

## 산사태 유발강우 분석을 통한 산사태 예보기준의 적정성 검토

### Review of Landslide Forecast Standard Suitability by Analysing Landslide-inducing Rainfall

함대헌\* · 황석환\*\*

Ham, Dae Heon\* and Hwang, Seok Hwan\*\*

#### Abstract

After the typhoon Rusa in 2002, Maemi in 2003, Megi in 2004, heavy rain in July 2006, landslide disasters are repetitively occurring every year. Also, landslides have become a national concern along with the losses of lives and properties which occurred due to the landslide in Woo-myun mountain and Cheonjeon-ri, Chuncheon pension in 2011. In this research, we collected the records of key landslides which took place in Korea and analyzed the adaptibility of Korea Forest Service's landslide standards according to rainfall intensity and antecedent precipitation, in 12 rainfall events where rainfall observation points are located near by and also where occurrence spots, areas are relatively distinct. Looking at the results, we believe the previous 1 day rainfall standard is somewhat insufficient to consider landslides from short-term rainfall as well as from heavy rainfall. Especially, it seems that in case of complex heavy rainfall types, it is more effective to judge based on continuous rainfall. Taking these factors into consideration, the landslide forecasting standard revised in 2013, was restructured to correspond more to the purpose of this research. We view that it will be possible to secure spatial accuracy via reflecting probability rainfall. Also, we will be able to conduct fast response and analysis on landslides by utilizing below hourly unit timescale rainfall data for forecasting landslides. Moreover, it seems more reasonable to set 150mm as a standard for continuous rainfall, by using Korea Meteorological Administration's neighborhood forecasting data based on areas classified by current geological features.

**Key words** : Landslide, Landslide forecasting standard, Antecedent precipitation

#### 요 지

2002년 태풍 루사 이후 2003년 태풍 매미, 2004년 태풍 메기, 2006년 7월 집중호우 등 국지적인 호우에 산사태 재해가 매년 반복적으로 발생하고 있고, 2011년 국내 우면산과 춘천 천전리 펜션에서 발생한 산사태로 인하여 큰 인명 및 재산 피해가 발생하여 산사태에 대한 국가적 관심이 고조되고 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 기 발생한 주요 산사태 이력을 수집하여, 이 중 발생시점, 지역 등이 비교적 명확하고 인근에 강우관측소가 존재하는 12개 호우사상에 대해 강우강도와 선행강우량에 따른 이전 산림청 산사태 기준의 적정성을 분석해 보았다. 분석 결과를 통해 볼 때, 단시간 기록적인 폭우로 인한 산사태 및 복합호우로 인한 산사태 등을 모두 고려하기 위해서는 기존의 1일 강우량 기준은 다소 미흡한 점이 있다고 판단되며, 특히 호우양상이 복합호우 형태를 가지는 경우 연속강우량 기준으로 판단하는 것이 보다 효과적일 것으로 보인다. 이러한 측면에서 2013년에 개편된 산사태 예보기준은 본 연구의 취지에 부합하는 방향으로 개편되었다. 기존 연구결과인 확률강우량의 반영을 통하여 공간적인 정밀성을 확보할 수 있을 것이며, 추가적으로 산사태 예보에 활용되는 강우자료의 시간스케일을 시간단위 이하 자료를 활용함으로써 산사태 대응 및 분석에 신속함을 도모할 수 있을 것이다. 현행의 지질특성으로 구분한 구역에 기상청의 동네예보자료를 활용하여 연속강우량 기준을 150 mm로 강우기준을 삼는 것이 산사태 예보기준으로 적정하다고 판단된다.

**핵심용어** : 산사태, 산사태 예보기준, 선행강우

\*정회원. 한국건설기술연구원(E-mail: daecheon80@kict.re.kr)

Member. Researcher, Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\*교신저자. 정회원. 한국건설기술연구원 수자원실 수석연구원(Tel: +82-31-910-0241, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: sukany@kict.re.kr)

Corresponding Author. Member. Senior Researcher, Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

## 1. 서 론

2002년 태풍 루사 이후 2003년 태풍 매미, 2004년 태풍 메기, 2006년 7월 집중호우 등 국지적인 호우에 따른 산사태가 매년 반복적으로 발생하고 있고, 2011년 국내 우면산과 춘천 천전리 펜션에서 발생한 산사태로 인하여 큰 인명 및 재산 피해가 발생하여 산사태에 대한 국가적 관심이 고조되고 있다. 2013년 산림청의 산사태 예보기준은 기존 강우측면에서만 검토하던 방식을 지역적 지질특성까지 고려하는 형태로 변형되었으며, 강우자료의 활용도 기상청의 동네예보 자료를 활용하여 공간적 정밀성을 높이고 있다.

산사태를 유발하는 강우기준에 대해서는 Caine(1980)이 임계강우개념을 도입한 이래 Crosta *et al.*(2000), Wilson *et al.*(1995) 등의 많은 연구자들이 산사태 예·경보 기준에 대한 연구들을 수행하였다. 이러한 연구에서는 강우강도, 지속시간, 선행강우량, 총강우량 등의 값을 이용하여 임계강우를 구하고자 하였으나 산사태는 강우 뿐만 아니라 지역적인 지형, 지질, 식생상황과 기후특성에 의해서도 달라질 수 있으므로 단일화된 기준으로 제시하기는 어렵고 지역적 특성이 반영되어야만 한다고 결론짓고 있다. 이는 강우가 산사태의 원인임은 명백하나 산사태를 유발하기까지의 다양한 매커니즘에 대한 규명이 어려움을 시사하고 있다.

국내에서도 과거 산사태 자료와 강우자료를 이용하여 산사태를 유발하는 강우기준을 찾고자 하는 연구가 수행되어왔다. 최경(1989)은 연속강우량과 시간강우강도 개념을 이용하여 산사태를 유발하는 강우기준을 제시하였으며, 연속강우기준으로 200 mm 이상, 최대시간강우량이 30 mm 이상이 되면 산사태 발생 위험이 있다고 분석하였다. 홍원표 등(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/h 이상, 누적강우량이 40 mm 이상, 중규모(4-19개소/일)는 각각 15 mm/h와 80 mm 이상, 대규모(20개소/일 이상)는 각각 35 mm/h와 140 mm 초과 시에 발생하는 것으로 제안하였다. 이영남(1991)은 1990년 9월 9일 경기도와 강원도에 발생한 집중강우에 의한 산사태 사례 분석을 통해 24시간 누적강우 200 mm 이상이거나 24시간 누적강우가 200 mm 미만인 경우에도 시간강우강도 10 mm/h 이상의 강우가 지속되는 경우 산사태가 발생할 수 있다고 제시하였다.

산사태를 유발하는 강우 이전에 발생한 선행강우도 산사태 발생에 영향을 주는 것으로 알려져 있는데, 선행강우의 강우량과 지속시간, 산사태를 유발한 강우와의 시간차가 중요하지만 아직 국내에서는 선행강우가 산사태에 미치는 영향을 분석한 예는 없다.

김원영 등(1998)은 연천·철원지역을 대상으로 한 산사태유

형과 취약성 연구에서 누적강우량보다는 집중호우에 의해 산사태가 발생하였음을 밝혔다. 그리고 김영묵과 장석완(2000)은 대전·충남지역을 대상으로 강우특성과 산사태를 해안과 내륙으로 나누어 분석한 결과 위치, 지형 및 지질조건이 다르더라도 동일한 강우특성을 보이는 것으로 해석하였으며, 최대시간강우량이 25 mm를 넘거나 파괴 당일의 강우량이 180 mm 이상이면 대규모 산사태가 발생한다고 하였다. 또한, 한중근(2001)은 부산지역을 대상으로 한 강우와 산사태연구에서 최대 강우강도가 기록된 후 3시간 이내에서 90% 이상의 산사태가 발생하는 것으로 보고한 바 있다.

김경수 등(2006)은 1998년 여름철에 지질조건이 서로 다른 경기도 장흥, 경북 상주 및 포항지역에서 산사태가 많이 발생된 곳의 강우자료와 산사태들을 조사하여 강우조건에 따른 산사태의 특성을 분석하였다. 분석결과 누적강우량이 많은 지역에서만 산사태가 집중적으로 발생하였고 그 지역을 벗어난 바로 인근지역에서는 산사태가 거의 발생되지 않음으로써 강우가 산사태를 유발하는 매우 중요한 외적 요인으로 작용한 것으로 분석하였으며, 누적강우량과 산사태빈도는 서로 상관관계를 갖는다고 보고 하였다. 그리고 산사태 발생건수로 산사태규모를 구분하는 기존의 방법은 전반적으로는 합리성을 가지나 특정지역에 짧은 시간동안 호우가 집중적으로 쏟아지는 국지성 강우특성과 발생빈도가 매우 높은 산사태 양상을 반영하여 산사태 발생건수로 산사태규모를 구분하는 기준 설정은 계속 개선할 필요가 있다고 언급하였다.

양인태 등(2007)은 200 mm 이상의 강우가 발생하면 취약성이 낮은 지역에서도 산사태가 발생할 가능성이 충분히 존재함을 확인하였고, 윤찬영 등(2010)은 108개소의 사면재해 자료와 AWS 시간자료를 바탕으로 사면재해 유발강우 분석을 실시하고, 선행강우의 중요성에 대하여 언급하였다.

윤찬영 등은 구축된 강우 자료를 이용하여 이전 산림청의 산사태 주의보·경보 기준과 유사하게 사면재해 발생시점의 시간강우량-일누적강우량, 시간강우량-연속강우량으로 나타낸 결과 시간강우량-일누적강우량으로 정리한 경우는 65개소(60.2%), 시간강우량-연속강우량으로 정리한 경우에는 64개소(59.3%)에서 산사태 발생시의 강우량이 산림청 산사태 주의보 기준에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.

윤찬영 등은 동일한 자료에 대하여 가로축을 사면재해가 발생한 시각 이전의 최대시간강우량으로 정리하여 일누적강우량과 함께 도시한 결과, 최대시간강우량으로 바꾼 경우 산림청의 산사태주의보 기준에 미달하는 자료는 앞서 65개소에서 27개소(25%)로 줄어들었고, 이러한 사실은 산림청의 산사태 주의보 발령시점과 실제 산사태 발생시각에 사이에 시차가 있다는 것으로 해석하였다.

이러한 연구결과는 최대시간강우량만으로 산사태 발생시점을 정확히 예측하기가 매우 어렵다는 것을 의미하고, 보다 정확한 예측을 위해서는 공간적, 시간적으로 보다 상세한 강우

자료가 필요함을 시사한다.

이승우 등(2012)은 산사태 데이터에 대한 통계학적 분석을 수행하여 산사태 위험도 예측식을 제안하였고, 이명진 등(2012)은 지리정보시스템(GIS)을 기반으로 확률강우량과 인공신경망을 적용하여 강우량의 증가에 의한 미래 산사태 가능성의 증가를 분석하였다.

박정술(2013) 등은 수자원지리정보시스템 기반의 HyGIS-Landslide 콤포넌트를 통하여 모형의 활용성을 평가하고 위험지 판정기준의 가중치를 재조정하여 위험지역을 보다 효과적으로 분류할 수 있음을 제시하였다.

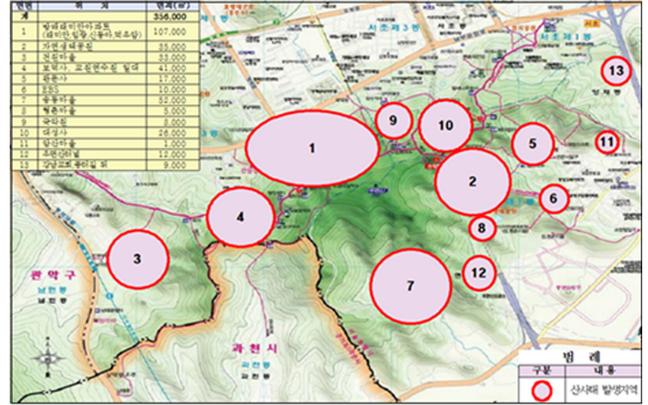
태풍, 지진 등에 의한 토사재해가 잦은 일본의 경우는 전통적으로 강우량과 강우강도를 이용하는 방법을 근간으로 한다는 점에서 방법론 적으로 큰 차이를 보이지는 않는다. 일본에서 재해 예측을 위해 사용되는 표준강우의 설정방법으로는 탱크 모형을 이용한 방법, 적용 강우를 이용한 방법, 유출 시간내의 강우강도를 이용하는 방법, 다중 요소 분석 방법 등이 있다. 이 중 적용 강우를 이용한 방법으로 A, B 방법과 Yano 방법, 위원회 방법이 있다.

본 연구에서는 2013년에 개편된 산사태 예보기준의 적정성 검토를 통해 현행 예보기준의 개선방향을 제시하고자 한다.

## 2. 국지적 돌발홍수 특성 분석

### 2.1 2011년 7월 서울지역 강우 일반현황

2011년 7월 서울, 경기 및 강원 일원 호우는 중부지방(특히 서울남부 및 경기북부 일원)을 중심으로 평균적으로 많은 양의 비가 내렸고, 특히 대도시인 서울 남부 지역에 6~12시간 정도 지속적으로 관측 이래 기록적인 비가 내렸다(Fig. 1). 기상청 AWS 관측지점의 경우 지속기간 60분 강우량이 100 mm를 상회할 정도로 강우강도도 컸으며 총강우량도 많아 지속기간이 길어질수록 재현기간도 길어지는 것으로 나타났다. 이



Source : Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2011)

Fig. 2. The Locations of Landslides in Mt. Woo-Myun (2011.7.27.-29).

로 인해 상대적으로 장기간 배수에 어려움이 발생하였다.

한국지반공학회의 조사에 의하면(2011) 2011년 서울 및 경기 일원 집중호우의 경우, 집중호우는 서울에서 연강수량의 40% 이상이 4일(2011.07.26.-29) 동안 집중적으로 발생하였고, 서울 대부분 지역(28개소중 25개소)에서 시간당 강수량 50 mm 이상 기록하였다. 또한 7월 27일 7시30분~8시 30분의 강수대는 동서방향의 좁은 띠 형태로 나타나 서울 내에서도 강수량의 편차가 매우 크게 나타났다.

우면산 산사태 피해(Fig. 2)에 대한 수문분석 결과, 산사태 발생 약 15시간 이전부터 내린 230.0~266.5 mm의 집중호우로 인해 지반이 약해진 상황에서 이후 약 1시간에 걸친 엄청난 호우로 인해 산사태가 발생한 것으로 추정되었다. 특히 유출의 도달시간이 5분 이내로 짧은 지역이기에 최대강우량과 침투유출량의 발생시점이 일치하고 있으며, 이와 동일한 시점에 산사태가 발생한 것은 집중호우의 영향이 매우 크게 작용하였을 것으로 추정하였다.

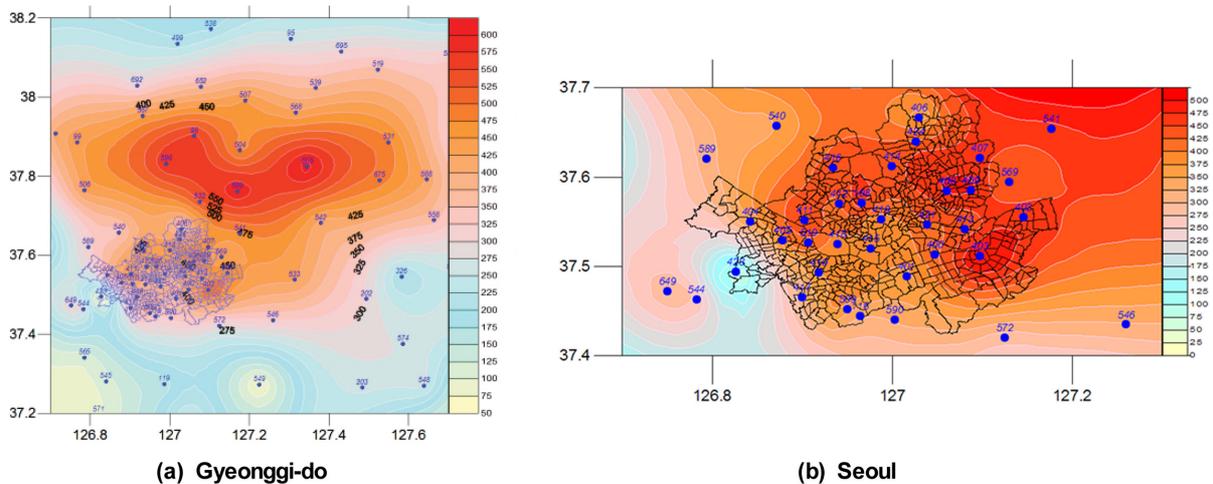


Fig. 1. Maps of Spatial Rainfall(mm) (2011.7.26~27).

## 2.2 2011년 7월 서울지역 강우특성 분석

서울을 중심으로 한 중부지방에 호우가 집중된 7월 26일 오후 1시부터 7월 28일까지의 시간별 강우현황과 해당 기간의 지속기간별 최대 강우량 및 확률적 재현기간(빈도)을 비교한 결과, 강남지역은 강북지역에 비해 짧은 지속기간에서 큰 재현기간을 보였고 강북지역에 비해 지속기간 증가에 따른 재현기간의 증가 기울기가 크게 나타났다.

남현, 관악 등의 지점은 60분 지속기간의 강우량의 재현기간이 80년으로 100년에 근접하는 값을 보였으며 송파, 남현, 관악, 양주, 광릉 지점은 지속기간 120분 이상에서 강우량이 200년을 상회하는 재현기간을 갖는 것으로 분석되었다. 주목할 점은 일반적으로 지속기간이 길어질 경우 재현기간은 감소하는 경향이 많은데 2011년 호우의 경우는 지속기간의 증가에 따라 재현기간도 지속적으로 증가하는 경향을 보인다는 점이다. 이는 이번 호우가 강우강도는 물론 강우의 총량도 매우 기록적이었다는 것을 의미하고 과거 사례를 통해 볼 때 매우 이례적인 경우라고 판단할 수 있다.

## 3. 국내 주요 산사태 발생사례 조사 · 분석

### 3.1 국내 산사태 기준

산림청에서는 1988년부터 산사태 주의보 · 경보 기준을 Table 1과 같이 마련하여 활용하였다. 2013년에는 전국을 강우분포와 지질특성을 고려하여 산사태 예보 기준을 개편하였

Table 1. Landslide Forecasting Criteria of Korea Forest Service (Before 2013)

Division	Maximum hourly rainfall	Daily rainfall	Continuous rainfall
Landslide warning	20~30 mm	80~150 mm	100~200 mm
Landslide alert	30 mm	150 mm	200 mm

다(Fig. 3). 개편된 기준은 7~9월 평균강우량이 600~1,100 mm인 경우 1권역으로, 550~900 mm인 경우 2권역, 650~850 mm인 경우 3권역, 500~800 mm인 경우 4권역으로 구분하고 있다. 지질은 화성암류, 변성암류, 퇴적암류의 3개권역으로 구분하여 지질특성이 유사한 2개 권역은 통합하여, 강우특성과 지질특성을 고려하여 총 10개 권역으로 구분하였다. 각 권역에 대하여 탱크모델을 통해 산정된 토양함수지수가 80% 도달시에는 주의보, 100% 도달한 경우에는 경보를 발령하고 있다. 이는 산사태정보시스템(sansatai.forest.go.kr)을 통하여 일반에 공개되고 있다.

개편된 산사태 예보 기준은 기존 강우측면에서만 고려하던 산사태 발생 원인에 대하여 지질특성까지 고려하고, 기상청의 동네예보 강우자료를 사용하여 공간적 정밀성을 높였다는 점 등이 개선되었다.

본 연구에서는 산사태 예보기준의 강우측면에서 개선방향을 검토하였으며, 2013년 이전 산사태 예보기준의 강우기준을 토대로 연구를 수행하였다. 2013년에 개편된 권역별 강우구분은 7~9월까지의 평균강우량으로 구분되어 있어, 강우의 비교단위가 본 연구와는 부적합하다고 판단하였다. 물론 현재 예보에서는 기상청 동네예보 자료를 활용하고 있기는 하지만, 2013년부터 개편된 기준에 대해 검토하기에는 누적된 자료의 수가 부족하다고 판단하였으며, 격자단위 강우를 통한 예보기준의 적정성 검토에 대해서도 추후 산사태 기록을 토대로 분석할 필요가 있다.

### 3.2 국내 주요 산사태 사례

Table 2는 우리나라에서 기 발생한 주요 산사태 이력을 수집하여, 이 중 발생시점, 지역 등이 비교적 명확하고 인근에 강우관측소가 존재하는 12개 호우사상에 대해 강우강도와 선행강우량에 따른 이전 산림청 산사태 기준의 적정성을 분석해 보았다. 그리고 10분단위 강우자료와 시간단위 강우자료를 동일 사상에 대해 분석하여 자료의 시간스케일에 따른 기준의 적정성도 분석하였다.



※ 중부권역(1-1, 1-2, 1-3), 전라경남권역(2-1, 2-2, 2-3), 충청권역(3-1, 3-2), 경북권역(4-1, 4-2)

Source : Korea Forest Service. Landslide Information Systems(sansatai.forest.go.kr)

Fig. 3. Landslide forecasting Criteria of Korea Forest Service (modified in 2013).

Table 2. The Time and Location of the Landslide Events and the Nearest Gauging Station

No	Y	M	D	T	Si-gun-do	Eup-myeon-gu	Dong-ri	Longitude	Latitude	Disaster type	Cause	Rainfall stations
1	2002	8	31	17:00	Gangwon	Gangneung	Seongsan	Eoheul	128 46 30.7	37 42 56.97	Landslide	Gangneung (105)
2	2002	8	31	09:00	Gangwon	Gangneung	Wangsan	Daegi	128 51 25.6	37 34 34.0	Soil runoff	Gangneung (105)
	2002	8	31	09:00	Gangwon	Gangneung	Wangsan		128 51 2.9	37 34 23.78	Vehicle control	
3	2006	7	15	12:05	Gangwon	Inje	Nam	Namjeon	128 9 31.4	38 0 41.4	Landslide house burying	Sinnam(585)
4	2006	7	15	11:10	Gangwon	Inje	Nam	Bupyeong	128 9 7.8	37 58 28.2	Landslide house burying	Sinnam(585)
5	2006	7	15	15:00	Gangwon	Inje	Inje	Deoksan	128 12 47.6	38 4 53.6	Landslide burying	Inje(211)
6	2006	7	15	10:00	Gangwon	Inje	Inje	Deokjeok	128 12 46.3	38 4 53.7	Landslide burying	Inje(211)
7	2006	7	15	07:00	Gangwon	Inje	Buk		128 12 37.4	38 5 15.2	Landslide burying	Inje(211)
8	2011	6	29	08:30	Gyeonggi	Gapyeong	Cheongpyeong	Hacheon1	127 26 4.62	37 45 24.38	Soil runoff	Cheongpyeong (542)
9	2011	6	29	07:00	Gyeonggi	Gapyeong	Cheongpyeong	Hacheon 117-22	127 26 19.95	37 45 1.64	Landslide	Cheongpyeong (542)
10	2011	6	30	11:43	Seoul	Yangcheon	Sinjeong	Sinjeong-ro	126 50 52.33	37 30 52.62	Landslide	Yangcheon (405)
11	2011	7	27	00:08	Gangwon	Chuncheon	Sinbuk	Cheonjeon	127 47 37.5	37 55 59.67	Escarpment collapse	Chuncheon (101)
12	2011	7	27	08:45	Seoul	Seocho	Bangnae	1008-2	127 0 23.5	37 28 29.68	Raemian, Limgwang apartment	
	2011	7	27	08:45	Seoul	Seocho	Yangjae	172-1	127 1 28.7	37 28 39.61	Mountain behind Yangjae driving school	Namhyun (425)
	2011	7	27	08:45	Seoul	Seocho	Bangnae	644-2	126 59 53.93	37 28 11.15	Bodeoksa	
	2011	7	27	08:45	Seoul	Seocho	Bangnae3	611	126 59 37.11	37 28 14.46	Witsunggi town	

Source Geo - Information Research Group Co. Ltd.

Comment : Numbers in Legend; Duration of a rainfall event (if the starting time of rainfall is assumed 72hr earlier than landslide events)

## 4. 산사태 예보 개선방향 도출을 위한 산사태 유발강우 특성 분석

### 4.1 선행강우량과 강우강도 검토

다음 그림 Fig. 4의 그래프 (a)~(f)는 시간단위 자료로 선행 강우시간에 따른 선행강우량과 강우강도를 이전 산림청 산사태 예보 기준(1988)과 함께 도시한 그림이다. 2013년 이전 경보 기준을 대상으로 분석해 보면 1일(24시간) 선행강우량 기준은 150 mm, 연속강우량 기준은 200 mm이고 시간최대 강우강도 기준은 30 mm/h이다.

본 분석에서는 산사태 발생 시점을 기준으로 선행 강우시간을 3시간, 6시간, 12시간, 24시간, 48시간, 72시간으로 늘려가

면서 비교하여 보았다. 단, 본 분석에서 선택된 호우사상의 경우는 모두 선행 시간최대 강우량이 30 mm에 근접하거나 상회하므로 산림청 시간최대 강우량(시강우강도) 기준과 비교는 큰 의미를 갖지 못한다.

분석결과, 선행 강우시간이 증가함에 따라 선행 강우량이 증가하면서 이전 산림청 강우량 기준에 차츰 근접해 가는 것을 볼 수 있다. 이전 기준인 24시간(1일) 선행 강우량의 경우 (150 mm)는 7개 사상은 기준에 포함되었으나 5개 사상은 포함되지 않았다. 그리고 연속강우량 기준(200 mm)의 경우 4개 사상은 기준에 포함되고 8개 사상은 기준에 포함되지 않았다. 그러나 선행강우 시간을 72시간으로 했을 경우 현재 24시간(1일) 기준에 12개 사상 모두가 근접하거나 포함되는 것으로

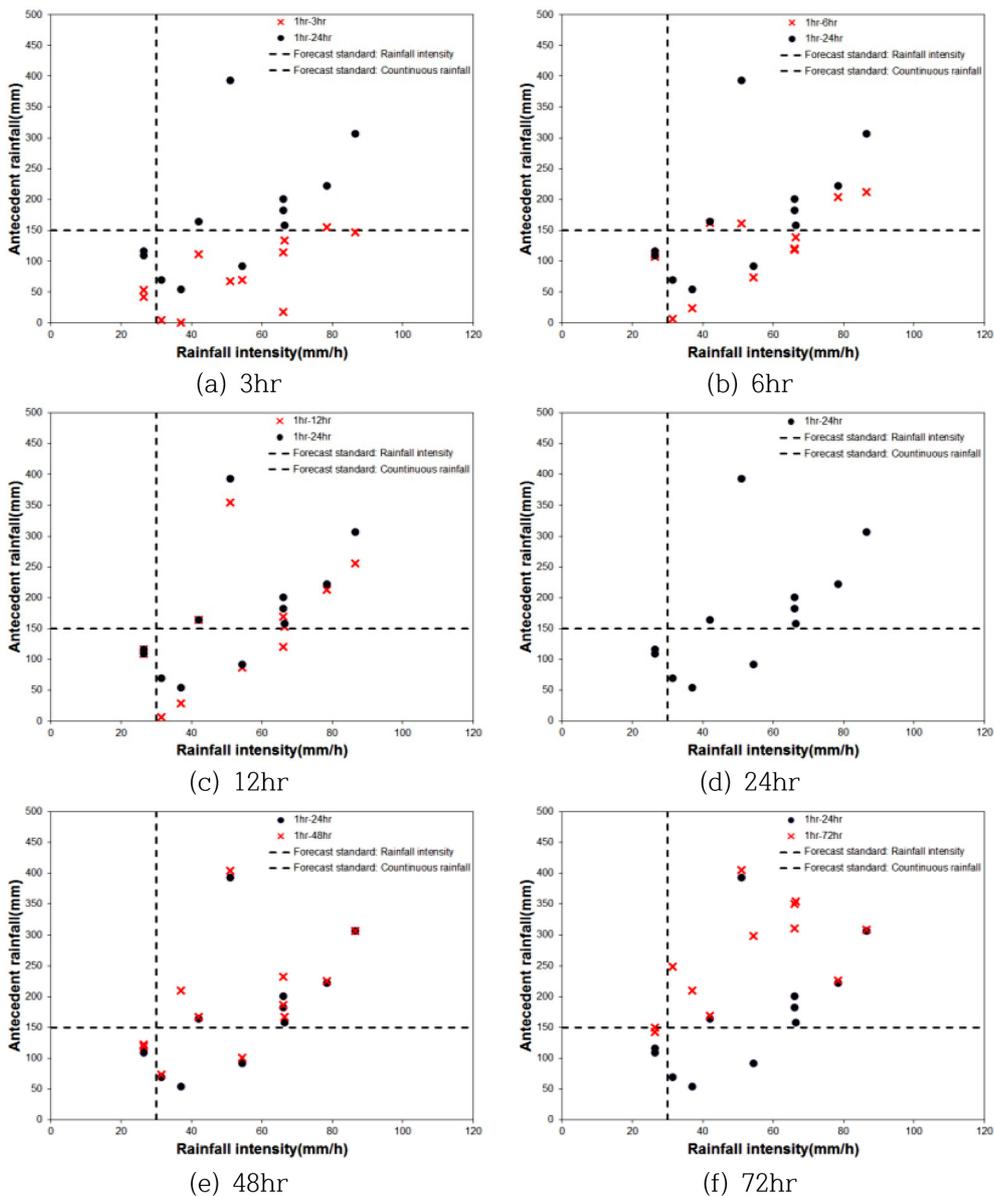


Fig. 4. The Comparison of Rainfall Intensity(mm/hr) and Antecedent Precipitation(mm) According to Duration of Antecedent Precipitation.

나타났다. 미포함된 2개 사상도 149.5 mm와 143 mm로 기준에 매우 근접한 것을 볼 수 있다.

시간최대 강우강도가 대략 60 mm이하인 경우 24시간(1일) 선행 강우량이 이전 산림청 기준인 150 mm 이하인(기준에 미달하는) 경우가 5개 사상(1일 강우량 최소 37.5 mm, 최대 116.0mm)으로 나타났으나 동일 사상에 대해 선행 시간을 72 시간까지 확장한 결과 모두 기준 150 mm에 근접(2개 사상 149.5 mm와 143 mm)하거나 상회하였다. 이는 대부분 사상의 시간최대 강우량이 30 mm를 상회한다는 점을 볼 때 소규모 호우사상이 3일 이상 꾸준히 지속되는 경우보다는 일정한 시간간격을 두고 폭우가 반복되는 복합호우로 인한 결과를 판단된다. 따라서, 실제 산사태 발생 측면에서 보면 1일 선행 강우량 기준만으로 판단하기는 무리가 있으며, 이러한 경우 1일에 이내 집중되는 기록적인 단순호우 외에도 지속시간이 3일 이상 되는 중규모(최대 시간강우량 30~60 mm) 복합호우로 인해 산사태가 발생할 수 있음을 보여주고 있다.

또한 이러한 결과는 산사태 발생 전 3일 선행 강우량과 발생 당일의 강우강도가 산사태와 밀접한 관계가 있다고 보는 일본의 경우와 상통하는 면이 있다. 본 분석에서 발생한 최대 시간 강우강도는 대부분 산사태 발생시점 주변에서 발생하였기 때문이다. 산사태 발생에 있어 선행강우량과 강우강도의 중요성은 어느 정도 검증이 되었다고 보여진다. 선행강우량은 토사나 암반 혹은 수목 뿌리간의 응집력 혹은 마찰력을 약화시키고 더불어 토사의 하중을 증가시켜 산사태가 발생할 수 있는 충분한 유동조건을 마련하고 강우강도는 이러한 유동조건에 일정시점에서 실제 산사태가 발생하도록 충격하는 도화선과 같은 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다.

본 분석 결과를 통해 볼 때, 단시간 기록적인 폭우로 인한 산사태 및 복합호우로 인한 산사태 등을 모두 고려하기 위해서는 이전 기준인 1일 강우량 기준은 다소 미흡한 점이 있다고 판단되며, 특히 호우양상이 복합호우 형태를 가지는 경우 연속강우량 기준으로 판단하는 것이 보다 효과적일 것으로 보인다. 또한 연속강우량 기준도 기준 200 mm에서 150 mm 정도로 낮추는 것이 적정하다고 판단된다.

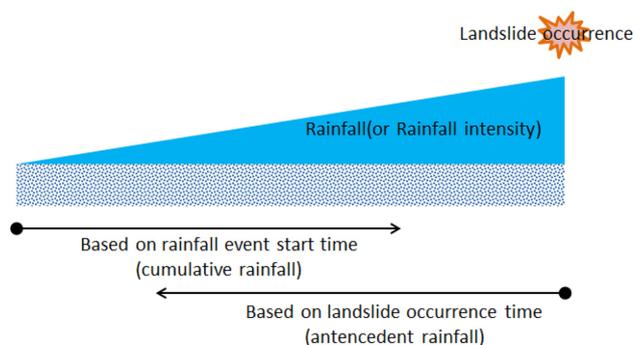


Fig. 5. A Method for Selecting Time Frames for A Landslide Event Analysis.

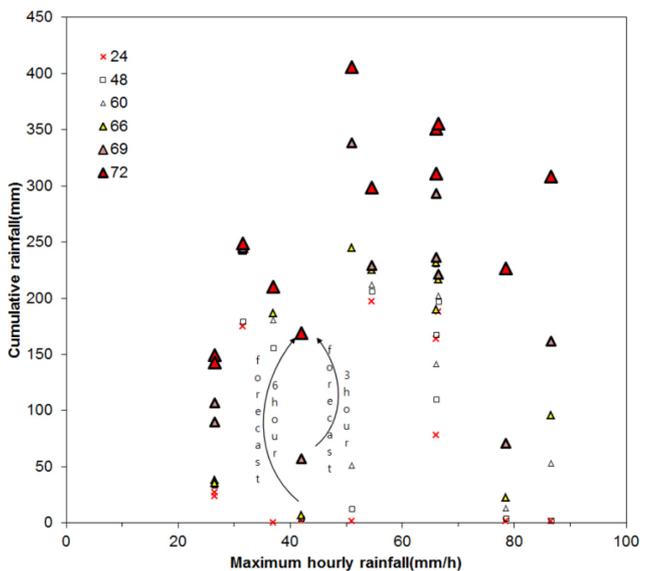
Fig. 5와 Fig. 6은 산사태 예보 측면에서 발생시점 기준으로 선행시간 개념이 아닌 산사태 발생시점 3일 이전 기준으로 호우발생 시점 방향으로 누가강우량의 변화를 분석한 모식도와 결과이다.

본 분석의 목적은 실제로 산사태 예보를 위해서는 미지의 산사태 발생시점 기준이 아닌 호우발생 시점을 기준으로 산사태 발생시점의 추정이 필요하기 때문에 실제 시간 흐름에 따른 누가강우량의 변화 정도와 산사태 발생시점과의 관계를 분석하기 위함이다. 이때 발생시점 3일 이전을 기준으로 정한 이유는 앞서 분석한 결과와 같이 일반적으로 하나의 호우사상이 3일 이상 지속되는 경우는 드물기 때문에 3일 이전을 산사태를 유발하는 유효 최대 유효 호우의 지속기간으로 보고 동일한 지속기간 조건에서 여러사상을 비교분석하기 위함이다.

앞서 분석결과에서 언급했듯이 시간최대강우량이 30 mm 이상인 경우 산사태 발생시점은 누가강우량이 대략 150 mm를 상회하는 경우에 발생하고 있다.

예를 들자면, 현재 강우가 지속되고 있고 시간최대강우량이 30 mm를 넘었거나 넘을 것으로 예상되며 향후 3시간 또는 6시간 누가강우량이 150 mm를 넘을 것으로 예보된 경우 산사태 발생확률이 매우 높다고 판단할 수 있다.

즉, 산사태 발생은 상대적으로 산사태 발생시점 6시간 이내 강우량의 크기(강우강도 혹은 강우량)에 크게 좌우되고 이에



Comment : Storm Event Classification for this landslide study (under consideration of duration of a storm); if landslides are occurred at the same time nearby area, it has been assumed that same storm caused these landslides. Otherwise, a storm has been considered different events since landslides are occurred on the other days.

Fig. 6. An Analysis of the Relation Between a three-day(72hr) Cumulative Precipitation and Characteristics of Landslide Events.

대한 필요조건은 현재까지의 누가강우량이 150 mm 이상 온 경우에 한정된다고 볼 수 있다.

이는 최대 강우강도가 기록된 후 3시간 이내에서 90% 이상의 산사태가 발생하였다고 보고한 한중근(2001) 등의 연구와 부합하는 면이 있다.

단, 본 분석에서는 일부 대표적인 호우사상만을 분석한 결과로 보다 확실적인 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 자료수집과 추가 분석 및 연구가 요구된다.

#### 4.2 강우자료의 시간 스케일

다음 Fig. 7의 그래프 (a)-(f)는 강우관측 자료의 시간 스케

일에 따른 이전 산림청 산사태 기준(1988)의 적정성을 분석한 결과이다. 강우관측 단위시간은 현재의 기준인 시단위와 이보다 세밀한 10분단위 강우량을 분석하였다. 현재 기상청 AWS의 경우 분단위 관측을 수행하고 있으며 국토해양부 강우강측소의 경우도 10분단위 관측을 수행하고 있다. 본 분석의 목적은 짧은 기간 기록적인 폭우로 인한 산사태의 경우 과거 시단위로 설정된 산사태 기준의 적정성을 분석해 보고자 함이다. 단, 본 분석은 지속기간 1시간 이하 강우로 인한 산사태 유발 가능성을 검토해 보고자 함은 아니며 1시간 간격 측정으로 인한 산사태 발생시점 추정이나 예보지연 등의 문제점을 도출하고 이에 대한 적절한 개선을 위한 올바른 대응방안을

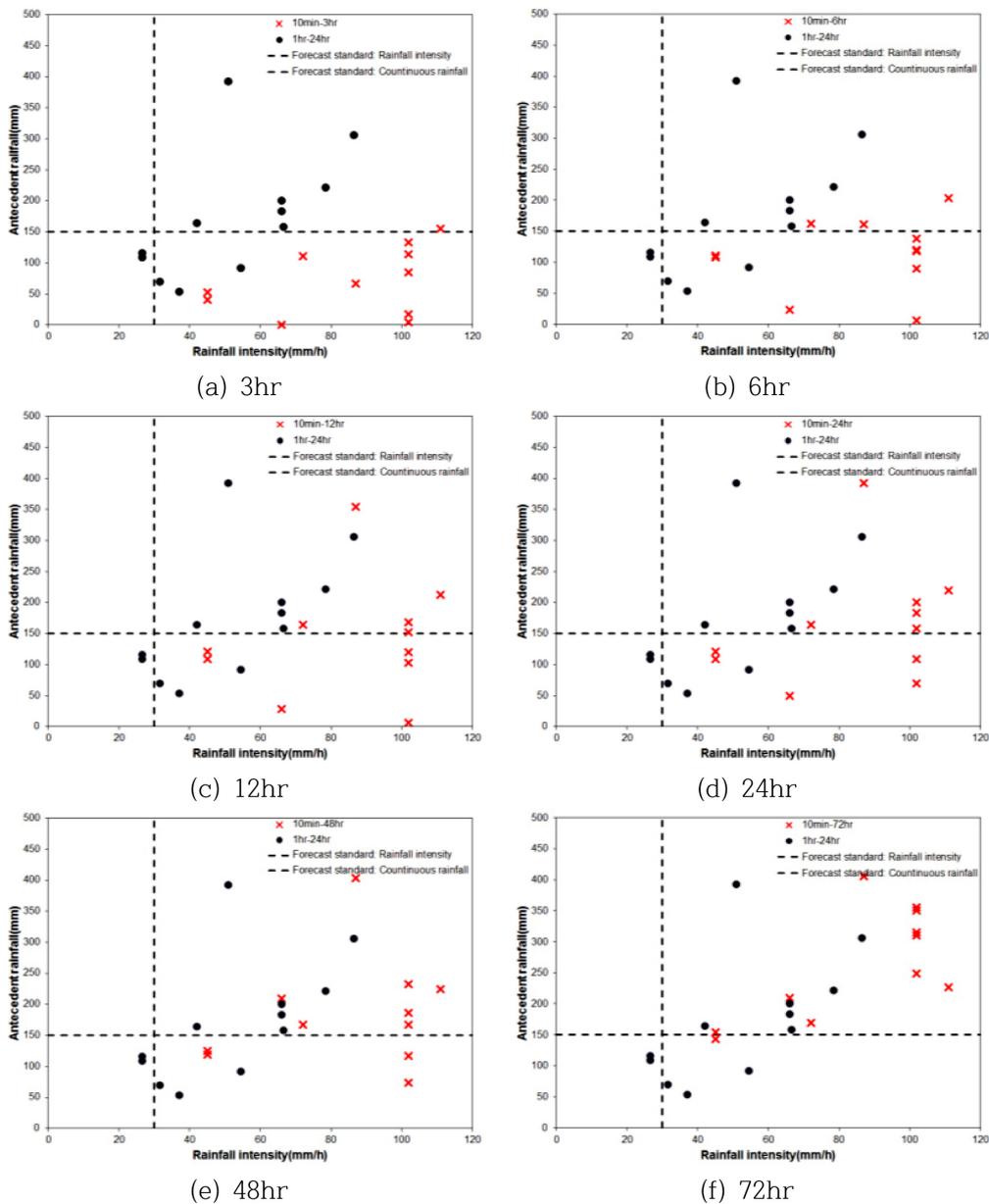


Fig. 7. The Comparison of Rainfall Intensity(mm/hr) and Antecedent Precipitation(mm) Using 10-minute Interval and Hourly Rainfall Data.

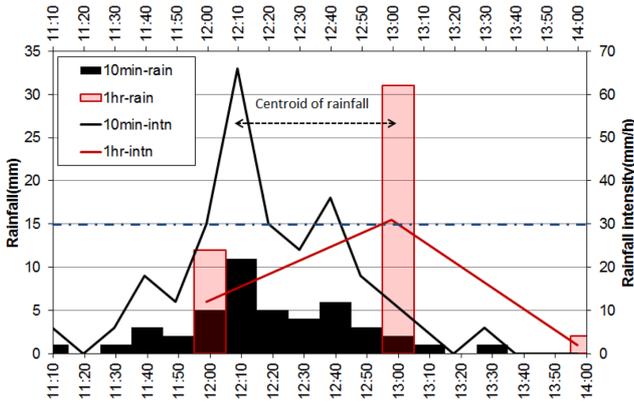


Fig. 8. The Comparison of Real-time Landslide Warning Systems using 10-minute Interval and Hourly Rainfall Data (Concept).

설정하기 위함이다.

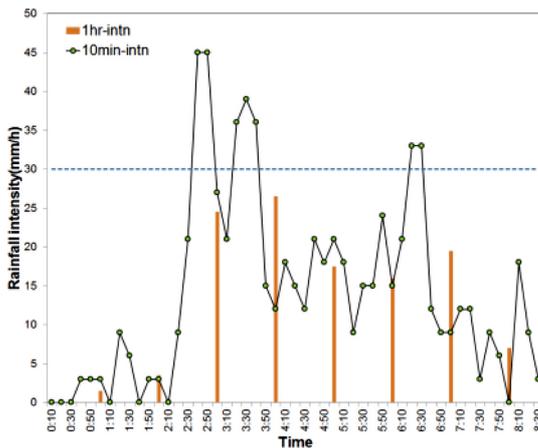
분석결과, 선행 강우시간에 따라 선행강우량의 증가로 기준에 포함되는 강우사상이 증가하는 것과 선행 72시간 강우량의 경우 1일 강우량 기준인 150 mm에 거의 포함되는 것은 앞

의 결과와 동일하게 나타나고 있다.

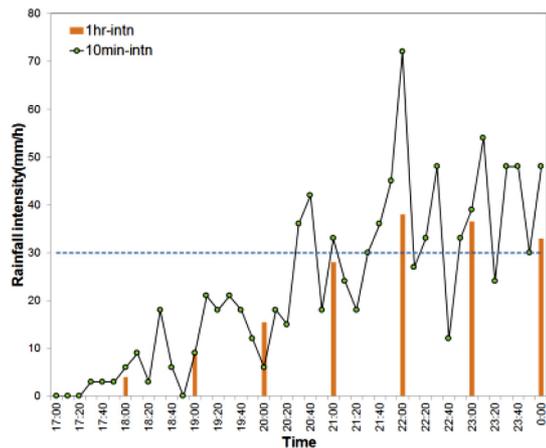
앞서 시단위 자료 분석에서 언급하였듯이 선택된 호우사상의 경우는 모두 선행 시간최대 강우량이 30 mm에 근접하거나 상회하므로 시간최대강우량(강우강도) 기준의 적정성 분석은 유의성이 커 보이지는 않는다. 그러나 10분단위 강우량이기 때문에 강우강도의 경우 시간최대 강우강도에 비해 10분 강우강도가 크게 나타난다. 이는 해당 지속기간 동안 강우강도가 지속된다는 평균 강우강도 개념이므로 당연한 결과이다.

그러나 강우강도와 더불어 강우의 발생순서도 함께 고려하여 보면 상당히 의미 있는 결과를 도출할 수 있다. 즉, Fig. 8에서 보듯이 10분단위 강우량을 사용하였을 경우 일정한 조건(산사태 유발 가능 조건)하에서 현재 시간 최대강우량(최대 강우강도) 기준에 도달하는 시간이 빨라 선행예보시간을 좀 더 확보할 확률이 높아진다는 것이다.

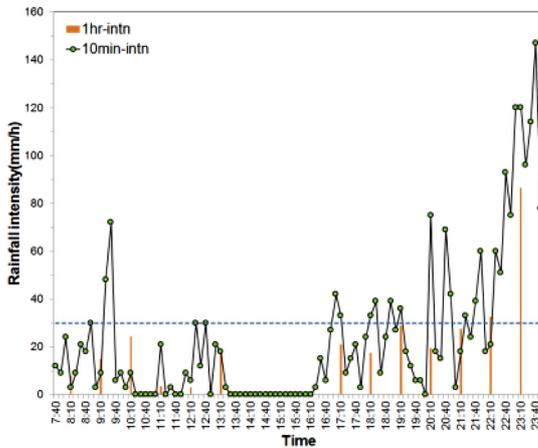
Fig. 9의 4가지 실제 호우 예에서 보듯이 임의의 호우가 시작된 이후 임의의 시점에서, 최소 6시간 이상 호우가 지속될 것으로 예측되고 강우량이나 강우강도가 지속 혹은 증가추세



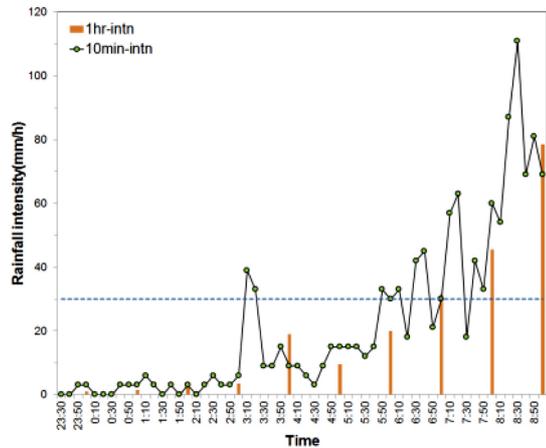
(a) Cheongpyeong (2011. Jun. 29th)



(b) Chuncheon (2011. Jul. 27th)



(c) Namhyun (2011. Jul. 27th)



(d) Gangneung(2002. Aug. 31th)

Fig. 9. Comparison of Real-time Landslide Warning Systems using 10-minute Interval and Hourly Rainfall Data (Case Analysis).

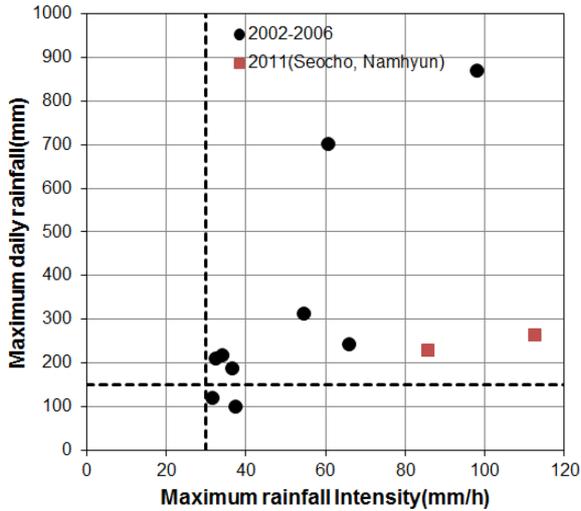


Fig. 10. Warning Criteria for Landslide Events Occurred in 2002~2006, and 2011.

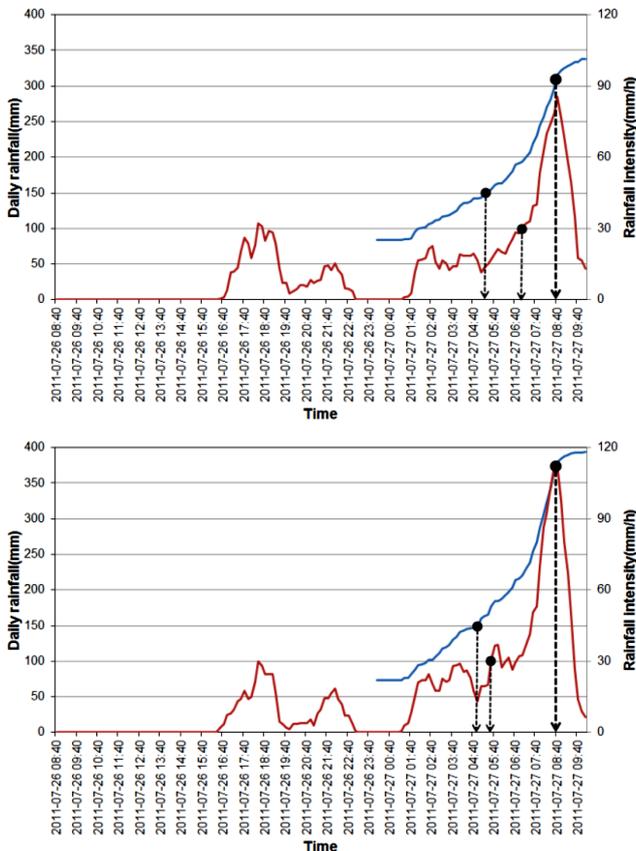


Fig. 11. Analysis of Warning Criteria of Landslide Events with Rainfall data in 21th of June, 2011(Secho and Namhyun).

에 있는 경우, 시간단위 강우강도 기준은 산사태가 발생하기 전까지 최대 2시간 이상을 확보하지 못하고 있다. 따라서 이러한 경우 사전 예보시간을 확장하기 위해서는 기존의 시간 단위 강우강도 기준보다는 10분 등과 같은 시간 단위 이하의 강

우자료를 활용하는 것이 효과적일 것으로 예상된다. 단, 이 경우에도 경보기준을 시간단위 강우강도 기준과 같은 30 mm로 그대로 적용할지 아님 새로이 제시할지는 추가적인 분석을 통해서 적정수준을 도출 하는 것이 바람직하다.

즉, 기존 산림청 기준(1988)은 강우강도가 아닌 시간최대 강우량으로 되어 있어 실제 1시간단위 자료를 기준으로 하고 있으며, 실제 산사태가 발생한 사상을 분석해 본 결과 10분단위 강우량의 강우강도가 시간단위 강우량의 강우강도 보다 커서 단시간 강우량의 크기(강우강도) 변화를 보다 세밀하게 분석 가능하다. 즉, 국지성 집중호우와 같이 짧은 기간 큰 강우강도를 가진 호우사상의 경우 10분단위 강우량 사용이 보다 긴 선행 예경보 시간을 확보하는데 효율적일 수 있고 이는 향후 산사태 예보 기준 개선 시 반드시 추가적인 연구가 필요한 부분이다.

기존의 예경보 기준의 한계는 2011년 호우에서도 명확히 나타난다. Fig. 10과 Fig. 11은 2011년 7월 기상청 서초와 남현 AWS 관측소 10분 간격 자료 분석결과이다. Fig. 10은 이전 일강우량과 강우강도 산사태 경보기준을 토대로 2002-2006년 주요 발생 사상과 2011년 사상을 비교한 것이다. 그리고 그림 Fig. 11은 강우시계열을 토대로 기준을 적용해 본 결과이다. 파란색 선은 일강우량의 연속변화를 나타내고 빨간색 선은 시간강우강도의 변화를 나타낸다. 우측의 붉은 점선은 산사태가 발생한 것으로 추정되는 시간(한국지반공학회, 2011)이다. 좌측의 점선은 일강우량 기준 경보 발생 기준(150 mm)이고 가운데 점선은 강우강도 기준 경보 발생 기준(30 mm/h)이다. 2011년 7월 21일 서울 강남지역 호우의 경우만을 볼 때 산사태 발생 전 최소 대략 1.5시간에서 3시간 전에 경보가 발령되므로 기준은 충분하지는 않지만 최소 기준은 만족한 것으로 보인다. 그러나 이러한 결과는 해당지점의 해당호우에 한해 산사태가 발생한 시점 이후에 결과론적으로 해석한 것이기 때문에 실제 상황에서의 예보 기준으로는 부족한 점이 많다. 따라서 보다 실효적인 대피를 위해서는 실제 산사태 발생 시점을 예측하는 것이 중요하다.

이전의 산사태 예보기준은 일강우량, 누가강우량, 시간최대 강우량(최대 시간강우강도) 만을 고려한 기준으로 강우의 지속 기간에 따른 산사태 발생특성, 시간 단위 이하 강우강도를 고려하지 못해 실제 집중호우의 적정 예보시간을 확보하지 못하는 점 등 실무적인 적용의 한계를 가지고 있다. 따라서 향후 이러한 연구가 추가로 진행된다면 보다 실무에서 실효적이고 정확한 산사태 예보가 가능할 것으로 예상된다.

## 5. 토론 및 고찰

2013년 이전의 산사태 주의보나 경보를 발령하는 강우 기준은 시간강우량(강우강도), 일강우량(24시간), 연속강우량을 사용하였는데, 개편된 산사태 기준을 살펴보면 기존의 강우측

면 중 연속강우량의 개념에 지질특성을 추가적으로 고려한 것으로 볼 수 있다. 강우측면에서는 강우강도, 일강우량 보다는 연속강우량의 개념으로 접근하고 있다.

본 연구에서 검토한 호우사상에 의한 산사태의 특성을 기존의 산림청 산사태 예보기준(1988) 측면에서 간략히 요약하면 다음과 같다. 산사태를 유발하는 호우의 특성 중 강우강도는 산사태를 발생시키는 원인이라고 볼 수는 있지만, 연속강우량의 기준을 초과하는 호우사상의 대부분은 기존의 경보 기준치인 30 mm/hr를 초과하였다. 따라서 산사태 예보기준에서 강우강도를 연속강우와 동시에 척도로 삼는 것은 유의성이 크지 않아 보인다. 또한, 일정한 시간간격을 두고 폭우가 반복되는 복합호우로 인해 산사태가 발생하는 경우도 상당수 존재하며, 이는 기존의 1일 선행 강우량 기준만으로 판단하기는 무리가 있으며, 이러한 경우 1일 이내 집중되는 기록적인 단순호우 외에도 지속시간이 3일 이상 되는 중규모(최대 시간강우량 30~60 mm) 복합호우로 인해 산사태가 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 이는 2013년 개편된 산사태 예보기준에서 토양함수지수를 산사태 예보기준으로 삼은 것과 같은 맥락에 있다고 보여진다.

또한, 지역적인 지질특성을 반영하고, 강우자료로 기상청의 동네예보 자료를 활용하여 공간적인 정밀성을 높인 것은 국지적으로 발생하는 산사태의 특성과 최근의 국지적 돌발홍수 증가하는 기후영향을 충분히 고려하였다고 판단할 수 있다.

하지만, 현재의 산사태 예보 기준에서는 권역단위가 크고, 지질특성 분류가 3단계로 구분되어 산사태 예보는 장기간의 호우사상에 대해서는 광범위한 지역에 동시다발적으로 발령될 것으로 예측되며, 이는 기존의 예보기준에서도 예상할 수 있었던 문제이다. 과도한 주의보·경보 발령은 재난예방의 관점에서 접근한다면, 과소한 경우 보다는 바람직한 경우라 할 수 있으나 재난지역 주민 혹은 관련 부처 담당자에게는 산사태 발령 경보에 대한 경각심을 무더지게 하거나 발령때 마다의 대피 혹은 준비태세로 인한 인력, 재정의 필요 이상의 소모를 야기할 수 있다. 더욱이 최근 국내의 기후변화 추세는 국지적인 돌발호우의 발생사례가 증가하고 있으며, 앞에서 언급한 2011년 7월 서울지역의 강우특성에서도 볼 수 있듯이 공간적으로 유사한 지역에 대해서도 강우편차가 크게 발생하고 있다. 물론 개편된 예보기준에서는 기상청 동네예보(714개 관측소의 5 km×5 km 격자단위 강우) 자료를 사용하고 있어, 지역적으로 세밀한 구분이 가능하다.

하지만 개편된 산사태 예보기준에서의 강우 권역을 4단계로 구분한 것은 아쉬운 점이 남는다. 단계별 범위가 너무 커서 기상청 동네예보 자료의 활용을 통한 공간적 정밀성을 감쇄시킬 우려가 있기 때문이다. 또한, 7-9월의 월평균 강우만을 권역기준으로 삼는 것 보다는 전기간 강우자료를 바탕으로 권역 구분을 하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 대부분의 호우는 7-9월에 발생하지만, 최근의 기후동향은 국지성 돌발

호우가 빈번하고 6, 10월의 태풍의 영향도 무시할 수 없기 때문이다. 2011년에 한국건설기술연구원에서 연구한 “확률강우량도 개선 및 보완 연구”에서는 기상청 강우자료를 이용하여 전국의 지점별 확률강우량을 산정했으며, 확률강우량을 격자별로도 제공하고 있다. 강우권역을 격자단위 확률강우량으로 구분하고 지질특성을 고려하여 권역을 구분한다면 현재보다는 더 세밀한 공간적 정밀성을 확보할 수 있으리라 생각된다. 그리고, 동네예보 강우자료는 시간단위의 강우자료 보다는 10분단위 혹은 그 이하단위의 강우자료를 활용하는 것이 산사태 선행 예보시간 확대에 유리할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

산사태 관련 연구의 경우 산사태 발생의 근본적 원인 및 예경보 체계의 근간이 강우에 있음에도 지금까지 국내 연구는, 산사태 등으로 인한 피해를 사전에 방지하기 위해 도로나 배수설계 기준 정비(도로선형설계 및 배수설계, 수충부 방재설계) 위주로 추진되어 설계 기준을 넘어서는 호우에 대한 대책이 미비하고 산사태 예경보 목적에 활용하기 어려운 현실이었다.

강우의 지속기간별 발생빈도에 따른 산사태 발생 위험도 설정에 대한 연구, 단기간 집중호우 및 장기간 지속적인 강우에 따른 산사태 발생에 대한 연구가 시급하며, 관련 방재 시설물 설계 목적에서는 발생 재현기간에 대한 고려와 이에 대한 기준이 필요하다. IDF 곡선과 산사태 유발 강우를 비교 분석하여 산사태 발생 재현기간에 대한 정량화가 필요하나, 현재 사면재해를 유발하는 강우에 대한 일부 연구사례가 있지만 지역별 강우 재현주기와 함께 분석한 사례는 일부(김정석, 2008)를 제외하고 찾아보기 어렵다. 사면재해를 유발하는 강우특성을 지역별로 강우강도-지속시간-재현주기 형태로 분석하면 지역별 강우특성에 따른 재해민감도를 확인할 수 있고 산사태와 같은 사면재해 대책 구조물 등을 설계할 때에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

짧은 지속기간에 큰 강우강도를 가지는 국지성 호우가 급격히 증가하고 있는 최근의 호우패턴을 고려할 때, 1시간 이하 강우량을 이용한 산사태 발생시점에 대한 분석과 검증이 필요하다.

본 연구 결과를 통해 볼 때, 단시간 기록적인 폭우로 인한 산사태 및 복합호우로 인한 산사태 등을 모두 고려하기 위해서는 기존의 1일 강우량 기준은 다소 미흡한 점이 있다고 판단되며, 특히 호우양상이 복합호우 형태를 가지는 경우 연속강우량 기준으로 판단하는 것이 보다 효과적일 것으로 보인다. 또한 연속강우량 기준도 기존 200 mm에서 150 mm 정도로 낮추는 것이 적절하다고 판단된다.

강우강도 또한 산사태를 발생시키는 원인이라고 볼 수는 있지만, 연속강우량 기준을 초과한 호우사상의 대부분은 기존의 경보 기준치인 30 mm/hr를 초과하는 것으로 나타났다.

이러한 측면에서 2013년에 개편된 산사태 예보기준은 강우 측면에서는 본 연구의 결과에 부합하는 방향으로 개편된 것으로 사료된다. 결론적으로 산사태 대응에 보다 신속함을 기하기 위해서는 체계적인 자료 축적과 시공간적으로 상세화 과정을 거친 실시간 강우자료를 활용한 산사태 예보 시스템이 요구된다.

또한, 산사태가 빈번히 발생하는 산지지역에 대해서는 국지성 집중호우에 대비한 강우레이더 등의 설치를 통하여 양질의 자료축적을 도모하고, 기상청 이외 국토교통부, 기상청, 수자원공사 등의 강우자료를 공동활용하여 관측정밀도를 향상한다면 현재의 산사태 예보 시스템의 정확도 및 신속성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요(시드) 사업(지역특성을 반영한 상세 격자강우량 생산기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

Brand, E.W. (1985) Predicting the Performance of Residual Soil Slopes Proc., 11th ICSMFE. Sanfran-cisco. pp. 2541-2573.

Caine, N. (1980) The rainfall intensity: Duration control of shallow landslides and debris flow, *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*. Vol. 62, pp. 23-27.

Chan Young Yune, Kyoung Jea Jun, Kyung Suk Kim, Gi Hong Kim, Seung Woo Lee (2010) Analysis of Slope Hazard-Triggering Rainfall Characteristics on Gangwon Province by Database Construction, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 26, No. 10, pp. 27-38.

Choi, K. (1989) Methodologies for Landslide Prediction and Prevention Efforts, Research Databases of Korea Forest Research Institute, No. 27, pp. 1-3.

Choi, W.-J., Jung, J.-H., Shim, J.-H., Lee, W.-H., and Park, Y.-S. (2008) On-site Investigations into the Damage of Heavy Rainfalls in Bong-Hwa and Necessary Recommendations for Recovery, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 8, pp. 69-74.

Crosta, G.B. and Frattini, P. (2000) Rainfall threshold for triggering soil slips and debris flow, *Mediterranean Storms: Proceedings of the EGS 2nd Plinius Conference*. Siena, Italy, pp. 463-487.

Gangneung National University (2007) Development of Advanced River-Road Disaster Prevention Design Adjacent to Water Impact Area for the Control of Debris Flow and Sediment Runoff.

Han, J.-G. (2001) The Characteristics of Rainfalls and Landslides in Busan, *Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 24-31.

Hong, W.-P., Kim, Y.-W., Kim, S.-K., Han, J.-G., and Kim, M. (1990) Prediction of Rainfall-triggered Landslides in Korea, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 6, No. 2, pp. 159-167.

Yang, I.T. Chun, K.S. Park, J.K., and Lee, S.Y. (2007) An Estima-

tion to Landslide Vulnerable Area of Rainfall Condition using GIS, *Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 15, No. 1, pp. 39-46.

Park, J.S., Kim, K.T., and Choi, Y.S. (2012) Landslide Risk Assessment Using HyGIS-Landslide, *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 15, No. 1, pp. 119-132.

Kim, K.-S. (2008) Characteristics of Basin Topography and Rainfall Triggering Debris Flow, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 5C, pp. 263-271.

Kim, Y.M. and Jung, S.W. (2000) A Study on the Rainfall-Triggered Landslides in Tajjon-Chungnam Area, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 20, No. 4C, pp. 341-355.

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2011) The Damage Analysis of Heavy Rainfalls in Metropolitan area on July, 2011.

Korean Geotechnical Society (2011) An Investigation into the Causes of Landslide in Woo-Myun Mountain and Suggestions for Necessary Recovery Efforts.

Kim, K.-S., Song, Y.-S. Cho, Y.-C., Kim, W.-Y., and Jeong, G.-C. (2006) Characteristics of Rainfall and Landslides according to the Geological Condition, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 16, No. 2, June, 2006. pp. 201-214.

Landslide Information Systems. Korea Forest Service(<http://san-satai.forest.go.kr>).

Lee, Y.-N. (1991) Geotechnical Engineering and Natural disaster(II)-Landslide, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 7, No. 1, pp. 105-113.

Lumb, P. (1975) Slope Failures in Hong Kong, *Quarterly Journal of Engineering Geology*. London, Vol. 8, pp. 31-65.

Ministry of Construction & Transportation (2006) The Damage Analysis of Typhoons and Heavy Rainfalls in 2006.

Ministry of Land Infrastructure and Transport (2004) Guidelines for Construction Technology Transfer: Development of Warning and Evacuation System Against Sediment Disasters in Development Countries, Japan.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011) Improvement and Supplement of Probability Rainfall Intensity.

Lee, M.J., Lee, S.R., and Jeon, S.W. (2012) Landslide Hazard Mapping and Verification Using Probability Rainfall and Artificial Neural Networks, *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.15, No.2. pp. 57-70.

Lee, S.W. Kim, G.H. Yune, C.Y., Ryu, H.J., Hong, S.J. (2012) Development of Landslide-Risk Prediction Model thorough Database Construction, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, No. 4, pp. 23-33.

Wilson, R.C. and Wieczoreak, G.F. (1995) Rainfall threshold for the initiation of debris flows at La Honda, California, *Environmental and Engineering Geoscience*, Vol. 1, No. 1, pp. 11-27.

Kim, W.Y. Lee, S.R. Kim, K.S., and Chae, B.G. (1998) Landslide Types and Susceptibilities Related to Geomorphic Characteristics -Yeonchon-Chulwon Area-, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 8, No. 2, pp. 115-130.

Yagi, N. and Yatabe, R. (1987) Prediction Model of Slope Failure in Sandy Soil due to Rainfall, *Proc., 8th Asian Regional Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1, pp. 217-220.

<b>Received</b>	May 12, 2014
<b>Revised</b>	May 14, 2014
<b>Accepted</b>	May 26, 2014