

산지 돌발홍수 모니터링 및 예경보체계 개선

Mountainous Flash Flood Monitoring and Improvement for the Prediction & Early Warning System

정재학*, 이종설**, 박상형***

Jae Hak Chung, Jong Seol Lee, Sang Hyung Park

요 지

매년 반복되는 산간계곡에서의 인명피해를 저감하기 위하여 방재연구소에서는 「산지 돌발홍수 예측시스템」을 개발하였으며, '10년 우기철동안 시범지역의 모니터링을 통해 시스템의 문제점을 분석하고, 이를 개선하기 위한 방안을 검토하였다. 산지지역 강우에 대한 모니터링은 현재 지방자치단체에서 운영하고 있는 자동우량경보시설을 활용하였으며, 해당 시설중 특히 수위계가 설치된 지역에 대하여 검토하였다.

수위자료 모니터링 결과를 바탕으로 정확도를 검토한 결과, 5개 시범지역의 경우 약 56%의 정확도가 있는 것으로 나타났다. 산정되었다. 그러나 시스템을 수정·보완한 후에는 정확도가 66%로 증가하였다. 향후 지속적인 모니터링과 문제점 분석을 통해 정확도를 지속적으로 향상시킬 계획이다.

핵심용어 : 돌발홍수, 강우예측, 이분법 예측방법, 모니터링

1. 서 론

최근 이상기후로 인한 국지적 집중호우가 증가하고 있으며, 특히 우리나라는 국토의 70%가 산지로 구성되어 매년 산간계곡에서의 인명 및 재산피해가 증가하고 있는 실정이다. 산간계곡은 경사가 급하여 짧은 시간의 집중호우에도 갑작스러운 돌발홍수를 야기하고 있으며 앞으로 이러한 피해는 더욱 늘어날 것으로 보인다.

이에, 소방방재청 방재연구소에서는 이러한 돌발홍수의 위험을 사전에 예측하고 경보를 전달하기 위한 '산지 돌발홍수예측시스템'을 개발 하였으며, 2010년도 강우사상에 대한 시범운영을 통해 예경보에 대한 모니터링 및 정확도 분석을 실시하고, 이를 개선하고자 하였다.

2. 돌발홍수 모니터링 및 정확도 분석

2.1 시스템 개요 및 모니터링

2.1.1 산지 돌발홍수예측시스템 개요

산지지역에서의 돌발홍수는 도달시간이 매우 짧아 사전 강우예측을 통한 대피체계를 갖추는 것이 매우 필수적이다. 이에 소방방재청 방재연구소에서는 강우예측을 기반으로 한 산지 돌발홍수

* 소방방재청 방재연구소 · 시설연구사 · E-mail : blueboat@korea.kr
** 소방방재청 방재연구소 · 시설연구관 · E-mail : jlee9609@korea.kr
*** 소방방재청 방재연구소 · 연구원 · E-mail : chow798@korea.kr

예측시스템을 개발하게 되었다. 본 시스템은 기상청으로부터 초단기 강우예측모형인 MAPLE 자료를 전송받아 활용하게 되며, 국내 돌발홍수 위험지역을 선정하여 각 지역별 경보발령기준 설정을 통해 예경보를 실시하게 된다. 현재, 소방방재청 재난상황실로 해당 예경보를 시범적으로 전송 및 운영하고 있다.

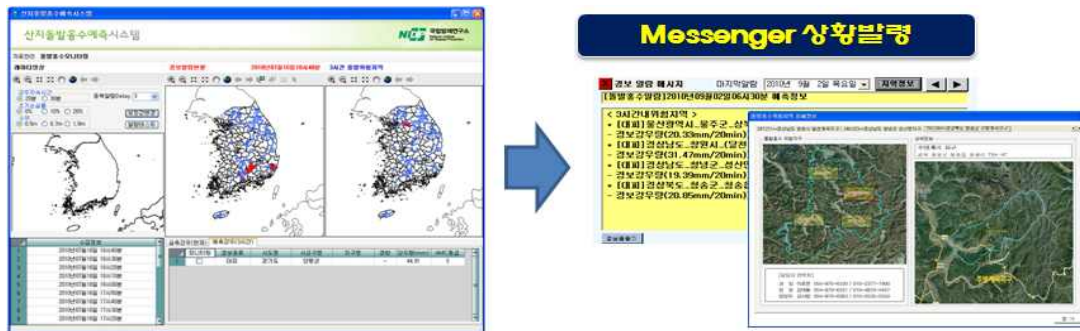


그림 1. 산지돌발홍수예측시스템 및 메신저를 통한 예경보 전송

2.1.2 돌발홍수 모니터링

산간계곡에서의 돌발홍수를 모니터링하기 위해서 자치단체에서 설치·운영중인 자동우량 경보 시설을 활용하였다. 자동우량경보시설은 산 정상부근에 강우량계를 설치하고, 하류부 지역에 경보 국을 설치하여, 실제 일정시간 동안 내린 강우를 바탕으로 경보를 내리는 시설로써, 현재 우리나라에는 약 180여개소가 설치·운영중에 있다. 특히 일부지역에서는 수위계도 설치되어 산지 돌발홍수를 모니터링 하기에는 매우 좋은 관측시설이며, 이를 모니터링하기 위하여 방재연구소에서는 전국의 해당 관측데이터를 연구소로 수집하는 프로그램을 개발하여 운영중에 있다.

2.2 예경보 정확도 분석

본 연구에서는 3가지 방법으로 정확도 분석을 실시하였다. 첫 번째는 단순히 강수유무를 통한 정확도 분석이며, 두 번째는 실제 경보발령상황과의 비교분석, 마지막으로 수위자료를 통한 정확도 검토를 실시코자 하였다.

2.2.1 대상강우 및 예경보 발령현황

본 연구에서는 2010년도 7.16~9.11까지 내린 호우사상을 모니터링 실시하였다. 특이사항으로는 8월의 강수일수는 18.7일로 평년 12.6일보다 많았고, 1973년 이래 1위를 기록하였다. 또한, 서울의 경우 강수일수는 32일로 관측이래 최대 강수일수를 기록하였으며, 누적강수량은 951.7mm로 3위에 해당하는 것으로 나타나는 것으로 기상청에서 발표되었다.

산지 돌발홍수예측시스템은 09년에 145개 대상지역을 중심으로 초기모형이 완성되었으며, 이 시스템을 '10년도 우기철에 시범운영 하였다. 시범운영기간동안 총 예경보 발령횟수는 347회로서 일평균 6회 정도 전국적으로 발령이 되었으며, 실제 강우일수에 대한 발령횟수는 일평균 10회로 나타나 다소 과다하게 경보가 발령된 것으로 나타났다. 해당 기간동안 가장 많은 경보발령이 난 시군은 전북 진안군으로 총 39회 발령되었으며, 그 다음은 경남 함양군, 충북 괴산군 순이었다. 이러한 과다한 경보발령의 이유는 기본적으로 비가 많이 내린 탓도 있지만 경보발령 기준이 너무 낮게 설정된 것도 큰 이유라 할 수 있다.

2.2.2 강수 유무에 의한 정확도 분석

강수유무에 따른 정확도 비교는 시범 대상지역의 산지 돌발홍수시스템의 예경보 자료와 대상지역에 설치된 강우량계의 강우자료를 단순 비교하게 되는데, 강우자료는 예측 시점으로부터 3~4시간 이후에 발생한 실제 강수자료를 이용한다. 정확도 비교를 위해서 실제 시스템상 예경보 발령횟수인 347회중 비교가능한 강우관측자료가 있는 대상지역에서 예경보가 발령난 285회에 대하여 검토하였다. 표 1에서 보는바와 같이 1차 모니터링 기간에서는 83%의 정확도를 가졌으나, 2차 모니터링 기간에는 91%로 향상된 것을 알 수 있다. 1차와 2차로 모니터링 기간이 구분된 것은 1차 모니터링 이후 시스템의 일부가 수정되었기 때문이다.

단순한 강수 유무에 대한 정확도는 어느 정도 높게 나타났으나, 이를 돌발홍수 예경보 개념에서 정확도를 논하기에는 적절하지 못한 것으로 판단된다.

표 1. 강수유무에 따른 예경보 정확도

대상기간	총 발령횟수	강우 미발생 횟수	정확도
7.16 18:00 ~ 8.13 20:00	116	20	83%
8.13 20:00 ~ 9.11 24:00	169	16	91%
합계	285	36	87%

2.2.3 자동우량경보시설 경보발령에 의한 정확도 분석

앞 서 살펴본 강수 유무에 의한 정확도 분석은 강수자료 부족 및 강우지속시간 검토 부적정 등 다소 정확한 분석을 이끌어 내는데 어려움이 있다. 따라서, 본 절에서는 자동우량경보시설에서 실제 발령 난 상황을 전반적으로 분석하였다. 예경보 정확도는 표 2와 같다.

실제 산간계곡 현장에 설치된 경보기의 발령자료와 비교한 결과 정확도는 42%로 나타났다. 그러나, 자동우량경보시설의 경보발령도 실제 경보가 울려야 할 만큼의 강우가 발생하였는가를 나타내는 지표로는 한계가 있다. 예를들면, 자동우량경보시설의 20분 누적강우만으로는 강우가 만약 지속되지 않는다면 돌발홍수를 야기할 수 없기 때문에 실제 돌발홍수가 발생하였는지는 알 수 없다. 따라서, 앞서 살펴본 강우 및 실제 경보발령자료는 참고사항이지 실제 돌발홍수에 적합한 정확도 비교는 어려운 상황이다.

표 2. 강수유무에 따른 예경보 정확도

대상기간	총 발령횟수	예측경보와 실제경보가 일치하는 횟수	정확도
7.16 18:00 ~ 8.13 20:00	76	23	30%
8.13 20:00 ~ 9.11 24:00	171	80	47%
합계	247	103	42%

2.2.4 수위자료에 의한 예경보 발령 정확도 분석

돌발홍수 사상을 가장 직접적으로 정확도를 판단할 수 있는 자료는 수위자료라 할 수 있다. 그러나 산간계곡의 수위자료 모니터링 자료는 충분치 못함에 따라 5개 대상유역 대해서만 우선적으로 검토하였다. 본 연구에서는 수위변동과 경보발령에 대해서 이분법을 통하여 예경보 발령 정확

도를 분석하였다(그림 2). 이분법 예측방법은 어떠한 사건이 발생할 경우와 발생하지 않을 경우로 나누어 평가하는 방법으로 주로 기상학적 현상에 대한 예보에서 많이 사용되고 있다.

정확도 등을 산정한 결과는 표 3과 같다. 전남 곡성군 압록지구의 경우 정확도가 가장 높게 나타났으며, 충북 괴산군 달천지구의 경우는 낮게 나타났다. 전반적으로 정확도는 56%로써, 절반이상의 경보발령 정확도는 유지하는 것으로 나타났으나 국민의 생명과 안전에 대한 적극적인 대응을 위해서는 이보다 높은 정확도를 나타내어야 할 것으로 판단된다.

그리고 FAR(False Alarm Ratio)의 값이 너무 높게 나타나고 있어 이는 과잉경보의 영향인 것으로 판단되며 경보발령기준의 재설정이 필요한 것으로 판단된다. 이는 결국 CSI(Critical Success Index)로 연결되어 매우 낮은 0.27의 값을 나타내게 되었다. 따라서 효과적인 예경보를 위해서는 예경보 발령기준 뿐만 아니라 여러 가지 상황을 고려한 산지 돌발홍수예측시스템을 갖추어야 할 필요가 있다.

		수위변동		
		Yes	No	Total
경보 발령	Yes	hits	false alarm	forecast yes
	No	misses	correct negatives	forecast no
	Total	observed yes	observed no	total

- Hit : 사건이 발생할 것이라고 예측한 것이 실제로 관측된 경우
- Miss : 예측은 하지 못했으나 실제로 관측된 경우
- False Alarm : 사건이 발생할 것이라고 예측하였으나 관측되지 않은 경우
- Correct Negative : 예측하지 못하고 실제 관측되지 않은 경우

그림 2. 예경보 정확도 분석을 위한 이분법 예측방법

표 3. 대상지구별 경보발령 정확도 산정 결과

대상지구	Accuracy	POD	FAR	CSI
충북 괴산군 청천지구	0.55	0.67	0.64	0.31
충북 괴산군 달천지구	0.39	0.67	0.83	0.15
충남 청양군 까치내지구	0.42	0.63	0.62	0.31
전남 곡성군 압록지구	0.79	0.33	0.50	0.25
전북 남원시 산내지구	0.63	0.50	0.50	0.33
평 균	0.56	0.56	0.62	0.27

3. 산지 돌발홍수예측시스템 개선 및 정확도 분석

3.1 시스템 시범운영시 문제점 및 개선방안

3.1.1 예경보 발령기준의 문제점 및 개선방안

본절에서는 '10년도 산지돌발홍수 예측시스템을 실제 시범적으로 운영하고 그에 따른 문제점과 개선방안을 살펴보고자 한다. 첫째, 시범운영한 산지돌발홍수예측시스템의 예경보는 3단계(주의, 경계, 대피)로 구성 운영하였다. 이는 단계별 운영을 통해 경보발령에 따라 적정하게 대응하

기 위해 설정하였으나, 실제 현장에서 받아들이는 체감도는 별반 차이가 없었으며, 오히려 단계별 발령에 따라 잦은 경보발령으로 혼란스럽기만 하였다. 이에 경보발령은 최대한 단순하게 접근하여야 할 필요성이 있음을 알게 되었다.

둘째, 한번의 강우사상에서 여러번의 경보가 발령하는 사례가 종종 있었다. 이는 장마 또는 지속시간이 긴 강우사상의 경우 더욱 심하였으며 이는 발령기준에서 강우지속시간에 대한 기준이 20분 내외로 짧았기 때문이라 할 수 있다. 따라서 동일 강우사상에 대해서는 일정기간동안 중복적으로 발령되지 않도록 기준을 설정할 필요가 있다. 현재, 산지 돌발홍수예측시스템의 예경보 기준이 되는 강우지속시간은 현재 20분이다. 그러나, 이러한 기준은 20분이 지난 이후에도 지속적인 강우가 내릴 것이라는 전제 조건을 가지고 있다. 따라서, 이러한 경우 소나기 등과 같이 짧은 강우지속시간을 가지는 강수 상황에도 모두 경보가 발령되어 과도한 경보발령이 발생하게 되어 정확도가 떨어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 산지 돌발홍수예측시스템에 입력되어지는 MAPLE 입력강수자료에서 대상지역에 예측된 강수가 1시간동안 1mm 이상 지속되는지 여부도 예경보 발령기준의 제한조건으로 입력토록 하였다. 1시간 지속시간이라는 기준은 특별한 근거는 없으나 너무 많은 경보발령 횟수를 줄이기 위한 것과 함께, 소나기라 함은 굵은 빗방울(지름 5~8mm)의 강우가 1~2 이내에 강하게 내리다가 그치는 비라고 통상적으로 의미함에 따라, 1시간 이상 비가 내리는 경우로 한정하였다.

3.1.2 시스템 운영상의 문제점 및 개선방안

돌발홍수 발령기준 외에도 시스템 운영측면에서의 문제점이 도출되었다. 특히 MAPLE 입력체계를 명확히 이해하고 접근할 필요가 있었다. 산지 돌발홍수예측시스템의 경우 10분자료를 활용하여야 하나, 현재 MAPLE 자료는 1시간 자료를 제공하고 있어 이를 10분 강우로 환산하여야 할 필요가 있었다. 이를 위해 우리나라 관측소별 10분 최대강우강도와 60분 최대 강우강도의 상관관계 검토를 통해 환산계수를 산정하여야 했으며, 그 결과는 아래 그림과 같다.

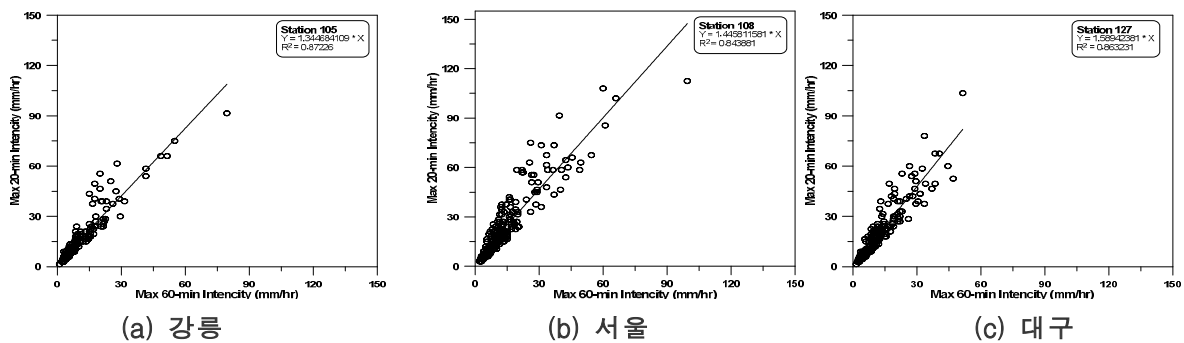


그림 3. 20분 최대강우강도와 60분 최대강우강도 비교

결과적으로 20분 최대 강우강도는 평균적으로 60분 최대 강우강도의 약 1.65배 인 것으로 나타났으며, 이를 환산계수로 활용 할 수 있다.

이외에도 비강수 에코의 발생, 강수의 생성과 소멸 현상 미반영 등 강우예측자료 자체의 한계점이 분명한 것도 정확도를 떨어뜨리는 요소로 작용하는 것으로 나타났으나, 이는 향후 기상청에서 지속적으로 개선할 것으로 보인다.

3.2 수정된 예측시스템의 정확도 재분석

본 절에서는 개선사항에 의해 수정된 ‘산지 돌발홍수 예측시스템’을 다시 모의하여 새로운 경보발령 자료를 생성하였으며, 이러한 자료를 바탕으로 가장 명확한 정확도 판단을 할 수 있는 수위자료와 비교 검토하였다. 앞서 분석에 사용된 동일한 방법인 이분법을 활용하여 검토하였으며, 5개의 대상지구에 대한 검토결과는 다음의 표 4와 같다.

분석결과, 기존의 산지 돌발홍수예측시스템의 Accuracy 보다 18% 정도 향상되었다.

표 4. 대상지구별 경보발령 정확도 산정 결과

대상지구	Accuracy	POD	FAR	CSI
충북 괴산군 청천지구	0.75	0.5	0.25	0.43
충북 괴산군 달천지구	0.69	0.33	0.67	0.2
충남 청양군 까치내지구	0.47	0.25	0.5	0.2
전남 곡성군 압록지구	0.86	0.33	0	0.33
전북 남원시 산내지구	0.53	0.33	0.67	0.2
평 균	0.66	0.35	0.42	0.27

FAR의 경우는 종전보다 32%가 감소하여 경보발령의 오보율이 줄어든 것으로 나타났고, 이것의 가장 큰 요인은 쓸데없는 경보발령 횟수가 많이 줄어들음으로 나타난 현상으로 판단된다. 이는 이러한 오보율이 줄어들었으나, POD도 같이 38%가 줄어들어 수위상승에 대하여 예측을 통한 탐지율이 낮아졌다.

이외에도, ‘10년에 최고 수심이 도달한 경우를 예측하였는지를 검토하였으며, 5개지구중 4개 지구에 대해서는 예측한 것으로 나타나 본 시스템의 활용성이 클 것으로 기대되었다.

5. 결 론

본 연구성과는 2010. 7. 16부터 9. 11까지 여름철 우기기간 동안 ‘산지 돌발홍수 예측시스템’을 소방방재청 재난상황실에서 실제적으로 활용하였다. 이에, 본 연구에서는 시범 운영중에 나타난 시스템 운영의 문제점 개선 및 돌발홍수예측시스템에 대한 정확도를 분석하였으며 정확도 면에서 일선에서 요구하는 수준에 다소 미흡하기는 하였지만 지속적인 개선작업을 통해 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 향후, 일선 현장에서 요구하는 정확도를 충족시키기 위해서 기상청에서 제공되는 예측자료에 발맞추어 시스템 고도화를 시켜야 할 것이며, 좀 더 지역별 상황에 맞는 경보발령 기준을 찾기 위한 더 많은 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 국립방재연구소(2008). 산지소하천유역 돌발홍수 피해예측기술개발(1차년도)
2. 국립방재연구소(2009). 산지소하천유역 돌발홍수 피해예측기술개발(2차년도)
3. 안재찬, 이종철, 최우정, 이병주(2008). 자동우량경보시설 경보발령기준 검토연구, 한국방재학회논문집, 제8권 제4호, pp.101-109