

# 도로 선형 설계를 위한 사면 재해 발생 확률 예측모델 개발

Develop of Landslide Prediction Model for Road Alignment Program

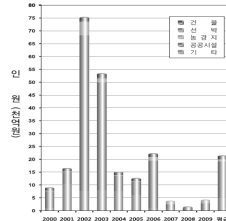
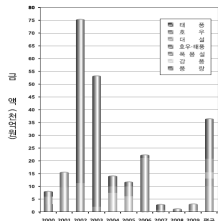
유한중\* · 윤찬영\*\* · 김기홍\*\*\* · 이승우\*\*\*\*

Ryu, Han Joong · Yoon, Chan Young · Kim, Gi Hong · Lee, Seung Woo

## 1. 서론

국토의 70% 이상이 산악지인 우리나라의 지형적 특성 때문에 많은 도로들이 산지에 인접하여 건설되고 있다. 특히 강원도의 경우 총면적의 약 83%가 산지에 해당하며 많은 도로가 산지에 인접하여 건설되었다. 또한 양양, 삼척 등 강원도 각지에서 큰 규모의 산불이 많이 발생하여 표토를 안정화시키는 자연 산지의 식생이 많이 파손되었으며 지구 온난화 현상에 의한 국지성 집중호우와 태풍의 발생이 빈번하게 일어나고 있어 산사태의 발생 빈도가 높아지고 있다. 또한 국내의 경우 산사태 발생 시 대부분 토석류로 발전되며 인근 지역에 막대한 인명 및 재산피해를 내고 있다.

소방 방재청 재해연보(2009)에 따르면 우리나라는 매년 호우, 태풍, 대설 등의 자연 재난으로 인하여 연평균('00-'09) 인명피해는 72명, 재산피해는 1조 7,263에 달한다. 그중 대부분은 태풍과 호우에 의한 피해이며 공공시설에 대한 피해가 지배적이다.



(a) 최근 10년간 원인별 피해현황

(b) 최근 10년간 시설별 피해 현황

그림 1. 최근 10년간 피해 현황(소방 방재청, 2009)

\* 학생회원 · 강릉원주대학교 석사과정 · 공학사 · 033-640-2416(E-mail : barsaba@nate.com)  
 \*\* 비 회원 · 강릉원주대학교 조교수 · 공학박사 · 033-640-2423(E-mail : yune@gwnu.ac.kr)  
 \*\*\* 비 회원 · 강릉원주대학교 조교수 · 공학박사 · 033-640-2422(E-mail : ghkim@gwnu.ac.kr)  
 \*\*\*\* 정 회원 · 강릉원주대학교 부교수 · 공학박사 · 033-640-2419(E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

시설별	구분	피해액 (백만원)	비율 (%)	순위	%			
					10	20	30	40
합	계	224,182	100.0					
하	천	50,692	20.8	1	[Horizontal bar chart showing 20.8%]			
소	천	43,109	17.7	2	[Horizontal bar chart showing 17.7%]			
사	방	37,140	15.2	3	[Horizontal bar chart showing 15.2%]			
도	로	33,926	13.9	4	[Horizontal bar chart showing 13.9%]			
기	타	23,295	9.5	5	[Horizontal bar chart showing 9.5%]			
수	리	22,801	9.3	6	[Horizontal bar chart showing 9.3%]			
소	구	20,224	8.3	7	[Horizontal bar chart showing 8.3%]			
수	도	5,614	2.3	8	[Horizontal bar chart showing 2.3%]			
군	시	4,506	1.8	9	[Horizontal bar chart showing 1.8%]			
학	교	1,866	0.8	10	[Horizontal bar chart showing 0.8%]			
어	항	543	0.2	11	[Horizontal bar chart showing 0.2%]			
철	도	424	0.2	12	[Horizontal bar chart showing 0.2%]			
할	만	42	0.0	13	[Horizontal bar chart showing 0.0%]			

그림 2. 공공시설의 세목별 피해현황(소방 방재청, 2009)

공공시설물의 피해의 경우 하천과 소하천 피해가 40% 가가이 발생하였으며 도로의 경우 그 피해 규모가 13.9%에 달한다. 또한 강원도의 경우 지역 특성상 하천과 사면 인근에 도로가 위치하는 경우가 많아 사망시설과 하천 피해에 의한 피해 영향이 심각한 요인으로 작용될 것으로 판단된다.

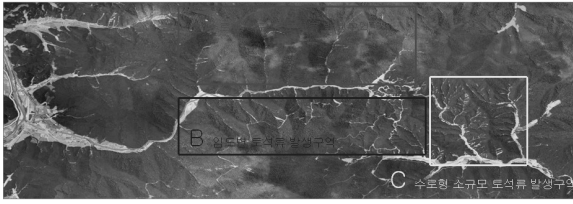
하지만 국내 연구의 경우 산사태 발생을 예측함에 있어서 대부분의 연구가 강우에 대해 고려되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 토석류의 피해를 저감시키기 위한 재해 예측 지도 제작의 일환으로 강우 특성을 고려한 산사태 발생확률 예측 모델을 개발하였다. 산사태의 발생확률 예측 모델은 도로의 선형 특성상 통계자료와 개략조사를 통하여 발생 확률을 예측하는 것을 목적으로 개발되었다. 이를 위해 사면 재해가 발생된 148구간에 대한 현장조사 및 문헌조사를 수행하였으며, GIS를 이용한 수치지도를 사용하여 재해 유발 인자를 도출하여 데이터베이스를 구축하였다. 또한 구축된 데이터베이스를 바탕으로 로지스틱 회귀분석을 수행하여 사면 재해 발생 확률 모델 개발을 수행하였다.

## 2. 연구방법

본 연구는 도로 선형 설계 시 산사태 발생 확률을 예측하기 위한 모델의 개발을 주목적으로 하며 산사태 발생 확률 예측을 위해서 도로 설계의 특성상 광범위한 지역에 대한 조사가 요구되므로 이를 간략화하여 예측하기 위하여 수치지도를 이용하였으며 산사태 발생 지역에 대한 정보를 수집하기 위하여 현장조사를 수행하였다. 또한 강우 특성을 고려하기 위하여 기상청에서 제공하는 강우정보를 이용하여 강우 특성에 대하여 조사하였으며 이를 기반으로 데이터베이스를 구축하였다, 또한 구축된 데이터베이스를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 수행하여 산사태 발생 예측모델을 개발하였으며 검정을 수행하였다.

### 2.1 현장 조사

현장 조사를 위하여 예비조사를 수행하였으며 예비조사의 경우 수치 지도를 이용하여 지질 및 임상, 영향 유역, 주변 현황(도로, 배수시설)을 고려하였으며 2002년, 2003년, 2006년 사면재해가 발생한 도로 재해대장자료와 강원 도청(1986-2007년) 625개소와 동부지방산림청(2000-2007년) 111개소에 대하여 조사 지역을 선정하였다. 또한 문헌조사 및 개략 조사된 위치 중 토석류로 판단되는 위치를 선별하여 규모가 큰 구간부터 정밀조사를 수행하였다. 정밀조사는 구간별 위치에 대한 좌표, 폭, 깊이, 경사에 대하여 약 20m 간격으로 조사하였으며 인근 사망시설 현황과 보도자료 및 목격자의 증언에 근거한 발생시간을 조사하였으며 2008년부터 2010년도 현재까지 조사를 수행하였다.



(a) 항공사진을 이용한 현장 조사 수행 지역 선정



(b) 현장 조사

그림 3. 현장 조사 수행 과정

**2.2 강우 특성 분석 및 산불 발생 자료 수집**

강우 특성의 경우 기상청에서 제공하는 강우 자료(IDF곡선 등)와 주변 강우관측소 위치 등을 토대로 산사태 발생 지역에 대하여 수행하였다. 사면재해에 대한 강우자료는 재해발생 시점과 재해발생 당시의 강우기록이 중요하다. 따라서 재해발생 시점이 분명하지 않으며 재해발생 당시의 강우기록이 결측되어 있는 자료를 제거하여 최종적으로 2002년 6개소, 2003년 36개소, 2006년 66개소의 총 108개소의 자료에 대하여 재해발생일, 발생위치, 발생당시의 시간 및 강우량, 피해유형, 피해액, 복구액등의 데이터베이스를 구축하였다. 또한 사면재해 유발 강우에 대한 분석을 위하여 구축된 108개 구역에 대하여각각의 위치에 가까운 기상청의 자동기상관측소(AWS, Automatic weather system) 강우기록으로부터 해당 사면 재해 발생 시점을 포함하는 연간 강우기록을 시간단위로 수집하였다. 재해발생 시점으로부터의 최대시우량, 연속강우량을 구축하였고 재해 발생 시점으로부터의 3일, 7일, 14일, 21일, 28일 누적강우량을 사면재해발생시간과 시차 등으로 정리하여 데이터베이스를 구축하였다.

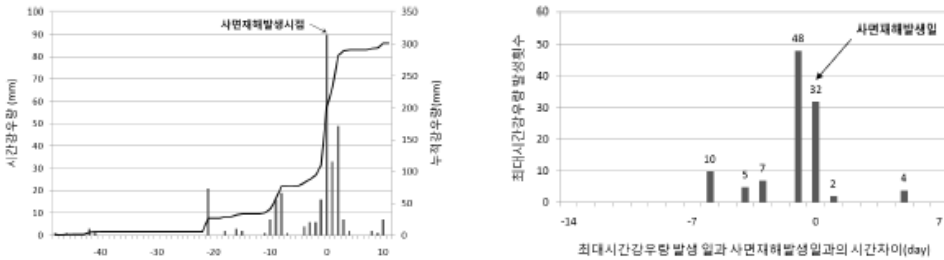
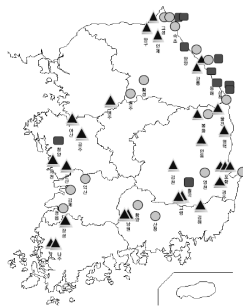


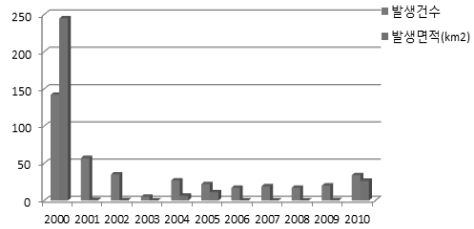
그림 4. 사면재해 발생에 따른 강우특성 분석그래프(윤찬영외, 2010)

구축된 데이터베이스를 토대로 산사태 발생과 강우에 대한 특성 분석을 수행하였다. 그림 5는 사면 재해 DB에 구축된 지역에 대하여 각각의 위치에 가장 가까운 기상청의 자동기상관측소(AWS, Automatic weather system) 강우기록으로부터 해당 사면 재해 발생 시점을 포함하는 연간 강우기록을 시간단위로 수집된 자료에 대한 분석 결과로 최대 시간 강우량이 나타난 시점과 사면 재해 발생시점에 대한 관계를 나타내고 있다. 최대시우량이 나타났을 때 사면 재해 발생 빈도가 높은 편이지만 최대 시우량이 나타나기 이전 강우량에 의한 사면 재해 발생 또한 그 비중이 높아 강우 자료 수집시 최대 시우량, 연속 강우량 외에도 3일 누적 강우량부터 최대 28일 누적 강우량까지 강우량 Data를 수집하였다.

산불 발생자료는 산불 발생 후 식생이 회복되기까지는 상당한 시간이 소요되는 점을 감안하여 1998~2007년까지 10년간 강원도 지역에서 발생한 623개의 산불자료를 수집하였다. 수집된 자료는 산불발생지역의 위치, 발생일시, 진화일시, 소요시간, 발생원인, 피해면적 등을 포함하고 있다. 강원도 지역의 10년간 산불발생 추이를 보면(그림 4), 1999년부터 2001년까지 3년간 전체 산불발생횟수의 64.7%인 403회가 발생하였으며 2002년 이후부터는 연평균 32회 정도의 산불이 발생하고 있다.



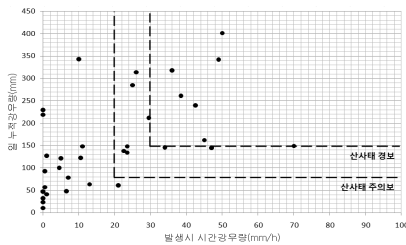
a. 산불 발생 지역



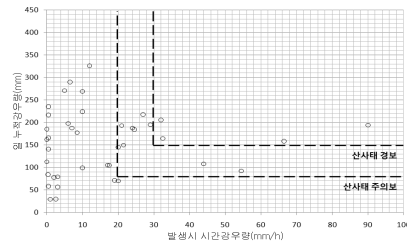
b. 강원지역 산불 발생 횟수 및 면적

그림 5. 강원도 지역 산불 발생 추이(산림청, 2010)

사면 재해의 주요 유발인자중 하나인 산불 발생 지역과 관련하여 강우특성을 비교해 본 결과 산불 발생 지역의 경우 더 적은 강우량에서 사면재해가 발생하는 경향을 내는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 조사한 구간별 산불 발생 여부를 추가적으로 데이터베이스화 하였다. 그림 6은 산불 발생지역과 산불 미발생 지역의 강우 패턴을 나타낸 그래프이다. 산불 발생 지역에 비하여 산불 미발생 지역의 경우 적은 강우량에도 쉽게 산사태가 발생하는 것을 알 수 있다.



a) 산불 발생지역 강우패턴



b) 산불 미발생 지역 강우패턴

그림 6. 사면재해 발생에 따른 강우특성 분석그래프(윤찬영 외, 2010)

### 2.3 수치지도를 통한 데이터베이스 구축

현장조사와 실내조사를 통해 분석된 사면재해 유발 인자는 사면 경사, 강우량, 산불발생 여부와 같다. 또한 추가적인 산사태 발생 확률에 대한 선행 연구를 통하여 지질적인 물성과 식생의 분포, 지하수위의 분포의 유발 인자를 도출하였다. 표 1은 문헌 조사 및 데이터 분석을 통하여 구축된 산사태 유발 인자와 조사방법에 대한 표이다.

표 1. 산사태 유발인자의 조사 및 도출

지형적 요인	조사 방법	수치지형도(digitized topographic map), 수치고도모델(DEM) 수치지형모델(DTM), 실측(inSAR, Aerial photograph)
	요인	사면경사, 평균경사, 상부 사면경사, 고도, 경사길이, 사면방향
지질학적 요인	조사 방법	수치지질도(digitized geologic map), 단층구조도(geologic fault map) 현장지질조사(field reconnaissance)
	요인	표토의 토성, 유효 토심, 지하수위
수리, 수문학적 요인	조사 방법	강우기록(rainfall record), 유역도(drainage basin), 수계도(stream network)
	요인	최대 시우량, 연속 강우량, 3일 누적 강우량, 7일 누적 강우량, 14일 누적 강우량, 21일 누적강우량, 28일 누적 강우량
재해이력	조사 방법	문헌 조사, 산발 발생 현황 DB
	요인	산발발생, 파괴형상
입학적 요인	조사 방법	입상도 (stock map), 현장입상조사
	요인	입상정보, 소밀도, 영급, 경급분포

현장조사와 실내조사를 통해 분석된 사면재해 유발 인자는 사면 경사, 강우량, 산발발생 여부와 같다. 그 외의 유발 인자들은 ArcGIS 프로그램을 이용하여 수집하였다. 그림 7은 ArcGIS를 통한 변수의 도출 과정을 나타낸다. GPS좌표를 통하여 일련의 포인트에 해당하는 정도를 각 수치지도에서 추출하였으며 이를 정리하여 데이터베이스로 구축하였다.

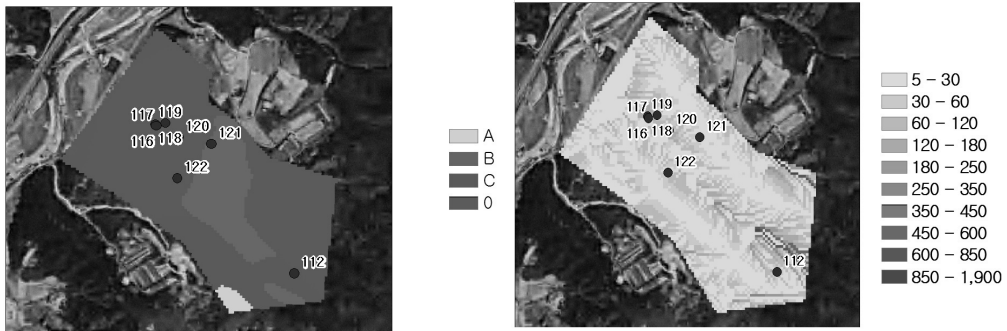


그림 7. 수치 지도를 이용한 산사태 유발인자 조사

산사태 발생 확률 예측모델에 사용되는 수치해석법은 로지스틱 회귀분석으로 산사태 발생 지역과 산사태 미발생 지역에 대한 변수의 관계에 의한 분석이나 상기 조사에 의하여 구축된 데이터베이스는 사면 재해가 발생한 지역에 해당한다, 따라서 산사태가 발생하지 않은 지역의 데이터는 수치 지도를 통하여 수집하여 실제 산사태 예측 시 수치 지도를 통하여 적용이 가능하도록 진행하였다. 조사한 지역은 현장 조사 지역 인근의 임의의 지점으로 미발생 지역을 구분하기 위하여 임야도와 재해 발생 대장을 고려하여 사면 재해 이력이 있는 주소지(번지)를 제외하여 272구간에 해당하는 지역에 대한 유발 인자를 수집하였다.

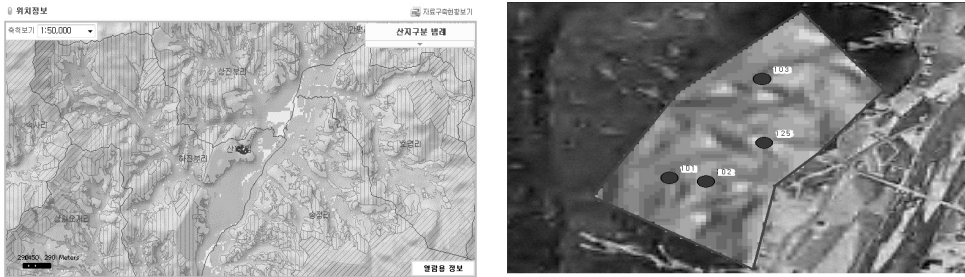


그림 8. 위성도와 GIS 경사도 분포 데이터를 통한 미발생 지역 유발인자 조사

### 3. 산사태 발생 확률 예측 모델 개발

#### 3.1 개요

로지스틱 회귀분석은 산사태와 관련 있는 다른 요인들을 이용하여 향후 발생 가능한 사면 재해 발생을 예측하려는 시도에 적용 가능한 통계분석 방법이다. 예측하려는 변수를 종속변수라 칭하며 ‘발생’을 뜻하는 ‘1’의 값과 미발생을 뜻하는 ‘0’의 값을 갖는다. 따라서 각 변수간의 상관관계를 통하여 관계를 나타내는 식을 도출하는 선형 회귀분석을 이용하기는 어려운 면이 있다. 로지스틱 회귀분석은 즉 두 개의 값을 가지는 종속변수와 다양한 값을 가지는 독립변수들 사이의 관련성을 분석하는 통계적 기법이다. 따라서 각 인자간의 상관성이 크게 중요하지 않으며 또한 로지스틱 회귀분석의 결과로 나타나는 식은 해당 지역의 발생확률을 계산할 수 있어 산사태 발생확률을 예측하는 이상적인 통계 분석방법이라고 할 수 있다. 또 일반 회귀분석의 경우  $x, y$ 값이 무한대 값으로 수렴하거나 발산하는 것이 보통이지만 로지스틱 회귀분석의 경우 0에서 1사이의 값을 가지며 S형태의 곡선을 갖는다. 따라서 이를 선형적인 함수로 변환시키지 위하여 로지스틱 함수로 변환시키게 된다.

로지스틱 회귀계수의 추정은 독립변수의 수준에서 반복적인 종속변수 관측여부에 따라 달라지는데, 각 독립변수의 수준에서 비교적 많은 종속변수의 반복적인 관측이 있으면 가중 최소제곱법(weighted least squares method)을 사용하고, 반복적인 관찰이 없거나 아주 작은 경우에는 최대우도추정법(Maximum likelihood estimation method)을 사용한다. 일반적으로 추정된 모형의 적합성은 우도값 검정에 의해서 판단된다. 우도값은 로그-2배 혹은  $-2LL$ (Log Likelihood)로 표시하며 우도값 식은 다음과 같다. 독립변수들이 중요한 변수가 아니라면 우도비는 거의 같아져서 우도비 대수함수인 검정통계량  $\Lambda$ 의 값이 0에 가까운 값을 가지게 되며 모형은 접합하지 않다고 결론을 내릴 수 있다. 본 연구에서는 대중적인 통계 프로그램인 SPSS 12를 사용하여 로지스틱 회귀분석을 수행하였다.

#### 3.2 로지스틱 회귀분석

변수의 선택은 단계별 선택법에 의하여 진행하였으며 유의수준( $\alpha$ ) 0.05를 절단 값으로 고려하여 변수의 선택과 제거과정을 반복 수행하여 진행하였으며 통계적으로 문제가 없더라도 일반적인 물리법칙에 반하는 결과가 나오면 다시 분석을 수행하였다.

표 2는 회귀분석에 사용된 변수와 그의 입력방법을 나타내고 있다. 조용찬 외(2006)에 의하면  $25\sim 35^\circ$  사이의 경사에서 가장 많이 발생하는 것으로 나타나 있다. 하지만 로지스틱 회귀분석의 경우 변수의 값이 증가할수록 발생 확률이 증가하거나 감소하여 이를 수정하기 위하여 데이터베이스내의 자료를 이용하여 29도의 기준 경사도를 산정하여 표의 식에 의하여 입력하였다. 지질의 경우 토양의 특성이 분명하지 않아 양인태외(2007)의 연구 결과를 참고하여 토성을 분류하였지만 분석과정에서 표토의 토성의 경우 입력 값에서 제외되었다.



표 2. 산사태 발생 확률모델 예측 유발 인자

목표 변수	산사태 발생 여부(Target,1 : 발생 0 : 미발생)			
입력변수	지형	사면경사(경사도 =  기준경사도 - 경사도 )		
	지질	사양토 양토 미사질양토	-> 변환	표토의 토성(내부마찰각, 투수계수, 간극비, 건조단위중량) 유효토심(20-50cm : 35cm, 50-100cm : 75cm, 100cm이상 : 135cm)
	강우량	3일 누적 강우량		
	재해이력	산불 발생 유무(1,0)		
	식생	임상정보 (침엽수, 활엽수, 침활혼효림, 기타) 소밀도 (소 = 1, 중 =2, 대 =3) 영급분포 (등급별 평균 수령) 경급분포(등급별 평균 직경)		

표 3은 로지스틱 회귀분석의 결과를 나타내며 위의 입력 변수 중 표토의 토성 데이터 외에도 소밀도가 제외되었다. 사면 경사의 경우 29도에서 산사태가 가장 많이 발생되며 29도보다 크거나 작아질수록 산사태 발생확률이 줄어들며 강우량, 산사태 발생이력 여부의 경우 그 크기가 증가할수록 산사태 발생 확률을 증가시킨다. 영급의 경우 나무의 수령이 오래될수록 산사태 발생 확률을 감소시키는 경향이 있는 것으로 나타난다.

표 3. 로지스틱 회귀분석 결과(유의수준 0.05)

변수	Regression Coefficient	Standard Error	Wald chi-square	P value
사면경사	-0.207	0.032	41.768	0
3일 누적 강우량	0.046	0.009	28.100	0
유효 토심	0.049	0.011	20.769	0
산불 발생 이력	1.616	0.62	6.8	0.009
경급 분포	-0.121	0.024	28.577	0
임상 종류	0.037	0.009	15.076	0
영급 분포	-0.068	0.019	13.288	0
상수	-14.177	2.481	32.657	0
로지스틱 회귀식	$\text{Logit}(\text{산사태 발생}) = -14.177 - 0.207(\text{사면경사}) + 0.046(\text{삼일누적강우량}) + 0.049(\text{유효토심}) + 1.616(\text{산불발생여부}) + 0.121(\text{경급}) + 0.037(\text{임상}) - 0.068(\text{영급})$			

### 3.3 로지스틱 회귀분석의 검증

표 4를 보면 산사태 미발생지역인 전체 272구간 대해서 산사태가 발생하지 않은 것으로 예측한 경우는 250개소이고 22개소의 경우는 발생한 것으로 91.9%의 정확도 예측하고 있다. 또한 산사태 발생지역의 경우 전체 148개소 중 131개소를 산사태가 발생한 것으로 예측하였으며 17개소를 발생하지 않는 것으로 예측하고 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 모형 식은 사면 재해 발생에 대하여 90.7%로 예측이 가능한 것으로 나타나고 있다.

표 4. 로지스틱 회귀분석 적합도

	판단 : 발생	판단 : 미발생	합계	분류정확도(%)
산사태 미발생지역	250	22(error)	272	91.9
산사태 발생지역	17(error)	131	148	88.5
합계			420	90.7

## 5. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 산사태 발생에 영향을 미치는 유발 인자들에 대하여 현장조사와 실내조사, 수치지도를 통하여 조사하였으며 조사된 유발 인자에 대하여 통계분석을 수행하여 변수를 검정하였다, 또한 검정된 변수에 대한 로지스틱 회귀분석을 통하여 산사태 발생 확률에 대한 모델을 개발하였다.

1. 현장조사의 경우 GPS좌표와 사면경사의 인자를 조사하였으며 조사 지역이 광범위하여 토양에 대한 기초 물성 실험을 진행 할 수 없어 수치지도를 이용하여 DB를 구축하였으며 투수계수, 최대함수비, 건조단위중량, 100% 포화를 위해 필요한 수분함량으로 데이터를 변경하여 구축하였다. 하지만 통계학적 분석 시 유의확률이 만족되지 않았다. 따라서 사면 재해 발생 모델에서는 통계적으로 제거 되었으며 토양 성분에 대한 추가적인 데이터베이스 구축이 필요할 것으로 판단된다.
2. 평균 29도에서 사면 재해가 많이 발생한 것으로 분석되었으며 일반적으로 산사태가 많이 발생하는 25-35°의 평균과 근접하므로 사면 경사도에 대한 신뢰성이 높다고 판단된다.
3. 선택된 조사 대상지가 평창군과 인제군에 한정되기 때문에 입력 자료의 규모가 한정되어 특성이 달라질 수 있으나 추후 data의 추가적인 수집을 통하여 일괄적인 강우자료, 토양자료, 식생자료 등의 보완이 가능할 것으로 판단된다.
4. 강원도 평창, 인제지역의 경우 모델식의 결과가 90%이상의 정확도를 나타내었으며 이는 높은 확률로 사면 재해를 예측하여 도로 재해에 대한 대비책 마련에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

향후 광범위한 지역에 해당하는 데이터 수집을 진행하여 다양한 강우특성을 도출하여 사면 재해 예측 모델의 적용성과 정확성을 보완하고 이를 기반으로 하는 재해 예측 맵을 제작할 예정이다. 또한 재해예측 맵을 이용하여 경제적이고 효율적인 사면 재해 저감을 위한 도로 선형 설계 기술을 개발할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원('08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] 김경수, 송영석, 조용찬, 김원영, 정교철(2006), “지질조건에 따른 강우와 산사태의 특성분석”, The Journal of Engineering Geology Vol.16, No.2, pp. 201-214
- [2] 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사료, 이봉주(2000), “산사태 예측 및 방지기술 연구, 과학기술부, KR-00-(t)-09
- [3] 마호섭, 정원욱(2007), 우리나라국립공원지역의산사태발생특성분석 한국임학회지96(6), 611-619.
- [4] 산림청, “산불연보”, 2010
- [5] 소방방재청, “산사태재해 예측 및 저감기술 개발”, 2009
- [6] 소방방재청, “재해연보”, 2009
- [7] 양인태, 천기선, 박재국, 이상운(2007), “GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가”, 한국지형공간정보학회, 제 15권 1호 pp. 39-46
- [8] 윤찬영, 전경재, 김경석, 김기홍, 이승우(2010), “DB구축을 통한 강원지역 사면 재해 유발강우특성 분석”, 한국지반공학회논문집, 제 26권 10호
- [9] 전근우, 송동근, 이진호, 김민식(2009), “2006년 강원도 평창지역 산사태지에 있어서 강우 식생 및 모암특성과 산사태발생”, Conference Co-Hosted by KISTEC & KGES
- [10] 조용찬, 장태우(2010), “강릉지역 산사태의 기하학적 특성과 질리특성에 관한 연구”, The Journal of Engineering Geology Vol.16, No.4, pp. 437-453
- [11] 채병곤, 김원영, 조용찬, 김경수, 이준오, 최영섭, 이문세(2003), “지질별 산사태 정량적 예측모델, 대한지질공학회 학술발표회, pp11-19