

확률 강우량을 이용한 고속도로 토석류 조기경보기준 제안 (2) : 기준의 조정 및 적용성 검토

최재순*

서경대학교 토목건축공학과 부교수

Proposal of Early-Warning Criteria for Highway Debris Flow Using Rainfall Frequency (2): Criteria Adjustment and Verification

Jaesoon-Choi*

Associate Professor, Department of Civil and Architectural Engineering, Seokyeong University

요약

선행연구에서는 강원지역을 대상으로 실제 고속도로 토석류가 발생한 지점의 시계열 강우정보와 강원지역의 강우정보를 이용하여 1시간, 6시간, 3일 확률 강우량을 고속도로 토석류 평가등급에 따라 강우기준으로 사용하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 선행연구를 통해서 선정된 3가지 강우기준의 적절한 조합과 토석류 평가등급에 따른 강우기준 조정을 통해 실제 고속도로 토석류 조기경보 기준을 제안하였다. 또한, 2013년 토석류가 발생한 5개 지점에 대해서는 강수량이 많았던 2010~2012년 시계열 강우자료를 이용하여 모의평가를 수행하였다. 연구결과, 적절한 조합의 고속도로 토석류 조기경보를 위한 기준이 마련되었으며 등급별 기준조정 시에는 토석류 평가등급 C, D, E의 경우는 현실적인 점을 고려하여 B등급의 값으로 통일하여 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 모니터링의 피로도가 문제가 되지 않는다면, 그 이상인 A 또는 S로 조정하는 것도 고속도로 토석류 발생에 대해 적극적으로 대처하는 방법이 될 수 있다고 판단된다.

핵심용어: 고속도로 토석류 조기경보 기준, 강우기준의 조합 및 조정, 토석류 모의평가

ABSTRACT

In the previous study, the rainfall data of 1 hour, 6 hours and 3 days were used as the rainfall criterion according to the grade to trigger the debris flow in the highway area, using the rainfall data of Gangwon area and the rainfall time-series data at the spot where the debris flow occurred. In this study, we propose an early warning criterion of the highway debris flow triggering through appropriate combination of three rainfall criteria selected through previous studies and adjustments of rainfall criterion in the highway debris flow triggering. In addition, simulations were conducted using the time-series rainfall data of 2010~2012, which had a large amount of precipitation for the five sites where debris flows occurred in 2013. As a result of the study, the criteria for the early warning of highway unsteadiness on the highway were prepared. In case of the grade-based adjustment, it is preferable to apply the unified rating to the grade B. Also, if the fatigue of the monitoring is not a problem, adjusting it to A or S may be a way to positively cope with the occurrence of highway debris flow.

Keywords: Early warning system for debris flow, Combination and adjustment of rainfall criteria, Simulation for debris flow

*Corresponding author: Jaesoon-Choi, geotech@skuniv.ac.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3951-0572>

Received: 23 May 2019, Revised: 13 June 2019, Accepted: 21 June 2019



1. 서론

산사태 또는 토석류를 유발하는 강우기준에 대해서는 Caine(1980)이 임계강우개념을 도입한 이래 많은 연구자들이 산사태 예·경보 기준을 제시하기 위한 연구들을 수행한 바 있다. 이들은 강우강도, 지속시간, 이전강우량, 총강우량 등의 값을 이용하여 임계강우를 구하고자 하였으나 산사태나 토석류는 강우뿐만 아니라 지역적인 지형, 지질, 식생상황과 기후특성에 의해서도 달라질 수 있으므로 단일화된 기준으로 제시하기는 어렵고 지역적 특성이 반영되어야만 한다고 결론을 짓고 있다. 국내에서도 과거 산사태 자료와 강우자료를 이용하여 임계강우자료를 찾고자 하는 연구가 수행된 바 있는데, Hong et al.(1990)은 1977년에서 1987년 사이의 주요 산사태와 강우자료 분석을 통해 산사태가 누적강우량과 강우강도 모두에 영향을 받고 발생 규모도 달라지는 것을 확인한 바 있다. 그는 소규모 산사태(1~3개소/일)는 최대시간강우강도가 10 mm/hr 이상, 누적강우량이 40 mm 이상, 중규모(4~19개소/일)는 각각 15 mm/hr 이상, 80 mm 이상, 대규모(20개소/일 이상)는 각각 35 mm/hr 이상, 140 mm 초과 시에 발생하는 것으로 제안하였다. 이 외에 산림청(Korea Forest Service, 2003)에서도 당일강우량 또는 시간강우, 2일 누적강우에 따라 산사태 주의보 또는 경보발령기준을 제시하고 있다. 하지만 이러한 연구는 산사태의 형태와 규모에 대한 구분이 명확하게 제시되어 있지 않는 문제점이 있다(Kim, 2009). 이러한 가운데, 2011년 우면산과 춘천에서 많은 인명이 희생되는 대규모 토석류가 발생하여 이에 대한 대책마련 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 토석류 발생이 빈번한 일본에서는 토석류 발생에 대한 모니터링 및 플랫폼을 만들어 상세하게 발생가능성을 예측하고 이에 대한 보수 보강 등을 통해 재해를 예방하고 있으며 대표적으로 기상청에서는 토사재해 경계정보를 기상예측정보와 함께 분석하여 직접 경계정보를 송출하고 있다. 이때, 기상청에서 이용하는 토사재해 위험도를 나타내는 지수는 토사우량지수와 1시간 최대강우량이다(www.jma.go.jp). 최근, 국내에서는 Park et al.(2018)은 연속강우기반의 도시지역 산사태 예경보 모델을 발표한 바 있는데 이때, 강우자료뿐만 아니라 공간적 변동성을 갖는 지형 및 지반특성이 고려된 것이 특징이다.

이 연구에서는 고속도로 토석류 조기경보에 이용할 강우기준의 선정을 위해 선행된 연구로부터 제시된 1시간, 6시간, 3일 강우량의 조합을 통해 적절한 조기경보기준을 제시하고 선행연구에서 문제점으로 제기된 한국도로공사 토석류 평가체계(Kim, 2009)에 의한 토석류 평가등급별 강우기준의 조정을 위해 다양한 경우의 등급조정을 통해 최종 조기경보 기준을 제시하고자 한다.

2. 강우기준을 이용한 고속도로 토석류 조기경보 기준의 조정 및 적용성 검토

2.1 1시간, 6시간, 3일 강우량 기준의 선정 및 문제점

이 연구에 앞서 수행된 선행연구를 통해 고속도로 토석류 조기경보 발령을 위한 강우기준으로 강원지역의 8개 관측소로부터 획득한 강우자료(http://www.k-idf.re.kr)를 통해 1시간, 6시간, 3일 확률 강우량이 선정되었다. Table 1의 값은 강우자료에 대한 확률 분석을 통해 토석류 평가등급에 따른 재현주기별 확률 강우량의 하한값에 해당된다.

Table 1. Rainfall criterion for early warning of highway debris flow

Division	1 hr rainfall (mm)		6 hrs rainfall (mm)		3 days rainfall (mm)	
	Range	Low limit	Range	Low limit	Range	Low limit
S	36.5~47.7	35	88.6~122.8	90	218.7~317.7	220
A	47.7~62.2	45	122.8~167.2	125	317.7~443.7	320
B	62.2~71.4	60	167.2~195.1	165	443.7~527.4	440
C	71.4~78.3	70	195.1~216.3	195	527.4~586.8	520
D	over 94.2	95	over 265.0	265	over 724.5	725

또한, 이 값을 기초로 하여 실제 고속도로 토석류 피해가 발생한 12개 지점에 대한 적용성 검토 결과, 토석류 평가등급이 S와 A에 대해서는 신뢰성이 높은 결과가 나타난 반면, 그 외의 등급에 대한 결과는 다소 차이가 나는 것으로 나타났다. 이를 종합하여 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2. Final result of assessment for debris flow triggering in the previous study

Division		1 hr	6 hrs	3 days
Daekwanryung (2002.8.31)	Grade S	○	○	○
	Grade D	X	X	X
	Grade E	X	X	X
Jinbu (2006.7.15)	Grade S	○	X	○
	Grade A	○	X	○
	Grade B	X	X	X
Chooncheon (2013. 7. 14)	Grade C	X	X	X
	Grade B	X	X	X
Hongcheon (2013. 7. 14)	Grade S	X	X	○
Buron (2013. 7. 22)	Grade B	X	○	X
Seolbong (2013. 7. 22)	Grade A	○	○	X
Daesin (2013. 7. 22)	Grade C	X	○	X

Table 2에 나타난 바와 같이, 3가지 강우기준은 토석류 발생 12지점 중 4지점의 토석류 발생을 각각 예측하였으며 평가등급에 따른 결과를 보면, S등급과 A등급은 100% 예측한 반면, B등급과 C등급은 50%의 예측을 나타내었고 D등급과 E등급은 결과 예측에 실패한 것으로 나타났다. 이로부터 3가지 강우기준의 조합을 통한 조정과 함께 등급에 따른 기준조정이 필요할 것으로 판단되어 이 연구에서는 조기경보 모의평가를 통해 적절한 조기경보 기준을 제안하고자 한다.

2.2 3가지 강우기준의 조합에 대한 조기경보 모의평가

Table 2의 결과를 보면, 토석류 발생을 예측한 7지점의 결과를 보면, 3가지 기준 모두가 만족한 경우는 1지점뿐이며 3가지 기준 중 2가지 기준이 예측한 경우는 3지점이고, 1가지 기준만이 만족한 경우는 3지점이다. 특히, 1시간 강우기준은 4지점 모두 다른 기준과 같이 예측을 한 것으로 나타났다. 따라서, 조기경보 기준을 마련하기 위해 1시간, 6시간, 3일 강우량 기준을 그대로 쓰기보단 적절한 조합을 통해 조기경보가 발령하는 것이 바람직할 것으로 판단되어 Table 3과 같은 2가지 조합에 대한 모의평가를 수행하였다.

Table 3. Early Danger for rainfall simulation evaluation criteria set CASE

Division	Caution	Danger
CASE 1	1 indicator of 1 hr or 6 hr or 3 day rainfall	2 indicator of 1 hr or 6 hr or 3 day rainfall
CASE 2	2 indicator of 1 hr or 6 hr or 3 day rainfall	3 indicator of 1 hr or 6 hr or 3 day rainfall

여기서, CASE 1의 주의(caution)경보는 3개의 강우량 기준 중 1개 이상이 기준치 이상을 넘으면 주의가 발령되는 것이며, 위험(Danger)경보는 2개 이상이 강우 기준을 넘을 경우에 경보가 발령되는 것이다. CASE2의 경우는 CASE1의 경우보다 1개의 조건이 더 많이 기준치 이상을 넘는 경우이다. 이상의 조건에 대해 토석류 조기경보 모의평가를 위해서 이 연구에서는

Fig. 1과 같은 스프레드 시트를 개발하였으며 기상청 AWS(automatic weather system)의 실시간 강우자료를 이용하였다. 이 때, AWS에서 받은 데이터는 10분 간격으로 정리된 15분 강우량의 변화이다.

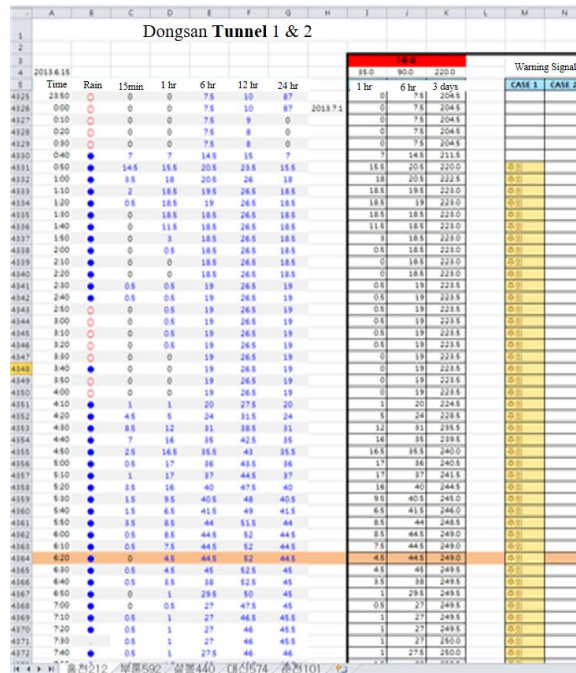


Fig. 1. Simulation spreadsheet for early warning alarm on the debris flow

Fig. 1의 왼쪽은 AWS에서 받은 15분 강우량을 이용하여 여러 강우지표인 1시간, 6시간, 12시간, 24시간의 강우량을 누적시켜 자료로 나타낸 것이며, 오른쪽의 내용이 Table 2의 내용을 스프레드시트 내에 입력하여 각 조건에 해당될 경우, IF문을 통해 그림에 나타난 바와 같이 주의 및 경보라는 사인을 표출하도록 한 것이다. 모의평가는 이 스프레드시트에 기상청 AWS를 통해 토석류 발생 전 30일의 강우자료를 입력하여 조합CASE별 구분하여 위험등급별 강우량기준을 적용하여 주의, 경보가 발령하는지에 대하여 확인하였으며, 이를 정리하여 Table 4와 같다.

Table 4. Results of early warning alarm from the 30 days simulation using AWS rainfall data

Division		CASE 1		CASE 2	
		Caution	Danger	Caution	Danger
Daekwanryung	Grade S	Caution	Danger	Caution	Danger
	Grade D	.	.	.	.
	Grade E	.	.	.	.
Jinbu	Grade S	Caution	Danger	Caution	.
	Grade A	Caution	Danger	Caution	.
	Grade B	.	.	.	.
Chuncheon, Grade B	Grade C	.	.	.	.
	Grade B	.	.	.	.
	Grade S	Caution	.	.	.
Buron, Grade B	Grade S	Caution	.	.	.
	Grade B	Caution	.	.	.
	Grade A	Caution	Danger	Caution	.
Daesin, Grade C	Grade C	Caution	.	.	.
	Grade B	Caution	.	.	.
Total		7	4	4	1

Table 4의 결과를 보면, CASE 1의 경우가 CASE2의 경우보다 실제 토석류가 발생한 지점의 경우를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

2.3 토석류 평가등급에 기초한 강우기준의 조정에 대한 조기경보 모의평가

모의평가 결과 시, 위험등급이 낮은 경우인 B, C, D, E등급은 조기경보 발령의 신뢰성이 다소 떨어지는 점을 확인할 수 있었다. 우리 나라에서 발생하였던 산사태 발생위치와 강우 강도를 분석해 본 자료에 의하면 우리나라는 어느 한계 이상의 강우가 있으면 거의 전국 어디에서나 산사태가 발생할 수 있으며, 거의 공통적으로 2일 누적강우량이 200 mm 이상이거나 최대 시간강우량이 30 mm 이상이 되면 한 지역에서 수많은 산사태가 발생하는 것으로 보고되었다(Hong, 1990). 그러나 현재의 평가 시스템상 위험등급에 따른 재현주기별 강우량을 적용하게 되면 위험등급이 낮은 경우 그 강우량의 재현주기가 100년 이상인 경우로 그 양이 상당히 비현실적이게 된다. 따라서 조기경보 발령 기준은 일정 이상의 위험등급까지만 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이러한 사실을 확인하기 위해 CASE 1을 사용하여 다양한 등급의 조정을 통해 Table 5와 같이 위험등급별 기준 조정에 따른 결과를 획득하였다.

Table 5. Simulation result according to the adjustment of rainfall criteria

Division		Grade S (S = A/B/C/D/E)		Grade S,A (A=B/C/D/E)		Grade S,A,B (B=C/D/E)		Grade S,A,B,C (C=D/E)	
Daekwanryung	Grade S	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger
	Grade D	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	.	.	.
	Grade E	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	.	.	.
Jinbu	Grade S	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger
	Grade A	Caution	Danger	Caution	.	Caution	Danger	Caution	Danger
	Grade B	Caution	Danger	Caution	.	.	.	.	.
	Grade C	Caution	Danger	Caution	.	.	.	.	.
Chuncheon, Grade B		Caution	Danger	Caution	.	.	.	.	.
Hongcheon, Grade S		Caution	.	Caution	.	Caution	.	Caution	.
Buron, Grade B		Caution	Danger	Caution	.	Caution	.	Caution	.
Seolbong, Grade A		Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger
Daesin, Grade C		Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	Danger	Caution	.
Total		12	11	12	6	9	5	7	4

여기서, S등급 적용이란 현장조사 시 토석류 위험등급이 A, B, C, D, E등급이 선정되었더라도 강우량 기준은 위험등급 S에 해당하는 강우기준을 사용하고 S, A등급 적용은 B, C, D, E등급의 경우, A등급 강우 기준을 적용하는 것이다. 또한, S, A, B등급 적용은 C, D, E등급의 경우, B등급 강우 기준을 적용하는 것이며 S, A, B, C등급 적용은 D, E등급의 경우, C등급 강우 기준을 적용하는 것이다. 이상의 결과를 종합하여 나타내면 Table 5와 같다.

위험등급의 기준 조정을 통한 모의평가 결과, 위험등급의 기준을 한단계씩 조정할수록 실제 토석류가 발생한 경우를 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 특히, 위험등급 C, D, E를 B등급 기준으로 통일한 경우부터 주의 및 위험경보의 횟수가 늘어나기 시작하여 최종 위험등급 전체를 S등급으로 통일한 경우에는 실제 토석류가 발생한 지점에 대한 조기경보가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 고속도로 토석류 조기경보를 위한 강우기준은 토석류 평가등급에 따라 일괄적으로 적용하는 것이 아니라 적절한 등급의 조정을 통해 강우기준을 선정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2.4 토석류 미발생시기의 강우자료를 이용한 토석류 조기경보 모의평가

지금까지 토석류 조기경보 모의평가는 실제 토석류가 발생한 시기인 2002년 8월, 2006년 7월, 그리고 2013년 7월의 강우자료를 대상으로 한 것이다. Fig. 2에 나타난바와 같이 기후통계자료를 제공하고 있는 기상자료개발포털(<https://data.kma.go.kr>)으로부터 대관령 관측소의 2010~2013년 6월부터 9월의 강우통계자료를 보면 2013년 7월보다 강수량이 많은 경우도 있고 하절기보다 9월에 강수량이 많은 점을 볼 수 있다.

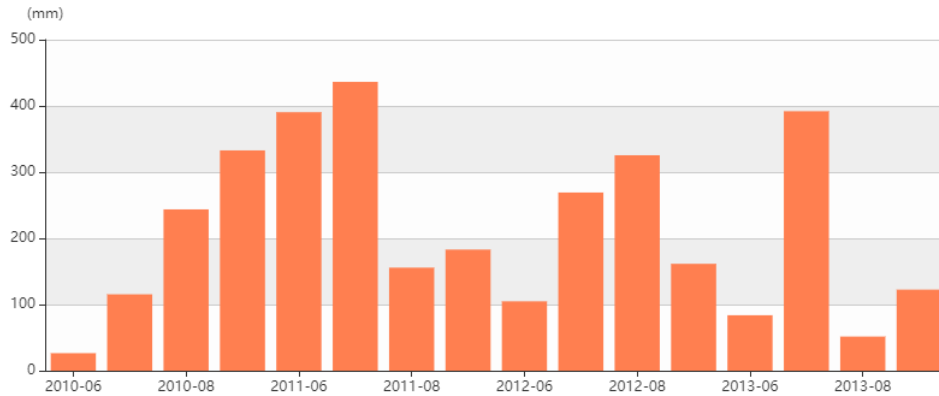


Fig. 2. Monthly rainfall statistics in Daekwanryung (2010-2013) (<http://data.kma.go.kr>)

이러한 점을 고려하여 이 연구에서는 실제 토석류 발생년도인 2013년 외에 기상청 AWS에서 자료제공이 가능한 2010년부터 2012년의 시계열 강우자료에 대해 토석류 모의평가를 실시하였다. 이때, 강우자료는 해당년도의 최대강우 발생 전 30일의 자료를 이용하였다. 각 지역에 대한 최대강우를 정리하여 나타내면 Table 6과 같다.

Table 6. Maximum rainfall of debris-flow nonoccurrence year (<http://data.kma.go.kr>)

Division		2010year		2011year		2012year	
		Date	Max. rainfall	Date	Max. rainfall	Date	Max. rainfall
Chooncheon	1 hr		59		43.5		33.5
	6 hrs	9.10	105.5	7.26	155	8.15	67
	3 days		225		159		108
Hongcheon	1 hr		21		36		43
	6 hrs	9.21	51.5	7.27	82	8.15	94
	3 days		96.5		183.6		159
Buron	1 hr		75.5		27		27.5
	6 hrs	7.21	155	7.30	63	8.3	82.5
	3 days		165.5		144.5		140
Seolbong	1 hr		63.5		51		55.5
	6 hrs	7.21	120	7.26	131.5	7.6	163
	3 days		140.5		218.5		257
Daesin	1 hr		80.5		47.5		52.5
	6 hrs	9.21	174.5	7.27	163.5	7.6	152
	3 days		216		300.5		230.5

또한, 최종 모의평가 결과는 Table 7과 같다.

이 연구에서는 총 25개 지점 중 2개 지점의 각 2개소를 선택하여 4년의 강우자료를 대상으로 모의평가를 수행하였으며 2개 지점에 대한 2011년부터 2014년까지의 강우특성에 관한 내용을 요약정리하면 Table 8과 같다.

Table 8. Rainfall data in early warning simulation of debris flow triggering in Yongdong highway line

Observatory (position number)	2011		2012		2013		2014	
	Max. rainfall (mm)	Day	Max. rainfall (mm)	Day	Max. rainfall (mm)	Day	Max. rainfall (mm)	Day
Daekwanryung (100)	126.5	6/24	123.5	7/6	122	7/15	127	8/10
Ansan (545)	176.5	7/3	245.5	7/6	108.5	9/13	157	7/18

Table 8에 나타난 최대 강우발생 시점으로부터 전후 7일 총 15일에 대한 모의평가를 실시하였으며 그 결과, 각 해당년도에 해당하는 모의평가결과는 다음과 같다.

Table 9. Simulation result of Yongdong line

year	Point	Grade	Observatory	Max. Rainfall	Term of days	Grade S/A/B		Grade S	
						C	D	C	D
2011	No.16	A	Ansan	176.5 mm	6.26~7.10	3	·	5	1
	No.22	B	Ansan	176.5 mm	6.26~7.10	2	·	5	1
	No.379	S	Daekwanryung	126.5 mm	6.17~6.31	5	·	5	·
	No.384	A	Daekwanryung	126.5 mm	6.17~6.31	3	·	5	·
2012	No.16	A	Ansan	245.5 mm	6.29~7.13	2	1	3	1
	No.22	B	Ansan	245.5 mm	6.29~7.13	2	1	3	1
	No.379	S	Daekwanryung	123.5 mm	6.29~7.13	1	·	1	·
	No.384	A	Daekwanryung	123.5 mm	6.29~7.13	1	·	1	·
2013	No.16	A	Ansan	108.5 mm	9.6~9.20	1	1	2	1
	No.22	B	Ansan	108.5 mm	9.6~9.20	1	·	2	1
	No.379	S	Daekwanryung	122 mm	7.8~7.22	3	·	3	·
	No.384	A	Daekwanryung	122 mm	7.8~7.22	3	·	3	·
2014	No.16	A	Ansan	157 mm	7.11~7.25	1	1	3	1
	No.22	B	Ansan	157 mm	7.11~7.25	1	·	3	1
	No.379	S	Daekwanryung	127 mm	8.3~8.17	1	·	1	·
	No.384	A	Daekwanryung	127 mm	8.3~8.17	1	·	1	·

여기서, 횡수는 총 15일의 기간 중 6시간 이상의 간격을 둔 발령횡수를 의미하며 발령간격이 6시간 미만인 경우에는 하나의 발령으로 구분하였다. 평가결과, 비교적 경보 발령횡수가 적은 2014년의 경우, 다른 년도보다 강수량이 적어 발령횡수가 적게 나온 것으로 판명되었다. 등급 조정의 경우, 다소 차이를 보이기는 하였으나 등급 C, D, E를 등급 B로 통일한 경우에도 적절한 조기경보가 발령됨에 따라 이 기준을 사용하는 점에 대해서도 크게 무리는 없을 것으로 보이며 향후 모의평가의 수행 및 피해사례와의 비교분석이 추가된다면 좀더 효과적인 등급의 조정이 가능할 것으로 판단된다.

3. 결론

이 연구에서는 본 연구에서는 한국도로공사의 토석류 평가표의 위험등급별 위험정도에서 제시한 재현주기에 따라 확률 강우량 범위내에서 하한값으로 1시간, 6시간, 3일 강우량의 정량적인 강우량 기준을 제시하였다. 또한, 1시간, 6시간, 3일 강우량의 다양한 조합으로 모의평가를 수행하였으며, 이때 이를 위한 스프레드 시트를 개발하여 고속도로 토석류를 유발한 피해지역 7개 노선 12개 지점에 대하여 조기경보에 대한 모의평가를 수행하였다. 또한, 토석류 미발생시의 강우자료를 이용한 모의평가를 통해 적용성 여부를 검토하였으며 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 2가지 CASE를 설정하여 조기경보에 대한 모의평가를 분석 결과, 조기경보에 이용되는 강우기준은 1시간, 6시간, 3일 강우기준에서 1가지를 만족하였을 경우에는 주의경보를 발령하고 2가지 이상 만족한 경우에는 위험경보를 발령하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
2. 토석류 평가등급 조정에 따른 모의평가 결과 시, 위험등급이 낮은 경우인 경우 조기경보 발령이 안 되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 조기경보 발령 기준은 일정 이상의 위험등급까지만 사용하는 것이 바람직하다고 판단되며 최소한 C, D, E등급은 B등급 기준으로 통일하여 적용할 필요가 있다고 판단되며 S등급으로 통일하는 조정에 대해서는 보다 많은 모의평가를 통해 그 수준을 결정할 필요가 있다고 판단된다.
3. 추가적으로 더 많은 토석류 피해지역의 자료수집과 다양한 CASE설정으로 모의평가를 진행한다면 조기경보를 위한 강우기준의 신뢰성이 더욱 높아질 것으로 판단되며 이 기준의 적용을 통한 모의평가 및 실시간 모니터링을 수행한다면 향후 고속도로에서의 발생할 토석류에 대해 유효적절하게 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgment

이 연구는 행정안전부의 재난안전 취약 핵심역량 도약기술 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2019-MOIS33-005).

References

- Caine, N. (1980). The Rainfall Intensity: Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*. 62(1/2): 23-27.
- Hong, W. P., Kim, S. K., Han, J. G. (1990). Prediction of Rainfall-triggered Landslides in Korea. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*. 6(2): 55-63. (in Korean)
- JMA (Japanese Meteorological Agency). www.jma.go.jp, Ministry of Land, Infrastructure, Trnasport and Tourism.
- Kim, K. S. (2009). Development of Debris Flow Hazard Analysis Method and Its Application. Expressway & Transportation Research Institute Research Report. (in Korean)
- KIGAM (2003). Landslide Prediction and Prevention Technology Research. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources. (in Korean)
- KIGAM, <https://data.kma.go.kr>. Weather Data Release Portal.
- KIGAM, www.weather.go.kr, AWS (automatic weather system).
- Korea Forest Service, Landslide Information Systems. (<http://sansatai.forest.go.kr>)
- Ministry of land, Infrastructure and Transport, Korea Precipitation Frequency Data Server. (<http://www.k-idf.re.kr>)
- Park, J. Y., Lee, S. R., Lee, D. H., Kim, Y. T., Oh, S. B., and Park, H. J. (2018). Development of Continuous Rainfall-Based Citywide Landslide Early Warning Model. *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*. 18(1): 99-111. (in Korean)

Korean References Translated from the English

김경석 (2009). 고속도로 토석류 위험지 분석기법 개발 및 적용기준 수립, 한국도로공사 연구보고서.

박준영, 이승래, 이득환, 김윤태, 오세봉, 박혁진 (2018). 연속 강우기반의 광역도시 산사태 예·경보 모델 개발. 한국방재학회 논문집. 18(1): 99-111.

홍원표, 김상규, 한중근 (1990). 강우로 기인되는 우리 나라 사면 활동의 예측. 한국지반공학회 논문집. 6(2): 55-63.