

## 토석류 감지장치 개발과 실시간 경보체계 구축 사례 Development of a Debris Flow Sensing Device and Real Time Warning System

김경석<sup>1)</sup>, Kyung-Suk Kim, 장현익<sup>2)</sup>, Hyun-Ick Jang, 정성윤<sup>3)</sup>, Sung-Yun Chung

<sup>1)</sup> 한국도로공사 도로교통연구원 전임연구원, Researcher, ETRI, Korea Expressway Corp.

<sup>2)</sup> 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, Chief Researcher, ETRI, Korea Expressway Corp.

<sup>3)</sup> (주)지엠지, 부장, General Manager, Geotechnical Monitoring Group Co., Ltd.

**SYNOPSIS** : Debris flow has been considered as one of the major natural hazards and possesses tens to hundreds times higher destructive potential than that of slope failure. In the past 5 years, its occurrence frequency was and is likely to increasing due to the global warming. Although various methods such as basin vegetation or structural dams can be implemented to counter measure the debris flow, these methods are not always the right answer to the problem when magnitude of debris flow is far bigger than could be defended. Land use regulations to avoid the hazard or early debris flow warning system to evacuate the expected inundated area can be more economical and practical actions for those cases. In this study, an early debris flow warning system composed of rainfall measuring device, debris flow sensing device and video camera is introduced. The system is designed to issue the warning when rainfall threshold is exceeded or debris flow is sensed by sensing device. Developed monitoring system can be used to cope promptly with the debris flow risk.

**Key words** : debris flow, monitoring system, warning system, natural hazard

### 1. 서 론

토석류는 세계적으로 발생하는 주요 자연재해중의 하나로서 많은 물적, 인적 피해를 유발하는 것으로 알려져 있으며 국내에서도 지형경사가 급한 산악지역에서 주로 발생하고 있다. 최근 집중강우 시 강원도 산악지역에서 발생한 토석류는 주요 도로의 기능을 마비시키고, 가옥과 농지 등에 막대한 피해를 유발시킨 것으로 보고되고 있다(김경석 등, 2007a; 중앙재해대책본부, 2002, 2007). 지구온난화가 가속화되고 있고 이와 더불어 국내 기후여건이 점차적으로 집중강우가 빈번해지는 형태로 변화하는 것을 감안할 때 산악지역에서 발생하는 토석류로 인한 피해가능성과 피해규모도 증가할 것으로 예상된다.

피해를 예방하는 방법으로서 토석류가 예상되는 계곡부에 사방사업이나 구조물을 설치하여 토석류 발생가능성을 줄이거나, 토석을 퇴적 또는 방어하기도 하지만 토석류는 유역의 규모, 지형, 지질적인 특성 그리고 강우특성에 따라 규모가 달라지며 예상보다 큰 규모의 토석류까지 완벽하게 차단하는 것은 매우 어렵다. 국외에서는 토석류에 의한 인적·물적 피해를 저감시키기 위해 피해가 예상되는 지역의 개발을 제한하거나 또는 조기에 토석류를 감지하여 경보를 발령하고 사람이나 교통을 신속히 통제하는 등의 보완체계를 병행하는 노력을 기울이고 있다(Lahusen, 2005). 특히 관측시스템은 사용하는 센서의 종류에 따라 조기 경보뿐만 아니라 실제 토석류의 흐름특성을 규명하는데 이용되기도 한다(Itakura, 2005).

관측시스템을 산악지역에 설치하고 경보체계를 구성하기 위해서는 토석류 발생 특성을 고려한 사전 경보 기준의 설정, 실제 토석류 발생 시 감지방법 그리고 경보의 발령방법 등에 대한 체계가 필요하다. 이 논문에서는 국내 토석류 발생특징 조사결과를 토대로 사전 경보 기준을 설정하고, 토석류 발생 시

신속히 감지할 수 있는 방법을 개발하였으며 이를 실시간으로 관측하여 경보를 발령하는 체계 구축 사례를 소개한다. 이러한 경보체계의 구축은 토석류 피해를 조기에 인식하여 피해가능 지역의 주민이나 통행차량을 신속히 대피 또는 차단시키는데 활용할 수 있고 복구장비와 인력의 조기투입으로 도로나 철도의 장시간 차단을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 국외 토석류 관측 사례

토석류 관측은 관련 이론의 확인과 실용적인 대책수립에 있어서 유용한 정보를 제공하는 장점이 있지만 토석류 발생빈도가 낮고 산악지역에 토석류 관측시스템을 설치하기 위해서는 큰 비용을 수반하므로 실제 토석류 관측시스템을 설치하여 실측한 사례는 많지 않다.

토석류의 관측은 발생을 감지하여 경보를 발령하는 형태(warning system)와 토석류 이동형태, 이동속도, 수심, 보유충격력, 간극수압 등과 같은 흐름특성을 분석하는 연구용 목적으로 설치하고 있다. 이러한 관측 목적에 따라 다양한 측정기구와 방법들이 사용되는데 표 1에는 국외 사례에서 사용된 관측기구와 관측방법별 목적에 유용한 것들을 정리한 것을 나타내었다. 토석류 감지와 흐름특성분석을 위한 다양한 방법들이 시도되고 있지만 토석류 이동시의 진동측정이나 영상분석과 같은 간접적인 방법들의 경우 결과의 정확도가 불분명한 경우가 있어 앞으로 향상의 여지가 있는 부분이다.

표 1. 토석류 관측에 사용되는 측정기구별 유용성(Itakura et al, 2005)

Devices & Methods	functions				flow parameters					meteorological parameter		
	occurrence prediction	occurrence detection	proximity sensing	discharge estimation	depth	velocity	velocity vector	discharge	impact force	rainfall intensity	accum. rainfall	historical rainfall
1. rain gauge	○	x	x	x	x	x	x	x	x	○	○	○
2. strain gauge	△	○	○	○	x	x	x	x	○	x	x	x
3. ultrasonic gauge	-	○	○	○	○	○	-	○	x	-	-	-
4. wire sensor	x	○	○	○	○	○	x	-	x	x	x	x
5. pressure sensor	-	△	△	△	△	△	-	△	○	-	-	x
6. ground vibration												
a. microphone	-	△	○	○	△	△	x	○	-	x	x	x
b. seismometer	-	△	○	○	△	○	x	○	-	x	x	x
c. moving coil	-	△	○	○	△	△	x	○	-	x	x	x
d. piezoelectric	-	△	○	○	△	△	x	○	-	x	x	x
7. image processing												
a. spatial filtering	x	△	○	△	-	○	○	-	x	x	x	x
b. MPEG method	x	△	○	△	△	-	-	△	x	x	x	x
c. STD method	x	△	○	△	-	○	○	-	x	x	x	x
d. correlation	x	△	○	△	△	○	○	△	x	x	x	x
8. radar	-	△	○	△	-	○	△	-	x	○	○	○
9. bucket/load cell	x	x	x	△	-	x	x	○	-	-	-	-
10. Infrasonic sensor	-	○	○	-								

\* ○: useful, △: possible, x: impossible, -: to be verified

\*\* MPEG: moving picture-coding experts group, STD: spatio temporal derivative

초기의 토석류 관측은 비디오를 이용하여 토석류 흐름을 실측하는 것이 주된 목표였으며 일본의 Okuda교수가 타테야마에서 최초로 관측에 성공하고 영상 분석을 통하여 토석류의 흐름 형태를 확인한 바 있다(Okuda et al, 1977). 토석류 흐름 형태를 실제 육안으로 관찰하는 것은 현상의 이해에 많은 도움을 주므로 이후의 토석류 관측에서는 다양한 감지방법들과 병행하여 비디오 촬영을 대부분 포함하고 있으며 특히 토석류가 빈번하게 일어나는 구간에서 토석류 관측소를 상시적으로 운영하고 토석류 발생을 촬영한 사례도 있다(그림 1).

직접적인 토석류 관측은 아니지만 강우에 의존적인 토석류 발생 특성을 고려하여 토석류 발생을 예측하는 연구도 수행되고 있는데 여기에서는 토석류 유발 강우기준을 결정하고자 하는 것이 주된 내용이다(Caine, 1980; Keefer et al, 1997). 하지만 강우뿐만 아니라 지역적인 지형과 지질특성도 토석류 발생에 관계되므로 이러한 예보 시스템으로 실제 토석류 발생을 예측하기에는 한계가 있다.



(a)일본 다테야마

(b) 스위스 일그라벤

(c) 독일 로벤탈

그림 1. 비디오카메라를 이용한 토석류 관측사례

토석류 발생을 감지하고 실제 토석류 특성을 규명하기 위해 강우량계, 각종 센서 및 감시카메라를 통합해서 설치하고 실측을 통하여 토석류의 흐름특성을 분석한 사례도 있으며 실질적인 토석류 특성 분석에 필요한 많은 자료를 제공하였다(Zhang et al, 1993; Arattano et al,1997; Berti et al, 2000; Hurlimann et al, 2003). 표 2에는 각 연구자별 관측내용을 소개하였다.

표 2. 토석류 흐름 특성 관측 사례

Researcher	Devices Used	Occurrence	Installation Location	Observation Period
Zhangl (1993)	rain gauge ultrasonic sensor radar speedometer strain gauge piezoelectric sensor geosound	34 times	Jiangjia Gully Station (Kunming, China)	1965~
Arattano et al (1997)	rain gauge ultrasonic sensor video camera	12 times	Moscardo Basin (Eastern Alps, Italia)	1984~
Berti et al (2000)	rain gauge piezometer geophone ultrasonic sensor hydraulic pressure cell pressure transducer video camera	4 times	Acquabona Watershed (Eastern Alps, Italia)	1997~
Hurlimann et al (2003)	rain gauge ultrasonic sensor geophone radar device video camera	4 times	Schipfenbach Station (Northern Alps) Illbach Station (Southern Alps, Switzerland)	1997 2000

### 3. 고속도로 토석류 발생 특징

경보시스템의 구축에 있어서 경보시스템의 설치위치를 결정하고 단계별 발령기준을 설정 할 필요가 있다. 설치위치는 토석류 발생가능성이 높고 토석류 발생 시 인적·물적 피해가 예상되는 지역이 적절하고 경보의 발령은 특정 기준의 강우를 초과하거나 토석류를 감지했을 때 발령하는 등의 세부적인 발령 기준을 수립하는 것이 필요하다.

토석류 발생은 유역내의 지형, 지질조건이 쉽게 파괴가 발생하는 조건에서 집중강우와 같은 외부유발요인이 발생 시 발생하는 것으로 간주할 수 있다. 이 연구에서는 토석류 발생가능성이 높은 위치의 선정을 위하여 과거 토석류가 발생한 유역의 지형적 특징을 분석하였고 토석류를 유발하는 강우기준을 결정하기 위하여 과거 토석류 유발 강우에 대한 내용을 분석하여 강우기준을 설정하였다.

### 3.1 토석류 발생 지형 특징

최근 5년간 고속도로에서 발생한 48개소의 지역에 대하여 지형도와 현장답사를 수행하여 조사를 수행하였으며 토석류가 발생하는 구역 내 지형특징을 파악하였으며 다음과 같은 특징을 지니는 것으로 나타났다(김경석, 2007b).

- 토석류 발생유형 ▶ 대부분 계곡형 토석류, 일부 사면형 토석류
- 지형적 특성 ▶ 급경사 비탈면을 따라 도로 인접한 구간의 계곡부
- 구역면적 ▶ 약 0.01 ~ 0.65km<sup>2</sup>의 범위
- 시작 지점 ▶ 지형경사 29 ~ 55° 범위, 1m 미만의 표면파괴
- 토석류 이동특성 ▶ 시작-이동-퇴적의 특징, 계곡경사 10~15°범위에서 퇴적시작
- 토석류 구성재료 ▶ 최대2m의 거석, 모래·자갈·세립분 및 유묵으로 구성
- 퇴적 토석량 ▶ 약 800 ~ 4,800m<sup>3</sup>범위, 구역내 지형 및 계곡상태, 강우특성에 의존
- 도로 피해 구간 ▶ 절토부 사이 계곡 및 횡단배수로 설치 구간

이를 참고하면 향후 어떠한 구역특성을 갖는 곳에서 토석류의 발생과 피해가 가능할지를 가늠할 수 있다. 하지만 이러한 결과는 과거 5년 동안 고속도로에 피해를 입힌 크고 작은 토석류의 특성에 대한 조사결과이며 토석류가 발생하는 지형적 특성과 발생규모가 강우강도 및 강우지속시간에 의해 달라질 수 있음을 염두에 두어야 한다. 즉, 동일한 지형적 특성을 가지더라도 강우량이 커지면 발생하는 토석류의 규모뿐만 아니라 시작위치, 구성재료, 이동특성도 달라질 수 있다.

### 3.2 토석류 유발 강우 특성

2002-2006년 5년간 토석류가 발생한 지역 인근의 기상관측소 시간단위 강우자료를 분석하였으며 표 3에 위치별 강우자료를 정리하여 나타내었다.

표 3. 토석류 발생구간의 기상관측 강우

위치	일시	발생개소	기상유형	관측소	24시간강우 (mm)	지속시간별 평균강우강도(mm/h)				
						1시간	2시간	6시간	12시간	24시간
1. 영동 대관령구간	'02.8.31	6	태풍루사	대관령(100)	701.5	60.5	52.0	41.4	36.3	29.5
2. 동해 강릉구간	'02.8.31	1	태풍루사	강릉(105)	870.5	98.0	77.0	66.6	48.0	36.7
3. 88선 22.5K지점	'03.8.19	1	집중호우	광주(156)	100.0	37.5	36.8	15.8	8.3	5.6
4. 구마선 3~9K	'03.9.12	3	태풍매미	대구(143)	187.0	36.5	26.0	14.7	8.1	7.8
5. 88선 61.0K지점	'04.8.18	1	태풍매기	남원(274)	218.0	34.0	27.0	21.5	16.8	9.1
6. 대전 덕유산	'05.8.3	7	집중호우	덕유봉(314)	312.0	55.0	55.0	41.8	26.0	13.0
7. 영동 평창구간	'06.7.15	19	집중호우	진부(560)	244.0	66.0	57.0	29.8	18.2	10.2
8. 88선 죽창SA	'06.7.18	8	집중호우	합천(285)	121.0	31.5	27.0	16.9	9.3	5.1

토석류는 시간당 30mm를 초과하는 강우 시 발생하는 것으로 나타나며, 24시간 기준으로는 약 100mm를 초과할 때 시작 가능한 것으로 나타난다. 특히 2002년의 태풍 루사와 2005년의 대전-진주간 고속도로 덕유산 구간, 2006년의 영동고속도로 평창구간의 경우는 시간강우 50mm이상, 24시간 강우 240mm의 매우 큰 강우가 발생하였으며 대규모의 토석류가 동시다발적으로 발생하여 큰 피해를 유발하였다. 이는 강우가 임계값에 도달하면 토석류가 시작되고 임계값을 초과하는 강우 시에는 지역적으로 토석류 발생 범위가 넓어지는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 강우자료 분석 결과는 경보시스템의 개발에 있어 임계강우기준을 설정하는데 활용하였다.

## 4. 경보시스템의 개발

### 4.1. 토석류 감지방법

토석류의 감지는 토석류 시작 또는 이동구간에서 토석류가 발생한 사실을 자동적으로 알아내는 것이다. 토석류 시작을 알아내기 위해서는 유역내 발생 가능한 지점을 모두 관측하는 것이 필요하지만 넓은 유역의 산악지역에서 이러한 관측을 실시하는 것은 현실적으로 어려우며 자연사면이 파괴되더라도 토석류가 발전할 것인지 파괴토피가 흐르지 않고 남아 있을지를 자동적으로 판단하는 것도 쉽지 않다.

국외의 토석류 관측에서는 이동경로에 토석류를 감지할 수 있는 다양한 형태의 감지 기구를 설치하는 방법이 이용된다. 주로 사용하는 감지 기구는 토석류 이동시 발생하는 소음, 진동을 측정하는 간접적인 방법이 주로 이용되고 있다. 하지만 이러한 방법들은 결과의 신뢰성이나 정확도가 떨어지며 실제 토석류가 발생한 것인지를 확인하기에는 한계가 있다. 일반적으로 강우 시 계곡부에는 홍수 유량이 흐르게 되고 토석류가 발생한 경우는 다량의 흙, 암석 및 물이 혼합되어 흐르게 되며 보다 신뢰성 있게 이러한 차이를 구분하여 감지할 수 있는 방안이 필요하다.

이 연구에서는 토석류를 보다 확실하게 감지하기 위한 방안으로서 계곡중앙부에 콘크리트 블록을 설치하고 콘크리트 블록에 장력계를 부착하는 방법을 고안하여 설치하였다. 콘크리트 블록의 크기와 중량을 조절함으로써 홍수 유량 발생에서는 콘크리트 블록이 움직이지 않지만 토석류 이동시에는 블록이 이동할 수 있도록 하여 토석류를 직접적으로 감지하는 방안을 개발하였다.

구체적으로 그림 2에서와 같이 계곡중앙부에 150kg의 콘크리트 블록을 바닥에 설치하고 이 콘크리트 블록에 장력계를 연결하는 방법이며, 콘크리트 블록이 토석류에 의해 이동하여 일정 값 이상의 변위가 발생하거나 연결선이 절단되는 경우 토석류를 감지하는 방법이다.

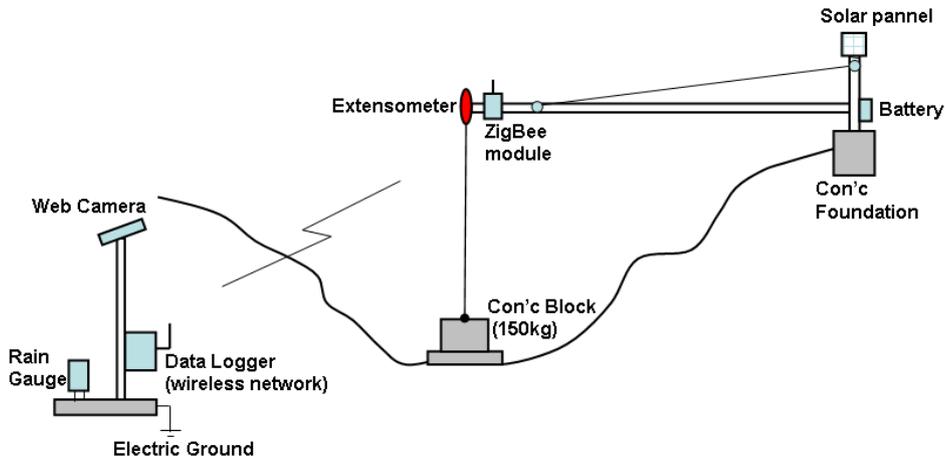


그림 2. 토석류 이동 감지 구성도

### 4.2. 경보 발령 기준

경보시스템에 사용된 경보 발령기준은 3단계로 구분되어 있으며 각각의 경보시마다 도로관리자에게 SMS문자로 현재의 경보상황을 송신하게 된다. 표 4에는 경보발령기준을 나타내었다.

표 4. 경보발령기준

경보단계	경보수준	측정값	경보발령조건	비고
1단계	주의보	강우	시간강우30mm, 24시간강우 100mm이상 동시만족	
2단계	경보	감지센서	장력계 20cm이상 변위 발생 또는 절단시	영상저장
3단계	발생	저장영상	관리자 저장 영상 확인	

1단계는 매분마다 측정된 강우를 이용하여 기준조건을 만족할 경우 강우주의보를 발령하는 단계이며 “강우주의-토석류 유발강우 발생-00고속도로 00K지점”의 SMS메시지를 자동으로 송신하게 된다. 설정된 강우기준은 24시간 누적강우가 100mm이상, 1시간 누적강우가 30mm이상을 동시에 만족하는 경우이며 매분 측정된 강우를 측정시점에서 과거1시간과 과거24시간 강우를 각각 누적 합산하여 계산한다. 강우주의보는 5분마다 기준조건을 만족하는 경우 연속2회까지만 발령하도록 설계되어 있다.

2단계는 토석류 감지센서를 이용하여 감지센서에 토석류 발생이 감지된 경우 토석류 경보를 발령하는 단계이며 “토석류경보-토석류 발생 감지-00고속도로 00K지점”의 SMS메시지를 자동송신하게 된다. 설정된 기준은 장력계가 20cm이상 늘어나거나 또는 신호가 감지되지 않는 경우로 하며, 매분마다 측정된 값을 확인하여 연속 2회까지 발령한다. 또한 2단계 신호가 발생하면 비디오카메라의 영상을 자동으로 저장하게 된다.

3단계는 관리자가 비디오카메라를 확인하여 수동으로 토석류 발생을 알리는 단계이다.

### 4.3 경보시스템 구성

개발된 토석류 감지기법과 경보발령기준을 이용하여 경보시스템을 구성하기 위해서는 현장에서 설치된 관측기기의 정보를 실시간으로 획득하고 이를 분석하여 경보신호를 발령시키는 체계가 필요하다.

토석류를 감시하는 현장 관측시스템은 토석류 감지장치, 강우량계, 비디오카메라, 데이터로거 및 무선송수신 장치로 구성되어 있다. 감지장치에 사용된 장력계는 Potentiometer형식이며 측정범위는 ±200mm로서 콘크리트블록에 연결된 피아노선의 연장여부를 감지한다. 강우량계는 기상청 검증규격으로서 Φ 200mm×H520mm크기의 Tipping Bucket형식으로서 Bucket의 용량은 0.5mm이며 1회 전도시마다 전기적 신호를 발생시키게 되고 매분마다 bucket의 전도회수를 헤아려 강우량을 산정한다. 비디오카메라(SDZ-330 기종)는 야간에도 최소한의 광원으로 촬영이 가능하며 광학줌 기능과 좌우상하 이동이 가능하다. 비디오카메라는 실시간 영상을 항상 관찰하며 감지센서에 토석류가 감지되거나 또는 관리자 임의로 영상을 저장할 수 있다.

계곡 중에 설치된 토석류 감지장치에는 지그비(ZigBee)무선송수신 장치가 부착되어 있으며 측정값을 데이터로거에 전송한다. 감지장치와 지그비장치는 태양전지와 배터리로부터 전원이 공급되도록 구성되어 있다. 강우량계와 비디오카메라 그리고 데이터로거는 토석류로부터 안전한 곳에 함께 설치되며 로거에 저장된 자료와 웹카메라의 영상은 무선통신으로 인근의 광대역망 분기점을 통해 데이터 서버로 전송된다.

서버는 지정된 시간간격마다 데이터로거와 통신하면서 토석류 감지상황, 강우자료를 저장하고 미리 설정된 경보 기준 초과 여부를 확인하여 조건 도달시에는 단계별 경보를 발령하게 된다. 사용자는 자료 서버에 웹으로 접근하여 저장된 자료를 확인할 수 있다.

### 4.4 설치사례

2006년 7월 영동고속도로 토석류가 발생한 구간 중 피해가 가장 크게 발생한 2개소에 시범적으로 경보시스템을 설치하였으며 그림 3에 설치한 설치내용을 나타내었다. 경시시스템은 토석류가 언제 발생할지 모르는 상황에서 항상 모니터링을 하고 있지만 현재 설치된 감시시스템이 실제 토석류 발생 시 당초 목표한 경보신호발령과 조기대응에 실질적인 효용성을 발휘할지는 아직 단정하기 어려운 상황이다.

경보시스템은 토석류 발생을 신속히 알려주는 역할을 하며 토석류를 방어하는 대책공법을 대체하는 기술은 아니라는 것을 명심해야 한다. 경보시스템이 효과적이기 위해서는 인력과 장비로 구성된 재해대응 조직과 연락체계가 수반되어야 하며, 평상시에 “경보시스템과 연계한 토석류 재해 조기대응훈련”과 같은 상황 훈련이 필요하다. 훈련 상황은 감지센서를 인위적으로 단절시켰을 때 재해대응 조직구성이 얼마나 신속하게 구성되고 현장대응을 수행하는가로 평가할 수 있을 것이다.



그림 3. 토석류 감시시스템 설치 사례

## 5. 결론 및 요약

토석류는 자연재해의 하나로서 발생규모는 유역의 규모 및 특징 그리고 발생하는 강우량에 따라 달라진다. 이러한 토석류재해에 효과적으로 대처하기 위해서는 사방사업과 방어구조물의 설치뿐만 아니라 피해가능지역의 개발제한, 토석류의 발생을 조기에 알려줄 수 있는 경보시스템의 설치 등이 있다. 이 연구에서는 국내 토석류 발생특징조사결과를 토대로 조기경보시스템을 개발하여 설치한 사례를 소개하였으며 주요 사항을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 토석류 경보시스템은 토석류의 발생 특성을 고려한 사전 경보 기준 및 실제 토석류 발생시의 감지방법 그리고 경보의 발령방법 등에 대한 체계가 필요하다.
- (2) 토석류는 발생가능한 특징을 갖는 유역에 집중강우가 내릴 경우 유발되며 조기 대응을 위해서는 유발기준을 설정하여 준비하도록 하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 강우를 유발요인으로 간주하고 최근 5년간 토석류 유발강우를 분석하여 시강우 30mm/h, 일강우 100mm/day를 동시에 만족하는 강우를 유발강우기준으로 설정하였다.
- (3) 토석류는 시작-이동-퇴적의 특성을 가지며 토석류의 효과적인 감지는 이동구간에 실질적인 토석류 이동을 감지할 수 있는 센서구조로 개발되는 것이 필요하다.
- (4) 토석류 경보체계는 관리자의 준비를 고려하여 다단계로 구성하는 것이 필요하며 본 연구에서는 강우 기준에 의한 1차주의보, 감지센서에 의한 2차 경보, 카메라 육안 확인을 통한 3차 경보체계로 구성하여 조기에 대응이 가능하도록 구성하였다.

이러한 경보체계의 구축은 토석류 피해를 조기에 인식하여 피해가능 지역의 주민이나 통행차량을 신속히 대피 또는 차단시키는데 활용할 수 있고 복구장비와 인력의 조기투입으로 도로나 철도의 장시간 차단을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 김경석, 장현익, 유병옥(2007a), “토석류 조사와 특성분석”, **2007 대한토목학회 가을학술대회 논문집 (CD)**, pp.759-762
2. 김경석, 장현익, 유병옥(2007b), “고속도로 토석류 피해저감을 위한 대책 연구”, **2007년도 연구보고서 07-GE-14**, 한국도로공사, 121pp.
3. 중앙재해대책본부(2003), **재해연보 2002**, 행정자치부 중앙재해대책본부, 서울
4. 중앙재해대책본부(2007), **재해연보 2006**, 행정자치부 중앙재해대책본부, 서울
5. Arattano, M., Deganutti, A.M., and Marchi, L.(1997), “Debris Flow Monitoring Activities in Instrumented Watershed on the Italian Alps”, *Proceedings of 1st International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation:Mechanics, Prediction, and Assessment*, edited by Chen C.L., San Francisco, USA, August, ASCE, pp.506-515
6. Berti, M., Genevois, R., LaHusen, R., Simoni, A., and Tecca, P.(2000), “Debris Flow Monitoring in the Acquabona Watershed on the Dolomites (Italian Alps)”, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Vol.25, No.9, pp.707-715
6. Caine, N.(1980), “The Rainfall Intensity-Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows”, *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, v.62, pp.23-27
7. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach P.(1999), “Landslide Hazard Evaluation: a Review of Current Techniques and Their Application in a Multi-scale Study, Central Italy”, *Geomorphology*, Vol.31, pp181-216
8. Hurlimann, M., Rickenmann, D., and Graf, G.(2003), "Field and Monitoring Data of Debris-flow events in the Swiss Alps", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.40, pp.161-175
9. Itakura, Y., Inaba, H., and Sawada, T.(2005), "Debris-flow Monitoring Devices and Methods Bibliography", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.5, pp.971-977
10. Keefer,K.D. et al,(1997), "Real-Time Landslide Warning During Heavy Rainfall", *Science*. v.238, n.4829, pp.921-925
11. Okuda,S., et al,(1977), "Synthetic Observation on Debris Flow, Part4. Observation at valley Kamikamihorizawa of Mt. Yakedake in 1977", *Annuals, DPRI, 21B-1*, pp.277-296
12. Lahunsen, R.(2005), "Debris-flow instrumentation", *Debris Flow Hazard and Related Phenomena*, edited by Jakob, M. and Hungr, O., Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, pp.291-304
13. Zhang, S.(1993), "A Comprehensive Approach to the Observation and Prevention of Debris Flows in China", *Natural Hazards*, Vol.7, pp.1-23