

## 통계 분석을 통한 산사태 토석류 전이규준 모델

### A Statistical Mobilization Criterion for Debris-flow

윤 석<sup>1</sup> Yoon, Seok                      이 승 래<sup>2</sup> Lee, Seung-Rae  
강 신 향<sup>3</sup> Kang, Sin-Hang              박 도 원<sup>4</sup> Park, Do-Won

#### Abstract

Recently, landslide and debris-flow disasters caused by severe rain storms have frequently occurred. Many researches related to landslide susceptibility analysis and debris-flow hazard analysis have been conducted, but there are not many researches related to mobilization analysis for landslides transforming into debris-flow in slope areas. In this study, statistical analyses such as discriminant analysis and logistic regression analysis were conducted to develop a mobilization criterion using geomorphological and geological factors. Ten parameters of geomorphological and geological factors were used as independent variables, and 466 cases (228 non-mobilization cases and 238 mobilization cases) were investigated for the statistical analyses. First of all, Fisher's discriminant function was used for the mobilization criterion. It showed 91.6 percent in the accuracy of actual mobilization cases, but homogeneity condition of variance and covariance between non-mobilization and mobilization groups was not satisfied, and independent variables did not follow normal distribution, either. Second, binomial logistic analysis was conducted for the mobilization criterion. The result showed 92.3 percent in the accuracy of actual mobilization cases, and all assumptions for the logistic analysis were satisfied. Therefore, it can be concluded that the mobilization criterion for debris-flow using binomial logistic regression analysis can be effectively applied for the prediction of debris-flow hazard analysis.

#### 요 지

최근 들어 집중호우로 인한 산사태 및 토석류 피해가 종종 발생하고 있다. 이에 따라 산사태 재해 예측에 관한 연구 중 산사태 민감도 분석과 토석류 위험도 분석 관련 연구는 활발하게 진행되어 왔지만, 사면 지역에 적용하기 적합한 전이 분석 관련 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 판별분석과 로지스틱 회귀 분석과 같은 통계적 방법을 이용하여 실제 토석류가 발생했던 지역에서 추출한 지형학적 인자, 지질학적 인자 등을 토대로 토석류 전이규준을 제시하였다. 10개의 지형학적 및 지질학적 인자가 독립변수로 사용되었으며 실제 466개소(비전이: 228개소, 전이: 238개소)의 토석류 비전이 및 전이 데이터가 수집되었다. 우선, Fisher의 판별 분석이 수행되었으며, 수행 결과 실제 경우와 91.6%의 분류 정확도를 보였다. 하지만 전이와 비전이 두 그룹간의 공분산 동질성이 만족되지 않았으며 또한 독립변수들이 정규분포를 보이지도 않았다. 두 번째로 이항 로지스틱 회귀분석이 수행되었으며, 분석 결과 92.3%의

1 정회원, KAIST 건설및환경공학과 박사후연구원 (Member, Postdoctoral Research Fellow, Dept. of Civil and Environmental Eng., KAIST)

2 정회원, KAIST 건설및환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., KAIST, Tel: +82-42-350-3617, Fax: +82-42-350-7200, [srlee@kaist.ac.kr](mailto:srlee@kaist.ac.kr), Corresponding author, 교신저자)

3 비회원, KAIST 건설및환경공학과 박사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Eng., KAIST)

4 비회원, KAIST 건설및환경공학과 석사졸업 (MSc, Dept. of Civil and Environmental Eng., KAIST)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2015년 12월 31일까지 그 내용을 회의로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

분류 정확도를 나타냈으며 모든 통계적 조건들도 유의하게 나타났다. 따라서 이항 로지스틱 회귀 분석을 이용한 전이 기준은 토석류 재해 발생 여부를 예측하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords** : Mobilization criterion, Landslide, Debris-flow, Logistic regression analysis

## 1. 서론

산업 혁명 이래 전 세계적으로 급속한 산업 발달이 이루어졌으며, 이로 인해 수증기, 이산화탄소, 메탄 등 온실가스 배출량이 증가하였다. 온실가스는 지구 온난화 현상의 주 원인이며, 19세기 후반부터 온실 가스로 인해 지구의 기온은 꾸준히 증가하고 있다(Berti et al., 1999; Montrasio et al., 2011). 1900년대부터 100년 동안 지구 표면의 평균 기온은 대략 0.8°C 상승하였고, 특히 1970년대부터 2000년대까지 30년 동안 0.6°C 상승하였다(Board on Atmospheric Sciences and Climate(BASC), 2011). 이와 같은 지속적인 기온의 상승은 집중호우, 폭설, 폭풍 등의 이상기후의 발생률 증가에 큰 영향을 끼친다. 우리나라는 동아시아 지역에 위치하고 있으며, 동아시아 지역은 복잡한 지리적 특성으로 인해 기후 변동성이 크다. 기온 및 강수량 상승으로 인하여 집중호우의 발생 또한 급격하게 증가하고 있다. 집중호우는 대부분

강우가 집중되는 6월에서 9월 사이에 발생하며, 1시간 50mm 이상의 집중호우의 발생 빈도는 2000년대에 들어서서 평균 12.3회로 1970년에 비해 2.4배 증가하였다(Kang et al., 2015). 국지적으로 단시간 내에 많은 양의 비가 집중되면 산사태 및 홍수 등의 자연재해를 동반하는 경우가 많다(Fig. 1). 우리나라는 전체 국토 면적의 약 70%가 산지로 이루어져 있고 강우가 집중되는 여름철 기간에 전국 곳곳에서 산사태가 발생한다. 이로 인해 1970년대 이후로 산사태 발생으로 인한 피해면적과 피해비용이 점차 증가하고 있으며 2000년대 이후 산사태 피해로 인한 복구비는 연 평균 900억 원에 육박하고 있는 실정이다(Kang et al., 2015; Park, 2014) 집중호우의 발생 빈도와 강수량이 점차 증가하고 있는 추세를 고려해봤을 때, 앞으로 산사태로 인한 피해 역시 더욱 증가할 것으로 판단되며 산사태 재해 예측 및 대응과 관련된 연구의 중요성이 더욱 커지고 있다.

산사태는 포괄적으로 자연적 원인(집중호우, 지진, 화



Fig. 1. Overview of the Woomyeon Mountain landslide event on 27 July 2011: (a) Landslides and debris flow scarps, (b) Debris flow hazards and (c) Damaged apartments (Park et al., 2014)

산 활동 등) 또는 인위적 원인(굴착 등과 같은 건설 공사)에 의해 산지 사면이 붕괴되어 흙과 돌, 그리고 여러 잔해들이 중력에 의해 무너져 내리는 현상을 총칭한다. 산사태는 파괴 유형, 구성 물질의 종류, 함수비 상태 그리고 흐름 속도 등에 따라 여러 가지로 분류된다. Varnes (1978)는 파괴 유형, 구성 물질의 종류에 따라 산사태의 종류를 분류하였다(Table 1). 우리나라에서는 Varnes의 산사태 분류 중에서 slide(rotational & translational)와 debris flow 형태의 붕괴가 주로 발생하고, rock fall 형태의 붕괴도 종종 발생한다. 본 연구에서는 산사태와 토석류 해석을 다루었으며, 산지 비탈면에서 강우에 의해 평면 또는 원호 파괴가 발생한 후 파괴된 토사물질이 산지 아래까지 흘러 내려오지 못한 경우를 산사태(landslide)로 명명하였고, 산사태로 인해 파괴된 토사물질이 물과 섞여 산지 아래까지 흘러 내려온 경우를 토석류(debris flow)로 명명하였다(Fig. 2).

토석류의 발생 원인은 여러 형태로 분류되며, 이 중 산사태가 토석류로 전이되는 형태가 가장 빈번하게 발생된다(Iverson et al., 1997; Johnson, 1965). 우리나라의 경우도, 여러 선행 연구에 의하면 토석류 발생 시작점을

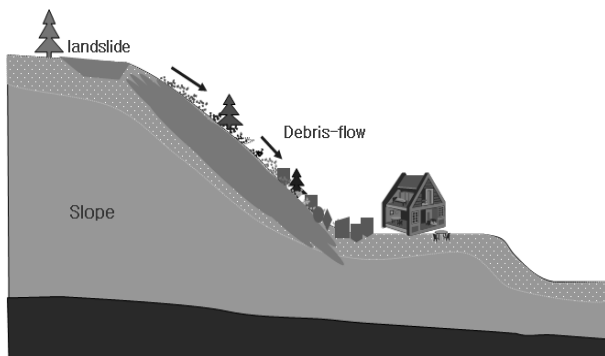


Fig. 2. Diagram of landslide and debris-flow

관찰한 결과 대부분 평면 파괴의 형태를 보인 것으로 알려져 있다(Park, 2014). 산사태로부터 토석류가 발생되는 조건에 대한 연구는 다양한 접근 방법으로 수행되어 왔다. 우선 지반공학적인 인자들을 사용하여 산사태-토석류 전이를 분석하는 방법이 있다(Iverson et al., 1997; Johnson and Rodine, 1984; Takahashi, 1978). 또한 지형학적인 특성을 이용하여 산사태-토석류 전이에 대한 연구가 수행되어져 왔는데 Lorente et al.(2002)은 고도, 경사, 경사 방향, 사면 곡률, 유로와의 거리, contributing area, topographic index 등의 지형 인자와 지질, 식생 현황, 토지 이용 현황을 사용하여 토석류 발생과의 상관관계를 분석하였다. Griswold and Iverson(2008)은 토석류 전이규준으로 세 가지를 제시하였다: (1) upslope source area > 10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>, (2) 사면 경사 > 30°, (3) 100m<sup>2</sup> 내 30°의 경사를 초과하는 사면 > 95%. 그 밖에 산사태와 토석류의 수문학적 특성 차이를 이용한 연구도 수행되었는데 Caine(1980)는 실제 토석류 발생으로부터 얻은 정보를 사용하여 토석류 발생과 강우의 강도 및 기간과의 관계를 경험적으로 분석하였으며 Campbell (1975)은 물리적 기반 해석으로 토석류의 수문 특성을 분석하였다.

하지만 위와 같은 방법들은 일반인들이 쉽게 사용할 수 있는 모델들이 아니며 필요한 인자들 또한 전문적인 지식과 이론에 의해서 구하여야 한다는 복잡함이 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 토석류가 발생했던 지역(서울 우면산 일대, 경기도 용인, 광주, 여주, 이천, 강원도 춘천)에서 추출한 지형학적 인자와 지질학적 인자 등의 데이터를 근거로 통계적 분석 방법을 적용하여 사용자가 쉽게 적용할 수 있는 예측 성능이 개선된 산사태-토석류 전이규준을 제시하고자 하였다.

Table 1. Specification of landslides (Varnes, 1978)

TYPE OF MOVEMENT	TYPE OF MATERIAL		
	BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
		Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS	Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES	Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	Rock slide	Debris slide	Earth slide
LATERAL SPREADS	Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS	Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow
		(Soil creep)	
COMPLEX	Combination of two or more principal types of movement		

## 2. 전이규준 개발을 위한 사용 인자

본 연구에서는 Kang et al.(2015)이 사용하였던 지형학적인 인자들을 사용하여 산사태 토석류 전이규준을 제시하고자 하였으며 이에 사용된 지형학적인 인자들은 아래와 같다.

### 2.1 사면 경사(Slope)

토석류가 발생하기 위해서는 먼저 해당지점에서 산사태가 발생하여야 하며 이를 위해서 충분한 사면 경사가 필요하다. Lee et al.(2012)은 15~40° 범위에서 산사태가 많이 발생하였으며 29°에서 산사태 발생빈도가 가장 높다고 보고하였다. 사면 경사는 토석류 전이 연구에서 가장 결정적인 인자 중 하나이며, 사면 경사가 토석류 발생에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 수행되었다. Takahashi(1981)와 Rickenmann and Zimmermann(1993)은 사면 경사가 15° 이상일 때 토석류가 발생할 수 있으며 일반적으로 27~38° 범위에서 토석류가 발생한다고 하였다. Van Dine(1996)은 토석류 발생을 위해 25° 이상의 경사가 필요하며 유역 면적이 클수록 토석류 발생을 위한 경사는 감소한다고 하였다. 또한 Lorente et al.(2002)은 25~30° 범위의 사면 경사에서 토석류 발생이 가장 빈번하게 일어난다고 하였으며, Brayshaw and Hassan(2009)은 23~35° 범위의 사면 경사에서 토석류가 발생한다고 분석하였다. 이와 같이, 토석류 발생이 가능한 사면 경사는 다양한 범위를 가지며, 본 연구에서는 우리나라에 적용하기 적합한 전이규준 개발을 위해 사면 경사를 사용하였다.

### 2.2 상대 고도(Relative elevation)

산사태 발생 후 토석류로 전이되기 위해서는 충분한 위치에너지를 가져야한다. 본 연구에서는 각 유역의 출구점을 최저 고도로 설정한 후 유역 내 각 지점의 해발고도와 차를 상대 고도(relative elevation)로 명명하였으며 이를 토석류 전이규준의 인자로 사용하였다.

### 2.3 사면 곡률(Slope curvature)

사면곡률은 토석류 발생을 위한 퇴적 가능성을 판단할 수 있는 인자이며 사면의 곡면이 흰 정도를 표시하는 변화

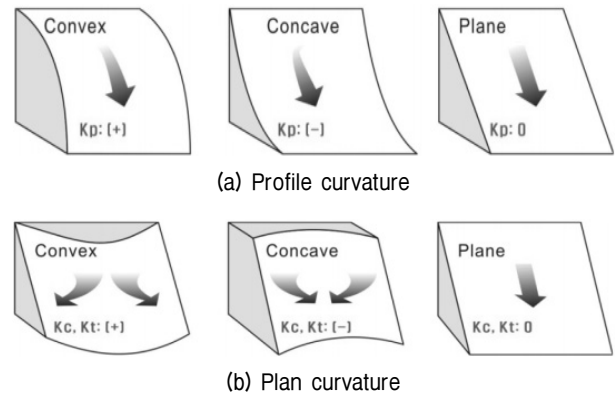


Fig. 3. Schematic diagram of curvature (Choi et al., 2013)

율로 곡률 반경의 역수이다(Kang et al., 2015). Wieczorek et al.(1997)은 토석류 발생지점의 사면곡률은 대체로 음수에 분포한다고 하였으며, 본 연구에서는 우리나라 지형에서의 사면곡률(curvature), 경사 방향에 대한 수직 방향의 사면곡률인 등고선구배곡률(plan curvature), 경사 방향과 평행한 방향의 사면곡률인 윤곽구배곡률(profile curvature)을 토석류 전이규준 관련 인자로 사용하였다. 위에서 설명된 세가지 곡률 모두 수치고도모델(DEM)을 이용하여 GIS 프로그램에서 공간분석 기능 중 하나인 'Curvature'를 통해 계산될 수 있다. Fig. 3은 등고선구배곡률과 윤곽구배곡률의 모식도를 나타내고 있으며 사면곡률은 두 가지 곡률이 결합된 형태이다(Choi et al., 2013).

### 2.4 상부사면기여면적(Upslope contributing area)

상부사면기여면적(upslope contributing area)은 상부 지역에 위치한 셀로부터 각 셀에 유입되는 물의 양을 나타내는 지표이다. 이는 DEM을 이용하여 GIS 프로그램에서 공간분석 기능을 통해 각 셀의 흐름 누적량(flow accumulation) 값을 구한 후 셀의 크기를 곱하여 얻을 수 있다. 토석류가 발생하기 위해서는 해당 지점에서 충분한 양의 물이 필요하므로 상부사면기여면적은 토석류 전이와 관련된 연구에서 중요한 인자로 사용될 수 있다.

### 2.5 STI, SPI, TCI, TWI

지형의 형태는 지표수와 지하수의 집중 및 이동 등에 큰 영향을 끼치며, 수문-지형학적 요인은 산사태 및 토

석류 발생지점 분석에 중요 인자로 사용될 수 있다(Oh, 2010). 지형학적 요인에 따른 지표수 및 지하수의 유동을 고려할 수 있는 인자로는 STI(sediment transport index), SPI(Stream power index), TCI(Terrain characterization index), TWI(Topographic wetness index) 등이 있다. SPI는 Moore and Wilson(1992)의 unit stream power theory에 기초하여 파생되었다(Chen and Yu, 2011). 흙의 손실량은 사면의 길이(L)와 사면 경사(S)의 영향을 받는 것으로 알려져있다(Park, 2014). SPI는 흙의 손실량 식(RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation)에서의 사면의 길이-경사(LS) 인자로 사용될 수 있으며 식 (1)과 같이 표현된다. 여기서  $A_s$ 는 상부사면기여면적,  $\beta$ 는 사면경사를 나타낸다.

$$LS_{RUSLE} = STI = (1.4) \left( \frac{A_s}{22.13} \right)^{0.4} \left( \frac{\sin\beta}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (1)$$

또한 SPI는 물의 흐름에 의한 사면의 침식 정도를 추정하는 인자이고, TCI는 퇴적물의 이동성을 나타내는 인자이다. TWI는 수문 과정에서 지형학적 특성의 영향성을 평가하는데 사용되며, 큰 값을 가질수록 토석류로 전이될 가능성이 높아진다(Park, 2014). SPI, TCI 그리고 TWI는 식 (2)~(4)와 같이 나타낼 수 있으며  $\kappa$ 는 사면곡률을 나타낸다.

$$SPI = \ln(A_s \tan\beta) \quad (2)$$

$$TCI = \kappa \ln A_s \quad (3)$$

$$TWI = \ln(A_s / \tan\beta) \quad (4)$$

### 3. 연구 대상 지역 및 Database 구축

#### 3.1 연구 대상 지역

Fig. 4는 총 연구 대상 지역을 나타내며, 2011년 폭우로 인해 산사태 및 토석류 재해가 발생하여 큰 인명 피해가 발생하였던 서울 우면산 지역 및 경기도 용인시 일대와 최근 들어 산사태 및 토석류 재해가 빈번하게 발생하는 경기도 광주시, 이천시, 여주시 그리고 강원도 춘천시 일대를 연구 대상 지역으로 선정하였다.

#### 3.2 Database 구축

2절에 기술된 10가지의 지형학적인 인자들을 구축하기 위해 Kang et al.(2015)은 GIS(Geographic Information System: 지리정보시스템) 기반의 지형 자료를 사용하였다. 본 연구에서는 Kang et al.(2015)이 구축한 10개의 인자들에 대한 데이터들을 그대로 토석류 전이규준 모델 개발에 사용하였다. 10개의 인자들은 국토지리정보원에서 제작한 1:5000 수치지도(digital map)를 통해 얻을 수 있으며 Fig. 5는 수치지도로부터 지형 자료를 획득하는 과정을 보여주고 있다. 사면파괴가 발생한 지점 중 토석류로 발전된 지점(토석류 발생지점)과 발전되지

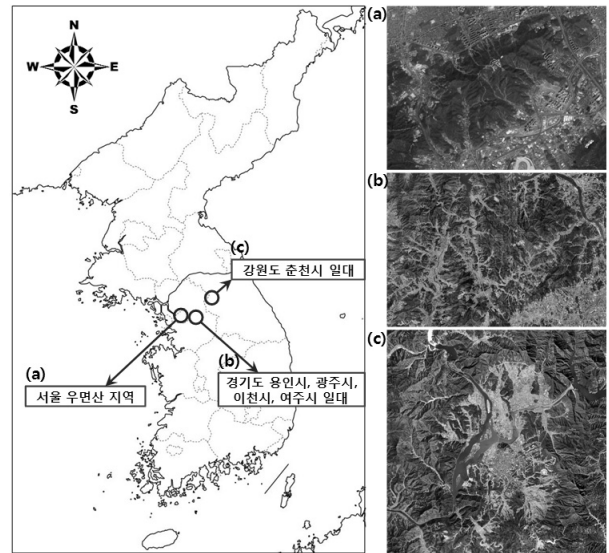


Fig. 4. Research area (Kang et al., 2015)

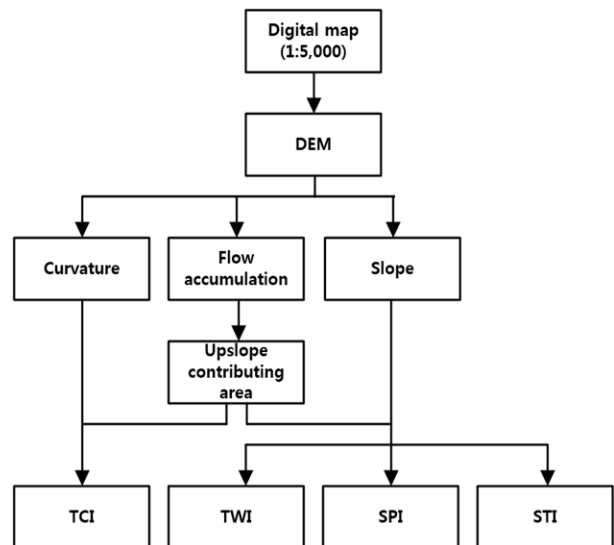


Fig. 5. Acquisition process of data from digital map (Kang et al., 2015)

못한 지점(산사태 발생지점)에서의 지형 자료를 추출하기 위해서는 산사태 및 토석류의 위치 정보를 포함하는 인벤토리 지도가 필요하다. 인벤토리 지도를 작성하기 위해 연구 지역의 관할 시청에서 제공받은 재해 대장의 정보를 기반으로 산사태 및 토석류 피해 발생 전에 촬영된 50cm 해상도의 항공사진과 발생 후에 촬영된 1m 해상도의 위성사진을 비교한 후, GIS 프로그램을 이용하여 산사태 발생지점과 토석류 발생지점 각각의 위치 정보를 포인트 형태로 구축하였다. 토석류 발생 지점의 퇴적 지점에서 사면 파괴까지의 높이는 35m 이상에 분포하고 있으며, Hutchinson(2002)의 기준을 토대로 계산된 퇴적 지점에서 사면 파괴 시점까지의 수평 거리는 45.5m이다. 이에 따라 사면의 파괴 후 파괴 지점에서 이물질이 산지 아래까지 도달한 지점까지의 수평 거리가 50m 이상인 경우를 토석류, 50m 이내인 경우를 산사태로 구분하여 각각에 대한 발생지점의 위치 정보를 구축하였다.

## 4. 산사태 토석류 전이규준 모델 개발

### 4.1 개요

흙이나 암석은 불확실성이 필연적으로 개입하므로 공학적 특성 및 지질조건, 설계정수 등을 정확하게 판단하기 힘들다. 이러한 분산된 자료로부터 안정성을 해석하거나 설계에 사용할 대표적인 값을 획득하기는 어렵다. 따라서 확률론적 해석방법이 적용될 수 있는데 확률론적 해석방법은 사용되는 입력 변수를 확률변수로 가정하여 변수들이 보이는 확률특성을 분석하고 확률론을 이용하여 해석하는 방법이다(Phoon et al., 2010; Jeon et al., 2010; Yoon et al., 2015). 확률론적 해석은 일반적으로 평균값, 표준편차, 분산계수 등을 파악하고, 자료의 분포특성을 고려하여 확률분포함수를 결정하는 지반정수의 확률특성 분석의 단계와 이를 바탕으로 상태함수에 대한 확률론적 분석을 수행하는 확률론적 분석의 단계로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 산사태에서 토석류로 전이되는 경우와 전이되지 않는 경우를 종속변수로 칭하였으며 종속변수의 경우 발생은 1 미발생은 0의 값으로 입력하였다. 또한 산사태 토석류 전이에 영향을 주는 10가지 인자들을 독립변수로 칭하였으며 독립변수가 많고, 두 가지 수준의 종속변수를 가질 때 적용될 수 있는 통계 분석 기법을 채택하였다.

## 4.2 통계 분석 모델의 이론적 고찰

### 4.2.1 판별 분석

산사태 토석류 전이규준 유무와 같이 종속변수의 값이 두가지 경우로 국한되어 있는 경우 토석류로 전이된 집단과 전이되지 않은 집단으로 구분할 수 있다. 또한 10가지의 독립변수는 모두 연속형 변수이며 연속형 자료인 독립변수들의 선형 조합을 통해 집단을 분류하고 예측할 목적으로 판별분석(discriminant function analysis)이 사용될 수 있다. 즉, 판별분석은 독립변수가 연속형 자료이고 종속변수는 범주형 자료일 때 적용될 수 있다(Kim, 2013). 판별 분석은 집단을 분류하는 분류 오류가 최소가 되도록 식 (5)와 같이 판별함수를 도출하게 된다.

$$Z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \cdots + b_nX_n \quad (5)$$

여기서  $Z$ 는 판별함수이며,  $b_0$ 는 절편,  $b_n$ 은 판별계수, 그리고  $X_n$ 은 독립변수이다. 식 (5)와 같이 다변량 독립변수를 종합적으로 활용하면서 그룹을 가장 잘 대비시키는 판별함수를 찾는 것이 판별 분석의 과정이라고 할 수 있다(Hur and Yang, 2013). 즉, 판별함수식을 통해 각 집단 케이스의 판별점수가 산출되며 한 집단에 속한 케이스의 판별점수를 평균한 것이 집단의 평균치가 된다. 판별분석은 각 집단의 평균치에 차이가 있는지를 검증하는 것으로 각 집단의 평균치의 차이가 커질수록 판별함수의 판별력은 커진다고 할 수 있다(Kim, 2013). 판별분석 결과가 통계적으로 신뢰하기 위해서는 몇가지 가정 조건을 만족해야 한다. 판별분석에 적용되는 독립변수들이 정규분포를 이루어야 하고 두 집단간 분산-공분산 행렬이 이질적이어야 하며 또한 독립변수간 지나친 다중 공선성이 없어야 한다(Cokluk, 2010; Kim, 2013).

### 4.2.2 로지스틱 회귀분석

독립 변수가 전이 비전이처럼 이분형인 경우 이항 로지스틱 회귀분석이 적용될 수 있다. 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 이분변수라는 점만 다를뿐 일반 회귀분석과 개념적으로 동일하다고 할 수 있다. 로지스틱 회귀분석은 종속변수를 이분형 반응  $Y(=0,1)$ 로 보고 독립변수를  $p$ 개의 판별변수로 간주하여 종속변수를 확률로 바꿔주며 S자 형태의 곡선을 띤다(Ahn, 2012; Hur and Yang, 2013). 이를 선형적인 함수로 변환시키기 위해 식 (6)과 같이 로짓변환(logit transform)을 시켜준다.

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (6)$$

식 (6)을 이용하여 각각의 케이스가 종속변수가 1인 그룹에 소속될 확률은 식 (7)과 같으며 종속변수가 0인 그룹에 소속될 확률은 식 (8)과 같다.

$$\hat{p}(y=1|x_1, \dots, x_p) = \frac{\exp(a + b_1x_1 + \dots + b_px_p)}{1 + \exp(a + b_1x_1 + \dots + b_px_p)} \quad (7)$$

$$\hat{p}(y=0|x_1, \dots, x_p) = 1 - \hat{p}(y=1|x_1, \dots, x_p) \quad (8)$$

로지스틱 회귀분석의 경우 곡선 자체가 비선형을 띠기에 판별분석과 달리 독립변수들의 정규분포성과 두 그룹간 공분산 행렬의 가정을 충족시키지 않아도 된다 (Zou, 2004). 또한 로지스틱 회귀분석은 독립변수가 연속형 변수뿐 아니라 범주형 변수인 경우에도 이를 더미형 변수로 변환하여 적용할 수 있다(Hur and Yang, 2013). 이와 같이 로지스틱 회귀분석의 경우 판별분석과 같은 다른 통계 분석처럼 여러 가정 조건을 충족시키지 않아도 되기에 산사태 및 토석류 발생과 같이 독립변수가 두 가지 집단으로 분류되는 경우 이항 로지스틱 회귀분석을 이용한 산사태 발생에 대한 연구들이 보고되고 있다(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2008; Lee et al., 2012; Ryu et al., 2012).

#### 4.2.3 통계분석 결과

우선 10개의 독립변수가 산사태 토석류 전이규준에 미치는 영향정도를 분석하기 위해 상관분석을 실시하였다. 분석을 위해 통계 분석 프로그램인 SPSS(statistical

package for the social sciences) 21이 사용되었으며 Table 2는 10개의 변수들에 대한 통계량을 보여주고 있으며 Table 3은 상관분석 결과를 나타낸다. 사면경사를 제외한 모든 인자들이 유의확률 1% 범위에서 산사태 토석류 전이 여부에 영향을 끼친 것을 알 수 있으며 영향 정도는 SPI, STI, 등고선구배곡률 순으로 나타났다. 또한 사면곡률, 등고선구배곡률 그리고 윤곽구배곡률은 서로 상관성이 높게 나타났으며 SPI, STI, TPI, TCI 인자들도 서로 간에 높은 상관성을 나타냈다.

산사태 토석류 전이규준 모델 개발을 위해 SPSS를 이용하여 판별분석을 수행하였으며 사용된 인자와 데이터들이 판별분석의 가정조건을 만족하는지를 확인하였다. Table 4는 독립변수들의 정규성 검정 결과를 보여주고 있다. 모든 독립변수들의 Kolmogorov-Smirnov와 Shapiro-Wilk의 유의확률값이 0.05보다 작게 나타났으며 따라서 독립변수들은 정규분포를 이루지 않음을 알 수 있다(Shapiro and Wilk, 1965; Lee, 2014). 또한 그룹간의 분산-공분산 행렬의 동질성 여부를 분석하기 위하여 Box's M 통계치를 검토한 결과 유의확률이 0.05보다 작게 나타났으며 이 역시 판별분석의 중요한 가정 조건인 그룹간 분산-공분산 행렬의 동질성을 만족하지 못한 것으로 나타났다(Kim, 2013).

독립변수들이 정규분포를 이루지 않았고 그룹간 동질성 분산-공분산 행렬의 동질성을 충족하지 못하였지만 SPSS를 이용하여 단계적 판별분석을 수행하였으며 Table 5는 판별분석 결과를 나타낸다. Wilk의 람다값이 0에 가까울수록 그룹 간 변산이 크고 그룹 내 변산이 작은 것을 뜻하며 유의확률이 0.05보다 작기에 이는 통계적으로 유의함을 알 수 있다(Kim, 2013). 또한 Table 6은 Fisher의 선형 판별함수 계수를 나타내는데 적용된

Table 2. Summary of descriptive statistics quantity

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std deviation
Slope	466	13.00	41.16	23.7356	6.26881
Relative elevation	466	4.08	467.52	97.4341	71.90156
Curvature	466	-22.92	10.05	-1.5959	3.43873
Plan curvature	466	-10.26	7.29	-1.1208	2.17674
Profile curvature	466	-6.29	12.65	.4751	1.72877
Upslope area	466	.01	34640.00	686.5455	2759.84224
STI	466	.00	133.24	20.6038	17.82874
SPI	466	.00	9.25	3.5422	1.82465
TCI	466	-117.70	45.27	-10.8363	20.32988
TWI	466	.00	12.06	5.2209	2.09340

Table 3. Results of correlation analysis

		Correlations										
		Slope	RE	Curvature	PlanCur	ProfileCur	UpslopeArea	STI	SPI	TCI	TWI	Mobilization
Slope	Pearson Correlation	1	.346**	-.079	-.081	.056	-.177**	.183*	.050	-.037	-.259**	.089
	Sig. (2-tailed)		.000	.087	.080	.231	.000	.000	.280	.428	.000	.055
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
RE	Pearson Correlation	.346**	1	-.143**	-.204**	.028	-.036	.228*	.220**	-.137**	.094	.346**
	Sig. (2-tailed)	.000		.002	.000	.553	.441	.000	.000	.003	.043	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
Curvature	Pearson Correlation	-.079	-.143**	1	.907**	-.847**	-.269**	-.596**	-.601**	.913**	-.547**	-.514**
	Sig. (2-tailed)	.087	.002		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
PlanCur	Pearson Correlation	-.081	-.204**	.907**	1	-.545**	-.296**	-.657**	-.686**	.858**	-.620**	-.594**
	Sig. (2-tailed)	.080	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
ProfileCur	Pearson Correlation	.056	.028	-.847**	-.545**	1	.162	.357**	.331*	-.735**	.307*	.274**
	Sig. (2-tailed)	.231	.553	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
UpslopeArea	Pearson Correlation	-.177**	-.036	-.269**	-.296**	.162	1	.619**	.519**	-.456**	.539**	.231*
	Sig. (2-tailed)	.000	.441	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
STI	Pearson Correlation	.183*	.228*	-.596**	-.657**	.357**	.619**	1	.883**	-.721**	.752**	.605**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
SPI	Pearson Correlation	.050	.220**	-.601**	-.686**	.331*	.519**	.883**	1	-.634**	.932**	.751**
	Sig. (2-tailed)	.280	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
TCI	Pearson Correlation	-.037	-.137**	.913**	.858**	-.735**	-.456**	-.721**	-.634**	1	-.556**	-.491**
	Sig. (2-tailed)	.428	.003	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
TWI	Pearson Correlation	-.259**	.094	-.547**	-.620**	.307*	.539**	.752**	.932**	-.556**	1	.662**
	Sig. (2-tailed)	.000	.043	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
Mobilization	Pearson Correlation	.089	.346**	-.514**	-.594**	.274**	.231*	.605**	.751**	-.491**	.662**	1
	Sig. (2-tailed)	.055	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
	N	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Table 4. Results of normality test

	Kolmogorov–Smirnova			Shapiro–Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Slope	.057	466	.001	.975	466	.000
Relative elevation	.132	466	.000	.873	466	.000
Curvature	.094	466	.000	.937	466	.000
PlanCur	.120	466	.000	.925	466	.000
ProfileCur	.076	466	.000	.927	466	.000
UpslopeArea	.402	466	.000	.240	466	.000
STI	.156	466	.000	.799	466	.000
SPI	.060	466	.000	.985	466	.000
TCI	.184	466	.000	.781	466	.000
TWI	.081	466	.000	.962	466	.000

Table 5. Results of discriminant function analysis

Wilk's lamda				
Test of function	Wilks'slamda	Chi-square	df	Sig.
1	.369	460.108	5	.000



독립변수에 Table 6의 계수를 곱하여 토석류 전이 비전이의 선형 함수를 도출할 수 있는데 산사태 토석류의 전이식은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(\text{전이}) = -18.031 + 0.56\text{slope} + 0.012\text{RE} + 0.501\text{PC} - 0.001\text{UA} + 4.41\text{SPI} \quad (9)$$

임의의 케이스는 Table 6의 독립변수의 계수값을 적용하여 전이(1)와 비전이(0) 식에 각각 대입한 후 큰 값이 나오는 그룹으로 분류될 수 있다. Fisher의 선형 판별 함수의 정확도는 91.6%를 나타냈다.

다음으로 산사태 토석류 전이규준 모델 개발을 위해 역시 SPSS를 이용하여 이분형 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 앞에서 설명되었듯이 로지스틱 회귀분석의 경우 판별분석과는 다르게 독립변수의 정규분포성과 그룹 간 분산-공분산 행렬이 동질하다는 가정을 만족하지 않아도 된다. 하지만 회귀분석의 기본 가정조건인 독립

변수들간의 다중 공선성이 존재하면 안된다(Lee, 2014). 따라서 독립변수들간의 다중 공선성을 제거하고 유의성을 확보하기 위해 변수 변환을 수행하였으며 Table 7은 이항 로지스틱 회귀분석에 사용된 변수들을 보여준다. VIF(Variance inflation facotr)가 10 미만이기에 독립변수들간의 다중 공선성은 존재하지 않으며 모든 독립변수들의 유의확률이 0.05 미만으로 이는 모든 독립변수가 종속변수에 유의한 영향을 준다는 것을 알 수 있다(Lee, 2014; Yoon et al., 2015). 또한 독립변수들간의 승산비(Exp(B))의 값 차이가 크지 않았으며 상대고도와 STIxSPIxTWI의 승산비는 1 이상으로 종속변수에 비례함을 알 수 있다. 로지스틱 회귀 모형의 적합도를 파악하기 위해서는 Hosmer and Lemeshow 검정이 필수적이다. Table 8은 Hosmer and Lemeshow 검정 결과로 검정 결과에 대한 유의확률이 0.05보다 크기에 본 회귀 모형은 적합하다는 것을 알 수 있다(Hosmer and Lemeshow, 2005). 최종적으로 제시된 산사태 토석류 전이규준 회귀식은 식 (10) 및 (11)과 같다.

Table 6. Classification function coefficient

	Mobilization	
	0	1
Slope	.603	.560
RE (Relative Elevation)	-.001	.012
PC (Plan Curvature)	.791	.501
UA (Upslope Area)	.000	-.001
SPI	2.243	4.410
Constant	-10.114	-18.031

$$\log it(p) = -3.284 - 0.161\text{Slope} - 0.004\text{UA} + 0.017\text{RE} - 0.393\text{Curvature} + 0.019(\text{STI} * \text{SPI} * \text{TWI}) \quad (10)$$

Table 8. Results of Hosmer and Lemeshow tests

Hosmer & Lemeshow tests		
Chi-square	df	Sig.
7.862	8	.447

Table 7. Results of binominal logistic regression analysis

	B	S.E.	Wals	df	Sig.	Exp (B)	VIF
Slope	-.161	.046	12.355	1	.000	.851	1.187
UA (Upslope Area)	-.004	.001	16.269	1	.000	.996	3.494
RE (Relative Elevation)	.017	.004	22.039	1	.000	1.017	1.170
Curvature	-.393	.112	12.352	1	.000	.675	1.397
STIxSPIxTWI	.019	.002	61.872	1	.000	1.020	4.089
Constant	-3.284	.901	13.284	1	.000	.037	

Table 9. Fit of logistic regression analysis model

		Prediction		
		Mobilization		Accuracy %
		.00	1.00	
Mobilization	.00	213	15	93.4
	1.00	21	217	91.2
Total percents				92.3

$$\text{전이 확률}(P) = \frac{\exp(\log it(p))}{1 + \exp(\log it(p))} \quad (11)$$

식 (10)을 통해 도출된 값이 0.5 이상이면 토석류로 전이, 0.5미만이면 전이되지 않았다는 것을 의미하며 Table 9는 이에 대한 로지스틱 회귀모형의 예측 정확도를 나타낸다. 본 연구에서 제시한 로지스틱 회귀분석은 92.3%의 예측률을 나타냈으며 Fisher의 판별분석보다 높은 예측률을 보였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 판별분석과 로지스틱 회귀 분석과 같은 통계적 방법을 이용하여 실제 토석류가 발생했던 지역에서 추출한 지형학적 인자, 지질학적 인자 등을 토대로 산사태 토석류 전이규준을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 우선 10개의 지형학적 및 지질학적 인자를 독립변수로 사용하여 실제 466개소(비전이: 228개소, 전이: 238개소)의 토석류 비전이 및 전이 데이터가 수집되었다. 10개 인자들에 대한 데이터는 수치지도를 통해 수집되었으며 산사태에서 토석류로 전이되는 지점에서의 지형자료는 인벤토리 지도를 통해 추출되었다. 사면의 파괴 후 파괴 지점에서 이물질이 산지 아래까지 도달한 지점까지의 수평 거리가 50m 이상인 경우를 토석류, 50m 이내인 경우를 산사태로 구분하여 각각에 대한 발생지점의 위치 정보를 구축하였다.
- (2) 10개의 독립변수가 산사태 토석류 전이규준에 미치는 영향정도를 분석하기 위해 상관분석을 실시한 결과 사면경사를 제외한 모든 인자들이 유의확률 1% 범위에서 산사태 토석류 전이 여부에 영향을 끼친 것을 알 수 있으며 영향 정도는 SPI, STI, 등고선구배곡률 순으로 나타났다. 또한 사면곡률, 등고선구배곡률 그리고 윤곽구배곡률은 서로 상관성이 높게 나타났으며 SPI, STI, TPI, TCI 인자들도 서로 간에 높은 상관성을 나타냈다.
- (3) 산사태 토석류 전이규준을 제시하기 위하여 Fisher의 판별분석을 수행한 결과, 실제 경우와 91.6%의 분류 정확도를 보였다. 하지만 판별분석의 중요한 가정 조건인 토석류로의 전이 비전이 두 그룹간의

공분산의 동질성이 만족되지 않았으며 또한 독립변수들이 정규분포를 보이지도 않았다. 이에 대한 대안으로 이분형 로지스틱 회귀분석을 수행하였으며, 변수 변환 및 결합을 통해 독립변수들간의 다중공선성을 제거하였고 회귀분석에 사용된 모든 독립변수들이 유의확률 1% 범위 이내에서 종속변수에 유의한 영향을 끼쳤다. 또한 Hosmer and Lemeshow 검정 결과도 통계적으로 유의하였으며 실제 경우와 92.3% 분류 정확도를 나타냈다. 따라서 통계 분석을 통해 산사태 토석류 전이 규준을 제시한 결과 통계적 가정 조건을 만족하지 못한 Fisher의 판별분석 결과 보다는 로지스틱 회귀분석 결과가 모든 통계적 가정 조건을 만족하였으며 아울러 보다 높은 예측률을 나타낼 수 있었다. 전이규준에 사용된 인자들도 사용자가 손쉽게 획득할 수 있으므로 본 연구에서 로지스틱 회귀모형을 통해 제시한 산사태 토석류 전이규준 모델은 향후 토석류 재해 예방에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 향후 본 연구에서 적용되지 않은 지역의 데이터를 사용하여 본 전이 규준에 대한 검증작업도 필요할 것으로 판단되며 아울러 지반공학적인 인자들과 같은 다양한 인자들을 활용하여 전이 규준 모델을 보완 발전시켜 나가야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 한국연구재단-공공복지안 전연구사업(No. 2012M3A2A1050974)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌 (References)

1. Ahn, H. (2012), "A Logistic Regression Analysis of Two-way Binary Attribute Data", *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol.35, No.3, pp.118-128.
2. Berti, M., Genevois, R., Simoni, A., and Tecca, P. R. (1999), "Field Observations of a Debris Flow Event in the Dolomites", *Geomorphology*, Vol.29, pp.265-274.
3. Board on Atmospheric Sciences and Climate (BASC) (2011), *America's Climate Choices*, The National Academies Press, Wahsington, D.C.
4. Brayshaw, D. and Hassan, M. A. (2009), "Debris Flow Initiation and Sediment Recharge in Gullies", *Geomorphology*, Vol.109, pp. 122-131.
5. Caine, N. (1980), "The Rainfall Intensity-duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows", *Geogr. Ann.*, A62, pp.23-27.
6. Campbell, R. H. (1975), "Soil Slips, Debris Flows, and Rainstorms

- in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California”, *Professional Paper* 851, U.S. Geologic Survey, Washington, D.C.
7. Chen, C. Y. and Yu, F. C. (2011), “Morphometric Analysis of Debris Flows and Their Source Areas Using GIS”, *Geomorphology*, Vol. 129, pp.387-397.
  8. Choi, E. K., Kim, S. W., Lee, Y. C., Lee, K. H., and Kim, I. S. (2013), “Analyzing the Disaster Vulnerability of Mt. Baekdusan Area using Terrain Factors”, *Journal of the Korean Earth Science Society*, Vol.34, No.7, pp.605-614.
  9. Cokluk, O. (2010), “Logistic Regression : Concept and Application”, *Theory and Practice*, Vol.10, No.3. pp.1397-1407.
  10. Griswold, J. P. and Iverson, R. M., (2008), “Mobility and Statistics and Automated Hazard Mapping for Debris Flows and Rock Avalanches”, *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report*, 2007-5276.
  11. Hosmer, D. W. and Lemeshow, S. (2005), “Applied Logistic Regression”, Second Edition, John Wiley & Sons, Incorporation.
  12. Hutchinson, J. N. (2002), Chalk flows from the coastal cliffs of northwest Europe, *Reviews in Engineering Geology*, 15, 257-302.
  13. Hur, M. and Yang, K. S. (2013), “Multivariate Data Analysis”, Hannarae Publishing Corporation.
  14. Iverson, R. M. (1997), “The Physics of Debris Flows”, *Review of Geophysics*, Vol.35, No.3, pp.245-296.
  15. Iverson, R. M., Reid, M. E., and Lahusen, R. G. (1997), “Debris-flow Mobilization from Landslides”, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25, pp.85-138.
  16. Jeon, K. H., Lee, S. R., and Oh, G. D. (2010), “Probabilistic Analysis of Unsaturated Soil Properties for Korean Weathered Granite Soil”, *24<sup>th</sup> KCCNN Symposium on Civil Engineering*, Hyogo, Japan.
  17. Johnson, A. M. (1965), “A Model for Debris Flow”, *Ph.D Thesis*, Pennsylvania State Univ., Pennsylvania, America.
  18. Johnson, A. M. and Rodine, J. R. (1984), “Debris Flow”, In: Brunsden, D., Prior, D. B.(Editors), *Slope Instability*, Wiley, Chichestr, UK, pp.257-361.
  19. Kang, S. H., Lee, S. R., Nikhil, V. V., and Park, J. Y. (2015), “Analysis of Differences in Geomorphological Characteristics on Initiation of Landslides and Debris flows”, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.15, No.2, pp.1-10.
  20. Kim, H. C. (2013), “Statistical Analysis by Self-study”, Hakjisa Publishing Corporation.
  21. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2008), “Development of landslide prediction technology and damage mitigation countermeasures”, pp.124-132.
  22. Lee, I. H. (2014), “Easy Flow Regression Analysis”, Hannarae Publishing Corporation.
  23. Lee, S. W., Kim, G. H., Yune, C. Y., Ryu, H. J., and Hong, S. J. (2012), “Development of Landslide-risk Prediction Model Through Database Construction”, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.28, No.4, pp.23-33.
  24. Lorente, A., Garcia-Ruiz, J. M., Begueria, S., and Arnaez, J. (2002), “Factors Explaining the Spatial Distribution of Hillslope Debris Flows”, *Mountain Research and Development*, Vol.22, No.1, pp.32-39.
  25. Montrasio, L., Valentino, R., and Losi, G. L. (2011), “Towards a Real-time Susceptibility Assessment of Rainfall-induced Shallow Landslides on a Regional Scale”, *Natural Hazards Earth System*, Vol.11, pp.1927-1947.
  26. Moore, I. D. and Wilson, J. P. (1992), “Length-slope Factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified Method of estimation”, *Journal of soil and water conservation*, 47, pp.423-428.
  27. Oh, H. J. (2010), “Landslide Detection and Landslide Susceptibility Mapping using Aerial Photos and Artificial Neural Networks”, *Korean journal of remote sensing*, Vol.26, No.1, pp.47-57.
  28. Park, D. W. (2014), “Simulation of Landslides and Debris-flows at Regional Scale using Coupled Model”, *M.S. Thesis*, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea.
  29. Park, D. W., Lee, S. R., Nikhil, N. V., Yoon, S., and Go, G. H. (2014), “Quantitative Assessment of Landslide Susceptibility on a Regional Scale using Geotechnical Databases Developed from GIS-based Maps”, *Disaster Advances*, Vol.7, No.5, pp.25-38.
  30. Phoon, K. K., Santoso, A., and Quek, S. T. (2010), “Probabilistic Analysis of Soil-water Characteristic Curves”, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.136, No.3, pp.445-455.
  31. Rickenmann, D. and Zimmermann, M. (1993), “The 1987 Debris Flows in Switzerland: Documentation and Analysis”, *Geomorphology*, Vol.8, No.2~3, pp.175-189.
  32. Ryu, H. J., Shin, J. H., Seo, H. S., Kim, K. H., and Lee, S. W. (2012), “A Model for Evaluation of Debris Flow Risk in a Watershed”, *Journal of korean society of hazard mitigation*, Vol.12, No.4, pp. 66-76.
  33. Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. (1965), “An Analysis of Variance Test for Normality (complete samples)”, *Biometrika*, Vol.52, pp. 591-611.
  34. Takahashi, T. (1978), “Mechanical Characteristics of Debris Flow”, *Journal of the Hydraulic Division*, Vol.104, pp.1153-1169.
  35. Takahshi, T. (1981), “Estimation of Potential Debris Flows and Their Hazardous Zones: Soft countermeasures for a disaster”, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.3, No.1, pp.57-89.
  36. Van Dine, D. (1996), “Debris Flow Control Structures for Forest Engineering”, Research Branch, Ministry of Forests, Victoria, BC Working Pater 22/1996.
  37. Varnes, D. J. (1978), “Slope Movements, Type and Processes”, In: Schuster, R. L., Krizek, R. J. (Editors), *Landslides Analysis and Control*, Special Report 176: Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp.11-33.
  38. Wiczorek, G. F., Mandrone, G., and Decola, L. (1997), “The Influence of Hillslope Shape on Debris-Flow Initiation”, In: ASCE (editor), *First International Conference Water Resources Engineering Division*, SanFrancisco, CA, 21-31.
  39. Yoon, S., Lee, S. R., Kim, Y. T., and Go, G. H. (2015), “Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity of Korean Weathered Granite Soils Using a Regression Analysis”, *Geomechanics and Engineering*, accepted.
  40. Zou, G. (2004), “A Modified Poisson Regression Approach to Prospective Studies with Binary Data”, *American Journal of Epidemiology*, Vol.159, No.7, pp.702-706.

Received : May 6<sup>th</sup>, 2015  
 Revised : June 20<sup>th</sup>, 2015  
 Accepted : June 22<sup>nd</sup>, 2015