세 개의 주 지형요소인 점, 선, 면으로 표현된다. 그 예로서 지도위에 표시된 집은 하나의 XY좌표로 구성된 점 자료이며, 강과 같은 선형자료는 시점의 XY좌표와 종점의 XY좌표로 구성된다. 또한, 숲과 같은 면자료는 다수의 XY좌표로 정의되며 그들 각각에 대하여 집, 강, 숲과 같은 속성자료를 포함한다. TIN방식은 지형자료를 벡터형태로 나타내는 자료모델이며, 지형표면을 서로 연결된 삼각형의 면의 집합으로 나타낸다. 세 꼭지점의 각각에 대해 XY좌표(지리적 위치값)과 Z좌표(높이)값이 기록되고, 각각의 삼각형에 대해 속성자료가 연결되어 있다. 본 연구에서 지형 경사, 방위 및 곡률을 구하기 위해서 TIN방식을 이용하였다.

3) 컴포넌트(component) GIS

컴포넌트란 1990년대 초부터 발전하고 있는 소프트웨어 엔지니어링 방법론으로써 주요 목적은 컴포넌트 또는 커스텀컨트롤(custom control)이라고 알려진 기본단위의 재사용적인 소프트웨어를 개발함으로써 급변하는 응용프로그램 개발을 촉진시키고, 소프트웨어 개발/유지비용을 최소화시키는데 있다. 보통 소프트웨어가 소스코드를 재사용하는 개발방법론에 초점을 맞추는데 비해 컴포넌트의 전략은 실행프로그램을 재사용하는 개발 방법론을 사용한다. 이것은 컴포넌트 소프트웨어가 전문적이지 않은 프로그래밍 개발자에 의해 쉽고 빠르게 응용프로그램을 개발할 수 있게 한다. 이런 컴포넌트들은 산업계에서 채택된 컴포넌트 아키텍처와 부합되도록 개발된다. 가장 널리 알려진 컴포넌트 아키텍처는 16비트 비주얼 베이직 확장(VBXs)과 32비트 OLE 커스텀컨트롤(OCXs)이다. 이러한 컴포넌트의 전략은 비주얼베이직이나 파워빌더와 같이 고급단계의 프로그래밍 환경을 제공하고 효과적으로 각각의 기술들을 통합시킬 수 있는 도구를 가지고 윈도우 환경 내에 적용된다. GIS 컴포넌트들은 GIS에 대한 특정 지식이 없는 프로그래머 혹은 전문적인 프로그래밍 기술이 없는 사람도 GIS 응용프로그램 개발에 참여할 수 있도록 함으로써 더 넓은 범위에도 GIS를 보급시킬 수 있다. 이러한 컴포넌

트 소프트웨어 개발은 개발비 및 유지비를 감소시키고, GIS와 주요 클라이언트/서버 개발 도구의 통합 작업형태를 제공하며, 급변하는 응용프로그램 개발을 촉진시킨다. GIS 컴포넌트는 사무용 응용프로그램, 인터넷 및 그 밖의 전문기술들의 통합을 통해 GIS 정보를 확장시킬 수 있을 것이다.

4) 인터넷 GIS

인터넷을 포함한 정보통신산업은 급속도로 발전되고 있으며, 이는 우리가 살고 있는 공간을 글로벌화 속에서 통합시키는 동시에, 다양성을 제공하고 있다. 이러한 인터넷은 다양한 정보들을 네트워크(network)를 통해 사용자에게 실시간으로 제공하고 있으며, 통신기술 발전, 네트워크 통합화 속에서 더욱 그 내용과 방식이 다양해지고 있다. 고부가적인 정보로 일컬어지는 GIS 기능 및 서비스 또한 인터넷 네트워크상에서 분산되어 있는 다양한 조직이나 사용자들에게 서비스를 제공하는 추세로 바뀌고 있다. 이러한 환경에서 탄생한 인터넷 GIS는 인터넷 기술과 GIS를 접목하여 지리정보의 입력, 수정, 조작, 분석 및 출력 등 GIS 데이터와 서비스의 제공이 인터넷 환경에서 가능하도록 구축된 GIS를 의미한다. 이러한 인터넷 GIS는 인터넷 환경 특히, 웹(web) 환경에서 지리정보를 검색할 수 있으므로 인터넷이 연결된 곳이라면 어느 곳이나 웹 검색기만 가지고 있으면 GIS 자료를 보거나 검색할 수 있는 것이다. 즉, 인터넷 웹 환경에서 운영되는 공간정보 검색엔진을 통하여 사용자정보와 속성정보를 검색기 상에 도시한 뒤 필요한 정보를 추출하고 가공할 수 있는 GIS로 공간정보 검색엔진과 클라이언트/서버 응용프로그램을 제공하는 것이다. 인터넷/인트라넷 환경에서 서버에 구축된 공간정보를 클라이언트가 접속하여 검색한 뒤 필요한 정보만을 사용하도록 하는 시스템을 구축하는 경우를 말한다. 이러한 인터넷 GIS의 장점은 독자적 방식의 GIS가 네트워크상에서의 활용에 한계가 있었으나, 웹을 통하여 공간데이터에 대한 검색 및 분석이 가능하도록 함으로써 일반인들에게 사용이 가능하게 된다. 그리고 동적 클라이언트/서버 컴퓨팅 환경을 제공하는데, 기능수행을 위해 클라이언트/서버의 개념을 응용하여 클라이언트가 요구한 기능을 서버측과 클라이언트측으로 구분하고, 서버는 요구된 기능을 직접 수행하여 그 결과를 클라이언트에

보내주거나 필요한 데이터와 분석도구를 클라이언트에 보내 그 기능을 수행하도록 해 준다.

인터넷 GIS를 구현하기 위한 사용자시스템의 개발방향은 CGI기반, 플러그인 및 ActiveX기반, 자바기반의 세 가지로 나뉜다. 초기의 인터넷 GIS에 일반적으로 사용되던 방식인 CGI(common gateway interface)는 HTTP의 단순한 기능확장으로, HTTP(hyper text transfer protocol) 웹서버를 외부의 어플리케이션과 접속시키기 위한 표준이다. 보통의 HTML 문서가 정적인 데이터를 다루는데 비하여 CGI는 실시간으로 작동되며 동적인 정보를 만들어 낼 수 있다. CGI 방식에서는 서버가 모든 기능을 수행해야 하므로 서버에 과중한 부하가 걸리며, 통신부하가 걸리는 단점이 있고, 단순한 맵 디스플레이 등 매우 제한된 범위에서 이용될 뿐 다양한 GIS분석 기능을 포괄하지 못하는 한계를 지니고 있다. MS사의 ActiveX는 OLE와 COM을 결합한 일련의 기술과 서비스를 이룬다. GIS ActiveX 컨트롤을 이용하여 개발한 작은 GIS 프로그램으로 연산능력과 전송기능, 자체적인 그래픽 인터페이스기능 등을 가진다. ActiveX의 장점은 어떠한 어플리케이션에도 결합할 수 있는 일반화된 컴포넌트웨어(component ware)라는 점이다. 즉 ActiveX 컨트롤은 COM 표준을 만족하는 어떠한 언어나 어플리케이션에 의해서도 사용될 수 있다. ActiveX의 작동방식은 플러그인과 유사하다. 이 모듈은 서버에 저장되고 필요한 경우 클라이언트로 전송되어 웹검색기의 내부에서 운용되며, 웹검색기가 GIS 데이터를 인식하면 HTML 파일에서 참조된 ActiveX 컨트롤을 작동시키게 된다. 플러그인과 ActiveX 방식은 사용되지 않을 때는 메모리 공간을 차지하지 않고 화면제어, 질의 등 간단한 GIS 기능을 수행할 수 있고, 클라이언트에서 작동되므로 클라이언트의 자원을 최대한 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 반면, 이들은 특정 하드웨어와 OS(Window NT)에서만 작동된다는 한계가 있으며, 따라서 여러 가지 하드웨어와 OS를 위한 플러그인의 개발이 필요하다는 문제가 있다. 자바는 객체지향형 프로그래밍 언어로 자바 애플릿은 작동이 가능한 작은 자바 어플리케이션이다. 자바 애플릿은 파일 크기가 작아서 인터넷을 통해 효율적으로 전송될 수 있고, 서버에 저장되며 클라이언트의 웹 검색기를 통해 접근된다. GIS 기능과 데이터는 사용자의 요구에 따라 서버로부터 클라이언트로 보내지는데, 모든 작동이 클라이언트에서 이루어지

기 때문에 초기의 애플릿 및 데이터의 전송 이외에는 서버와 클라이언트 사이의 통신부하는 크지 않으며, 작동이 끝나면 자동적으로 설치 해제되는 장점을 가지고 있다. 자바는 또한 다양한 그래픽 도구들을 제공하여 진보된 인터페이스와 복잡한 맵을 표현할 수 있고, 질의기능을 포함할 수 있어, GIS 데이터를 웹상에서 처리하기에 적합한 특성을 지니고 있다. 그러나 이 방식은 자바의 보안 메커니즘 때문에 분석 결과를 클라이언트에 저장할 수 없고 초기 접속한 서버 이외의 네트워크 컴퓨터와 연결이 제한된다는 문제가 있다. 또한 인터넷 GIS의 기능이 많아지고 복잡해지면 자바 애플릿의 종류가 많아지고 크기도 커져서 전송에 부하가 발생할 수도 있다.

장래의 인터넷 GIS는 처리방식에 있어서 전송부하를 최소화하는 동시에 클라이언트와 서버의 컴퓨팅 자원을 최대한 활용할 수 있는 혼합방식이 주를 이룰 것이며, 데이터포맷에 있어서는 전송속도에서 유리하고 객체의 선택이 가능한 벡터방식이 주를 이룰 것으로 전망된다. 플러그인, ActiveX 및 자바 등 인터넷 GIS의 구현방식들은 각각의 장단점을 결합하는 혼합방식이 주된 흐름을 형성할 것이다.

5) 급경사지재해에 GIS의 활용

GIS를 이용하여 급경사지재해를 분석하는 기술은 국내 및 국외에서 많이 시도되고 있다. 먼저, 국내에서는 김윤중 외 (1994, 1996)는 충북 청주지역을 대상으로 GIS를 이용한 광역적 중첩분석기법으로 경사, 경사방향, 지질, 토질, 토지이용 등 5개 요소를 이용하여 급경사지재해 발생가능성을 분석하였으며, 충남 서천-보령지역에서의 급경사지재해를 대상으로 지형, 지질 및 토질 등 급경사지재해에 유의한 환경지질학적 요소를 이용하여 GIS기법으로 급경사지재해 활동성 (landslide activity)을 분석하였다. 김원영 외(1996)는 급경사지재해빈도, 지표유출량, 선구조의 길이와 밀도, 지형경사, 지질 및 토질 등 6개 요인을 추출하고 이를 GIS기법으로 중첩 분석하여 충남 서천지역의 환경지질연구에 적용한 바 있다. 그리고 한대석 외(1998)는 지질, 토질 및 선구조밀도 등을 요인으로 하고 전문가의 판단에 따른 가중치 및 등급을 산정하여 급경사지재해취약성을 평가하는

연구에 GIS기법을 적용하였다. 이사로(1999)는 경기도 장흥과 용인지역에서 발생된 급경사지재해를 대상으로 위치, 지형, 지질, 지질구조, 토질, 임상 및 수문 등 급경사지재해 발생과 관련되는 요소들을 조사하여 GIS기법으로 데이터베이스를 구축하고, 확률 및 통계분석을 통해 각 요소별 등급 및 가중치를 설정한 후 급경사지재해취약성을 분석한 바 있다. 이러한 예는 외국에서도 많이 찾아볼 수 있는데, 먼저 중첩분석의 경우 지질도, 지형도 및 수치지형모델 등을 이용하여 GIS기법으로 중첩분석을 실시하여 급경사지재해 취약성도를 작성하였다(Baldelli et al. 1996). 암상, 경사각, 사면의 단면, 지구조적 조건, 강우, 수계밀도, 침식, 임상밀도 및 인위적 활동 등의 입력요소를 이용하여 급경사지재해 위험등급 시스템을 만들어서 각각 등급을 나누고 각각의 요소별로 1~4까지의 점수를 부여한 후 합산된 점수를 근거로 하여 급경사지재해취약성을 평가하였으며, 그 결과를 기존의 급경사지재해 발생위치와 확률적으로 비교하여 급경사지재해 위험등급 시스템을 검증하였다(Kumar et al. 1996). 그리고 침식율, 배수율, 지질구조, 사면경사 및 토지이용 등의 인자들을 이용하여 GIS 중첩방법으로 토양도를 작성하였다(Turrini and Visintainer, 1998). 또 다른 예로는 사면의 안전율을 구하기 위한 분석과 GIS를 결합한 SLIDISP과정을 들 수 있는데, 우선 각 암종에 대해 암상의 수문학적 특성을 고려하면서 사면의 임계각을 계산하고 토양도로부터 추출한 토질자료를 사면경사와 결합하여 안전율을 구한 후 그 결과들을 암상, 사면경사, 토층강도와 같이 중첩 분석하여 급경사지재해위험지수를 평가하였다.(Liener et al. 1996)

이와 같은 방법들은 대부분 입력요인에 대해 분류를 하고 분류된 종류 및 값들에 등급값을 매겨 모두 더한 후 그 결과로 급경사지재해 취약성도를 작성하였는데, 과거에 발생한 급경사지재해로부터의 자료들이 부족하여 급경사지재해를 유발하는 여러 요소와 급경사지재해발생간의 상관성분석 등이 객관적으로 이뤄지지 못함으로 인해 등급 및 가중치의 산정이 주로 전문가의 판단에 의해 주관적으로 결정되었다. 그래서 이러한 등급 및 가중치를 전문가의 주관적인 판단이 아닌 급경사지재해발생자료에 의해 객관적으로 제시하고자 하는 확률, 통계방법이 국내외에서 적용되었다. 국내에서는 이사로 외(1997)에 의해 부여지역에서 적용되었는데, 이 방법은 집중호우에 의해 발생한 급경사지재해의 위치를 조사하고

이를 1:50,000축척의 경사, 지질, 토양, 토지이용 등과의 상관관계를 구해 이를 취약성도 작성이 필요한 등급값으로 이용하였다. 김원영 외(2000)는 집중호우로 인해 발생한 경기도 장흥과 근접지역에서의 급경사지재해들을 조사하여 지형, 토질, 지질자료들을 검토하여 고도(elevation), 사면경사(slope angle), 간극율(porosity), 투수계수(permeability), 건조밀도(dry density), 입도(USCS) 및 암질(lithology) 등 급경사지재해에 유의한 7개 영향인자를 선정하고, 이들을 통계적 방법에 의해 가중치를 설정한 후 GIS기법으로 급경사지재해 예측도를 작성하였다. 그 이후로도 김원영 외(2003, 2004)는 동일한 방법으로 급경사지재해위험도 산정시스템과 피해저감기술을 기술개발과 함께 경기도 주요지역에 대한 급경사지재해 예측도를 작성한 바 있다. 또한, 김경수 외(2004)는 부산지역을 대상으로 하여 사면의 위치, 지질, 지형, 식생, 지하수, 배수시설, 불연속면 및 붕괴사면 등 급경사지재해와 관련되는 여러 사면자료를 조사한 후 체계적으로 사면을 관리하기 위한 사면관리시스템의 개발에 GIS기법을 적용한 바 있다. 외국의 경우에는 사면경사, 경사방향 및 수계영역 등 각종 지형특성들과 토지이용이나 암상 등을 이용하여 통계기법에 의한 급경사지재해 취약성평가가 스페인에서 실시되었다(Baeza and Corominas, 1996). 여기서 사용된 통계 방법은 판별분석법이며, 이러한 판별분석을 위해서는 각 입력요인이 정규분포이어야 하므로 이에 대한 검정도 실시하고 분석을 하였다. 이렇게 판별분석을 통해 나온 판별식을 이용하여 급경사지재해 취약성도를 작성하였다. 판별분석의 또 다른 예는 토질, 사면경사, 사면길이 및 사면높이 등 총 9개의 요인을 사용하여 판별식을 정립하고 급경사지재해의 발생확률을 평가하였다(Finlay et al., 1996). 그러나 이들은 GIS기법이 적용되지는 않았다. Mark and Ellen(1995)은 GIS를 이용한 확률 및 로지스틱 회귀공식을 통해 급경사지재해를 분석하여 급경사지재해로 인한 위험구역을 표시하였는데, 사용된 입력요인은 급경사지재해 발생 시 총강우량과 평균강우량, 사면경사, 토질, 식생 등이었다. 이와 유사하게 GIS를 이용하고 확률과 통계기법인 로지스틱 회귀분석 및 판별분석을 사용하였는데(Carrara et al., 1995), 고려된 요인은 암상, 구조부, 단층대, 층리방향과 사면방향, 사면경사, 토지 이용 및 도로로부터의 거리, 계곡 정상으로부터의 거리 및 단층으로부터의 거리등이 이용되었다.

IV. 제주지역 급경사지재해 예측 및 평가

1. 연구대상지역 선정 및 조사

1) 현장개요 및 대상지역 선정

국내의 자연사면에서 발생하는 급경사지재해는 대부분 잔류토, 붕적토 및 충적토 등의 미고결층 즉, 토층에서 강우로 인한 간극수압 상승, 지표침식, 단위중량 증가 등에 의하여 발생되고 있으며, 대부분의 급경사지재해는 토석류 급경사지재해(debris flow landslide)에 해당한다. 이러한 토석류 급경사지재해가 발생한 지역 중 관광지로 유명한 송악산지역과 오름에 체육시설을 갖추고 있는 사라봉, 별도봉 지역을 대상으로 현장조사 및 시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다.

(1) 송악산지역

연구지역으로 선정된 송악산 지역(북위 33°15' 40", 동경 126°17' 35")은 주변의 산방산 지역과 함께 제주도의 대표적인 관광지이다. 절벽 하단부는 파도와 바람, 화학적 풍화로 인해 많은 침식을 받아서 상부의 단단한 암층이 하부지층이 유실된 상태로 존재하고 있다.

송악산 지역의 각 지층을 육안 관찰한 결과, 상부 지층은 현무암질 암층으로 하부 지층은 퇴적암층으로 나타났다. 단단한 암층을 상부에 두고 직하부에 연약한 암층이 존재하므로 물리·화학적 풍화로 인해 상부의 지반이 붕괴되는 현상이 지속적으로 이루어지고 있다. 상부의 암층은 현무암질로 두께가 약 15~20m로 매우 두껍지만, 하부의 퇴적층은 고결정도가 매우 낮은 상태이며 두께는 약 1m 정도로 얇게 존재하고 있다.

(2) 사라봉, 별도봉 지역

사라봉과 별도봉 지역은 제주시 북동부 해안에 위치하며, 분석구가 분포하고 이들로부터 분출된 용암류와 화성쇄설물이 복잡한 화산층서를 이루고 있다.

사라봉 지역(북위33°31′04.2″, 동경 126°32′41.5″)은 제주항 동쪽 해변에 위치한다. 사라봉 지역은 제주시내 동쪽에 위치하여 오름 전체가 공원화지역으로 총면적 7만 3천평의 체육공원시설을 갖추고 있어 시민의 체력단련을 하기 좋은 장소이다. 사라봉 지역의 지질구조는 대부분 제주시 화산암류이고 부분적으로 비석거리 하와이 아이트가 분포한다. 그리고 전체적으로 땅콩모양으로 진입동소재 산지등대와 사라봉 동북쪽 산책길 중간에 분석구가 노출되어 있다. 분석구는 화산사, 분석편, 용암괴 등으로 형성되며 스킨리아는 다공질 각력상 급랭 현무암이다. 분석구는 황갈색이고 화산분출시 회전운동에 의해 타원형 모양으로 화산사층이 분포하고 대부분 휘석 반정이 함유된 현무암이 분출되어 다공질 구조를 이룬다.

별도봉지역(북위 33°31′09.2″, 동경 126°33′11.4″)은 서쪽의 사라봉과 마주보고 있어 같은 능선으로 연결되어 있다. 표고는 136m로 사라봉보다 12m 정도 낮고 정수장이 위치한다. 별도봉은 대부분 별도봉 응회암이고 부분적으로 비석거리하와이아이트가 분포한다. 대부분 북측 해안에 분포하며 해안에서 500m까지 연장되며 퇴적한 화산층이다. 암질은 황갈색 내지 갈색으로 대부분 화산사와 화산력으로 소량의 화산회와 화산괴가 분포한다. 화산력은 다공질이고 유리질을 형성한다.

2) 지형특성

지형은 사면붕괴 분석요인 중 가장 중요한 사면의 기하학적 형태 (slope geometry)를 결정해 줄 뿐만 아니라 산사태자체가 지형발달의 한 과정이므로 지형은 산사태발생과 밀접하게 연관되어 있다.(Johnes, 1983;Griffiths et al., 1990). 사면의 경사는 산사태 특히, 암설유동인 경우에 매우 중요한 의미를 갖는다. 김원영 외 (2000)에 의하면, 경기도지역의 경우 해발고도를 기준으로 하여 90%이상의 사면고도에서 산사태 발생빈도가 가장 높고, 그 다음이 80~90%, 70~80% 순으로 고도가 낮아질수록 감소하여 70%이하에서는 급격히 낮아진다. 그리고 사면경사는 26~30°에서 가장 많은 산사태가 발생하여 전체 산사태의 32%를 차지하였으며 20°미만일 때는 거의 발생하지 않은 반면, 30°보다 경사가 커지면서 발생빈도는 점점 감소하는 경향을 보이는 것으로 보고하였다. 이는 토석류파괴에

대해 연구한 결과이므로 30°이상의 사면 경사에서는 토석류의 분포가 점점 미량의 분포를 갖고 있기 때문에 사료된다.

이에 따라 송악산 지역과 사라봉, 별도봉 지역의 고도 및 사면경사 분포를 분석해보았다. 송악산은 전체 지역이 약 80만㎡ 지역에 대해 조사하였고 사라봉과 별도봉은 약 90만㎡ 지역에 대해 조사하였다.

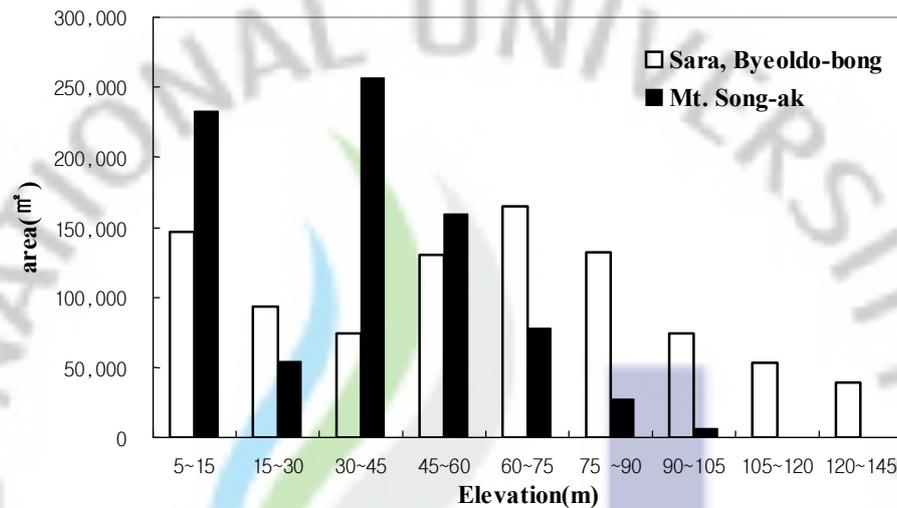


Fig. 4.1 Elevation comparison

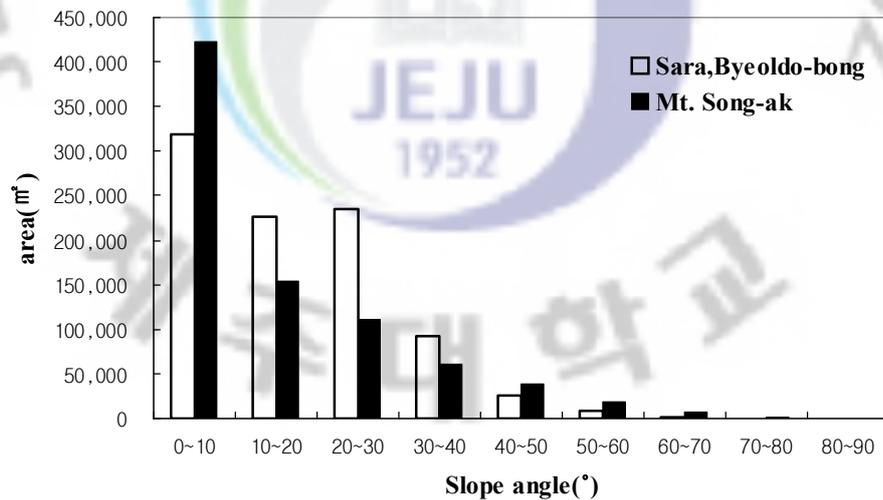


Fig. 4.2 Slope angle comparison

고도 그래프를 보면 해발고도를 기준으로 사면고도가 90% 이상이 되는 지역

은 송악산은 2,525m², 사라봉, 별도봉 지역은 16,150m² 이고 80~90% 지역은 각각 10,200m², 36,575m², 70% 이하인 지역은 송악산이 총면적의 95%를 차지하고 사라봉, 별도봉 지역은 88%를 차지한다.

사면경사결과 급경사지재해가 발생하지 않는 20°미만의 지역은 송악산은 72%, 사라봉, 별도봉은 62%의 지역이 나타났고 가장 많이 발생한다는 26°~30°인 지역은 송악산은 5%, 사라봉, 별도봉은 10%의 지역이 취약한 것으로 나타났다.

지형특성상 송악산 지역과 사라봉, 별도봉 지역은 위험한 지역이 미소한 결과를 보였다. 그러나 위험한 지역이 모두 등산로와 진입로 등에 분포하여 인명 및 재산피해가 우려된다.

3) 토질시료 채취 및 토질특성

대상지역 토질의 물리적 특성을 파악하고 급경사지재해 예측을 위한 입력자료로 활용하기 위하여 송악산 지역 일대 10개소와 사라봉, 별도봉 지역 각각 10개소에서 토층시료를 채취하였다.

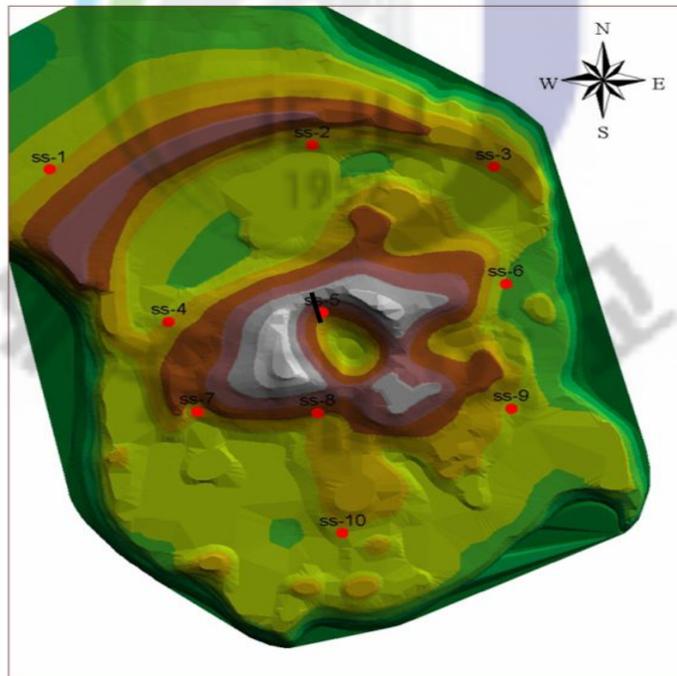


Fig. 4.3 The position of picked soil and landslide occurrence in Mt. Song-ak

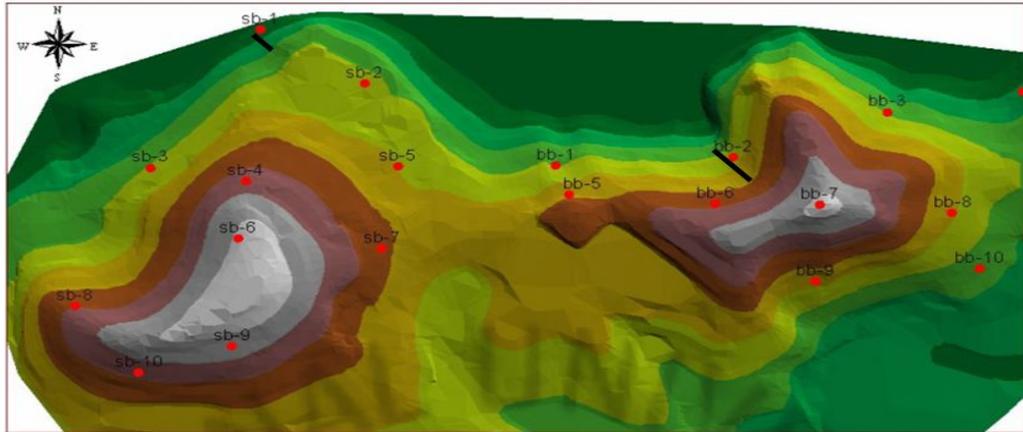


Fig. 4.4 The position of picked soil and landslide occurrence in Sara, Byeoldo-bong area

다음은 지형도상에 시료채취지역과 급경사지재해 발생위치를 나타낸 것이다. 그 대상은 원지반 토층시료에 대해서 교란시료를 채취하였다. 시료는 연구지역에 분포하고 있는 지형조건 및 토층분포 등을 반영하고 가급적 단위면적당의 밀도비를 고려함으로써 토층의 특성이 균등하게 반영될 수 있도록 하였다. 원지반의 토층시료는 표토를 제거한 후 40~60cm정도의 깊이에서 교란시료를 채취하였다. 모든 시료는 현장조건을 최대한 유지되도록 밀봉한 상태의 비닐팩에 넣은 시료를 실험실로 운반하였다. 그리고 채취한 토층시료를 이용하여 토질 물성 시험을 실시하고, 밀도값을 이용하여 간극비, 간극율을 산정하였으며, 연구지역 토층에 적합한 변수위법에 의해 투수계수를 구하였다.

Table 4.1 The soil experimental result of Mt. Song-ak

Sample No.	density(g/cm ³)			w(%)	Gs	e	n	USCS	K
	Sat.	Wet.	Dry.						
ss-1	1.60	1.18	1.00	18.86	2.49	1.49	0.60	SP	4.82E-05
ss-2	1.97	1.94	1.67	16.19	2.39	0.43	0.30	SP	3.45E-06
ss-3	1.81	1.80	1.37	31.47	2.45	0.79	0.44	SP	1.01E-04
ss-4	1.45	1.13	0.83	36.43	2.16	1.60	0.62	SP	1.44E-04
ss-5	1.46	1.03	0.78	32.25	2.44	2.13	0.68	SP	1.30E-04
ss-6	1.57	1.20	0.90	33.81	2.71	2.01	0.67	SP	3.32E-05
ss-7	1.77	1.70	1.27	33.94	2.56	1.02	0.50	SP-SC	1.84E-05
ss-8	1.52	1.33	0.91	46.49	2.35	1.58	0.61	SP	1.34E-04
ss-9	1.59	1.45	1.04	39.68	2.3	1.21	0.55	SP	5.96E-05
ss-10	1.65	1.50	1.08	38.36	2.5	1.31	0.57	SW-SC	1.44E-05

송악산 지역은 입도가 양호 혹은 불량한 모래로 이루어져 있다. 그리고 일부 시료에서는 점토질이 약간 포함되어 있는 것으로 나타났다. 대상지역 토층의 비중은 2.16~2.71의 범위에 있으며 평균 2.44인 것으로 나타났다. 간극율은 30~68%의 범위, 평균 55%인 것으로 나타났고 건조단위중량은 0.78~1.67g/cm³, 평균 1.09g/cm³로 나타났다. 투수계수는 3.45×10⁻⁶~1.44×10⁻⁴cm/sec, 평균은 6.86×10⁻⁵cm/sec의 값을 갖는다.

Table 4.2 The soil experimental result of Sara, Byeoldo-bong area

Sample No.	density(g/cm ³)			w(%)	Gs	e	n	USCS	K
	Sat.	Wet.	Dry.						
sb-1	1.60	1.33	1.03	30	2.42	1.35	0.57	SW-SC	8.41E-05
sb-2	1.76	1.47	1.20	21.8	2.71	1.26	0.56	SP	5.28E-05
sb-3	1.66	1.29	1.05	22.59	2.7	1.57	0.61	SW-SC	3.02E-05
sb-4	1.42	1.09	0.65	67.5	2.79	3.29	0.77	SW	1.44E-04
sb-5	1.69	1.38	1.09	25.54	2.73	1.50	0.60	SP	1.99E-04
sb-6	1.65	1.63	1.06	54.28	2.6	1.45	0.59	SW	2.01E-04
sb-7	1.54	1.27	0.90	40.6	2.53	1.81	0.64	SW	5.15E-05
sb-8	1.62	1.30	1.05	24.18	2.45	1.33	0.57	SP	6.12E-05
sb-9	1.68	1.60	1.12	42.89	2.55	1.28	0.56	SW	1.24E-04
sb-10	1.52	1.19	0.84	41.31	2.60	2.10	0.68	SW	1.09E-04
bb-1	1.76	1.47	1.20	21.80	2.71	1.26	0.56	SP	5.28E-05
bb-2	1.52	1.06	0.85	25.03	2.58	2.04	0.67	SW-SC	2.33E-04
bb-3	1.70	1.39	1.12	23.94	2.67	1.38	0.58	SP	2.21E-04
bb-4	1.62	1.27	0.98	29.48	2.74	1.80	0.64	SP	1.66E-04
bb-5	1.56	1.15	0.90	27.69	2.63	1.92	0.66	SP	2.82E-04
bb-6	1.61	1.29	0.97	33.39	2.67	1.75	0.64	SW	1.44E-04
bb-7	1.59	1.18	0.94	24.72	2.68	1.85	0.65	SW	9.93E-05
bb-8	1.52	1.07	0.84	26.43	2.64	2.14	0.68	SW	1.44E-04
bb-9	1.74	1.43	1.16	23.01	2.77	1.39	0.58	SW	4.97E-05
bb-10	1.54	1.09	0.86	26.43	2.68	2.12	0.68	SW	1.42E-04

사라봉, 별도봉 지역은 송악산과 비슷하게 입도가 양호 혹은 불량한 모래로 이루어져 있다. 그리고 일부 시료에서는 점토질이 약간 포함되어 있는 것으로 나타났다. 대상지역 토층의 비중은 2.42.~2.79의 범위에 있으며 평균 2.64인 것으로 나타났다. 간극율은 56~77%의 범위, 평균 62%인 것으로 나타났고 건조단위중량은 0.65~1.20g/cm³, 평균 0.99g/cm³로 나타났다. 투수계수는 $3.02 \times 10^{-5} \sim 2.82 \times 10^{-4}$ cm/sec, 평균은 1.30×10^{-4} cm/sec의 값을 갖는다.

위 송악산 지역과 사라봉, 별도봉 지역의 입도분포곡선을 이용하여 자갈, 모래, 세립토의 분포를 보면 송악산 지역은 자갈 10.32%, 모래 86.25%, 세립토는 3.43%를 보이고 사라봉, 별도봉 지역은 자갈 21.77%, 모래 75.07%, 세립토는 3.16%를 보였다. 비중결과는 사라봉, 별도봉 지역이 보통 모래와 유사한 결과를 보였고 간극율의 결과는 자갈과 모래의 분포가 많아 크게 나타난 것으로 사료된다. 또한 투수계수 결과는 Darcy(1856)에 의하면 잔모래, 실트질 모래에 해당함을 알 수 있었다.

2. 로지스틱 회귀분석을 이용한 급경사지재해 예측 및 평가

급경사지재해 예측지도를 작성하기 위해서 선정된 지역을 대상으로 실시한 야외조사와 토양물성시험 결과를 정리한 후 이를 토대로 GIS기법을 동원하여 각 레이어별 주제도를 작성하였다. 토질인자 및 지형학적 인자들의 주제도는 보간법을 이용하여 작성하게 된다. 이 때 작성된 주제도는 5m×5m 크기로 격자(cell)분할을 실시하였다. 격자의 크기를 5m로 설정한 이유는 기 발생한 급경사지재해의 규모를 고려하여 결정하였다. 급경사지재해 예측모델을 토대로 각 레이어 도면에서 그 속성값을 연산하면 logit 값으로 구성된 새로운 주제도를 얻게 된다. 이 logit 값으로 구성된 주제도에 모델에서 제시하는 식을 적용하면 급경사지재해 발생가능성을 확률로 표현한 예측지도를 작성할 수 있다. 이러한 방법으로 작성한 급경사지재해 예측지도이다. 이러한 예측지도의 신뢰성은 내륙지방의 데이터와 비교하여 90% 이상의 신뢰도를 보였다.



Elevation



Slope angle



Dry density



Permeability



Porosity

Fig. 4.5 Thematic maps to construct landslide probability map in Mt. Song-ak

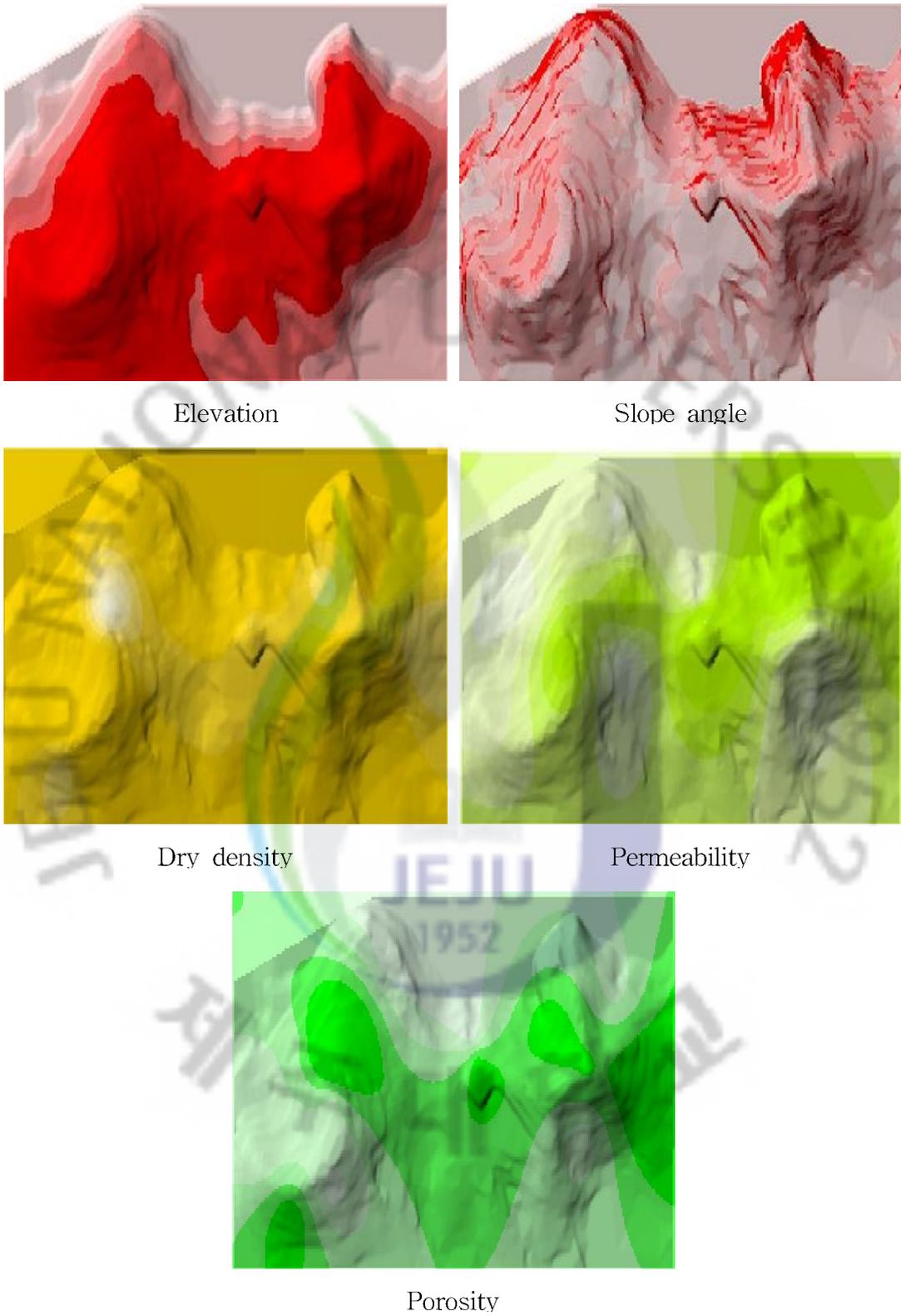


Fig. 4.6 Thematic maps to construct landslide probability map in Sara, Byeoldo-bong

Fig. 4.8 ~ Fig. 4.9 는 송악산 지역과 사라봉 지역의 지형특성과 토질시험결과를 통해 얻은 인자들을 이용하여 로지스틱회귀모델에서 선정된 영향인자인 고도, 사면경사, 건조밀도, 투수계수, 간극율의 주제도를 작성한 것이다. 그림에서 보듯이 각 주제도는 연속되는 색으로 표시가 되어 있고 색이 짙은 곳일수록 높은 데이터를 갖고 있는 지역이다.

이러한 주제도를 이용하여 logit값을 갖는 주제도를 작성하고 그 주제도를 이용하여 예측지도를 작성한 결과는 다음과 같다.

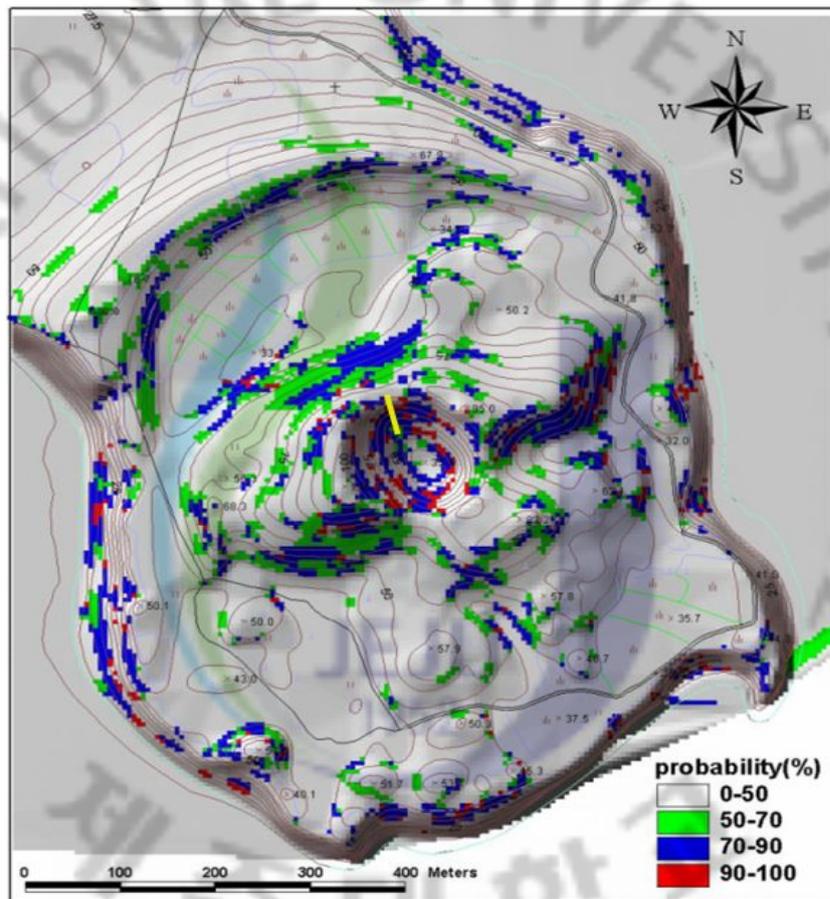


Fig. 4.7 The prediction map of Mt. Song-ak

위 예측지도 결과를 보면 현장 급경사지재해가 발생지역과 중첩시켜 본 결과 급경사지재해가 발생한 지역에서 높은 확률분포를 나타나고 있다. 이 결과를 토대로 예측지도를 보면 90% 이상 발생가능성을 보이는 지역은 총 면적의 3.3%를 보이고 70~90%의 확률을 보이는 지역은 5.2%, 50~70%의 확률을 보이는 지역

은 5.0%를 보인다. 비교적 발생지역이 미비한 결과를 보이지만 발생가능성이 높은 지역은 봉우리의 사면을 따라 분포하면서 진입로, 등산로 및 목장의 주변에서 나타나고 있어 인명 및 재산피해가 우려된다. 그러므로 현재 발생하지는 않았지만 가능성이 높은 지역은 경각심을 갖고 급경사지재해를 예방해야 할 것으로 사료된다.

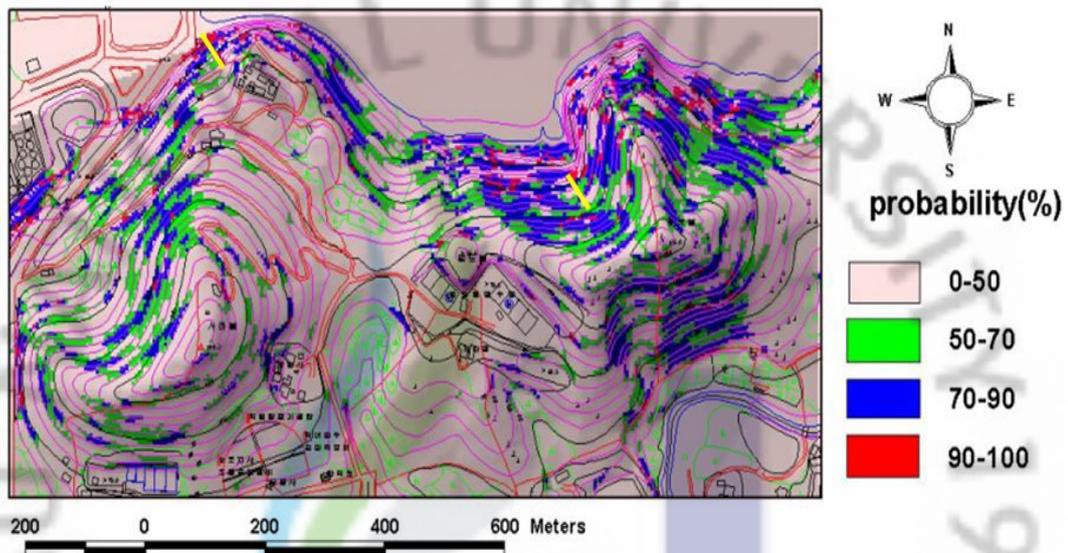


Fig. 4.8 The prediction map of Sara, Byeoldobong area

사라봉, 별도봉 지역의 현장 급경사지재해발생지역과 예측지도를 비교해 보면 높은 확률분포를 나타내는 지역에서 급경사지재해가 발생하였다. 이 결과를 토대로 재해 예측지도를 살펴보면 90%이상의 확률을 보이는 지역은 총 면적의 4%, 70~90%의 확률을 보이는 지역은 10%, 50~70%의 확률을 보이는 지역은 10%을 나타내었다. 사라봉과 별도봉 지역은 임향도로변과 산책로를 중심으로 재해 발생가능성이 높게 분포하고 있다. 사라봉, 별도봉 지역은 공원화가 잘 되어 있어 사람들이 체육활동을 하러 많이 찾는 곳이므로 재해를 예방하기 위해 관심을 갖어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 급경사지재해 발생구간에 따른 토질특성을 분석하고 통계적 분석을 GIS기법에 적용하여 예측지도를 작성한 결과는 다음과 같다.

1. 지형특성의 결과를 보면 입도분포곡선을 이용하여 자갈, 모래, 세립토의 분포를 보면 송악산 지역은 자갈 10.32%, 모래 86.25%, 세립토는 3.43%를 보이고 사라봉, 별도봉 지역은 자갈 21.77%, 모래 75.07%, 세립토는 3.16%를 보였다. 비중결과는 사라봉, 별도봉 지역이 보통 모래와 유사한 결과를 보였고 간극율의 결과는 자갈과 모래의 분포가 많아 크게 나타난 것으로 사료된다. 또한 투수계수 결과는 Darcy(1856)에 의하면 잔모래, 실트질 모래에 해당함을 알 수 있었다.

2. 로지스틱 회귀분석을 GIS에 적용하여 예측지도를 작성한 결과 송악산지역은 예측지도와 현장 급경사지재해가 발생한 지역을 비교하면 재해가 발생한 지역에서 확률이 높게 나타나고 있다. 이때 예측지도를 보면 90% 이상 발생가능성을 보이는 지역은 총 면적의 3.3%를 보이고 70~90%의 확률을 보이는 지역은 5.2%, 50~70%의 확률을 보이는 지역은 5.0%를 보인다. 비교적 발생지역이 미비한 결과를 보이지만 발생가능성이 높은 지역은 봉우리의 사면을 따라 분포하면서 진입로, 등산로 및 목장의 주변에서 나타나고 있어 인명 및 재산피해가 우려된다.

3. 사라봉, 별도봉 지역은 급경사지재해가 발생한 지역에서 예측지도의 확률분포가 높게 나타났다. 이 결과를 토대로 재해 예측지도를 살펴보면 90%이상의 확률을 보이는 지역은 총 면적의 4%, 70~90%의 확률을 보이는 지역은 10%, 50~70%의 확률을 보이는 지역은 10%을 나타내었다. 사라봉과 별도봉 지역은 임항도로변과 산책로를 중심으로 재해 발생가능성이 높게 분포하고 있다.

5. 제주도는 급경사지재해로 인한 피해가 미비하였다. 그래서 급경사지재해에 대한 대책도 없을뿐더러 연구진행도 미진한 상태이다. 본 연구에서 사용한 로지스틱회귀모델은 내륙지방의 자료를 이용하여 개발한 모델이므로 본 연구를 바탕으로 자료를 많이 수집하고 기존 모델을 수정하여 제주도 지반에 적합한 모델로 보완한다면 더 정확한 예측을 실시할 수 있을 것이다.



참 고 문 헌

- 과학기술부, 산사태 예측 및 방지기술 연구, 2003
- 김경수, 김원영, 채병곤, 송영석, 조용찬, 강우에 의해 발생된 자연사면 산사태의 지질공학적 분석 - 용인·안정지역을 대상으로 -, 지질공학회논문집, Vol.15, No.2, June, 2005, pp.105~121
- 김경수, 산사태지역 자연사면의 지질별 토질특성 및 상관관계 분석, 지질공학회논문집, Vol. 17, No.2, June, 2007, pp. 205~215
- 김경수, 송영석, 채병곤, 조용찬, 이춘오, 지질조건에 따른 자연사면 산사태의 기하학적 특성, 지질공학회논문집, Vol.17, No.1, March, 2007, pp.75~87
- 김경수, 송영석, 채병곤, 조용찬, 정교철, 산사태 조사·해석 기법의 개발 및 적용, 지질공학회논문집, Vol.18, No.1, March, 2008, pp.69~81
- 김경수, 이문세, 조용찬, 채병곤, 이춘오, 지질에 따른 토층사면의 토질공학적 특성 - 부산 황령산 지역 -, 지질공학회논문집, Vol.14, No.4, Dec., 2004, pp.487~498
- 김윤중, 유일현, 김원영, 이사로, 신은선, 송무영(1996), 산사태 활동분석을 위한 GIS 응용연구, 한국 GIS학회논문집, 제 6권, 제 1호, pp. 25~33.
- 송영석, 채병곤, 조용찬, 김경수, 이춘오, GIS기반 급경사지 재해 위험 취약지구 선정기법 연구, 2009, 한국지질자원연구원
- 이상균, 지질공학적 특성에 따른 사면안정성에 관한 연구, 1998, 석사학위논문, 서울대학교
- 임석규, 신경망 이론에 의거한 사면안정성 평가, 2003, 석사학위논문, 중앙대학교
- 조홍철, 토사사면에서의 영향인자에 따른 사면안정성 비교연구, 2006, 석사학위논문, 강원대학교
- 최일만, 강우시 사면의 거동특성에 관한 연구, 2000, 석사학위논문, 홍익대학교
- 채병곤, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 최영섭, 토석류 산사태 예측을 위한 로지스틱 회귀모형 개발, 지질공학회논문집, Vol.14, No.2, June, 2004, pp.211~222

- Aronoff, S. (1989) Geographic Information System : A Management Perspective, WDL Publications, Vol.31, No.4, pp.103~188
- Baeza, C. and Corominas, J. (1996) Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques, Proceedings of the 7th international symposium on landslides, pp.147~152
- Brand, E. W. (1981) Some thoughts on rainfall-induced slope failures, Proceedings of 10th International Conference on Soil Mechanics Foundation Engineering, Stockholm, The Netherlands, pp.373~376
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (1995) GIS Technology in mapping landslide hazard, in Geographical Information systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, pp.135~175
- Grivas, D. A. and Reagan, J. C. (1988) Expert system for the evaluation and treatment of each slope instability, Proc 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, pp.10~15
- Mark, R. K. and Ellen, S. D. (1995) Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard, in Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, pp. 93~106
- Olivier, M. Bell, F. G. and Jemy, C. A. (1994) The effect of rainfall on slope failure, with examples from the Greater Durban area, Proceedings 7th intern. Cong. IAEG. Vol.3, pp.1629~1636