

낙동강유역 중소하천 홍수예경보를 위험 위험유량 제시



강 두 기 ▶▶▶
(주)웹스 대표이사
dookee@nawter.co.kr



박 재 범 ▶▶▶
(주)웹스 연구소장
jbpark@nawter.co.kr



신 동 수 ▶▶▶
(주)웹스 유역개발부 과장
dsshin@nawter.co.kr

1. 서론

이산화탄소 등의 온실가스에 의한 전 지구적인 기온상승으로 인해 기후변화가 나타나고 있으며, 우리나라의 경우 지난 100년간 1.7℃의 평균기온이 상승하여 세계 평균인 0.74℃의 두 배가 넘는 높은 온도상승을 나타내고 있다. 기상청은 2020년대 0.9℃, 2050년대 2.0℃의 추가적인 기온상승을 예측하고 있으며 이와 같은 경우, 약 800조원이 넘는 경제적인 피해가 발생할 것으로 예상할 수 있다. 기후변화로

인한 피해양상은 폭염에 의한 국민의 건강, 집중호우로 인한 수재해의 빈도 및 피해 증가, 곡물가 상승, 산림자원 훼손, 해수면 상승과 수온 변화로 인한 어업피해 증가 등과 같이 국가 전체에 위기상황을 야기하고 있으며 이로 인한 적극적인 대처가 절박한 시점이다. 특히, 지형이 좁고 경사가 급한 유역에서 느리게 유역을 통과하는 호우나 동일한 국지지역 내에서 반복적으로 움직이는 집중호우로 짧은 시간 이내에 하천수위의 급격한 상승을 유발하는 홍수로 정의할 수 있는 돌발홍수에 의해 중소하천유역에 많은 인명과 재산피해를 초래하고 있다.

이와 같이 기후변화로 인한 집중호우 크기나 횟수의 증가로 인한 중소하천유역의 홍수 피해는 비록 경제적으로는 대하천 홍수의 복합적 피해에 비해 작을 수 있으나, 중소하천 유역에서의 홍수 특성이 짧은 시간에 특히 많은 인명피해를 발생시킨다는 점에서 대하천 홍수 예·경보와 연계 혹은 별도의 적절한 중소하천 홍수예측 모형과 예·경보시스템 구축이 요구되고 있다. 즉, 기존의 홍수 예·경보시스템의 일부로 사용되고 있는 강우-유출모델은 강우 관측치를 모델의 입력치로 요구하므로 예보를 위한 시간이 매우 촉박한 중소하천의 실시간 홍수예측 모델로서는 부적절하다.

중소하천에서 발생하는 홍수의 연구는 홍수를 발생시키는 기상 현상의 비선형성 및 복잡성, 지역적인 특성에 따르는 국지적 성향, 급경사지의 지표면 수문

학적인 유출 현상의 동역학적 복잡성 등의 원인으로 인하여 우리나라에서는 제한적으로 수행되어 왔다. 특히 돌발 홍수형태의 특성 및 예측을 위한 연구는 진행되고 있지만 아직까지는 이 결과를 이용하기에는 미계측유역의 지형학적순간단위도 적용성 검증, 지역적 회귀식의 적절성 등의 몇 가지 문제점을 해결해야 하는 단계에 있다. 이를 해결하기 위한 연구로서 GIS 기법을 이용한 지형 특성 자료의 분석 기법의 적용과 중소하천 홍수예측을 위한 강우-유출 모형의 개선 등의 더욱 정밀한 기법을 통한 연구가 필요하다.

2. 중소하천 홍수 예·경보시스템 문제점

중소하천의 홍수 예·경보시스템의 필요성을 바탕으로 국내 홍수방재 관련 연구기관에서는 그 중요성이 인종되어 1990년 후반부터 미국과 같은 선진국의 강우기반 예측시스템의 도입을 고려하고 있으나, 수문기상학적 공동연구를 위한 학제간의 연결고리 부족, 레이더와 같은 기상-수문학적 공동연구를 위한 학제간의 연결고리 부족, 레이더와 같은 기상-수문학적 일부 기초자료의 부재, 홍수방재를 위한 댐 축조와 하천정비와 같은 구조적 대책에 대한 예산 편중 등의 사회환경으로 인하여 그 개발 및 적용이 매우 늦은 실정이다. 그나마 2000년 이후로는 국내 일부 연구자들에 의해 한계유출량 산정, 단기 예측강우의 활용성 검토 등 이들 요소에 대한 부분적 연구결과는 다수 존재하지만 수문기상요소의 이론적 배경, 각 구성요소들의 개발 및 적용결과 분석, 개발 시스템의 실시간 운영기법 제시 등 국내 수문기상환경에 적합한 예보기법을 일관성있게 체계적으로 제시된 사례는 없는 실정이다(김진훈, 2006).

본 연구의 수행을 위해 크게 3개 부분의 연구개발을 시도하였는데 각각 GIS기반 중소하천 홍수에·경보 미세소유역 구축, Hec-HMS 모형 개발, 중소하천 기준강우량 산정이다. 모형구성은 Hec-GeoHMS를 모형의 중심에 두고 기존 적용성이 검증된 Hec-

HMS를 이용하여 산정한 강우량-홍수량 관계곡선과 홍수유출량을 이용하여 홍수유출량에 해당하는 소유역별 한계유출량과 기준강우량을 산정하는 것이다.

따라서 위와 같은 모형 개발을 통해 다음과 같은 목적을 얻고자 하였다. 첫째, GIS를 이용하여 중소하천유역에 적합하게 적용될 수 있는 소유역을 구분하며 국내하천의 지형분석을 수행한다. 둘째, Hec-GeoHMS를 이용하여 구축한 Hec-HMS모형을 사용하여 홍수사상을 모의 예측할 수 있는 지형수문유역시스템을 개발하여 범용으로 적용할 수 있도록 한다. 셋째, 소유역별 특성을 고려하여 산정한 홍수유출량과 Hec-HMS모형을 중소하천 소유역에 구축 적용함으로써 중소하천 홍수 예·경보시스템 구축을 위한 방향 및 기술을 제시하고자 한다.

3. 한계강우량 산정 방안

중소하천 유출해석모형과 소유역 위험유출량을 이용하여 소유역기반 한계강우량을 산정하는 방안을 확정하였다. 지형분석도구인 Hec-GeoHMS를 이용하여 대상 수계를 실제 하천을 기준으로 미세 소유역으로 구분하여 중소하천 유역의 지형학적 특성인자와 유출해석과 관련된 여러 매개변수를 산정후 유출해석모형을 구축하였다. 낙동강유역의 중소하천 DB를 이용하여 유역면적, 하천경사, 하천길이와 하폭, 수리수심에 대한 지역적회귀식을 구축후 이를 이용하여 미세 소유역에 대한 위험유출량을 산정하였다. 유출해석모형을 이용하여 강우량-침투유출량 관계곡선을 산정후 위험유출량에 해당하는 소유역기반 한계강우량을 산정하였다.

3.1 중소하천 기반자료 산정방안

지형분석도구인 Hec-GeoHMS내 지형분석도구인 Terrain Processing 도구를 이용하여 유역에 대한 전처리 작업을 수행 후 임계면적을 기준으로

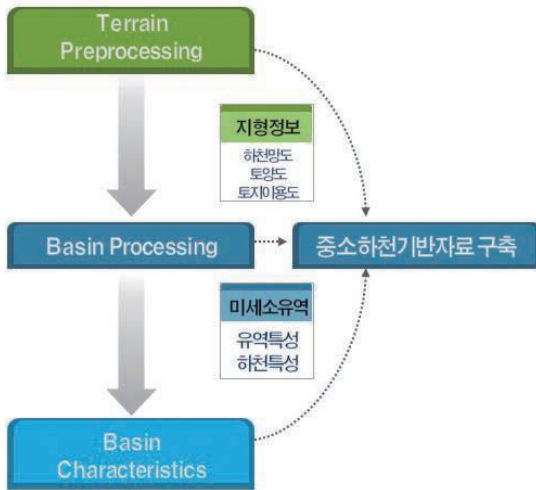


Fig. 1. 중소하천 기반자료 구축과정

Basin Processing 도구를 이용하여 미세 소유역으로 구분한다. 그리고 Basin Characteristics 도구를 이용하여 미세 소유역에 대한 하천 및 유역관련 특성인자를 산정한다.

3.2 전국대상 소유역기반 한계강우량 산정방안

Hec-GeoHMS를 이용하여 미세소유역을 구분하고 해당 소유역에 대한 유역 및 하도 관련 특성자료를 이용하여 중소하천 첨두유량 산정 및 홍수유출해석을 위한 Hec-HMS모형을 구축한다. 구축한 Hec-HMS모형을 이용하여 지속시간별 강우량에 해당하는 강우량-첨두유량 관계곡선을 구축한다. 그리고 낙동강 중소하천 DB를 이용하여 유역면적, 하천경사, 하천길이와 하폭에 대한 지역적회귀식을 구축후 이를 이용하여 미세소유역에 대한 위험유량을 산정한다. 미세소유역에 대한 강우-첨두유량관계곡선과 위험유량을 이용하여 소유역기반 한계강우량을 산정한다. 최종적으로 경보발령을 판단시에는 SCS방법을 이용하여 토양함수조건을 고려하여 경보발령 기준강우를 산정하고 티센법을 이용하여 산정한 유역평균강우량과의 비교를 통해 경보발령여부를 결정한다.

4. 낙동강 대상 예경보 모형 적용

4.1 낙동강 중소하천 유출해석모형 구축

Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강 22개 중권역을 2,268개 미세소유역으로 구분하고 해당 소유역에 대한 유역 및 하도 관련 특성자료를 이용하여 Hec-HMS모형을 구축하였으며 낙동강 중소하천 DB자료를 이용하여 지역적회귀식을 구축하여 미세소유역별 위험유량을 산정하였다. 최종적으로 초기매개변수를 이용하여 낙동강 2,268개 소유역에 대한 개략적인 한계강우량을 분석하였으며 Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강 22개 중권역에 대한 유역 및 하도관련 특성자료를 산정하였다. 이를 이용하여 손실모형으로 SCS, 유역추적모형으로 Clark, 하도추적모형으로 Muskingum을 선정하여 관련 매개변수를 산정하고 22개 중권역에 대한 Hec-HMS모형을 구축하였다.

4.2 낙동강 유출해석모형 최적 매개변수 선정

낙동강 유출해석모형의 최적매개변수 선정을 위한 검정오차 분석 통계치로 상대첨두치오차(RPE, Relative Peak Error), 절대평균편차(AMB, Absolute Mean Bias), 제곱근평균자승오차(RMSE, Root Mean Square Error), 상관계수(CC, Correlation Coefficient) 등 4개 항목을 선정하였다. 낙동강내 수위관측소 중 강우-유출관계가 유의한 15개 지점에 대한 관측소별 호우사상을 선정하여 최적매개변수 선정을 위한 Hec-HMS 검보정을 수행하였다.

낙동강 15개 지점에 대한 분석결과 중소하천의 홍수에경보를 위한 모형 적용시 중요한 통계치인 상대첨두치오차의 경우 안동댐과 합천댐 관측소의 2번째, 4번째 호우사상이 5.37%, 7.54%로 통계적 유의수준을 벗어나고 있으나 평균 1.51%로 0.88의 높은 상관성을 가지고 모의치가 관측치를 제현하고 있다. 이와 같이 검정오차를 기반으로 매개변수를 보정한 유출해

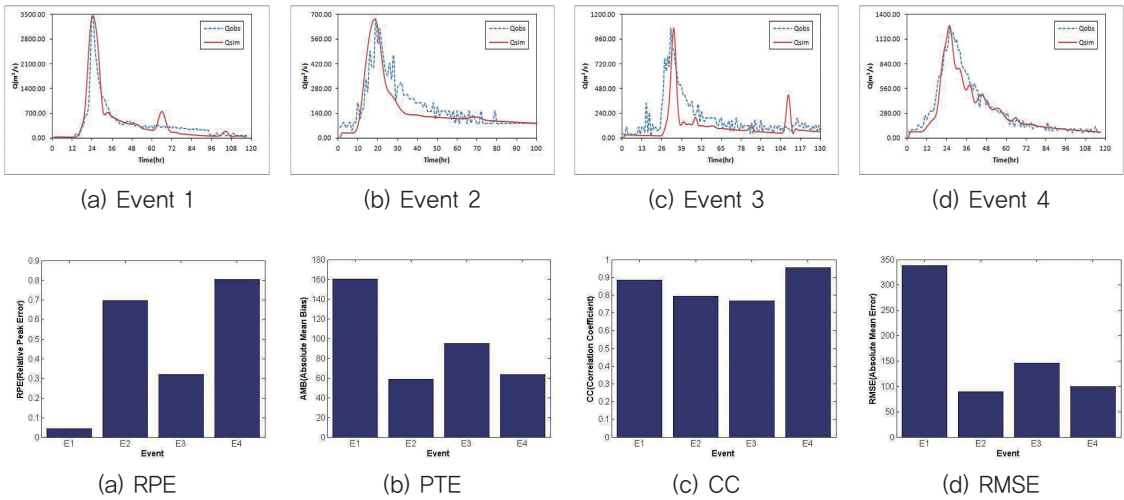


Fig. 2. 남강댐 검보정 결과 및 검정오차분석

석모형의 매개변수를 홍수예경보 적용을 위한 한계강우량 산정시 적용한다. 아래 Fig. 2는 낙동강 중권역 중 남강댐중권역의 사상별 검보정 결과 및 검정오차분석 결과를 나타내고 있다.

4.3 낙동강 중소하천 위험유량 산정

Manning의 홍수량 기법을 적용하여 위험유량을 산정하기 위해서는 대상유역의 하도단면자료를 입력 자료로 요구하므로 이들 자료를 수집 및 분석하여 위험유량 계산에 활용하였다.

낙동강유역은 강원도, 경상남·북도 일대의 관할 지역을 포함하는 대유역으로 이에 대한 하천단면자료도 그 종류가 다양하다. 우리나라의 관리체계는 국가 및 지방하천은 국토해양부가 관리 및 이·치수계획을 담당하고 있고, 소하천의 경우는 소방방재청이 전국의 소하천 관리를 일괄적으로 수행하고 있다.

본 연구의 목적은 소하천의 유역기반 위험유량을 산정하는 것으로 국가하천이나 지방하천과 같은 대하천의 단면 자료보다는 소하천 단면자료의 특성이 적합하다. 따라서 낙동강수계 내 3,724개 중소하천 자료 중 유역특성과 하도특성이 이용 불가능한 자료를 제외한 자료에 대한 다중회귀분석을 수행하였다. 독

립변수로 유역면적(km²), 하천길이(km), 하천경사를 중속변수로 하천폭(m)과 수리수심(m)을 선정하여 소하천 횡단면도와 종단면도를 이용하여 해당변수를 추출하여 미세측 소유역의 하천폭과 수리수심을 산정하기 위한 지역적회귀식을 개발하였다.

4.4 낙동강 중소하천 위험유량 산정

본 연구에서는 정보단계를 낙동강 중소하천 DB를 분석하여 배수면적을 기준으로 위험수심에 따라 주의, 경계, 대피의 3단계로 나누어 설정하였다. 소유역의 배수면적이 50km² 이하일 경우는 유역내 소하천을 산지소하천으로 간주하여 주의, 경계, 대피관련 위험수심으로 0.5m, 0.7m, 1.0m로 설정하였으며 유역면적 50km² 이상일 경우는 도시 및 평지 소하천으로 간주하여 주의, 경계, 대피관련 위험수심으로 수리수심의 50%, 70%, 85%로 설정하였다. 낙동강 22개 중권역을 대상으로 본 연구에서 개발한 지역적회귀식과 Manning 공식을 이용하여 소유역별 하폭과 주의, 경계, 대피단계에 해당하는 위험수심, 위험유량을 산정하였으며 그 결과는 아래 Fig. 3과 같다.

낙동강 22개 중권역에 대한 정보단계별 위험유량은 평균 114.89m³/s, 130.56m³/s, 표준편차 226.67,

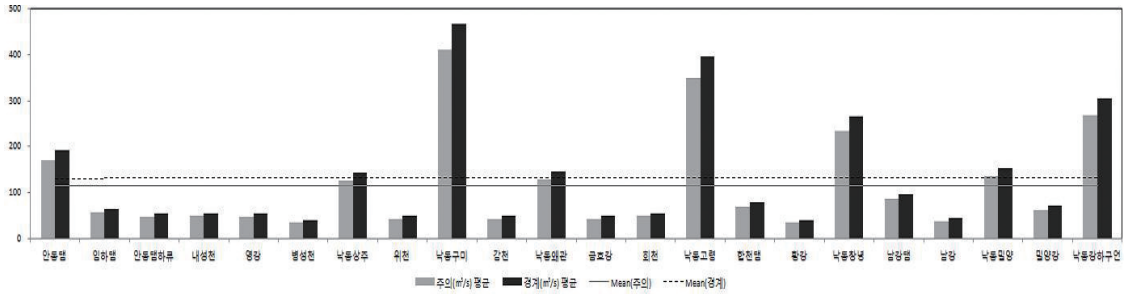


Fig. 3. 낙동강 중권역별 중소하천 위험유량 산정결과

257.59로 분석되었다. 위험유량은 안동댐, 낙동구미, 낙동고령, 낙동창녕, 낙동강하구연등의 낙동강 본류에 위치한 중권역이 높고 변동성이 큰 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 대상유역 내 소유역의 경보단계별

한계수심에 해당하는 위험유량을 산정후 Hec-HMS를 이용하여 지속시간별 강우량-침투유량 관계 곡선을 작성하였다. 이를 이용하여 단계별 위험유량에 해당하는 한계강우량을 산정하였다.

기존 소하천의 자동우량국 발령기준은 10분당 4mm이상의 강우가 지속되면 경계경보가 발령되고, 10분당 6mm 혹은 8mm 이상이 지속되면 대피경보 1과 대피경보 2를 발령하도록 되어있으며 소하천의 경우 대부분 도달시간이 1시간이내이며 임계면적을

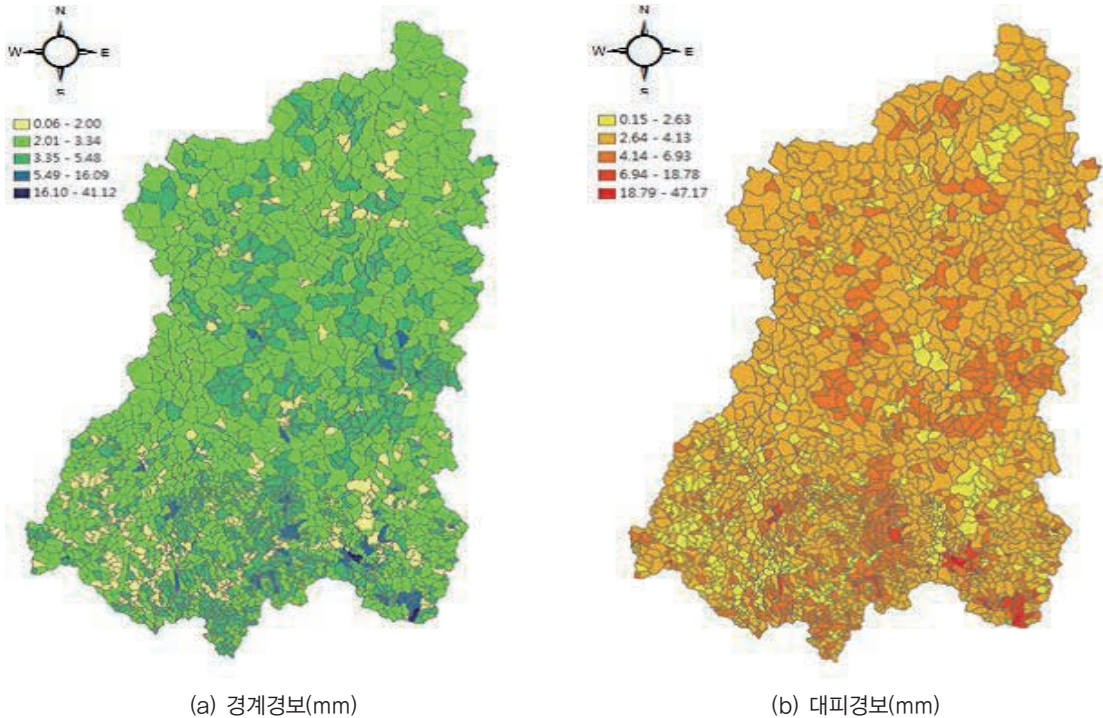


Fig. 4. 낙동강 중소하천 낙동강 한계강우량 산정결과

3.0km² 내외로 설정하여 미세소유역과 하천특성을 산정하였으므로 지속시간을 20분으로 설정하여 이에 해당하는 한계강우량을 산정하였다. 한계강우량은 유효우량을 의미하므로 SCS 방법의 총우량-유효우량 관계를 이용하여 총강우량으로 환산하여 단계별 경보 강우량을 산정한다. 현재 한계강우량은 초기매개변수를 이용하여 산정한 값으로 유출모형과 지역적회귀식 고도화를 반영하여 낙동강에 대한 소유역기반 한계강

우량을 최종 산출할 계획이다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-자연-2011-45] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 🙏

참고문헌

1. 김중훈, “한국형 돌발홍수 예경보모델 개발”, 박사학위논문, 세종대학교, 2006
2. 김홍태, “GIS기반 지형수문유역모형 개발 및 미계측유역 돌발홍수예측 적용에 관한 연구”, 박사학위논문, 부산대학교, 2005
3. 신현석, 박무중, 장종경, “GIS를 이용한 GIUH의 매개변수 산정.”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp.1-4, 2001
4. 신현석, 김홍태, 박무중, “GIS 및 GCUH를 이용한 돌발홍수 경보발령 기준우량 산정의 실유역 적용- 소백산 남천유역 중심.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제24권 제4B호, pp. 311-319, 2004c
5. 장종경, “GCIUH 및 GIS를 이용한 산악 지역 돌발홍수예경보 시스템 구축에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교, 2002
6. Carpenter, T.M., and Georgakakos, K.P, "Gis-based Procedures in Support of Flash Flood Guidance, IIHR Report No. 366, 1990