

ORIGINAL ARTICLE

급경사지 주민대피를 위한 강우기준 설정에 관한 연구

서창우 · 박기범*

경일대학교 스마트 인프라 대학 건설방재공학과

Establishing rainfall Evacuation Criteria for residents of steep slopes

Chang Woo Seo, Ki Bum Park*

Department of Disaster Mitigation for Infrastructure of Kyungil University, Gyeongsan 38428, Korea

Abstract

In this study, not only the increase in rainfall for a short period of time but also the increase in rainfall for a longer duration is frequently occurring according to climate change. Changes in rainfall patterns due to climate change are increasing damage to steep slopes. The Ministry of Public Administration and Security has been operating the criteria for evacuation of residents in steep slopes since 2015. However, the damage to steep slopes due to torrential rains in 2020 has been increasing. In this study, rainfall data from areas affected by steep slopes from 1999 to 2020 were collected and compared with the existing criteria(2015) for evacuation of residents at steep slopes of the Ministry of Public Administration and Security, and the status of the issuance of resident evacuation forecast was compared. Through this study, the rainfall criteria for each region were calculated and presented by reflecting the rainfall characteristics of the steep slope destruction area due to climate change, and it is believed that it can be used as a standard rainfall to reduce human casualties in the steep slope area in the future.

Key words : Steep slope, Rainfall criteria, Residents evacuation criteria, Climate change.

1. 서론

최근의 기후변화에 따른 강한 강우강도의 집중호우 발생이 증가하고 2020년 장마와 같이 역대 최장기간 54일간 중부지방에 장마가 지속되어 많은 지역에 산사태와 토사유출 사고가 발생하였다. 특히 장기간의 많은 강우로 인해 사람이 살고 있는 인가 상류에 위치한 급경사지역과 산지지역에 토사가 유출되거나 붕괴로 인해 많은 인명피해가 발생하였다. 급경사지는 강우가 발생할 경우 붕괴에 대한 위험은 더욱 커지게 되어 지반의

변위가 발생하여 대규모 토사유출이나 사면붕괴 등으로 하류지역에 피해를 발생시킨다. 특히, 하류지역에 주민들이 있는 경우에 인명피해와 주택파손과 같은 피해가 발생할 수 있다.

전국에는 2020년 기준 10,086개의 급경사지가 행정안전부 공공데이터 포털에 등록되어 관리되고 있다 (<https://www.data.go.kr/>). 2020년 지자체별 급경사지 붕괴현황에서 강원도가 103건 발생하였으며, 전체 붕괴건수 208건에서 B등급 이상의 급경사지에서 53건이 붕괴가 발생하였다(MOIS, 2022). 따라서 급경

Received 5 September, 2022; Revised 6 October, 2022;

Accepted 9 November, 2022

*Corresponding author : Ki Bum Park, Department of Disaster Mitigation for Infrastructure of Kyungil University, Gyeongsan 38428, Korea
Phone : +82-53-600-5422
E-mail : pkb5032@kiu.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Steep slope damage(1999~2020)

Year	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Sum
1999	4	0	2	2	0	8
2000	0	0	5	0	0	5
2001	2	0	3	0	0	5
2002	4	0	0	5	0	9
2003	0	0	0	1	0	1
2004	2	0	0	0	0	2
2005	0	0	0	1	0	1
2006	11	0	2	0	0	13
2007	3	1	0	0	2	6
2008	2	1	2	1	0	6
2009	2	91	4	6	13	116
2010	7	9	50	4	32	102
2011	1	36	92	47	13	189
2012	7	128	2	29	21	187
2013	52	0	2	0	0	54
2014	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0
2016	0	4	0	0	0	4
2017	0	0	0	3	0	3
2018	0	2	4	3	2	11
2019	1	0	0	0	1	2
2020	24	11	13	34	42	124
Sum	123	285	184	140	131	848

**Fig. 1.** district classification at study area.

사지의 붕괴에서 강우의 영향이 크게 작용하며, 행정안 전부에서는 급경사지 주민대피 관리기준을 강우와 계 측기준으로 운영하고 있다.

급경사지 주민대피 강우기준에 대한 연구는 국내외 로 많이 이루어지고 있다. Ascanio et al.(2012)는 통 계적 기법을 활용하여 강우강도와 지속시간의 기준에 따른 강우를 5단계로 구분하여 산사태가 발생할 확률을 제안한 바 있다. Hitoshi et al.(2010)은 일본의 사면붕 괴 자료를 이용하여 강우가 발생한 후 산사태 발생까지 의 시간과 평균강우강도를 정의하여 제시하였다. 국민 안전처(2015)에서는 급경사지 주민대피 체계관리 시스 템의 연구에서 지역별로 강우특성의 편차가 크므로 지 역특성에 적합한 강우기준의 필요성을 제안하였다. Choi et al.(2019)는 급경사지 붕괴 예경보시스템 연구 에서 연속강우 등 5 종류의 모델을 비교 연구하였다. Ryu et al.(2013)은 지역별 강우량 기반의 급경사지 붕

괴에 대한 예보기준을 연구하여 15분, 1시간, 1일강우 량, 2일 강우량에 대한 상관관계와 기준 강우량을 제시 하였다.

Seo and Park(2022)는 급경사지 하류지역의 주민 대피를 위한 강우기준을 설정하는 연구를 한 바 있으며, Kim et al.(2021)은 전국의 급경사지 붕괴지역의 강우 를 수집하여 강우특성을 분석한 바 있다. Park et al.(2021)은 급경사지 붕괴지역에 강우기준 기반의 주 민대피 위험기준을 평가하였다. 급경사지 재해위험을 평가시스템을 구축하기 위해 권역별 강우 특성에 대한 연구를 수행하였으며(NDMI, 2019), 전국단위의 급경 사지 붕괴유형에 따라 24시간 누적강우량 기준으로 예 경보 기준을 설정하여 제안하였다. 또한 2전국단위의 강우기준을 설정하여 15분, 1시간, 1일 누적강우량, 2 일 누적강우량 기준으로 주의보와 경보 기준강우량을 제시하였다(NDMI, 2020).

Table 2. Steep slope evacuation rainfall criteria

(Units : mm)			
Zone1	1hr	24hr	48hr
Attention	17	34	63
Alert	21	55	81
Warning	27	104	149
Evacuation	38	148	218

Table 3. Steep slope evacuation rainfall criteria

(Units : mm)			
Zone2	1hr	24hr	48hr
Attention	13	74	88
Alert	15	85	94
Warning	24	129	153
Evacuation	34	166	210

Table 4. Steep slope evacuation rainfall criteria

(Units : mm)			
Zone3	1hr	24hr	48hr
Attention	19	24	34
Alert	25	48	79
Warning	40	143	181
Evacuation	60	203	266

Table 5. Steep slope evacuation rainfall criteria

(Units : mm)			
Zone4	1hr	24hr	48hr
Attention	17	22	74
Alert	20	41	92
Warning	34	88	118
Evacuation	44	120	155

Table 6. Steep slope evacuation rainfall criteria

(Units : mm)			
Zone5	1hr	24hr	48hr
Attention	17	53	76
Alert	20	70	98
Warning	32	131	150
Evacuation	45	169	213

현재 급경사지 지역 주민대피에 대한 기준은 행정안전부에서 운영하고 있는 “급경사지 붕괴위험지역- 주민대피 관리기준 제정·운영 지침-, 2015,” 가 있다. 이

지침에는 급경사지 위험지역에 대한 주민대계획을 시군구청장이 수립하도록 하고 있으며, 15분, 1시간 최대강우량과 1일, 2일 누적강우량 기준과 지반거동에 대한 계측 기준을 가지고 주민대피 기준을 운영하고 있다. 여기에서 사용된 급경사지 피해 강우사례는 1999~2013년까지의 704건의 사례를 가지고 검토된 강우기준이다.

그러나 2020년 집중호우에 의해 많은 급경사지 피해가 발생하였으며, 특히 B등급 이상의 급경사지 피해가 빈번하게 발생함에 따라 최근의 강우양상을 반영한 급경사지 주민대피 강우기준에 대한 검토가 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 1999년부터 2012년 자료 704건의 강우사상을 활용하여 제시된 2015년 행정안전부의 급경사지 지역 주민대피를 위한 강우기준과 1999년부터 2020년 까지 급경사지 피해지역의 848건의 강우자료를 이용하여 산정한 강우기준을 비교한 후 급경사지 주민대피 예·경보의 개선사항을 비교·검토하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 전국의 1999년부터 2020년 까지 행정안전부에 보고된 급경사지 피해 848건을 대상으로 하였다. 분석을 위해 Zone 1은 강원도 지역, Zone 2는 경상남북도, Zone 3은 서울과 경기도, Zone 4는 충청남북도, Zone 5는 전라남북도 지역으로 구분하였다. 1999~2020년간 행정안전부에 보고된 급경사지 총 피해건수는 848건으로 경상남북도의 Zone 2가 283건으로 가장 많은 피해가 발생하였으며, 2020년 피해는 충청남북도 지역인 Zone 4에서 가장 많은 34건의 피해가 발생하였다.

본 연구에서 1999년부터 2020년 까지 발생한 급경사지 피해사례 854 건에 대해 지역별로 분류하여 분석하였다. 급경사지 붕괴지점의 강우자료를 수집하여 한 결과 1시간, 24시간, 48시간에 대한 급경사지 붕괴 Table 1은 각 Zone 별로 1999년부터 2020년 까지 년도 별로 발생한 피해현황을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 급경사지 붕괴 강우의 현재의 행정안전부 급경사지 주민대피 강우기준은 관심-주의-경계-

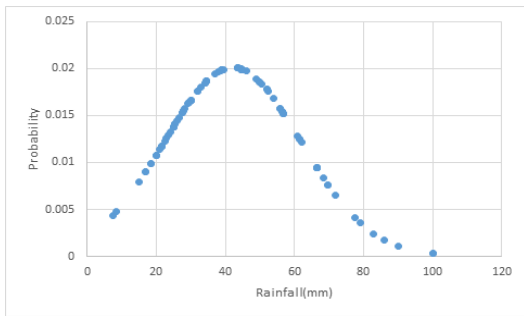


Fig. 2. Normal probability distribution at Zone1(1hr).

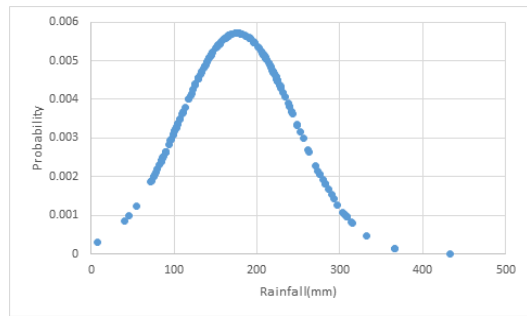


Fig. 6. Normal probability distribution at Zone2(24hr).

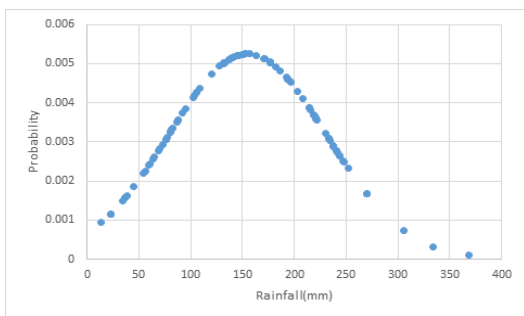


Fig. 3. Normal probability distribution at Zone1(24hr).

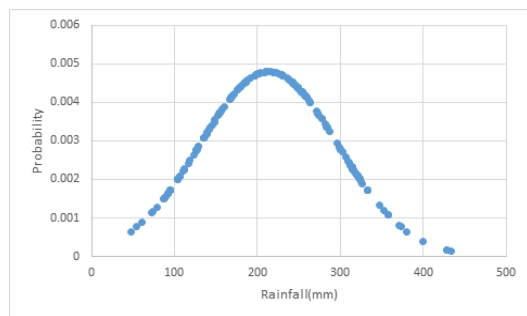


Fig. 7. Normal probability distribution at Zone2(48hr).

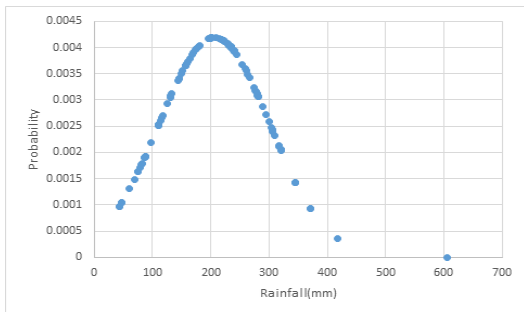


Fig. 4. Normal probability distribution at Zone1(48hr).

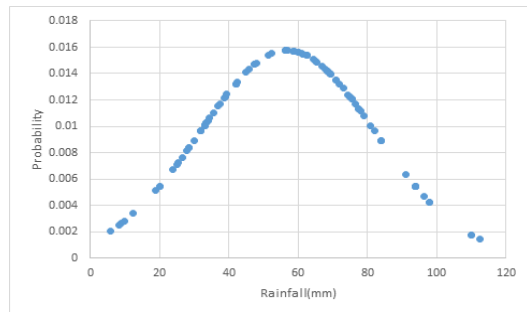


Fig. 8. Normal probability distribution at Zone3(1hr).

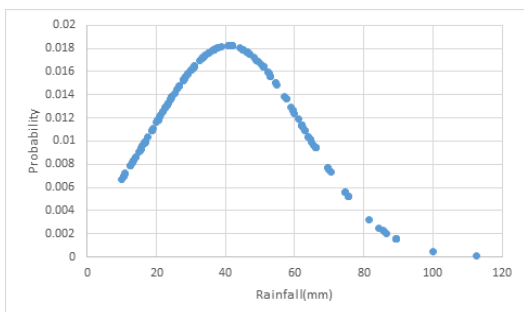


Fig. 5. Normal probability distribution at Zone2(1hr).

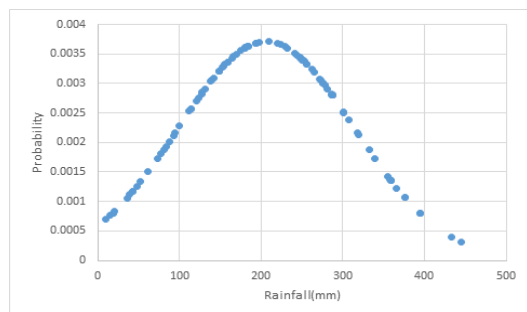


Fig. 9. Normal probability distribution at Zone3(24hr).

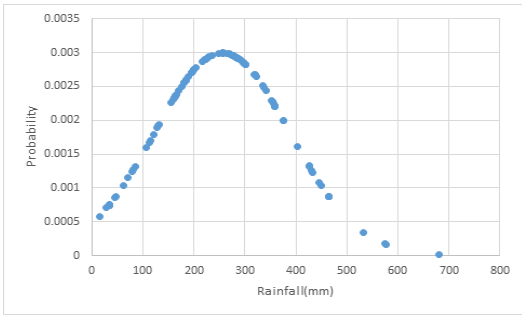


Fig. 10. Normal probability distribution at Zone3(48hr).

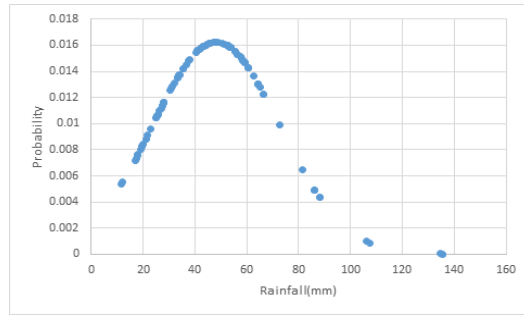


Fig. 14. Normal probability distribution at Zone5(1hr).

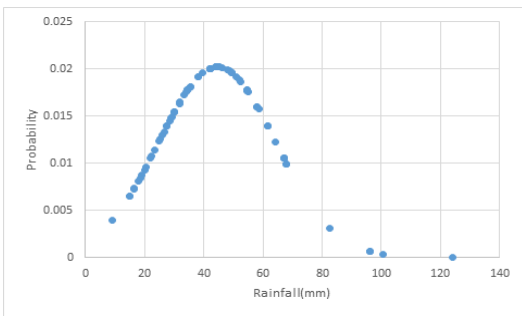


Fig. 11. Normal probability distribution at Zone4(1hr).

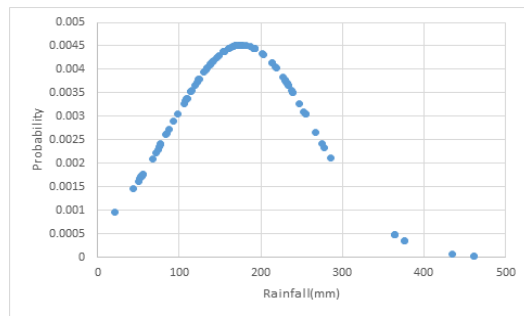


Fig. 15. Normal probability distribution at Zone5(24hr).

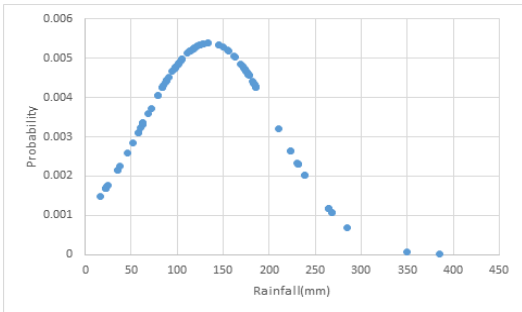


Fig. 12. Normal probability distribution at Zone4(24hr).

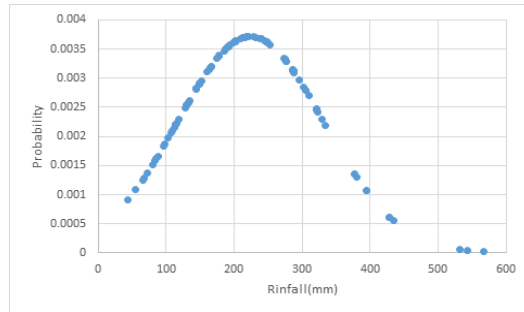


Fig. 16. Normal probability distribution at Zone5(48hr).

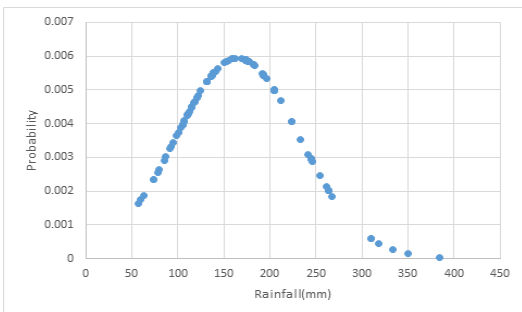


Fig. 13. Normal probability distribution at Zone4(48hr).

심각 단계로 설정되어 있으며, 강우기준은 파괴확률이 5%, 10%, 30%, 50%로 각각 설정되어 있다. 본 연구에서 1999~2020년 간의 848건의 급경사지 피해지역의 강우자료를 1시간, 24시간, 48시간 지속시간으로 수집하여 정규확률분포를 이용하여 정규화하였으며, 피해 확률 5%, 10%, 30%, 50%에 해당하는 강우량을 산정하였다. 주민대피를 위한 강우기준을 각 Zone 별로 강우 지속시간 1시간, 24시간, 48시간 별로 산정하였으며, 그 결과는 다음 Table 2~Table 6 과 같다.

Fig.2~Fig.16은 1999년부터 2020년 까지의 Zone

별 급경사지 붕괴지점의 1시간, 24시간, 48시간 지속 강우 관측자료를 수집하여 정규분포한 것이다. 정규분포하여 파괴확률에 해당하는 값을 산정하여 본 연구의 관심-주의-경계-심각에 해당하는 5-10-30-50%에 해당하는 강우량을 산정하였다.

본 연구에서 분석결과와 급경사지 주민대피를 위한 기준강우(2015)와 재난연구원(2020)의 연구결과를 비교하면 본 연구의 연구결과가 대체로 중간 값을 나타내고 있는 바 이는 주민대피를 위해 예·경보 차원의 값이므로 강우기준 값이 클 경우에는 급경사지 피해가 발생한 후에 주민대피 예경보가 발생할 확률이 커지고, 강우값이 적을 경우 피해가 발생하지 않더라도 주민대피 예경보가 발생하는 경우가 발생하게 된다. 그러나 본 기준 강우의 목적이 급경사지 지역주민의 안전과 생명을 보호하는 것이 목적이므로 피해가 발생하기 전에 주민대피 예경·보를 발령하여 생명을 보존하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서 산정된 급경사지 주민대피 강우 기준과 기존의 행정안전부(2015) 주민대피 강우기준을 관심-주의-경계-심각 단계의 강우기준으로 발령되었다고 가정한 상황을 비교하였다. 그 결과 심각단계의 발령회수가 본 연구에서 제시한 강우기준에서의 기존의 강우기준보다 횟수가 줄게되고 주의-경계 단계의 발령 횟수는 증가하는 것으로 나타났다.

Table 12~Table 16은 각 Zone 별로 예경보 발령수의 변화를 제시하였다.

강원권 지역인 Zone 1의 경우 기존의 주민대피 기준보다 본 연구의 강우기준을 적용할 경우 1시간 기준으로는 강우 예·경보 발령기준 미달이 1회이고, 관심단계가 2회 증가하고 주의단계가 1회 감소하고 경계단계는 5회 감소, 심각단계는 3회 증가하는 것으로 분석되었으며, 24시간 기준의 경우는 관심단계와 주의단계는 2회 증가, 경계단계는 4회 증가하였으나 심각 단계는 8회 감소하는 것으로 나타났다. 48시간의 경우 강우기준 미달이 1회, 관심단계는 1회 감소, 주의단계와 경계단계는 3회 증가, 심각단계는 6회 감소하여 기존 주민대피 강우기준(2015, 행정안전부) 보다 강우량이 크게 산정된 지역인 Zone 1, Zone 4, Zone 5는 심각단계가 감소하고 경계, 심각 단계등이 증가하는 형태로 나타났으며, 급회 기준강우량이 낮게 산정된 지역인 Zone 2, Zone 3의 경우는 심각 단계가 증가하고 관심 주의단계가 증가하는 형태로 나타났다.

2015년 제정된 행정안전부 기준과 2020년 재난연구원에서 전국단위별 24시간 누적강우량을 산정한 것과 본 연구에서 산정된 결과와 비교하였다. 산정된 단계별 24지속시간 강우량 기준은 Table 7~Table 11에 나타내었다.

Table 7. Comparison of steep slope evacuation rainfall criteria(24hr) (Units : mm)

Zone1	2015	2020	This Study
Alert	39	89	55
Warning	88	131	104
Evacuation	145	186	148

Table 8. Comparison of steep slope evacuation rainfall criteria(24hr) (Units : mm)

Zone2	2015	2020	This Study
Alert	88	112	85
Warning	141	146	129
Evacuation	174	181	166

Table 9. Comparison of steep slope evacuation rainfall criteria(24hr) (Units : mm)

Zone3	2015	2020	This Study
Alert	84	131	48
Warning	184	170	143
Evacuation	203	245	203

Table 10. Comparison of steep slope evacuation rainfall criteria(24hr) (Units : mm)

Zone4	2015	2020	This Study
Alert	35	102	41
Warning	84	118	88
Evacuation	106	157	120

Table 11. Comparison of steep slope evacuation rainfall criteria(24hr) (Units : mm)

Zone5	2015	2020	This Study
Alert	55	102	70
Warning	115	118	131
Evacuation	155	213	169

Table 12. Comparison of forecast warning result

Zone1	1hr	24hr	48hr
Attention	2	2	-1
Alert	-1	2	3
Warning	-5	4	3
Evacuation	3	-8	-6

Table 13. Comparison of forecast warning result

Zone2	1hr	24hr	48hr
Attention	-26	-27	-37
Alert	-59	-7	18
Warning	20	-5	7
Evacuation	25	42	12

Table 14. Comparison of forecast warning result

Zone3	1hr	24hr	48hr
Attention	-3	-3	0
Alert	-11	-8	-9
Warning	-5	-11	1
Evacuation	22	25	13

Table 15. Comparison of forecast warning result

Zone4	1hr	24hr	48hr
Attention	-13	10	-6
Alert	0	2	-3
Warning	-4	2	2
Evacuation	20	-7	-2

Table 16. Comparison of forecast warning result

Zone5	1hr	24hr	48hr
Attention	-5	0	-1
Alert	-5	4	5
Warning	7	1	1
Evacuation	3	-8	-8

4. 결론

기후변화에 따라 단시간의 강우의 증가뿐만 아니라 지속시간이 길어지는 강우량의 증가도 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 기후변화에 따른 강우양상의 변화가 급경사지 지역의 피해를 증가시키고 있으며, 이에 따라

행정안전부에서는 급경사지 지역의 주민대피 강우기준을 2015년부터 운영하고 있다. 그러나 최근 2020년 집중호우에 따른 급경사지 피해의 증가에 따라 본 연구에서 1999~2020년 까지의 급경사지 피해지역의 강우자료를 수집하여 기존 행정안전부 급경사지 주민대피 강우기준(2015)와 비교하고 강우기준을 바탕으로 주민대피 예경보 발령상황을 검토하여 비교하였다.

기존 행정안전부(2015)에서 운영되고 있는 급경사지 주민대피 강우기준은 1999~2013년 까지 704건의 급경사지 피해지역의 강우자료를 이용하여 설정되었으나, 2020년 급경사지 피해가 급증함에 따라 본 연구에서는 1999~2020년까지의 848건의 자료를 이용하여 관심-주의-경계-심각 단계의 파괴확률을 각각 5%, 10%, 30%, 50%의 정규분포확률을 이용하여 산정하였다. 산정된 강우를 기존 행정안전부의 기준과 비교결과 Zone1(강원도), Zone4(충청남북도), Zone5(전라남북도)는 기존 주민대피 기준강우량보다 급회 기준강우량이 상승하여 예·경보 발령에서도 심각단계는 감소하고 주의, 경계단계가 증가하였다. 그러나 기존 주민대피 기준강우량보다 급회 기준강우량이 낮게 산정된 Zone2(경상남북도), Zone3(서울경기도)는 예경보 발령이 심각단계가 증가하고 주의, 경계단계가 감소하는 경향을 나타내었다.

본 연구를 통해 기후변화에 따른 급경사지 파괴지역의 강우특성을 반영하여 권역별 강우기준을 산정하여 제시하였으며, 향후 급경사지 지역의 인명피해를 감소하기 위한 기준강우량으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Ascanio, R., Samuele, S., Filippo, C., Nicola, C., 2012, Statistical and environmental analyses for the definition of a regional rainfall threshold system for landslide triggering in Tuscany(Italy), *Journal of Geographical Science*, 22, 617-629.

Choi, S. G., Jeong, H. S., Song, H. S., Kwon, T. H., Kim, Y. C., Lee, J. M., 2019, Study of Korea early warning system for slope failure, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 19(5), 73-81.

Hitoshi, S., Daichi, N., Hiroshi, M., 2010, Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity-duration thresholds in Japan, *Geomorphology*, 118, 167-175.

<https://www.data.go.kr/>.

Kim, J. S., Seo, C. W., Lee, S. M., Kim, B. H., Seo, H. D.,

- Park, K. B., 2021, Evaluation of criteria for rainfall of residents evacuation rainfall in area affected by steep slopes, The Korean environmental science society conference, 105.
- NDMI (National Disaster Management Research Institute), 2020, Development of national-scale risk evaluation system for steep slope disaster, 33-52.
- MOIS (Ministry of the Interior and Safety), 2021, Redefining criteria for evacuation of residents of climate change steep slopes, 2-16.
- MPSS (Ministry of Public Safety and Security), 2015, The R&D research on construction of monitoring management system for evacuating inhabitant in steep slope site and development of monitoring specification, 214-282.
- Park, K. B., 2021, Characterization of steep slopes and landslide damage rainfall, The Korean environmental science society conference, 111.
- Ryu, J. H., Park, J. Y., Lim, I. H., 2013, Study on landslide warning guidelines based regional rainfall, Journal of the Korean Society of Societal Security, 6(1), 55-63.
- Seo, C. W., Park, K. B., 2022, Establishment of rainfall standard for evacuation of residents in the downstream of steep slopes, The Korea Water Resources Association conference, 280.
-
- Master degree student Chang-Woo Seo
Department of Disaster Mitigation for Infrastructure of Kyungil University
8110685@naver.com
 - Professor. Ki-Bum Park
Department of Disaster Mitigation for Infrastructure of Kyungil University
pkb5032@kiu.kr