

강우 지속성과 산사태 발생 빈도의 연관성에 관한 연구

정유진¹ · 최정해^{2*}

¹경북대학교 지구과학교육과 학부과정, ²경북대학교 지구과학교육과 교수

A Study on the Correlation between Persistence of Rainfall and Frequency of Landslide Occurrence

Youjin Jeong¹ · Junghae Choi^{2*}

¹Undergraduate Student, Department of Earth Science Education, Kyungpook National University
²Professor, Department of Earth Science Education, Kyungpook National University

Abstract

Increasing incidences of landslides in Korea are endangering life and damaging property. To ascertain the cause of the rapid increase in landslides in 2020, this study analyzed the correlation between frequency of their occurrence and persistence of rainfall. The study area comprised seven areas in Gangwon-do, Gyeonggi-do, Gyeongsangnam-do, Gyeongsangbuk-do, Jeollanam-do, Jeollabuk-do, and Chungcheongnam-do. The used rainfall factors were monthly rainfall in June, July, and August, rainfall during the summer (June-August), rainfall during the monsoon season, and number of precipitation days during the summer and during the monsoon season. The effect of these factors on landslides was identified by comparing them with the occurrence of landslides in the year of increased landslide occurrence in each area. The results confirmed that not only rainfall but also the number of precipitation days during the monsoon season affect the occurrence of landslides. The rapid increase in landslide occurrence in 2020 was attributed to increases in both the number of precipitation days during the monsoon season and rainfall during the monsoon season in 2020. These results are expected to be used as basic data for future landslide warning standards that consider the effect of the persistence of rainfall.

Keywords: rainfall, precipitation days, monsoon season, landslide

초 록

본 연구에서는 2011년부터 2020년까지의 연구지역에서 발생한 산사태와 강우 요인들을 통해 강우 지속성과 산사태 발생 빈도의 연관성을 분석하였다. 연구지역은 강원도, 경기도, 경상남도, 경상북도, 전라남도, 전라북도, 충청남도의 총 7개 지역이며 분석에 활용한 강우 요인은 6월, 7월, 8월의 월 강우량과 여름기간(6-8월) 강우량, 장마기간 강우량, 여름기간 강수일수, 장마기간 강수일수이다. 연구지역별로 산사태 발생이 많았던 해의 강우 요인을 비교·분석하여 강우 지속성이 산사태 발생에 미치는 영향을 파악하였다. 연구결과 강우량뿐만 아니라 장마기간 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 2020년의 산사태 발생 급증은 2020년의 장마기간 강수일수가 많은 것에서 기인한 것으로 추정되었다. 이러한 결과는 추후 강우 지속성의 영향을 고려한 산사태 경보 기준의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 강우량, 강수일수, 장마, 산사태

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Junghae Choi
E-mail: choi.jh@knu.ac.kr

Received: 6 December, 2021
Revised: 16 December, 2021
Accepted: 21 December, 2021

© 2021 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

2020년 여름 산사태로 인해 많은 인명·재산 피해가 발생하면서 사회적으로 산사태에 관한 관심이 높아지고 있다. 산림청에 따르면 2020년 6월에서 8월까지 강우로 유발된 산사태는 총 2,071건이다. 이는 2011년부터 2019년까지 산사태 발생 최다 기록이 2011년의 791건을 고려했을 때 상당한 발생빈도이다. 또한, 중앙안전재난대책본부에 따르면 2020년에 발생한 산사태의 피해면적은 1,343 ha, 인명피해(사망)는 9명이었으며 산림 분야 총 복구비는 393,463백만원으로, 2011년부터 2020년까지 기간의 산사태 피해면적, 산림 분야 총 복구비의 분야에서 최고치를 기록하였다.

일반적으로 산사태의 발생 요인은 지배요인과 유발요인으로 구분한다. 지배요인으로는 중력이 있고, 유발요인으로는 강우, 급경사, 지진 등이 있다. 우리나라의 경우 산사태 발생 시기가 여름철(6~8월)과 태풍의 영향을 받는 시기에 집중되어 있음을 고려하면, 강우에 의한 산사태가 대다수임을 알 수 있다. 일반적으로 강우는 산사태 발생의 주요 원인 중 하나로 여겨지며, 강우와 산사태 발생의 연관성에 관한 기존 연구들이 많이 진행되었다(Hong et al., 1990; Kim et al., 2000, 2005, 2006; Song et al., 2005; Park, 2005; Kang et al., 2016; Kim and Kim, 2019). Hong et al.(1990)은 우리나라에서 10년간 발생한 산사태와 강우를 이용한 연구를 통해 누적 강우량과 강우강도 모두 산사태 발생에 영향을 미친다고 보고하였다. Kim et al.(2005)은 용인, 안성지역에서 발생한 산사태에 관한 연구를 통해 자연사면의 토층에서 발생하는 산사태의 대부분은 주요인이 강우임을 밝혔다. Song et al.(2005)은 삼척 지역에서 발생한 산사태에 관하여 연구하였는데 이 결과에 의하면 산사태는 강우강도와 누적 강우량에 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다. Park(2005)은 2002~2004년에 울산 울주군 지역에서 발생한 산사태를 대상으로 연구를 진행하여 울주군 지역의 산사태는 파괴 당일 강우량의 영향과 누적 강우량의 영향을 동시에 받는다는 것을 밝혔다. Kim et al.(2006)은 강우가 산사태 발생에 있어 매우 중요한 요인으로 작용하며, 누적 강우량, 강우강도, 강우지속시간, 선행 강우량에 따라 산사태의 발생빈도가 달라짐을 밝혔다. Kang et al.(2016)은 1991년부터 2012년까지 발생한 산사태를 통해 강우량의 누적일수가 산사태 발생에 미치는 영향을 연구하였다. 연구 결과에 의하면, 우리나라의 강수일수가 늘어남에 따라 일 강우 또는 단기간연속강우 뿐만 아니라 2일 이상의 장기적으로 누적된 강우도 산사태 발생에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이처럼 강우를 세부적으로 누적 강우량, 강우강도, 강우지속시간 등의 요인으로 구분하여 강우와 산사태 발생 간의 관계에 관한 연구들이 많이 진행되어 왔다.

실제로 2020년 여름은 산사태 발생뿐만 아니라 강우 또한 우리나라의 전반적인 경향을 벗어나는 모습을 보였다. Table 1은 2011년부터 2020년까지 우리나라의 장마 기간과 장마 기간 강우량을 보여준다. 2020년 장마는 중부 지방에서 10년 중 가장 많은 장마기간과 장마기간 강우량을 보였고, 남부지방에서는 두 번째로 긴 장마기간과 최다 장마기간 강우량을 보였으며, 제주지방에서는 최다 장마기간과 두 번째로 많은 장마기간 강우량을 보였다.

2020년 이상기후보고서(KMA, 2021)에 따르면 2020년 장기간의 장마는 최근 지구 온난화로 인한 기상 이변에서 유발되었다. 2020년 6월 시베리아 이상고온으로 인해 7월 북극 해빙 면적이 1979년 이후 역대 최저를 기록하면서 우리나라 주변은 대기 정체와 북쪽으로부터 찬 공기의 유입이 잦아졌다. 또한, 서인도양 해수면 온도가 상승하고 대류가 활발해지면서 동인도양-필리핀해 부근에서 대류 역제가 강화됨에 따라 북태평양 고기압이 남-서쪽으로 크게 확장되었다. 이로 인해 북태평양 고기압의 북쪽 확장이 지연되면서 우리나라 주변의 차고 건조한 공기와 남쪽의 따뜻하고 습한 공기 사이에서 정체전선이 활성화되어 장마철이 길게 이어졌으며, 강한 강수대가 지속해서 발달하였다.

지구 온난화가 지속적으로 가속화되면서 이러한 기상 이변 또한 증가하여 인명·재산 피해도 증가하는 추세이다. 이상기후로 인한 인명·재산 피해를 예방하기 위해서는 2020년의 강우 특성이 산사태 발생 급증에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 2020년 산사태 발생 급증의 원인을 규명하기 위해 2011년부터 2020년까지 강우로 인해 유발된 산사태와 강우 특성의 연관성에 대한 분석을 진행하였다.

Table 1. Rainfall and period of the monsoon season

| Year | Middle province | | Southern province | | Jeju province | |
|------|-----------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|
| | Rainfall (mm) | Period of the monsoon season | Rainfall (mm) | Period of the monsoon season | Rainfall (mm) | Period of the monsoon season |
| 2011 | 757.1 | 26 | 468.3 | 31 | 572.6 | 31 |
| 2012 | 309 | 19 | 280.5 | 30 | 282.8 | 30 |
| 2013 | 526.5 | 49 | 318.9 | 46 | 115.3 | 39 |
| 2014 | 145.4 | 28 | 145.8 | 28 | 441.5 | 42 |
| 2015 | 220.9 | 35 | 254.1 | 36 | 518.8 | 30 |
| 2016 | 399.5 | 37 | 283.8 | 29 | 347.4 | 29 |
| 2017 | 439 | 29 | 184.1 | 31 | 90.2 | 33 |
| 2018 | 281.7 | 16 | 284 | 14 | 235.1 | 21 |
| 2019 | 196.9 | 34 | 352.2 | 33 | 475.3 | 24 |
| 2020 | 851.7 | 54 | 566.5 | 38 | 562.4 | 49 |

연구지역 및 연구방법

연구지역은 강원도, 경기도, 경상남도, 경상북도, 전라남도, 전라북도, 충청남도 총 7개의 도이다. 강우 지속성과 산사태 발생 빈도의 연관성을 분석하기 위하여 2011년부터 2020년까지 연구지역 내에서 강우로 인해 발생한 산사태와 강우 요인에 대한 정보를 수집하였다. 산사태 자료는 산림청에서 제공받았으며, 6~8월에 발생한 산사태 중 태풍으로 유발된 산사태를 제외하고 강우로 유발된 산사태만 분석에 사용하였다. 강우 자료는 기상자료개방포털의 종관기상관측소(ASOS)와 기후통계분석자료를 활용하여 수집하였다. 수집한 강우 자료를 바탕으로 6월, 7월, 8월의 월 강우량, 여름기간 강우량, 장마기간 강우량, 여름기간 강수일수, 장마기간 강수일수를 계산하여 강우 특성으로 분석에 사용하였다. 기상청의 계절 구분 기준에 따르면 여름은 6~8월로 정의되어 여름기간 강우량은 6월부터 8월까지의 월 강우량의 합계로 계산하였다. 장마기간은 장마전선의 영향을 받기 시작한 시점과 종점의 기간으로 정의되며, 이 기간의 강우량을 장마기간 강우량으로 지칭하였다. 기상청은 강수일수를 일 강수량이 0.1 mm 이상인 날의 수로 정의하며, 본 연구에서는 여름 동안의 강수일수를

Table 2. ASOS stations in the study area

| Research area | ASOS (index of station) |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gangwon-do | Sokcho (90), Cheorwon (95), Daegwallyeong (100), Chuncheon (101), Gangneung (105), Wonju (114), Inje (211), Hongcheon (212), Taebaek (216) |
| Gyeonggi-do | Suwon (119), Yangpyeong (202), Icheon (203) |
| Gyeongsangnam-do | Changwon (155), Tongyeong (162), Jinju (192), Geochang (284), Hapcheon (285), Miryang (288), Sancheong (289), Geoje (294), Namhae (295) |
| Gyeongsangbuk-do | Uljin (130), Andong (136), Pohang (138), Bonghwa (271), Yeongju (272), Mungyeong (273), Yeongdeok (277), Uiseong (278), Gumi (279), Yeongcheon (281) |
| Jeollanam-do | Mokpo (165), Yeosu (168), Wando (170), Jangheung (260), Haenam (261), Goheung (262) |
| Jeollabuk-do | Gunsan (140), Jeonju (146), Buan (243), Imsil (244), Jeongeup (245), Namwon (247), Jangsu (248) |
| Chungcheongnam-do | Seosan (129), Cheonan (232), Boryeong (235), Buyeo (236), Geumsan (238) |

여름기간 강수일수로 장마기간의 강수일수를 장마기간 강수일수로 지칭하였다. 강우와 산사태 발생의 상관성에 관한 기존 연구들과 달리 시간당 강우량, 일 강우량 등이 아닌 월 강우량을 사용한 이유는 산사태 자료에서 발생일과 시각까지 알 수 있는 경우가 많지 않고 대부분 짧게는 며칠, 길게는 2주 내외의 구간 형태로 작성되어 있기 때문이다. 월 강우량은 기상청에서 장마철의 전국 강우량을 분석할 때 사용하는 관측소 중 연구지역 내에 위치한 관측소들의 월 강우량의 평균으로 계산하였다. 이와 같이 관측소를 설정한 이유는 인접한 관측소에서 동일한 강우가 계측되어 중복적으로 계산되는 것을 방지하기 위해서이다. 본 연구에서 강우 자료를 수집한 관측소는 Table 2와 같다.

2011~2020년의 강우 특성 및 산사태 발생

강원도

Fig. 1은 강원도 지역의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강우량과 여름기간 강우량 그리고 산사태 발생 건수를 보여주고 있고, Table 3은 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생 건수를 보여주고 있다. 강원도의 경우 2011년, 2013년, 2020년에 산사태 발생 건수가 다른 해에 비해 많았다. 여름기간 강우량은 각각 1,192.7 mm, 756.9 mm, 932.3 mm로 2011년, 2020년, 2013년의 순서로 많았으며, 산사태 발생 건수는 각각 44건, 91건, 170건으로 2020년, 2013년, 2011년의 순서로 많았다. 여름기간 강우량과 산사태 발생 건수가 다른 양상을 보이는 것을 통해 여름기간 강우량뿐만 아니라 다른 강우 요인에 따라 산사태 발생 확률이 달라진다는 것을 추측할 수 있다. 2011년, 2013년, 2020년의 장마기간 강수일수는 각각 20.4일, 32.2일, 33.8일로 강원도 지역의 10년간 평균인 19.2일보다 많았고, 장마기간 강우량은 704.1 mm, 633.1 mm, 840.2 mm로 강원도 지역의 10년간 평균인 421.4 mm보다 많았다. 이를 통해 강원도 지역에서는 산사태 발생 건수가 많은 해는 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 많은 것을 알 수 있다. 2011년은 44건의 산사태 모두 장마 종료 일주일 후에 발생하였고, 2013년은 91건의 산사태 모두 장마 기간에, 2020년은 1건을 제외한 169건의 산사태가 장마기간에 발생하였다. 2011년이 2013년보다 장마기간 강우량이 많았음에도 장마기간 동안 산사태가 발생하지 않은 것은 2013년, 2020년보다 적은 장마기간 강수일수에서 기인한 것으로 추측된다. Kim et al.(2019)은 2011년 강원도 원주와 춘천에서 발생한 산사태를 분석하여 강우량과 집중호우의 발생 횟수가 더 많았던 원주시가 춘천시에 비해 더 적은 산사태가 발생한 이유는 집중호우가 연속되지 않았기 때문으로 보고하였다. 이를 통해 강원도 지역에서는 장마기간 강우량이 산사태 발생에 영향을 줄 수 있을 때 장마기간 강수일수가 많을수록 장마 기간 내에 산사태 발생이 많은 것을 알 수 있다. 2013년과 2020년을 비교해보면 장마기간 강수일수의 차이는 1.6일로 크지 않았고 산사태 발생 건수의 차이는 79건이었는데 이는 2020년의 장마기간 강우량이 더 많은 것에서 기인한 것으로 추측된다.

또한, 2012년, 2013년, 2017년을 비교해보면 여름기간 강우량은 각각 709.8 mm, 756.9 mm, 842.3 mm이었고 산사태 발생은 각각 0건, 91건, 2건이었다. 산사태 발생의 차이는 여름기간 강우량의 차이에 비해 컸고 2017년의 여름기간 강우량은 2013년보다 많았지만 산사태 발생은 더 적었다. 이를 통해 다른 강우 요인이 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 여름기간 강수일수는 각각 42.9일, 45.3일, 45.7일로 차이가 크지 않았으나 장마기간 강수일수는 각각 10.8일, 32.2일, 17.2일로 2013년에 비해 적었고, 장마기간 강우량 또한 각각 283.2 mm, 633.1 mm, 426.5 mm로 2013년에 비해 적었다. 이처럼 여름기간 강우량이 비슷함에도 산사태 발생 건수의 차이가 큰 것은 적은 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수의 영향에서 기인한 것으로 추정된다.

이를 통해 강원도 지역에서는 강우량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높았다는 것이다. 장마기간 강우량

이 비슷한 경우 장마기간 강수일수가 더 많을 때 산사태 발생 건수가 더 많았고, 장마기간 강수일수가 비슷한 경우 장마기간 강우량이 더 많을 때 산사태 발생 건수가 더 많았다. 또한, 여름기간 강우량이 비슷한 경우 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수에 따라 산사태 발생이 달라지는 경향을 보였다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 가장 많았기 때문으로 추측된다.

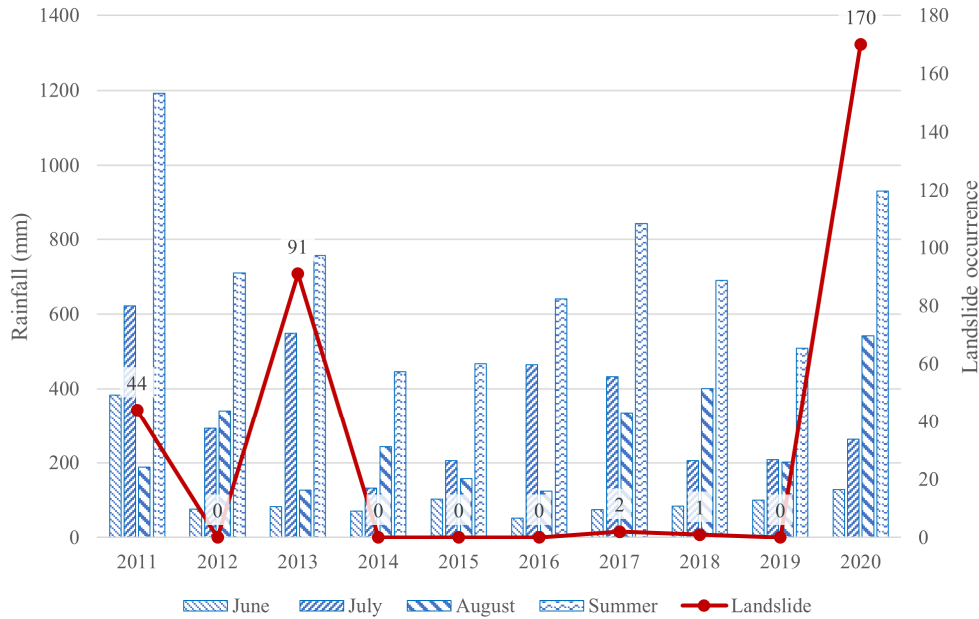


Fig. 1. Rainfall and landslide occurrence in Gangwon-do (2011–2020).

Table 3. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Gangwon-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 704.1 | 20.4 | 0 | 44 |
| 2012 | 283.2 | 10.8 | 0 | 0 |
| 2013 | 633.1 | 32.2 | 91 | 91 |
| 2014 | 118.1 | 11.9 | 0 | 0 |
| 2015 | 264.7 | 19.8 | 0 | 0 |
| 2016 | 469 | 16.7 | 0 | 0 |
| 2017 | 426.5 | 17.2 | 2 | 2 |
| 2018 | 277.4 | 12.6 | 0 | 1 |
| 2019 | 197.4 | 16.1 | 0 | 0 |
| 2020 | 840.2 | 33.8 | 169 | 170 |

경기도

Fig. 2는 경기도 지역의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강우량과 여름기간 강우량 그리고 산사태 발생 건수를 보여주고 있고, Table 4는 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생

건수를 보여주고 있다. 경기도의 경우 2011년, 2013년, 2020년에 산사태 발생 건수가 다른 해보다 많았다. 여름기간 강우량은 각각 1,578.5 mm, 813.6 mm, 1,058 mm로 2011년, 2020년, 2013년의 순서로 많았고, 산사태 발생 건수는 각각 167건, 121건, 225건으로 2020년, 2011년, 2013년의 순서로 많았다. 경기도 지역 또한 강원도 지역처럼 여름기간 강우량과 산사태 발생 건수가 다른 양상을 보이는데, 이를 통해 경기도 지역에서도 여름기간 강우량뿐만 아니라 다른 강우 요인에 따라 산사태 발생 확률이 달라진다는 것을 알 수 있다. 2011년, 2013년, 2020년의 장마기간 강수일수는 각각 21.7일, 34.7일, 36일로 경기도 지역의 10년간 평균인 19.5일보다 많았고, 장마기간 강우량은 각각 904.7 mm, 672.5 mm, 964.1 mm로 경기도 지역의 10년간 평균인 482.3 mm보다 많았다. 이를 통해 경기도 지역에서는 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 많을 때 산사태 발생 건수가 많은 것을 알 수 있다. 2011년은 167건의 산사태 모두 장마 종료 9일 후에 발생했고, 2013년은 121건의 산사태 모두 장마 기간에 발생하였으며 2020년 또한 225건의 산사태 모두 장마기간에 발생하였다. 2011년의 장마기간 강우량은 2013년에 비해 232.2 mm 더 많았지만 장마기간 동안 산사태가 발생하지 않은 것은 강원도 지역과 같이 2011년의 장마기간 강수일수가 적기 때문으로 추측된다. 이를 통해 경기도 지역에서는 장마기간 강우량이 산사태 발생에 영향을 줄 수 있을 때 장마기간 강수일수가 많을수록 장마 기간 내에 산사태 발생이 많은 것을 알 수 있다. 2013년과 2020년을 비교해보면 장마기간 강수일수의 차이는 1.3일로 크지 않았고 산사태 발생 건수의 차이는 104건이었는데, 이는 장마기간 강우량이 각각 672.5 mm, 964.1 mm로 2020년의 장마기간 강우량이 더 많은 것에서 기인한 것으로 추측된다.

또한, 여름기간 강우량의 차이가 크지 않은 2012년, 2017년, 2020년을 비교해보면 여름기간 강우량은 각각 984.3 mm, 813.6 mm, 946.7 mm로 경기도 지역의 10년간 여름기간 강우량의 평균보다 많았으나 2012년과 2017년의 산사태 발생은 0건이었다. 2012년의 여름기간 강수일수, 장마기간 강수일수, 장마기간 강우량은 각각 37일, 11.7일, 485.7 mm로 모두 경기도 지역의 10년간 평균보다 낮았으며, 2017년의 여름기간 강수일수와 장마기간 강우량은 각각 42.5일, 520.2 mm로 경기도 지역의 10년간 평균보다 높았으나 장마기간 강수일수는 19.7일로 평균과 비슷한 수준이었다. 이처럼 비슷한 여름기간 강우량에도 산사태 발생 건수의 차이가 큰 것은 적은 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수의 영향에서 기인한 것으로 추정된다.

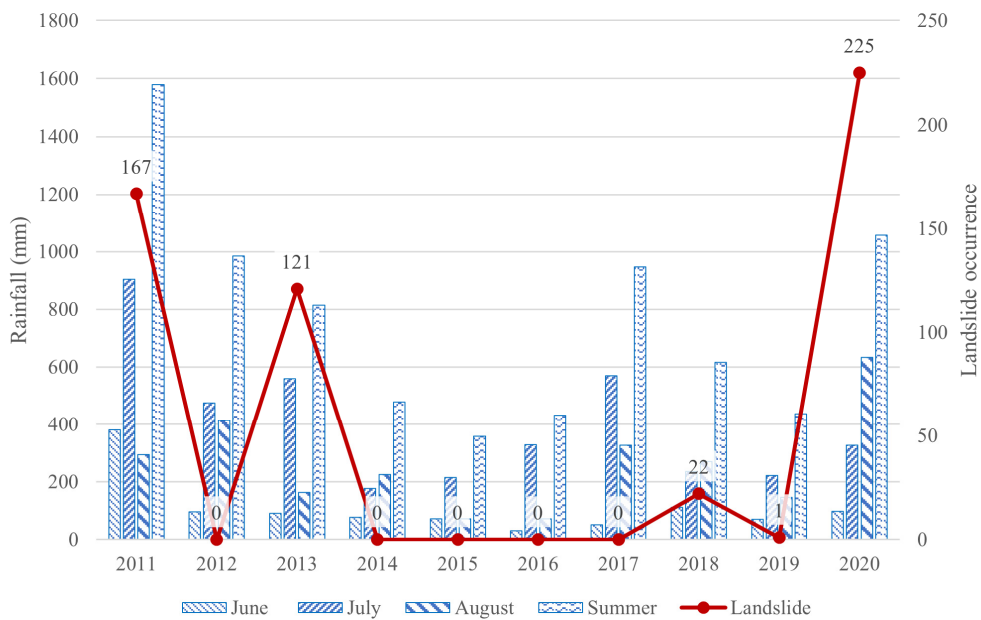


Fig. 2. Rainfall and landslide occurrence in Gyeonggi-do (2011-2020).

Table 4. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Gyeonggi-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 904.7 | 21.7 | 0 | 167 |
| 2012 | 485.7 | 11.7 | 0 | 0 |
| 2013 | 672.5 | 34.7 | 121 | 121 |
| 2014 | 168.3 | 11.7 | 0 | 0 |
| 2015 | 234.8 | 16 | 0 | 0 |
| 2016 | 334 | 14.7 | 0 | 0 |
| 2017 | 520.2 | 19.7 | 0 | 0 |
| 2018 | 334.1 | 11.3 | 0 | 22 |
| 2019 | 204.2 | 17.7 | 1 | 1 |
| 2020 | 964.1 | 36 | 225 | 225 |

이를 통해 경기도 지역에서는 강수량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높았다는 것이다. 장마기간 강수량이 산사태 발생에 영향을 미치지 못할 경우 장마기간 강수일수가 많더라도 장마기간 내에 산사태가 발생하지 않았으며, 장마기간 강수일수가 비슷한 경우 장마기간 강수량이 더 많을 때 산사태 발생 건수가 더 많았다. 또한, 여름기간 강수량이 비슷한 경우 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수에 따라 산사태 발생이 달라지는 경향을 보였다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수일수와 장마기간 강수량이 가장 많았기 때문으로 추측된다.

경상남도

Fig. 3은 경상남도 지역의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강수량과 여름기간 강수량 그리고 산사태 발생 건수를 보여주고 있고, Table 5는 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생 건수를 보여주고 있다. 경상남도의 경우 2011년과 2020년에 산사태 발생 건수가 다른 해에 비해 많았다. 2011년과 2020년의 여름기간 강수량은 각각 972.2 mm, 1,146.8 mm였으며 산사태 발생 건수는 각각 166건, 169건이었다. 2011년은 166건의 산사태 중 111건이 장마기간에, 55건은 장마 종료 후 약 한 달 뒤에 발생하였다. 2020년은 169건의 산사태 중 32건이 장마기간에, 135건은 장마 종료 4일 전에 시작되어 2주간 지속적으로 발생하였다. 장마 종료 전에 시작되어 장마 종료 후에도 발생이 지속된 산사태 또한 장마의 영향을 받은 것으로 볼 수 있으므로 2020년은 총 167건의 산사태가 장마로 인해 발생한 것이다. 2011년과 2020년은 여름기간 강수량과 산사태 발생에서 큰 차이를 보이지 않았으나 장마의 영향으로 발생한 산사태는 각각 111건, 167건으로 차이를 보였다. 2011년과 2020년의 장마기간 강수일수는 각각 18.9일, 23.9일로 경상남도 지역의 10년간 평균인 17.3일보다 높았으며, 장마기간 강수량은 각각 554.5 mm, 713.2 mm로 경상남도 지역의 10년간 평균인 376.2 mm보다 높았다. 2011년과 2020년의 장마 기간 내 산사태 발생의 차이는 장마기간 강수일수와 장마기간 강수량의 차이에서 기인한 것으로 보인다.

또한, 여름기간 강수량의 차이가 크지 않은 2011년, 2014년, 2020년을 비교해보면 여름기간 강수량은 각각 972.2 mm, 928.9 mm, 1,146.8 mm로 경상남도 지역의 10년간 평균보다 많았으나 2014년의 산사태 발생 건수는 36건으로 2011년과 2020년에 비해 적었다. 여름기간 강수일수는 각각 46.3일, 48일, 43.8일이었으며 장마기간 강수일수는 각각 18.9일,

17.1일, 23.9일이고 장마기간 강우량은 554.5 mm, 179.3 mm, 713.2 mm였다. 2014년의 경우 여름기간 강수일수와 장마기간 강수일수는 2011년, 2020년과 비슷하였지만, 장마기간 강우량은 최근 10년 동안의 평균보다 적었다. 2014년은 장마 종료 이후 약 한 달 뒤에 36건의 산사태가 발생하였는데 장마기간 강수일수는 많았으나 장마기간 강우량이 적어 장마기간 내에는 산사태가 발생하지 않은 것으로 보인다. 또한, 2014년은 6월, 7월의 월 강우량이 2011년과 2020년에 비해 적었는데, 이로 인해 8월에 많은 양의 강우가 집중됐지만 산사태 발생은 다른 해에 비해 적었던 것으로 추측된다.

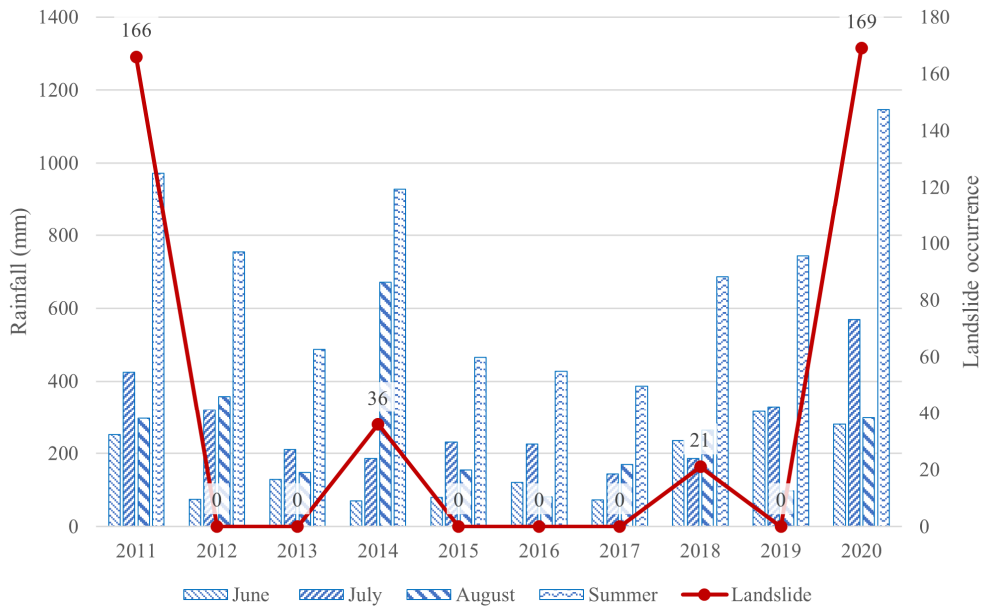


Fig. 3. Rainfall and landslide occurrence in Gyeongsangnam-do (2011-2020).

Table 5. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Gyeongsangnam-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 554.5 | 18.9 | 111 | 166 |
| 2012 | 334.2 | 16.5 | 0 | 0 |
| 2013 | 339.1 | 19 | 0 | 0 |
| 2014 | 179.3 | 17.1 | 0 | 36 |
| 2015 | 319.5 | 17.1 | 0 | 0 |
| 2016 | 288.8 | 16.8 | 0 | 0 |
| 2017 | 152.7 | 16.1 | 0 | 0 |
| 2018 | 336.6 | 10.8 | 0 | 21 |
| 2019 | 544.1 | 16.5 | 0 | 0 |
| 2020 | 713.2 | 23.9 | 167 | 169 |

이를 통해 경상남도 지역에서는 강수량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높았다는 것이다. 여름기간 강우량이 비슷한 경우 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 많을 때 산사태 발생이 더 많았다. 또한, 강우가 집중되기 전까지

누적된 선행 강우량이 적은 경우에는 누적된 선행 강우량이 많은 경우에 비해 산사태 발생이 적었다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 가장 많았기 때문으로 추측된다.

경상북도

Fig. 4는 경상북도 지역의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강우량과 여름기간 강우량 그리고 산사태 발생 건수를 보여주고 있고, Table 6은 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생 건수를 보여주고 있다. 경상북도의 경우 2011년과 2020년에 다른 해보다 많은 산사태가 발생하였다. 여름기간 강우량은 각각 737.2 mm, 860.5 mm였으며, 산사태 발생 건수는 각각 16건, 79건이었다. 여름기간 강우량의 차이에 비해 산사태 발생 건수의 차이가 큰 것을 통해 여름기간 강우량뿐만 아니라 다른 강우 요인에 따라 산사태 발생 확률이 달라진다는 것을 추측할 수 있다. 2011년과 2020년의 장마기간 강수일수는 각각 16일, 23.5일로 2020년은 경상북도 지역의 10년간 평균인 16.4일보다 많았으며, 장마기간 강우량은 456.5 mm, 520.2 mm로 두 해 모두 경상북도 지역의 10년간 평균인 287.8 mm보다 많았다. 이를 통해 여름기간 강우량과 장마기간 강우량이 비슷한 조건일 때, 장마기간 강수일수가 많을수록 산사태 발생 건수도 많은 것을 알 수 있다.

다만 2013년의 경우 장마기간 강수일수가 24.4일로 2020년의 23.5일보다 많았지만 산사태 발생 건수는 0건이었다. 2013년의 여름기간 강우량은 427.9 mm로 경상북도 지역의 10년간 평균보다 낮았고, 장마기간 강우량 또한 319.5 mm로 경상북도 지역의 10년간 평균인 287.8 mm와 큰 차이를 보이지 않았다. 2013년의 경우를 통해 경상북도 지역에서는 여름기간 강우량과 장마기간 강우량이 산사태 발생에 영향을 줄 수 있을 때 장마기간 강수일수가 많을수록 산사태 발생이 증가하는 것으로 추정할 수 있다.

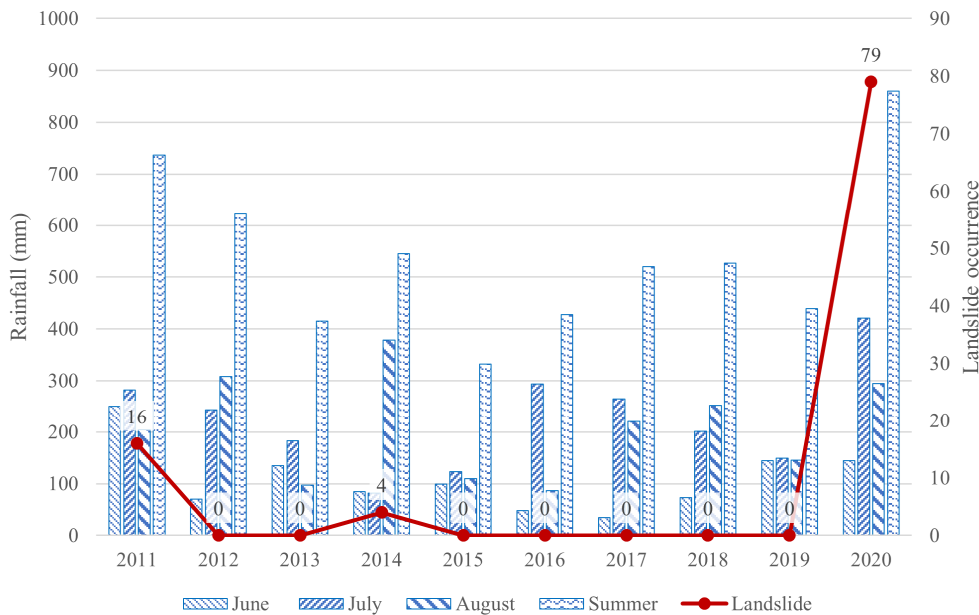


Fig. 4. Rainfall and landslide occurrence in Gyeongsangbuk-do (2011-2020).

Table 6. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Gyeongsangbuk-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 456.5 | 16 | 16 | 16 |
| 2012 | 266.8 | 14.2 | 0 | 0 |
| 2013 | 319.5 | 24.4 | 0 | 0 |
| 2014 | 73.7 | 13 | 0 | 4 |
| 2015 | 195.8 | 16.3 | 0 | 0 |
| 2016 | 296 | 13.6 | 0 | 0 |
| 2017 | 227.6 | 15.9 | 0 | 0 |
| 2018 | 273.5 | 10.8 | 0 | 0 |
| 2019 | 248.7 | 15.9 | 0 | 0 |
| 2020 | 520.2 | 23.5 | 79 | 79 |

이를 통해 경상북도 지역에서는 강수량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강수량이 평균보다 높았다는 것이다. 또한, 장마기간 강수일수가 평균과 비슷하거나 더 많았다. 여름기간 강수량과 장마기간 강수량이 비슷한 조건일 때 장마기간 강수일수가 많을수록 산사태 발생 건수가 더 많았는데, 이는 여름기간 강수량과 장마기간 강수량이 산사태 발생에 영향을 줄 수 있는 경우로 한정되었다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수량이 가장 많았고 장마기간 강수일수가 두 번째로 많았기 때문으로 추측된다.

전라남도

Fig. 5는 전라남도의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강수량과 여름기간 강수량 그리고 산사태 발생 건수를 보여 주고 있고, Table 7은 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생 건수를 보여주고 있다. 전라남도의 경우 2011년과 2020년에 산사태 발생 건수가 다른 해보다 많았다. 2011년과 2020년의 여름기간 강수량은 각각 862.4 mm, 872 mm였으며 장마기간 강수일수는 각각 18일, 22.5일로 전라남도 지역의 10년간 평균인 16.4일보다 높았고, 장마기간 강수량은 각각 491.8 mm, 476.2 mm로 전라남도 지역의 10년간 평균인 318.2 mm 보다 높았다. 이를 통해 전라남도 지역에서 산사태 발생이 많은 년도는 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높다는 것을 알 수 있다.

2011년, 2012년, 2014년을 비교해보면 여름기간 강수량은 각각 862.4 mm, 784.2 mm, 798 mm였으며 장마기간 강수 일수 또한 각각 18일, 17.3일, 18.2일로 큰 차이를 보이지 않았지만, 산사태 발생 건수는 각각 56건, 9건, 2건으로 차이가 컸다. 2011년의 경우 장마기간 내에 22건이, 장마 종료 약 한 달 후 34건이 발생하였고 2012년과 2014년은 모두 장마 종료 한 달 후에 산사태가 발생하였다. 2011년, 2012년, 2014년의 장마기간 강수일수는 각각 18일, 17.3일, 18.2일로 전라남도 지역의 10년간 평균보다 많았지만, 장마기간 강수량은 각각 491.8 mm, 255.7 mm, 193.7 mm로 2012년과 2014년은 전라남도 지역의 10년간 평균보다 낮았다. 2012년과 2014년에 장마기간 내 산사태 발생이 없었던 이유는 적은 양의 장마기간 강수량에서 기인한 것으로 추정된다. 또한, 2011년, 2012년, 2014년의 6월, 7월의 강수량의 합은 각각 539.8 mm, 320.1 mm, 307.7 mm이었다. 2012년, 2014년에 2011년보다 많은 양의 강우가 8월에 집중되었지만 산사태 발생이 2011년에 비해 적었던 것은 6월, 7월동안 누적된 선행 강수량이 적었기 때문으로 보인다.

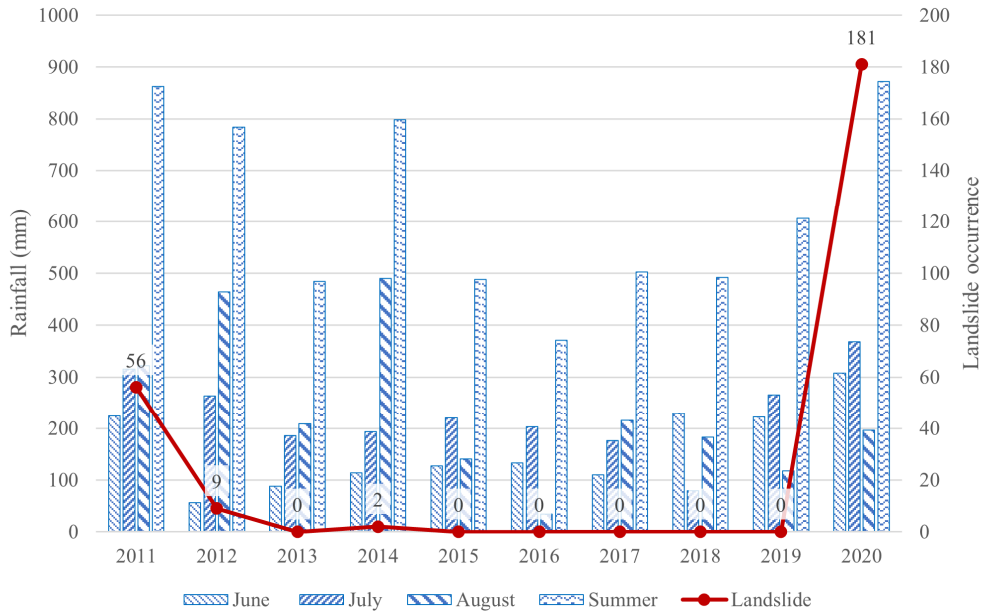


Fig. 5. Rainfall and landslide occurrence in Jeollanam-do (2011–2020).

Table 7. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Jeollanam-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 491.8 | 18 | 22 | 56 |
| 2012 | 255.7 | 17.3 | 0 | 9 |
| 2013 | 263 | 15.2 | 0 | 0 |
| 2014 | 193.7 | 18.2 | 0 | 2 |
| 2015 | 306 | 17.3 | 0 | 0 |
| 2016 | 318.4 | 18.7 | 0 | 0 |
| 2017 | 187.6 | 13.2 | 0 | 0 |
| 2018 | 277.6 | 8.7 | 0 | 0 |
| 2019 | 412.1 | 15 | 0 | 0 |
| 2020 | 476.2 | 22.5 | 181 | 181 |

이를 통해 전라남도 지역에서는 강수량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높았다는 것이다. 장마기간 강수량이 비슷한 경우 장마기간 강수일수가 더 많을 때 장마기간 내에 더 많은 산사태가 발생하였다. 또한, 장마기간 강수량이 산사태 발생에 영향을 미치지 못할 경우 장마기간 강수일수가 많더라도 장마 기간 내에 산사태가 발생하지 않았으며, 강우가 집중되기 전의 누적된 선행 강수량이 많을 때 산사태 발생이 더 많았다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수일수가 가장 많았고 장마기간 강수량이 두 번째로 많았기 때문으로 추측된다.

전라북도

Fig. 6은 전라북도의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강우량과 여름기간 강우량 그리고 산사태 발생 건수를 보여 주고 있고, Table 8은 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생 건수를 보여주고 있다. 전라북도의 경우 2011년과 2020년에 산사태 발생 건수가 다른 해보다 많았다. 2011년과 2020년의 여름기간 강우량은 각각 1,026.5 mm, 1,263.5 mm이며, 산사태 발생 건수는 각각 151건, 467건으로 여름기간 강우량의 차이에 비해 산사태 발생 건수의 차이가 컸다. 2011년의 경우 151건의 산사태 중 28건이 장마기간에 발생하였고, 123건의 산사태는 장마 종료 약 한 달 후에 발생하였다. 2020년의 경우 467건의 산사태 중 13건의 산사태가 장마기간에 발생하였고, 454건의 산사태가 장마 종료 4일 전에 시작되어 약 2주간 지속적으로 발생하였다. 장마 종료 이전에 시작되어 발생이 지속된 산사태 또한 장마의 영향을 받았다고 볼 수 있으므로 장마로 인해 발생한 산사태는 2011년은 28건, 2020년은 467건이다. 2011년의 장마기간 강수일수는 18.3일, 2020년의 장마기간 강수일수는 27.3일로, 2020년은 전라북도 지역의 10년간 평균인 18.7일보다 많았다. 장마기간 강우량은 각각 452 mm, 583.6 mm로 전라북도 지역의 10년간 평균인 342.5 mm보다 많았다. 이를 통해 장마로 인해 발생된 산사태가 2020년에 더 많았던 것은 장마기간 강수일수의 영향에서 기인한 것으로 추정할 수 있다.

2012년과 2018년은 모두 장마 종료 이후에 산사태가 발생하였다. 2012년과 2018년의 여름기간 강우량은 897.1 mm, 744 mm로 전라북도 지역의 10년간 평균보다 높았지만, 장마기간 강수일수는 각각 14.4일, 10.4일로 평균보다 낮았고 장마기간 강우량 또한 각각 330.9 mm, 316.8 mm로 평균보다 낮았다. 이를 통해 2012년과 2018년은 적은 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량 때문에 장마기간에 산사태가 발생하지 않은 것으로 추측할 수 있다.

2013년의 장마기간 강수일수는 24.7일, 장마기간 강우량은 462.8 mm로 모두 최근 10년 동안의 평균보다 높았지만 산사태는 발생하지 않았다. 2013년의 장마는 6월 18일에 시작되어 8월 2일에 종료되었으며 6월 월 강우량은 70.2 mm였다. 이는 2020년의 6월 월 강우량 179.1 mm에 비해 적은 양으로, 2013년에 장마기간 내 산사태 발생이 없었던 이유는 장마 시작 전까지 누적된 선행 강우량이 적기 때문으로 보인다.

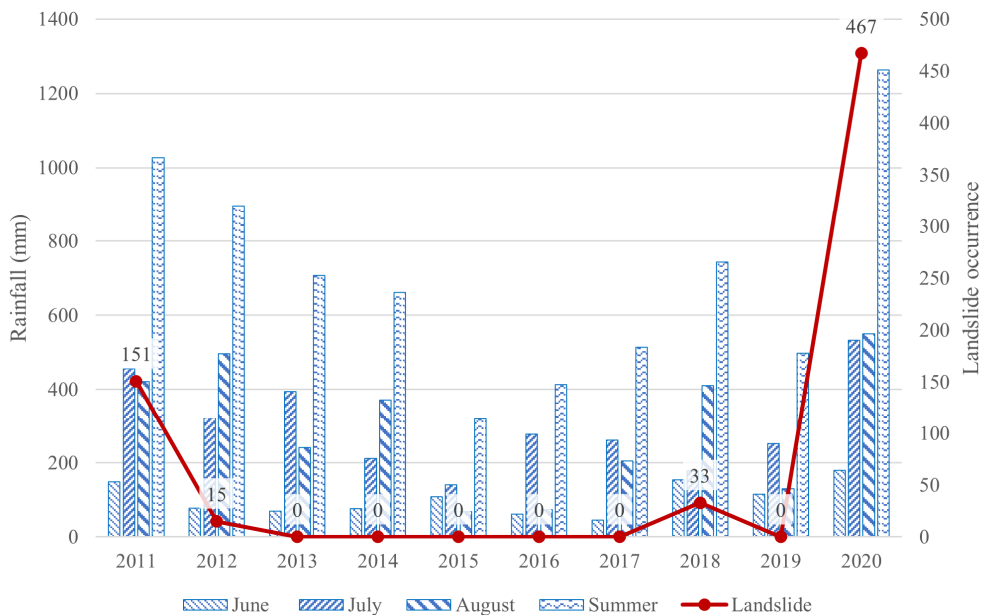


Fig. 6. Rainfall and landslide occurrence in Jeollabuk-do (2011-2020).

Table 8. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Jeollabuk-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 452 | 18.3 | 28 | 151 |
| 2012 | 330.9 | 14.4 | 0 | 15 |
| 2013 | 462.8 | 24.7 | 0 | 0 |
| 2014 | 206 | 18.3 | 0 | 0 |
| 2015 | 206.7 | 19 | 0 | 0 |
| 2016 | 316.2 | 16.7 | 0 | 0 |
| 2017 | 236 | 18.3 | 0 | 0 |
| 2018 | 316.8 | 10.4 | 0 | 33 |
| 2019 | 313.8 | 19.3 | 0 | 0 |
| 2020 | 583.6 | 27.3 | 467 | 467 |

이를 통해 전라북도 지역에서는 강수량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높았다는 것이다. 장마기간 강수량이 비슷한 경우 장마기간 강수일수가 더 많을 때 장마 기간 내에 더 많은 산사태가 발생하였다. 또한, 장마 시작 전까지 누적된 선행 강수량이 적은 경우 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 많더라도 산사태 발생은 적었다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수일수와 장마기간 강수량이 가장 많았기 때문으로 추측된다.

충청남도

Fig. 7은 충청남도의 2011년부터 2020년까지 6~8월의 월 강수량과 여름기간 강수량 그리고 산사태 발생 건수를 보여 주고 있고, Table 9는 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수, 전체 산사태 발생 건수와 장마의 영향을 받은 산사태 발생 건수를 보여주고 있다. 충청남도의 경우 2011년과 2020년에 산사태 발생 건수가 다른 해보다 많았다. 여름기간 강수량은 각각 1,326.9 mm, 984.9 mm였고, 산사태 발생 건수는 각각 81건, 278건이었다. 여름기간 강수량과 산사태 발생 건수가 다른 양상을 보이는 것을 통해 여름기간 강수량뿐만 아니라 다른 강우 요인 또한 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 2011년과 2020년 모두 산사태가 장마 기간 내에 발생하였다. 장마기간 강수일수는 각각 21.5일, 35.2일로 충청남도 지역의 10년간 평균인 19.5일보다 많았고, 장마기간 강수량은 각각 806.6 mm, 818.1 mm로 충청남도 지역의 10년간 평균인 384.8 mm보다 높았다. 이를 통해 여름기간 강수량과 장마기간 강수량이 비슷한 조건일 때, 장마기간 강수일수가 많을 수록 산사태 발생이 많은 것을 알 수 있다.

2012년은 여름기간 강수량이 875 mm로 2020년과 비슷하고 충청남도 지역의 10년간 평균인 656.5 mm보다 높았지만 산사태 발생 건수는 47건으로 2020년과 큰 차이를 보였다. 2012년의 장마기간 강수일수는 11.8일로 최근 10년 동안의 평균인 19.5일보다 낮았고, 장마기간 강수량은 271.6 mm로 최근 10년 동안의 평균인 384.8 mm보다 낮았다. 2020년과 여름기간 강수량은 비슷하였지만 장마기간 강수일수와 장마기간 강수량이 적어 산사태 발생 건수가 큰 차이를 보인 것으로 추측된다.

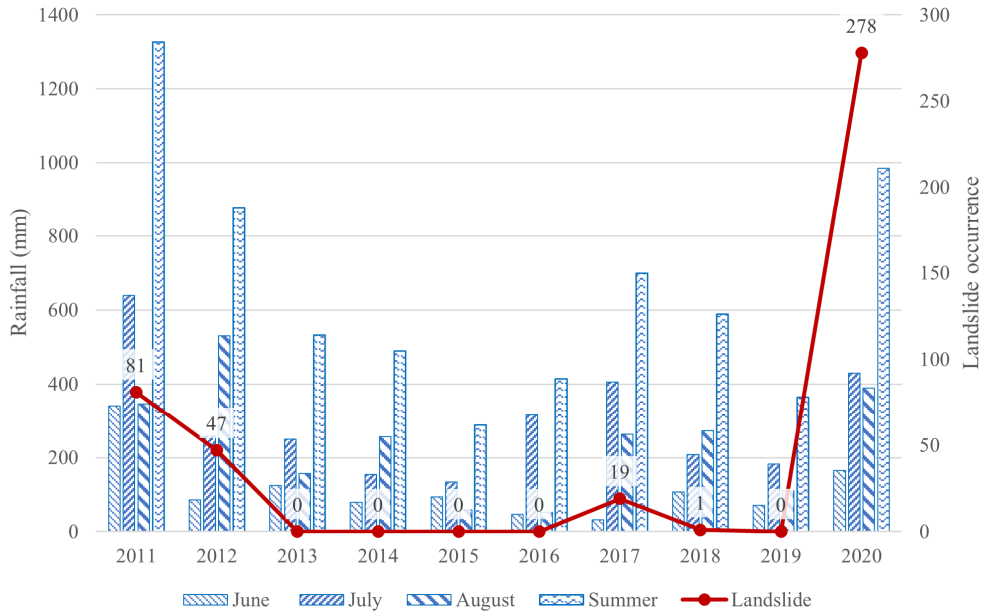


Fig. 7. Rainfall and landslide occurrence in Chungcheongnam-do (2011–2020).

Table 9. Rainfall and precipitation days of the monsoon season and landslide occurrence in Chungcheongnam-do

| Year | Monsoon season | | Landslide | |
|------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| | Rainfall (mm) | Precipitation days | Induced by monsoon rainfall | Total |
| 2011 | 806.6 | 21.5 | 81 | 81 |
| 2012 | 271.6 | 11.8 | 0 | 47 |
| 2013 | 396.3 | 28 | 0 | 0 |
| 2014 | 148 | 15.2 | 0 | 0 |
| 2015 | 188.9 | 17.7 | 0 | 0 |
| 2016 | 346.6 | 21.5 | 0 | 0 |
| 2017 | 362.8 | 18.3 | 19 | 19 |
| 2018 | 305.7 | 10 | 0 | 1 |
| 2019 | 202.9 | 15.7 | 0 | 0 |
| 2020 | 818.1 | 35.2 | 278 | 278 |

이를 통해 충청남도 지역에서는 강수량뿐만 아니라 강수일수도 산사태 발생에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 산사태 발생이 많았던 년도들의 공통점은 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 평균보다 높았다는 것이다. 여름기간 강수량과 장마기간 강수량이 비슷한 조건일 때 장마기간 강수일수가 많을수록 산사태 발생 건수가 더 많았다. 또한, 여름기간 강수량이 평균보다 높더라도 장마기간 강수량과 장마기간 강수일수가 낮을 경우 산사태 발생은 적었다. 2020년의 산사태 발생이 역대 최고치를 기록한 것은 2020년의 강우가 최근 10년 중 장마기간 강수일수와 장마기간 강수량이 가장 많았기 때문으로 추측된다.

토의 및 연구결과

7개 연구지역의 2011년부터 2020년 동안의 여름철 강우와 강우로 유발된 산사태를 비교·분석한 결과 지역마다 다른 양상을 보였다. 모든 연구지역에서 산사태 발생이 많았던 해는 장마기간 강우량이 지역별 10년 동안의 평균보다 많았으며, 경상북도, 전라북도를 제외한 5개 연구지역에서 장마기간 강수일수가 지역별 10년 동안의 평균보다 많았다. 경상북도와 전라북도에서 장마기간 강수일수가 지역별 10년 동안의 평균보다 적었지만 산사태 발생이 많았던 경우 두 지역 모두 평균과의 차이가 0.4일로 크지 않았는데, 이를 통해 강수량뿐만 아니라 강우의 지속성 또한 산사태 발생에 유의미한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

모든 연구지역에서 공통적으로 장마기간 강수일수가 많을수록 산사태 발생이 많은 경향성을 보였다. 강원도 지역, 경기도 지역, 전라북도 지역, 충청남도 지역에서는 여름기간 강우량이 많아도 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수가 적은 경우 산사태 발생이 적었다. 이를 통해 여름기간 강우량보다 장마기간 강우량과 장마기간 강수일수가 산사태 발생에 주요하게 작용하는 것을 알 수 있다. 강원도 지역과 경기도 지역에서는 장마기간 강우량이 더 많더라도 장마기간 강수일수가 적은 경우 장마기간에 산사태 발생이 더 적었는데, 이와 같은 경우는 강우의 지속성이 산사태 발생에 유의미한 영향을 미치기 때문에 발생한 것으로 추측된다. 경상남도 지역과 전라남도 지역에서는 특정 시기에 강우가 집중되어도 강우 집중 시기 전까지 누적된 선행 강우량이 적은 경우 산사태 발생이 다른 년도에 비해 적게 나타났다. 이를 통해 집중되는 강수량 뿐만 아니라 누적된 선행 강수량도 산사태 발생에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 경상북도 지역에서는 2013년의 장마기간 강수일수가 2020년보다 많았지만 산사태 발생은 없었는데, 이를 통해 강수량이 산사태 발생에 영향을 줄 수 있을 때 강우 지속성이 산사태 발생 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 전라북도 지역에서 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 지역의 10년간 평균보다 높지만 산사태 발생이 없던 년도는 장마 시작 전까지 누적된 선행 강우량이 산사태 발생이 많았던 다른 년도에 비해 적었다. 이를 통해 장마 시작 전까지 누적된 선행 강수량에 따라 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량이 산사태 발생에 미치는 영향의 정도가 달라지는 것을 알 수 있다.

모든 연구지역에서 공통적으로 2020년의 산사태 발생이 가장 많았으며, 2020년에 연구지역에서 발생한 산사태는 총 1569건으로 이 중 3건을 제외한 1566건의 산사태가 장마의 영향으로 발생하였다. 2020년 강우는 경상북도를 제외한 6개 연구지역에서 10년 중 장마기간 강수일수가 가장 많았고, 전라남도를 제외한 6개 연구지역에서 10년 중 장마기간 강우량이 가장 많았다. 이를 통해 2020년 산사태 발생의 급증은 많은 장마기간 강수일수와 장마기간 강우량에서 기인한 것으로 추측할 수 있다.

현재 우리나라의 산사태 경보는 지질조건과 평균 강우량의 분포에 따라 11개의 권역으로 나누어 각 권역별로 토양함수 지수의 80% 도달 시 주의보, 100% 도달 시 경보 발령으로 진행되고 있다. 산사태 경보에 강우 지속성의 영향 또한 고려된다면 2020년처럼 강우가 오랜 기간 지속될 때 보다 효과적으로 산사태 피해를 예방할 수 있을 것이며, 본 연구의 결과가 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산사태 발생 일자의 파악이 불가능하여 정확한 누적 선행 강우량이나 강우 지속 시간 등을 계산하는 것에 한계가 있어 월 강우량과 강수일수를 강우 요인으로 활용하여 분석을 진행하였다. 추후 발생 일자가 파악되는 산사태들에 대해 분석을 진행하여 강우 지속성이 산사태 발생에 영향을 미치는 정도를 정확히 제시하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구의 연구지역이 아닌 곳에서 2020년과 비슷한 강우가 있었지만 산사태 발생이 없는 경우가 있었는데 이와 같은 경우에 대해 지형과 지질조건 등을 함께 고려하여 분석하는 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

References

- Hong, W.P., Kim, S.K., Kim, M., Kim, Y.W., Han, J.G., 1990, Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea, *Journal of Korean Society of Geotechnical Engineers*, 6(2), 55-63 (in Korean with English abstract).
- Kang, W.S., Ma, H.S, Jeon, K.S., 2016, Influences of cumulative number of days of rainfall on occurrence of landslide, *Journal of Korean Forest Society*, 105(2), 216-222 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.U., Kim, B.J., 2019, Effect of rainfall pattern on landslide occurrence: Focusing on Wonju-si and Chuncheon-si area, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 21(3), 1469-1481 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.S., Kim, W.Y, Chae, B.G., Cho, Y.C., 2000, Engineering geologic characteristics of landslide induced by rainfall-Boeun, Chungcheongbuk-do-, *Journal of Engineering Geology*, 10(2), 163-174 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.S., Kim, W.Y., Chae, B.G., Song, Y.S., Cho, Y.C., 2005, Engineering geological analysis of landslides on natural slopes induced by rainfall-Yongin, Ansung area, *Journal of Engineering Geology*, 15(2), 105-121 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.S., Song, Y.S., Cho, Y.C., Kim, W.Y., Jeong, G.C., 2006, Characteristics of rainfall and landslides according to the geological condition, *Journal of Engineering Geology*, 16(2), 201-214 (in Korean with English abstract).
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2021, Extreme climate of 2020 report, 214p.
- Park, C.G., 2005, A study on the rainfalls implications of landslide - On the Ulsan metropolitan Ulju city, Master Thesis, University of Ulsan, 67p.
- Song, Y.S., Jang, Y.H., Kim, J.S., 2005, Landslide characteristics induced by heavy rainfall in Samcheock area, *The Journal of Engineering Geology*, 15(4), 435-445 (in Korean with English abstract).