

실 수문관측을 통한 해안도시홍수 경보발령기준안 검정

Evaluation of Coastal Urban Flood Warning Alarm Rule Using Real Hydrologic Monitoring Observation

신현석*, 강두기**, 김홍태***, 송영현****
Hyun Suk Shin, Doo Kee Kang, Hong Tae Kim, Young Hyun Song

요 지

국내 산업 및 기능적 측면에서 중추역할을 수행하고 있는 부산·울산·인천 등 전체 도시의 40%를 이루고 있는 해안도시들이 하천범람과 같은 홍수피해, 해일피해 등에 대한 체계적인 대비가 전무한 실정으로서 본 연구는 모형화 기법을 이용하여 해안도시홍수 경보발령 기준안을 도출하고 이를 실 수문관측 자료를 이용한 검정을 통해 경보발령 기준안의 문제점을 파악하여 그 개선방향을 제시하였다. 대상유역은 대표적 해안도시하천의 특성을 지니고 있는 부산시 온천천유역으로 강우-수위 관측 모니터링 시스템을 구축, 운영을 통해 10분 간격 강우 및 수위 자료를 구축하였으며, 수위 자료는 수위-유량 관계곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다.

미계측 상태에서의 수리·수문 모형화를 통해 도출된 경보발령기준안에 대한 평가 및 문제점 도출을 위해 본 연구는 유역내 실시간 수문관측을 통해 얻은 강우 및 유출 특성 자료를 이용하였다. 대상 유역내 경보발령 지점인 세병교 지점의 20분 누가기준 경보발령 기준우량은 한계수위 H_{c1} , H_{c2} , H_{c4} 인 경우 각각 4mm, 5mm, 6mm로서 20개월 동안 이러한 기준을 이용하여 관측된 강우사상 중 경보발령 기준안의 평가가 가능한 26개의 강우사상을 분류할 수 있었다. 그 결과 약 60%의 강우사상(case_1)이 성공한 경보발령 기준우량 임을 관측할 수 있었으며 이러한 발생강우에 대해 20~150분의 대피여유시간을 확보할 수 있었다. 그러나, 경보발령에 실패한 40%의 강우사상은 발생 강우의 총강우량이 대체적으로 적은 경우 및 지속기간 동안 경보발령기준에 준하는 강우를 발생하였으나 수위에 영향이 미비하여 한계수위에 도달하지 못한 경우(case_2), 20분 누가강우는 기준에 도달하지 않았으나 강우 지속시간이 길어 이미 선행강우로 인해 경보발령 이전에 한계수위를 넘어서는 경우(case_3)로서 분석되었다.

이러한 실패한 경보발령의 경우에 대한 원인분석 결과, 기존의 모형화를 통해 고려되지 못하였던 해안도시 홍수의 특성 중 총강우량에 대한 고려, 선행강우 여부 및 강우 지속시간, 지속시간 내 강우집중도 그리고 선정지점 내 조위의 영향과 유역내 합류식 하수관거 시스템의 영향 등 자연유역과는 다른 다소 복잡한 요소를 고려한 해안도시홍수 경보발령 기준에 대한 개선이 필요함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 해안도시홍수, 수문관측, 경보발령기준안

1. 모형화 기법을 이용한 해안도시홍수 경보발령

1.1 해안도시홍수 예·경보 시스템 구축

홍수 예·경보의 목적은 해안도시 하천에서의 하천범람으로 인한 홍수재해 발생시 예상되는 피해에 대해서 적절한 경보발령 및 피난대책을 수립하는데 있다. 따라서, 본 연구에서의 홍수 예·경보 시스템의 구성은 예상할 수 있는 홍수 범람 예상지역에 대해 홍수 예·경보 시스템의 구축 및 실용화방안의 도출을 최종적인

* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail : hsshin@pusan.ac.kr

** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : dookee1@naver.com

*** 정회원 · 국립환경과학원 수질총량관리센터 전문위원 · E-mail : htkim8@me.go.kr

**** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : bluestar524@naver.com

목표로 두고서 수치지도를 통한 수문 GIS자료의 구축을 통해 대상유역에 대한 일반적 지형해석 및 하천망도, 유역도, 토양도, 토지이용도의 생성은 유역면적과 같은 기하학적 특성을 관찰할 수 있었다. 대상유역에 대한 홍수 예·경보 발령을 위해 본 연구에서는 세병교지점(선정지점)에 대해서 경보발령 기준안 마련을 위한 한계수심 산정과 수리, 수문분석모형(HEC-RAS, SWMM) 분석을 통한 홍수위 및 한계유출량을 산정하였다. 이러한 연구결과를 토대로 그림 1에서와 같이 본 연구는 대상유역에 대한 실시간 수문관측 모니터링 시스템의 접목을 실시하였다. 계측된 수문자료를 통해 수위-유량 관계식의 산정과 대상유역의 강우발생에 따른 실 수문현상에 대한 수리, 수문모형의 재구축 및 검증을 실시하였다.

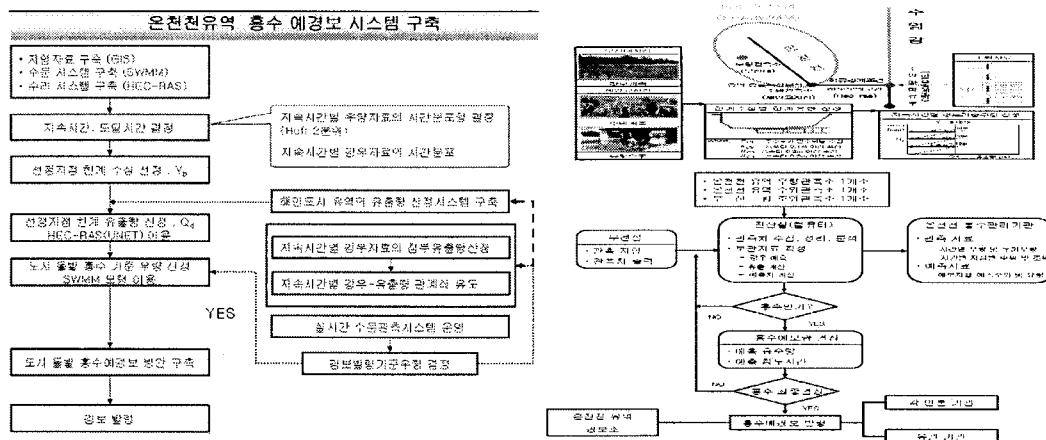


그림1. 대상유역 홍수예경보 시스템 및 경보 발령도

1.2 경보발령기준우량의 산정

1.2.1 임계지속시간별 첨두홍수량 산정

한국건설기술연구원 보고서 '지역별 설계강우의 시간적 분포(1989)'에서의 부산지역에 대한 결과를 이용해 강우 분석을 실시하고자 하였으며, Huff의 2분위, 6차 회귀 다항식을 사용하여 강우의 시간적 분포를 나타내었다. 특히, 설계강우의 지속기간을 24시간으로 고정하는 것은 단지 경험적인 접근방법으로 정량적인 해석이나 연구가 없었으며, 계획강우로부터 예측되는 첨두유량 및 유출수문곡선은 강우지속시간에 따라 변하며 그에 따라 계획하는 수공구조물에 미치는 영향 또한 다르다.

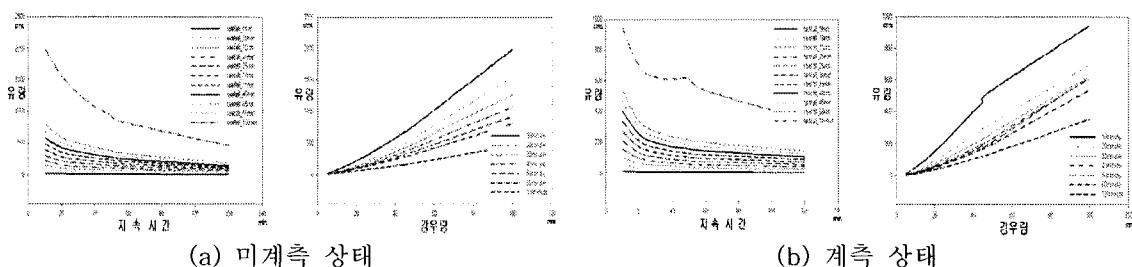


그림2. 선정지점 강우량-지속시간별 첨두홍수량

따라서 본 연구에서는 강우 지속시간 20분에 대한 강우량 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 100mm를 강우간격 1분단위로 Huff 분포를 실시하였으며, 강우 값은 다시 수문모의를 위해 구축한 EPASWMM모형에 입력하여 선정지점에 대해서 그림 2와 같이 강우량-지속시간별 첨두홍수량을 산정하였다. 그 결과 계측유역에 대한 첨두홍수량 전반적인 유량 감소추세를 보였으며, 100mm 발생강우에 대해 20~60분 사이의 지속시간에 대해 유역내 유량지체현상을 보이는 흐름을 관찰하였으나 전반적 흐름추세는 유역에 대한 홍수현상을 대표할 수 있다고 판단하였다.

1.2.2 경보발령기준우량 산정

본 연구에서는 지속시간-강우량-유출량 관계곡선과 HEC-RAS모형을 이용해 산정한 한계수심에 해당하는 한계유출량을 지속시간-강우량-유출량 관계곡선에서 보간법을 이용해 해당지속시간의 기준강우량을 산정하였다. 20분 지속시간 기준강우에 대해서 겹증은 기준 미계측상태와 동일조건에서의 유출량 모의 비교를 토대로 행해졌으며 이는 표 1과 같이 나타내었다.

표 1. 한계수위별 20분 지속시간 경보발령 기준우량 산정

지속시간 (min)	한계수위 - 한계유량별 경보발령 기준우량(mm)			
	Hc1	Hc2	Hc3	Hc4
	18.874cms	22.431cms	26.261cms	30.362cms
20	4.458	5.035	5.627	6.234

2. 실관측 수문자료를 이용한 해안도시홍수 예·경보 시스템의 구축

모델링을 통한 유출특성분석 및 홍수량 산정은 자료자체로서의 의미이상을 가질 수 없었다. 따라서 본 연구는 '05년 7월을 기점으로 하여 유역내 강우-수위관측시스템 1set를 설치하여 현재까지 운영 중에 있으며,

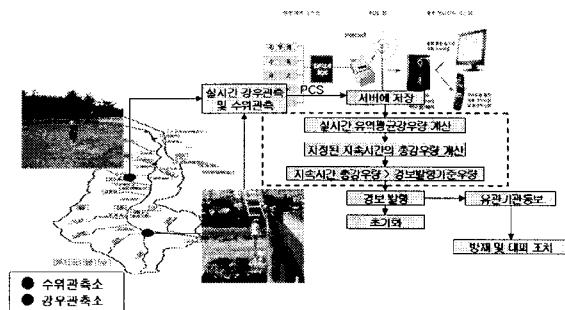


그림 3. 실관측을 통한 홍수 예·경보 시스템

이를 통해서 수문자료의 구축 및 분석을 실시 중에 있으며 전송 프로토콜로 사용되어진 수문관측시스템의 TCP/IP는 자료전송에 있어 노이즈 발생에 의한 자료 왜곡 문제를 해결하여 기존 미계측 상태에서의 모델링과의 상이점 도출과 조정을 통한 보다 적합한 대상유역 모델링의 기초자료로서 그 가치가 높다고 사료되어 진다. 또한 그림 3의 홍수 예·경보 시스템에서 와 같이 약 20개월 동안의 관측 자료를 통하여 경보발령기준안에 부합한 26개의 강우사상을 분류할수

이었다.

3. 해안도시홍수 예·경보 검증

3.1 실관측 수문자료를 이용한 경보발령 기준안 검토

위 표에서와 같이 온천천유역에 대한 경보발령기준안을 제시하였으며, 지난 약 20개월간의 관측자료를 통해 기준에 준하는 강우사상을 아래 표 2와 같이 강우사상별 경보발령 대비 결과분석을 정리하였다. 총 26개의 강우사상 중 15개의 강우사상은 위 경보발령기준안에 적합한 수문현상을 나타냈다.

표 2. 강우사상별 경보발령 결과

강우사상	경보발령			강우사상	경보발령			강우사상	경보발령		
	성공	실패	비고		성공	실패	비고		성공	실패	비고
event1	○			event10	○			event19	○		"
event2	○			event11	○			event20	○		"
event3		○		event12	○			event21	○		"
event4	○			event13	○		장마	event22	○		"
event5	○			event14		○	"	event23	○		
event6		○		event15	○		장마	event24	○		
event7		○	나비	event16		○	"	event25	○		
event8	○			event17		○	예위니아	event26	○		
event9		○		event18	○		장마	TOTAL	15	11	

3.2 경보발령 기준안 사상별 원인분석

3.2.1 강우 사상별 분류

위 표 2에서의 결과분석을 바탕으로 각 강우사상별 결과에 대한 원인 분석을 실시하였으며 아래 그림 4와 같이 대표 강우 사상별 분류를 통해 다각도로 그 원인을 규명코자 하였다.

- case_1 : 경보가 실행되었으며, 한계수위에 도달한 강우사상
- case_2 : 경보가 실행되었으나, 한계수위에 미도달한 강우사상
- case_3 : 미경보가 상황에서 한계수위에 도달한 강우사상
- case_4 : 미경보 및 한계수위에 미도달한 강우사상

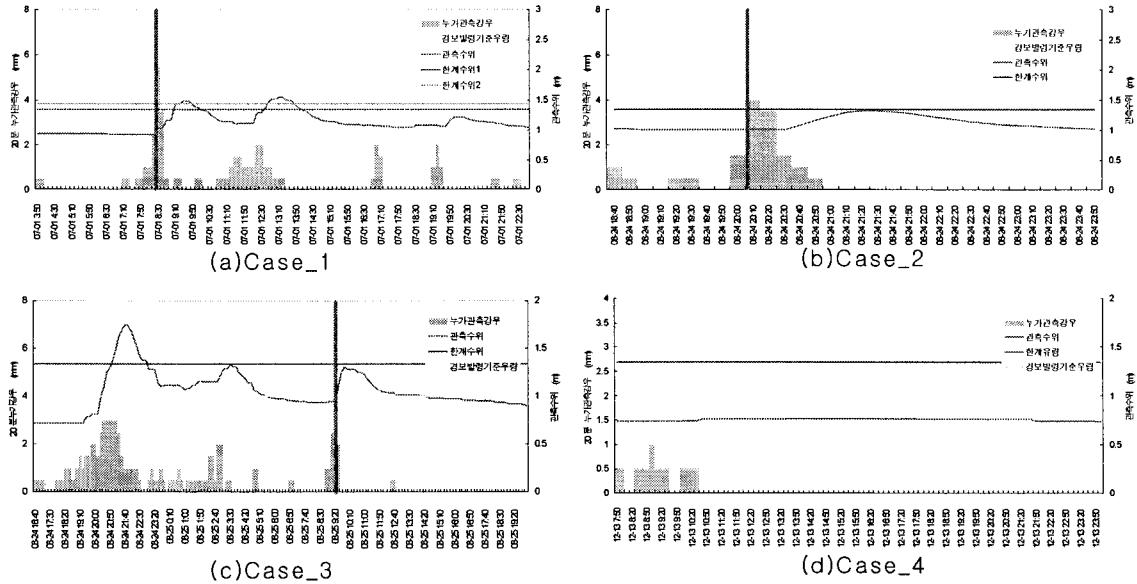


그림 4. 강우사상별 대표사례분석

3.2.2 강우 지속시간별-경보발령안 실패 원인 판단(case_3)

본 연구에서는 대표적 실패사례인 case_3(경보 ×, 한계수위 ○)에 대한 분석을 실시코자 하였으며 지속시간별 경보발령을 통해 그 원인분석을 다각도로 접근해 보았다. case_3의 경우 최초 20분 강우지속시간동안 경보발령이 미치지 못하는 강우가 관측되었으나 이미 누적강우로 인해 한계수위에 도달한 수문형태를 띠고 있었으며, 이러한 경우 강우지속시간에 대한 기준 재설정을 통해 표 3과 같이 50%의 성공률을 보였다.

표 3. 강우지속시간별 경보발령 분석(case_3)

	한계수위	강우 지속시간			비교(30분 누적강우)	
		10	20	30	한계수위 도달시간(min)	관측강우(mm)
event_6	1.34m	×	×	○	70	4
event_7	1.34m	×	×	×		
event_9	1.34m	×	×	×		
event_16	1.34m	×	×	○	40	4
event_17	1.34m	×	×	×		
event_20	1.34m	×	×	○	40	4.5

4. 강우 사상별 분석결과 요약 및 문제점 도출

미계측 유역당시 및 실계측을 통해 산정되어진 현 경보발령 기준안의 경우 총 26개의 강우사상 중 15개의 강우사상에 대해서 성공한 경보발령임을 알 수가 있었다.

- case_1의 경우 성공한 경보발령안으로서 비교적 안정적인 한계수위 도달시간을 보였으며 대체적으로 경보발령과 강우증시시간과의 시간차가 상대적으로 적게 발생하였으며 이는 추후 원인-관계분석을 통해서 상호간 영향인자를 분석코자 한다.

- case_2의 경우 경보발령에 준하는 강우가 관측되나 적은 총강우는 온천천 유역에 대해서 한계수위에 도달할 만큼의 영향을 미치지 못했다.

- case_3의 경우 경보발령 이전에 이미 한계수위에 도달한 수문형으로서 이에 대한 지속시간별 경보발령에 대한 기준의 재설정이 필요하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 실시간 수문관측 모니터링 시스템을 구축, 운영하고, 관측된 실측 자료를 이용한 해안도시 홍수 예·경보시스템을 위한 수문 및 수리 모형의 검증성을 수행하였다. 또한, 해안도시는 외조위의 영향을 고려하기 위한 정상상태 및 부정류 모의 모형을 통해 그 영향 정도를 확인하였다. 또한, 실측 모니터링 시스템의 적용을 통해 경보 발령 기준을 평가하고, 개선방향을 도출하였다. 본 연구에서 수행된 연구의 주요내용을 살펴보면, 다음과 같다.

(1) 실시간 수문관측 모니터링시스템 운영을 이용한 유역유출특성은 수문 GIS기법을 이용한 지형자료 및 SWMM모형을 이용한 홍수량산정과 HEC-RAS모형을 이용한 수리분석에 있어 미계측 당시의 자료치에 대한 비교검토를 실시하였으며, 검토결과 현 산정지점에서의 홍수량 분석시 미계측유역당시의 첨두홍수량에 비해 계측후의 첨두홍수량 산정에서 홍수량이 감소함을 판측할 수가 있었다. 또한 산정지점의 경우 하류부 조위발생으로 인한 영향으로 수위상승현상이 발생함을 알 수가 있었다.

(2) 약 20개월간의 실운영 분석을 통해 수집되어진 26개의 강우사상은 경보발령기준우량에 준하여 분류되어졌으며, 이중 약 60%에 달하는 15개의 강우사상이 경보발령기준우량에 적합한 것으로 나타났다. 실패한 11개의 강우사상은 다시 분류되어져 경보발령이 발령되었으나 한계수위에 도달하지 못한 경우와 경보발령이 발령되지 않았으나 한계수위에 도달한 경우로 분류되어졌으며 이에 대해 본 연구는 사상별 원인분석을 통하여 초기수위를 고려한 기준설정의 필요성 대두, 계측 시스템에 대한 개선(강우, 수위), 지역 강우특성분석을 통한 적정지속시간 고려, 초기 강우시 CSO의 일괄적 방출에 따른 수위 영향 판단 및 조위영향고려, 이중강우에 따른 대안 및 기준 설정 제시가 필요하다고 판단되었다.

(3) 본 연구에서는 실시간 수문관측 모니터링시스템의 안정화 및 추가 설치 운영을 통해 도시유출 해석 모형을 개발하고 개발된 모형의 적용 및 검정을 수행하여, 최종적으로 실용화를 위한 해안 및 도시 돌발홍수 예경보 지침서 개발 등을 수행할 계획이다.

감 사 의 글

본 연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. 신현석, 박용운, 강두기 (2005). "SWMM과 HEC-RAS 모형을 이용한 해안 도시 홍수예경보 시스템 구축" 한국수자원학회 05학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 816-820.
2. 김홍태, 신현석 (2005). "수문지형학적 접근에 기초한 산악지역의 돌발홍수예경보시스템 연구" 한국수자원학회 05학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 811-815.
3. 신현석, 김홍태, 박무종 (2004). "GIS와 GCUH를 이용한 돌발홍수 기준우량 산정의 타당성 검토 연구" 한국수자원학회 논문집, 1226-6280, 제37권 5호, pp. 407-424.
4. 건설교통부 낙동강 홍수통제소 (2002). 낙동강 홍수예경보(낙동강·형산강·태화강). pp.21-44.
5. 신현석, 전성우, 서봉철 (2000). "HEC-HMS/HEC-RAS를 이용한 수영강 홍수영향 분석연구" 한국수자원학회 00학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 281-287.