

도시 유역의 배수위 영향을 고려한 홍수 경보 강우량 산정

김응석¹, 이승현¹, 윤기용^{1*}
¹선문대학교 토목공학과

Estimation of the Flood Warning Rainfall with Backwater Effects in Urban Watersheds

Eung-seok, Kim¹, Seung-hyun, Lee¹, Ki-yong, Yoon^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Sunmoon University

요약 본 최근 세계적으로 기후 변화에 의한 홍수 피해가 증가하고 있다. 우리나라의 경우 홍수가 발생하는 빈도가 증가함에 따라 홍수 발생 상황을 예측하고 대비할 수 있는 기술이 주로 대규모 하천을 대상으로 이루어졌으므로, 기존의 홍수 예보 시스템을 예보 선행시간이 짧은 소규모 유역에 적용하기에는 무리가 있다. 이에 본 연구에서는 도시 유역 내 배수위 영향을 가진 수압천 유역을 대상으로 2개의 경보발령지점을 선정 한 후, 홍수 예·경보 모형을 이용하여 홍수 경보 강우량을 산정하였다. 산정 결과, 저수 예·경보 지점의 경우 25.4mm/120min~78.8mm/120min로 산정되었으며, 고수 예·경보 지점의 경우 68.5mm/120min~140.7mm/120min로 산정되었다. 이에 따른 빈도로는 저수 예·경보의 경우 3년 빈도에 해당되며, 고수 예·경보의 경우 80년 빈도에 해당된다. 본 연구의 분석결과는 도시유역의 홍수 발생 상황을 예측하는데 기초 자료를 제공할 것으로 기대되며, 장차 실제 홍수 경보발령기준을 제시하기 위해 많은 유역에서의 관측자료를 바탕으로 한 지속적인 적용 및 검증이 필요하다.

Abstract The incidence of flood damage by global climate change has increased recently. Because of the increased frequency of flooding in Korea, the technology of flood prediction and prevalence has developed mainly for large river watersheds. On the other hand, there is a limit on predicting flooding through the most present flood forecasting systems because local floods in small watersheds rise quite quickly with little or no advance warning. Therefore, this study estimated the flood warning rainfall using a flood forecasting model at the two alarm trigger points in the Suamcheon basin, which is an urban basin with backwater effects. The flood warning rainfall was estimated to be 25.4mm/120min ~ 78.8mm/120min for the low water alarm, and 68.5mm/120min ~ 140.7mm/120min for the high water alarm. The frequency of the flood warning rainfall is 3-years for the low water alarm, and 80-years for the high water alarm. The results of this analysis are expected to provide a basic database in forecasting local floods in urban watersheds. Nevertheless, more tests and implementations using a large number of watersheds will be needed for a practical flood warning or alert system in the future.

Key Words : Flood damages, flood warning rainfall, flood forecasting model

1. 서론

세계적으로 기후 변화로 인한 기상 이변이 속출하고 있으며 이에 따른 영향으로 국내에서는 산발적이고 국지

적인 호우와 태풍 등이 발생하고 있다. 또한 우리나라의 경우 강우의 특성은 연간 강수량의 편차가 커서 홍수 및 가뭄의 피해가 증가하고 있다. 특히 여름철인 6월부터 9월까지 연 강수량의 약 70%가 집중되는 현상이 나타나

*Corresponding Author : Ki-Yong Yoon(Sunmoon University)

Tel: +82-41-530-2326 email: kyyoon@sunmoon.ac.kr

Received July 15, 2014

Revised August 4, 2014

Accepted January 8, 2015

홍수 발생 빈도가 증가하여 홍수 발생 상황에 대해 이를 예측하고 대비할 수 있는 기술이 필요하다. 그러나 기존 연구의 경우 홍수를 대비하고 예측하는 기술은 주로 국가하천을 대상으로 이루어졌으며, 중·소하천에 대한 홍수 예·경보 기술은 미미한 상황이다. 이러한 이유로 중·소하천에서의 홍수 피해 저감 등 효율적인 수방대책을 위해서는 하천의 수리·수문 특성 등이 고려된 통합적인 홍수 예·경보 체계가 필요하다. 이에 최근에는 미계측 소유역에서의 홍수 유출 예측뿐만 아니라 돌발홍수에 관한 연구가 다양하게 수행되고 있으며[1],[2],[3], 중·소하천에 대하여 유출에 영향을 미치는 인자들(유역면적, 도달시간, 유출계수 등)과 유출과의 상관관계를 이용한 회귀식을 통해 하천의 위험유량과 경보 강우량을 도출하고자 하는 연구가 진행 중에 있다[4]. 이러한 연구 결과, 대다수의 중·소하천에 대한 많은 정보들을 획득할 수 있는 장점이 있는 반면, 특수한 상황을 가진 중요 하천 지점에서는 보다 정확한 홍수 예·경보 예측에 대해 많은 어려움을 가지고 있다. 여기서 특수한 상황을 가지는 하천 유역이란 일반적인 자연하천의 유출 양상과 달리 도시 유출의 특성을 포함하는 하천 유역 또는 하류수위에 의한 배수위 영향이 있는 하천 유역을 말한다. 배수위 영향을 유발하는 것으로는 하천분류, 댐과 저수지, 조위영향 등으로 구분할 수 있다. 이러한 하천 유역들에 대해 강우-유출 관계 및 수위-유량 관계가 특수한 형태를 가지고 있으며, 개략적인 회귀식에 의한 홍수 예·경보 적용에는 무리가 있다. 이에 특수한 상황을 고려한 정확하고 효율적인 예·경보 체계 구축을 위해서는 별도의 홍수 예·경보 기술을 적용해야 한다.

본 연구에서는 도시 유역 내 중·소하천 유역 중에서 일반적인 홍수 예·경보 모형을 적용하기 곤란한 대표적인 특수 상황인 배수위 영향을 가지고 있는 유역을 대상으로 적용 가능한 홍수 예·경보 모형을 구축하고자 한다. 또한 구축된 모형을 이용하여 실제 유역에 적용한 후 홍수 경보 강우량을 산정하였다.

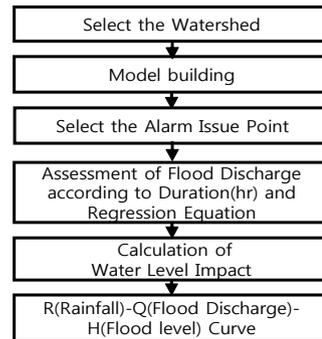
2. 연구방법

2.1 특수한 유역에 대한 예·경보 모형 구축

본 연구에서는 하천 유역 중 하천분류에 의해 발생하는 하천 중 수압천을 대상으로 연구를 수행하였다. 이는

수위-유량 관계가 특수한 유역으로 하류의 수위가 높아져 배수위 영향으로 유출이 지체되어 유역의 지형학적 특징에 따른 수위-유량 관계의 적용이 곤란하기 때문이다.

이에 도시하천 유역 중 배수위 영향을 받는 유역에 대하여 HEC-HMS 및 HEC-RAS 모형을 이용하여 홍수 예·경보 모형을 구축하였다. 모형 선정에 있어서 일반적으로 도시유역의 홍수 예·경보 모델로는 HEC-HMS, HEC-RAS 모형 및 SWMM 모형 등이 상호 연계되어 사용된다. 하지만 SWMM의 경우 강우-유출과 수위-유량 과정을 한번에 모의가 가능한 장점이 있지만 단면의 변화 및 조도계수를 반영하는 것이 쉽지 않으며, 관망 자료의 검·보정 또한 어려움이 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 HEC-HMS 모형과 HEC-RAS 모형을 사용하였다. 또한 도시 유역 내 배수위 영향을 고려한 홍수 경보 강우량 산정하였으며, 절차는 다음 Fig. 1과 같다.

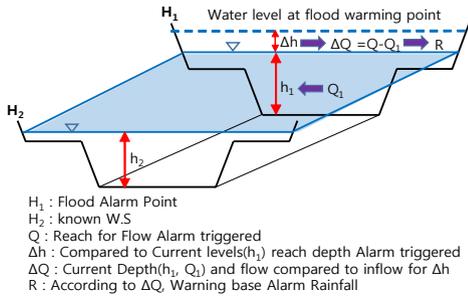


[Fig. 1] Flow chart

2.2 경보발령지점 선정 및 경보 강우량 산정 방법

도시유역 내 중·소하천 홍수 예·경보 발령 기준 선정은 고수부지가 최초 월류하는 지점을 기준으로 한 저수 예·경보 지점과 하천 제방 월류에 대해 침수피해 예방이 필요한 고수 예·경보 지점으로 구분하였다. 저수 예·경보 지점의 경우, 주민의 운동이나 산책로 등으로 사용되는 고수부지의 수위를 기준으로 하였으며, 고수 예·경보 지점의 경우, 하천의 계획홍수위를 기준으로 선정하였다. 또한 경보 강우량 산정 방법으로는 기본적으로 Fig. 2와 같이 두 개의 지점을 대상으로 하였다. 이 때 H₁ 지점이 예·경보 대상 지점이 되며, H₂ 지점은 지류하천이 하천

본류로 합류되는 지점으로 가정한다. 이에 홍수 예·경보 분석 절차로는 두 개의 지점 H_1 과 H_2 에서 각각의 수위 h_1 와 h_2 를 관측하며, 분석된 결과들을 바탕으로 H_1 지점에서의 통과 유량 Q_1 을 산정한다. 또한 H_1 지점의 수위 h_1 으로부터 경보발령 수위까지 도달할 수위 Δh 를 산정하며, h_2 수위에 따른 H_1 지점에서 경보발령 수위를 형성하기 위한 총 유입량 Q 들을 토대로 Δh 수위 상승을 위해서 추가로 유입되어야할 유량 ΔQ 를 산정한다. 마지막으로 유역에서의 강우량별 발생 유출량들을 토대로 유입 유량 ΔQ 를 추가로 유역에서 직접유출로 발생시키기 위한 지속시간별 강우량 R 을 산정한다.

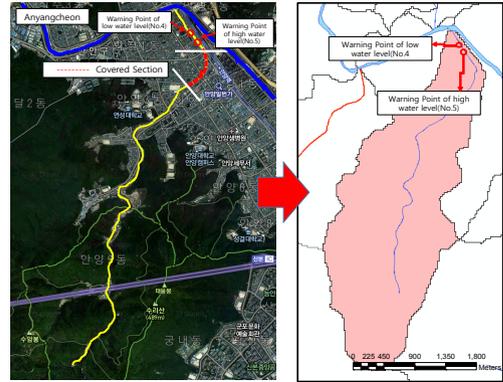


[Fig. 2] Diagram of warning rainfall considering backwater effects

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역 선정

도시하천에서의 배수위 영향을 고려한 경보 강우량 분석을 위하여 안양천 유역에 위치한 수암천 유역을 대상유역으로 선정하였다. 수암천은 안양천의 제 1지류로 유역면적은 7.86km², 유로연장은 7.0km, 평균경사는 약 28°이며, 안양시 만안구 안양동에서 발원하여 안양천에 합류되는 하천이다. 또한 산지에 위치한 급류하천으로써 하폭이 좁고 유속이 빠르며 하류부에는 인구밀집지역 및 유원지 등이 위치하고 있다. 수암천 유역 현황은 Fig. 3에 나타내었다.



[Fig. 3] Suamchen watershed

3.2 HEC-RAS 및 HEC-RAS 모형 구축 결과

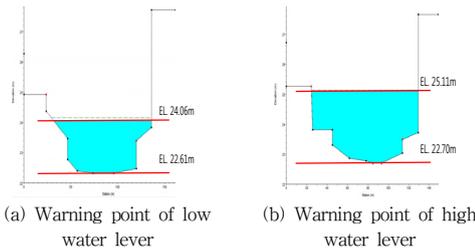
유역의 유출과정은 토지이용도 및 수문학적 요인에 따라 달라지는 매우 복잡한 양상을 띠며, 유역의 강우-유출 관계가 비선형적인 관계를 가지고 있다. 이러한 문제점을 반영하여 본 연구에서는 전체 유역에 대한 홍수량을 산정하고자 국내·외에서 대표적으로 사용되고 있는 강우-유출 모형인 HEC-HMS 모형을 적용하였다. 그 결과 유역출구(합류점)에서의 계획홍수량과 하천기본계획에서 명시된 값과의 오차가 최대 2% 미만으로 나타난 것을 볼 때, 비교적 정확한 홍수량 모의를 수행한 것으로 판단된다.

또한 홍수량에 따른 홍수위를 산정하기 위해 [5]에서 제시된 계획홍수량을 HEC-RAS 모형의 입력자료로 사용하여 전 구간에 걸쳐 홍수위를 산정하였다. 홍수위 산정은 수암천 유로연장인 7.0km 중 지방하천연장인 5.7km에 대해 유역출구지점(합류점)에서 50~100m 간격으로 측량된 횡단자료를 이용하였으며, 하류단 경계조건으로는 배수위 조건에 따라 [5]에서 제시된 합류점의 계획홍수위를 입력하여 하도 수리분석을 수행하였다. 모의 결과, 전 구간에 걸쳐 구축한 모든 단면에서 계획홍수위와 본 연구에서 HEC-RAS를 통하여 산정한 결과가 일치하는 것으로 나타남에 따라 비교적 정확한 홍수위 모의를 수행한 것으로 판단된다.

3.3 경보발령지점 선정 결과

수암천 유역은 하류의 합류점에서의 설계빈도에 따른 수위 영향에 의해 상류 800m까지 배수위 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 배수위 영향구간 중 최심하상고를 기준으로 고수부지까지의 높이가 가장 적은 지점을

저수 예·경보 지점으로 선정하였다. 하지만 본 연구대상
 의 경우 배수위 구간 내에 저수 예·경보 발령 기준이 되
 는 고수부지가 없어 저수 예·경보 기준 수위를 기존 연구
 인 [6]을 이용하여 계획 홍수위의 70%로 산정한 후 최심
 하상고와의 차이가 가장 적은 지점을 선정하였다. 또한
 고수 예·경보 지점의 경우 동일한 방법으로 전 구간에 걸
 쳐 계획홍수위와 제방 윗쪽까지의 차가 가장 적은 지
 점을 선정하였다. 수압천 유역에서 분석된 경보 발령 홍
 수량 및 경보 발령 수위 산정 결과는 Fig. 3에서의 경보
 발령지점을 바탕으로 Fig. 4와 같이 저수 예·경보 및 고
 수 예·경보에 따른 하천 단면으로 나타내었다. 저수 예·
 경보의 경우 홍수량이 74m³/s일 경우 홍수위가 EL.
 24.06m를 나타내었으며, 고수 예·경보의 경우 홍수량
 151m³/s일 경우 홍수위가 EL. 25.13m로 산정되었다. 이
 를 확률빈도로 환산하면 저수 예·경보는 3년 빈도에 해
 당되며 고수 예·경보의 경우 80년 빈도에 해당된다.



[Fig. 4] Alarm trigger points for the low water and high water

3.4 배수위 영향에 따른 경보 강우량 산정

배수위 영향에 따른 경보 강우량을 산정하기 위한 저
 수 및 고수 예·경보 지점 선정을 위해 수압천이 안양천
 본류에 합류하는 지점을 기준으로 배수위 영향구간을 과
 약하고 이에 따른 적합한 예·경보지점을 선정하였다. 또
 한 검·보정된 HEC-HMS 모형과 HEC-RAS 모형을 활
 용하여 지속시간별 강우량에 따른 유역 출구지점(합류
 점)에서의 유량을 산정하였다. 이때 홍수 예·경보를 발령
 하는 조건은 합류점에서의 수위변화에 따라 각 예·경보
 지점의 수위로부터 저수 및 고수 예·경보 수위에 도달할
 때까지 필요한 ΔQ를 산정하고 ΔQ만큼의 유출량을 발
 생시키는 강우량을 20분, 40분, 60분, 90분, 120분을 포함
 한 총 5가지의 경우를 고려하여 강우량 회귀식을 산정하
 였다. 대상유역인 수압천의 경우 도달시간이 108분[5]으
 로 산정되었기 때문에 5가지 지속시간 중 대표로 120분

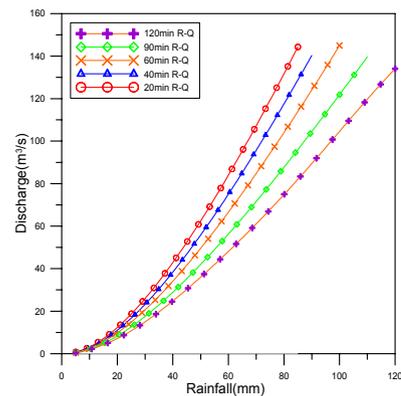
을 선정하여 경보 강우량을 산정하였다. 또한 지속시간
 120분에서의 강우량(R) 값을 Table 1~2와 같이 나타내
 였다.

[Table 1] Flood warning rainfall at the low water alarm point (mm/120min)

The Confluence (EL.m)	Warning point of low water lever(EL.m)					
	22.61	22.90	23.19	23.48	23.77	24.06
20.32	77.4	66.2	60.6	42.9	25.4	0.0
20.69	77.4	66.2	60.6	42.9	25.4	0.0
21.07	77.4	66.2	60.6	42.9	25.4	0.0
21.44	77.4	66.2	60.6	42.9	25.4	0.0
21.87	78.8	66.2	60.6	42.9	25.4	0.0
22.19	78.8	70.1	60.6	42.9	25.4	0.0
22.56	78.8	72.3	64.6	42.9	25.4	0.0
22.94	0.0	0.0	67.0	62.2	25.4	0.0
23.31	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	0.0
24.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

[Table 2] Flood warning rainfall at the high water alarm point (mm/120min)

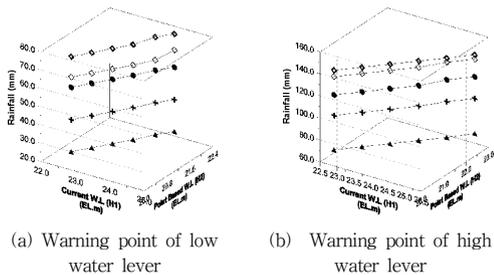
The Confluence (EL.m)	Warning point of high water lever(EL.m)					
	22.70	23.18	23.66	24.15	24.63	25.11
20.32	140.7	135.0	118.4	99.7	68.5	0.0
20.85	140.7	135.0	118.4	99.7	68.5	0.0
21.38	140.7	135.0	118.4	99.7	68.5	0.0
21.92	140.7	135.0	118.4	99.7	68.5	0.0
22.45	140.7	136.8	120.8	101.0	68.5	0.0
22.98	0.0	136.8	120.8	101.0	69.3	0.0
23.51	0.0	0.0	120.8	102.3	69.3	0.0
24.04	0.0	0.0	0.0	112.8	73.0	0.0
24.58	0.0	0.0	0.0	0.0	109.5	0.0
25.11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



[Fig. 5] Rainfall-runoff relations with rainfall durations

산정 방법은 Table. 1에서 합류점의 수위를 바닥고인
 EL. 20.32m에서 부터 저수 예·경보 수위인 EL. 24.06m까

지 총 10단계로 증가시킨다. 이때 저수 예·경보 지점 수위가 Fig. 4(a)와 같이 EL. 22.61m부터 EL. 24.06m까지 도달하는데 필요한 ΔQ 를 산정하고, ΔQ 만큼의 유출량을 발생시키는 강우량 R값을 Fig. 5를 이용하여 산정하였다. 예를 들면, Table. 1에서 합류점의 수위가 EL. 20.32m이고, 저수 예·경보 지점 수위가 EL. 22.61m일 때, 저수 예·경보 수위인 EL. 24.06m에 도달하는데 필요한 경보 강우량은 Fig. 5의 회귀식을 통해 77.4mm/120min으로 산정하였다. Table. 2의 고수 예·경보 지점의 경우도 동일한 방법으로 산정하였다. 그 결과, 저수 예·경보 지점에서의 지속시간 120분에 해당하는 경보 강우량의 경우 25.4mm~78.8mm로 산정되었으며, 고수 예·경보 지점에서의 지속시간 120분에 해당하는 경보 강우량의 경우 68.5mm~140.7mm로 산정되었다. 또한 Fig 6과 같이 예·경보 지점별 R-Q-H Curve를 나타내었다.



[Fig. 6] Alarm trigger points for R-Q-H Curve(D=120mm)

4. 결론

본 연구는 대표적인 특수성을 가진 배수위 영향을 받는 유역 중에 경기도 안양시에 위치한 수암천 유역을 대상으로 홍수 예·경보 모형을 구축하고 홍수 예·경보 발령을 위한 홍수 경보 강우량을 산정하였다. 산정 결과 저수 예·경보 지점에서의 지속시간 120분에 해당하는 경보 강우량의 경우 25.4mm~78.8mm가 산정되었으며, 고수 예·경보 지점에서 지속시간 120분에 해당하는 경보 강우량의 경우 68.5mm~140.7mm로 산정되었다. 이를 빈도로 바타내면 저수 예·경보의 경우 3년 빈도, 고수 예·경보의 경우 80년 빈도에 해당한다. 이러한 특수한 상황을 고려하여 분석한 결과를 바탕으로 향후 홍수 발생 상황을 예측할 시 보다 신뢰도 높은 경보발령의 기준을 제시하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 판단된다. 하지만 아직

까지는 국내에서는 다양한 지점에서의 데이터 수집과 보완이 미흡하며, 지속적인 관측과 홍수 예·경보 모형의 검증·보완 또한 부족한 실정이다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 분석 결과들을 중심으로 향후 지속적인 관측과 검증·보완이 이루어져야 신뢰성 높은 경보 발령 기준의 제시와 홍수 예·경보 모형의 정확도가 향상될 수 있을 것이라 판단된다.

References

- [1] Korea National Park, "Automated Rainfall Warning System of Expansion·Reward on Inverstigaion Services", 2003
- [2] Y.K. Lee, S.C. Park, K.S. Lee, "Flood Runoff Analysis of Small River Basin using Geographic Information System", Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 6, No. 1, pp. 24-36, 2003
- [3] H.S. Shin, H.T. Kim, M.J. Park, "An Application of making the Flash Flood Warning Trigger Rainfall in Real Basin using GIS and GCUH-At the Namcheon Basin of the Sobaek Mountain", Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 4, pp. 311-319, 2004
- [4] National Emergency Management Agency, Technology Development For Flood Prediction and Warning Integration Model, 2012
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Anyangcheon Water System River maintenance master plan, 2007
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Flood Prediction and Warning 2004: Nakdong River, Hyeongsan River, Taehwa River, 2004

김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

수자원시스템, 상하수도 관망시스템

이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학

윤 기 용(Ki-Yong Yoon)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 합성구조, 강구조, 내진설계